

PROJET EVALUATION DES BESOINS EN TECHNOLOGIE EBT

IDENTIFICATION ET HIERARCHISATION DES TECHNOLOGIES POUR ATTENUATION Madagascar



Aout 2018



DISCLAIMER

Cette publication est un produit du projet "Evaluation des Besoins en Technologies", financé par le Fonds pour l'Environnement Mondial (en [anglais](#) Global Environment Facility, GEF) et mis en œuvre par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) et le centre UNEP DTU Partnership (UDP) en collaboration avec le centre régional ENDA Energie (Environnement et Développement du Tiers Monde - Energie). Les points de vue et opinions exprimés dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues du UNEP DTU Partnership, UNEP ou ENDA. Nous regrettons toute erreur ou omission que nous pouvons avoir commise de façon involontaire. Cette publication peut être reproduite, en totalité ou en partie, à des fins éducatives ou non lucratives sans autorisation préalable du détenteur de droits d'auteur, à condition que la source soit mentionnée. Cette publication ne peut être vendue ou utilisée pour aucun autre but commercial sans la permission écrite préalable du UNEP DTU Partnership.

PREFACE

Madagascar a ratifié la Convention Cadre de Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) ainsi que les traités internationaux connexes tels que le Protocole de Kyoto et l'Accord de Paris. A l'échelle nationale, le Pays a montré sa volonté de lutter efficacement contre ce fléau en intégrant, tout d'abord, la dimension changement climatique dans la Politique Générale de l'Etat et le Plan National de Développement du pays depuis 2015. Certains secteurs de développement ont déjà inclus le volet changement climatique dans leur politique et stratégie respective.

En tant que pays le plus vulnérable aux effets néfastes du dérèglement climatique, Madagascar participe activement au processus de négociation internationale sur le climat, affiche clairement ses volontés de contribuer à l'effort mondial pour une solution durable contre les impacts du changement climatique et de mettre en œuvre des actions concrètes sur le terrain avec des appuis de différentes entités nationales et internationales. Le pays a soumis la Contribution Déterminée au niveau National (CDN) qui renferme les besoins actualisés de Madagascar en matière de la lutte contre le changement climatique pour les années à venir. Pour ce faire, le pays a besoin des moyens de mise en œuvre tel que la technologie respectueuse de l'environnement.

Ce projet d'Evaluation des Besoins en Technologie (EBT) respectueuse de l'environnement répond parfaitement aux attentes des pays en développement pour réduire et/ou combattre les causes du réchauffement global ainsi que ses impacts tant au niveau national qu'international. Ainsi, il permet évidemment de déterminer les besoins en technologies et d'élaborer des plans d'action qui débouchent à des idées de projet concret. Ces dernières seraient des outils précieux pour convaincre les investisseurs d'une part et d'autre pour faciliter la mise en œuvre sur le terrain. Le processus d'élaboration de cette EBT était conduit par le Ministère en charge de l'Environnement à travers la Direction Générale de l'Environnement et a impliquée des différents techniciens nationaux issus des diverses institutions publiques et privées, et des organisations non gouvernementales concernées.

La publication de ce rapport intervient à un moment crucial où le développement économique à faible émission de carbone et le renforcement des capacités d'adaptation aux effets pervers du changement climatique deviennent les priorités de tous les pays. Nous voudrions inviter la communauté internationale et les partenaires techniques et financiers à s'appropriier ce rapport qui constitue un document d'orientations sur les axes de coopération.

Nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance au Fonds pour l'Environnement Mondial, l'Organisation des Nations Unies pour l'Environnement, l'Université de Technologie de Danemark et l'Enda pour leur soutien financier et technique à la réalisation de ce document.



ABREVIATIONS

ADER	: Agence de Développement de l'Electrification Rurale
AMC	: Analyse Multicritère
ADEME	: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (France)
CH4	: Méthane
CNRE	: Centre National de Recherche pour l'Environnement
CNRIT	: Centre National de Recherche Industrielle et Technologique
CO	: Monoxyde de carbone
CO2	: Gaz carbonique
DTU	: Technical University of Denmark
EBT	: Evaluation des Besoins Technologiques
ENDA	: Environnement et développement du tiers monde
FNE	: Fond National de l'Electricité
FOFIFA	: Foibe Fikarohana ny Fampandrosoana ny eny Ambanivohitra
GES	: Gaz à Effet de Serre
Gg	: Gigagramme
Gg _{éq} CO2	: Gigagramme équivalent CO2
GIEC	: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GTSE	: Groupe de Travail Sectoriel Energie
JIRAMA	: Jiroso Rano Malagasy (Société nationale de l'électricité et de l'Eau)
kW	: kilowatt
kWh	: kilowattheure
LED	: Light Emetting Diode
LFC	: Lampe Fluocompact
Lm/W	: Lumens par Watt
MDP	: Mécanisme de Développement Propre
MJ	: Mégajoule
MW	: Mégawatt
NAMA	: NationnallyAppropriate Mitigation Actions
NMVOC/COVNM	: Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques
NO2	: Dioxyde d'azote
NOX	: Oxyde d'azote
NPE	: Nouvelle Politique Energétique
OMH	: Office Malgache des Hydrocarbures
ONG	: Organisme Non Gouvernemental
ORE	: Organisme de Régulation de l'Electricité
PAT	: Plan d'Actions Technologiques
PGE	: Politique Générale de l'Etat
PNLCC	: Politique National de Lutte contre les Changements Climatiques
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
SO2	: Dioxyde de soufre
WWF	: World Wide Fund

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de la structure institutionnelle.....	13
Figure2 : Evolution des émissions de GES directs secteur Energie	17
Figure 3 : Evolution des émissions de GES indirects et SO ₂ secteur Energie	18
Figure 4 : Evolution des émissions de CO ₂ de la biomasse du secteur Energie	18
Figure5 : GES directs émis et évités pour la protection de puits.....	21
Figure 6 : GES directs émis et évités pour la réduction des émissions	21
Figure 7 : Projection d'émission de GES pour le secteur Industrie	34
Figure 8 : Scénarii de référence et d'atténuation de GES du secteur Industrie.....	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données macroéconomiques	5
Tableau 2 : Facteurs de conversion	5
Tableau 3 : Consommation d'énergie par source en ktep en 2010	6
Tableau 4 : consommation d'énergie par secteur en ktep en 2010	6
Tableau 5 : Offre d'énergie par source en ktep en 2010	6
Tableau 6 : Emissions de GES directs des secteurs autres que l'UTCATF pour l'année de référence 2005 de la TCN	11
Tableau 7 : Evolution des émissions de GES directs entre 2001 et 2010 en Gg éq.CO2	12
Tableau 8 : Emissions de GES du secteur Energie en 2005 en Gg.....	16
Tableau 9 : Emission de GES directs du secteur Energie en 2005	17
Tableau 10 : Répartition des émissions de GES directs du secteur Energie	17
Tableau 11 : évolution des émissions des GES du secteur Energie de 2005 à 2010, en Gg.....	18
Tableau 12 : Liste initiale des technologies	22
Tableau 13 : Liste initiale de groupes de technologies	22
Tableau 14 : Liste des groupes de technologies retenues pour l'AMC.....	23
Tableau 15 : Catégories de critères pour les 4 groupes de technologies	24
Tableau 16 : Critères d'évaluation des groupes de technologies « Production d'électricité dans les grands centres » et « Production d'électricité dans les petits centres ».....	24
Tableau 17 : Critères d'évaluation du groupe de technologies «Economie de bois et promotion d'énergie alternative »	25
Tableau 18 : Critères d'évaluation du groupe de technologies «Eclairage».....	25
Tableau 19 : Notations des groupes de technologies « Production d'électricité dans les grands centres».....	26
Tableau 20 : Notations des groupes de technologies «Production d'électricité dans les petits centres»	26
Tableau 21 : Notations du groupe technologiques «Economie de bois et promotion d'énergie alternative»	27
Tableau 22 : Notations du groupe technologiques «Eclairage»	27
Tableau 23 : Coefficients de pondération du scénario de base.....	28
Tableau 24 : Coefficients de pondération retenus	28
Tableau 25 : Coefficients de pondération et poids de critères du groupe de technologies	29
«Production d'électricité dans les grands centres».....	29
Tableau 26 : Coefficients de pondération et poids de critères du groupe de technologies	29
«Production d'électricité dans les petits centres»	29
Tableau 27 : Coefficients de pondération et poids de critères du groupe de technologies	30
«Economie de bois et promotion d'énergie alternative»	30
Tableau 28 : Coefficients de pondération et poids de critères du groupe de technologies «Eclairage»	30
Tableau 29 : Notes finales des technologies du groupe de technologies.....	31
«Production d'électricité dans les grands centres».....	31
Tableau 30 : Notes finales des technologies du groupe de technologies.....	31
«Production d'électricité dans les petits centres»	31
Tableau 31 : Notes finales des technologies du groupe de technologies.....	31
«Economie de bois et promotion d'énergie alternative»	31
Tableau 32 : notes finales des technologies du groupe de technologies	32
«Eclairage».....	32

Tableau 33 : Hiérarchisation des technologies du groupe de technologies	32
«Production d'électricité dans les grands centres»	32
Tableau 34 : Hiérarchisation des technologies du groupe de technologies	32
«Production d'électricité dans les petits centres»	32
Tableau 35 : Hiérarchisation des technologies du groupe de technologies	32
«Economie de bois et promotion d'énergie alternative»	32
Tableau 36 : Hiérarchisation des technologies du groupe de technologies	33
«Eclairage».....	33
Tableau 37 : Technologies choisies initialement	33
Tableau 38 : Technologies retenues pour le secteur Energie.....	33
Tableau 39 : Emission de GES du secteur Industrie pour l'année 2005.....	35
Tableau 40 : Options technologiques d'atténuation du secteur Industrie	38
Tableau 41 : Critères de priorisation et catégorisation des critères d'évaluation des technologies	40
du secteur Industrie.....	40
Tableau 42 : Echelle d'évaluation des technologies du secteur Industrie	42
Tableau 43 : Notations des Technologies du secteur Industrie	43
Tableau 44 : Pondération des critères	44
Tableau 45 : Notations pondérées des Technologies	45
Tableau 46 : Résultats de la priorisation des Technologies du secteur Industrie.....	46
Tableau 47: Test de sensibilité 1.....	48
Tableau 48: Test de sensibilité 2.....	49
Tableau 49: Test de sensibilité 3.....	50
Tableau 50: Test de sensibilité 4.....	51
Tableau 51 : Test de sensibilité 5.....	52
Table 52 : Test de sensibilité 6.....	53
Tableau 53: Test de sensibilité 7.....	53
Tableau 54 : Récapitulation de l'analyse de sensibilité	54

TABLE DES MATIERES

ABREVIATIONS	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
RESUME EXECUTIF	1
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	3
CHAPITRE 2 : CONTEXTE NATIONAL	4
2.1 SITUATIONS GEOGRAPHIQUE,MACROECONOMIQUE ET ENERGETIQUE	4
2.1.1 Situations géographique [6].....	4
2.1.2 Situation macroéconomique [7]	4
2.1.3Situation du secteur Energie.....	5
2.2 POLITIQUES DE DEVELOPPEMENT	8
2.2.1 Politique de Développement National [8]	8
2.2.2 Politique de développement du secteur Energie [3]	8
2.2.3 Politique de développement du secteur Industrie	9
2.3 POLITIQUE NATIONALE DE LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	9
2.4 SELECTIONS DE SECTEURS	10
CHAPITRE 3 : ARRANGEMENT INSTITUTIONNEL DE L'EBT ET IMPLICATION DES PARTIES PRENANTES	12
3.1 EQUIPE NATIONALE EBT	13
3.1.1Coordonnateur EBT	13
3.1.2 Comité National EBT	13
3.1.3 Consultants/experts nationaux.....	14
3.1.4 Groupes de Travail Sectoriels	14
3.2 PROCESSUS DE DIALOGUE AVEC LES PARTIES PRENANTES	15
3.2.1 Processus de dialogue avec les parties prenantes du secteur Energie	15
3.2.2 Processus de dialogue avec les parties prenantes du secteur Industrie	16
CHAPITRE 4 : PRIORISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR ENERGIE	16
4.1 EMISSIONS DE GES ET TECHNOLOGIES EXISTANTES POUR LE SECTEUR ENERGIE.....	16
4.1.1 Emission de GES.....	16
4.1.2 Principales technologies utilisées dans le secteur Energie	19
4.2 CONTEXTE DE DECISION	19
4.3 IDENTIFICATION DE TECHNOLOGIES D'ATTENUATION D'EMISSION DE GES.....	20
4.3.1 Documents et sites web consultés.....	20
4.3.2 Aperçu des options d'atténuation de GES	20
4.3.2.1 Protection de puits (forêts).....	20
4.3.2.2 Réduction des émissions.....	21
4.3.3Listes des technologies	22
4.4 CRITERES ET PROCESSUSD'HIERARCHISATION DES TECHNOLOGIESPOUR LE SECTEUR ENERGIE	23
4.4.1 Sélection des critères d'évaluation	24

4.4.2 Notation des technologies	25
4.4.3 Attribution des coefficients de pondération	27
4.4.4 Combinaison des notes et des poids	31
4.4.5 Analyse des résultats	32
4.4.5.1 Choix initial des technologies.....	33
4.4.5.2 Sélection des technologies.....	33
CHAPITRE 5 : PRIORISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR INDUSTRIE	34
5.1 EMISSIONS DE GES ET TECHNOLOGIES EXISTANTES DU SECTEUR INDUSTRIE	34
5.1.1 Contexte.....	34
5.1.2 Les catégories de sources et les émissions	35
5.2 CONTEXTE DE DECISION	35
5.3 UN APERÇU DES OPTIONS POSSIBLES EN MATIERE D'ATTENUATION DES TECHNOLOGIES DANS LE SECTEUR INDUSTRIE ET LEUR POTENTIEL D'ATTENUATION ET AUTRES AVANTAGES ASSOCIES.....	36
5.4 CRITERES ET PROCESSUS DE PRIORISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR INDUSTRIE.....	38
5.4.1 Critères de priorisation et catégorisation des critères	39
5.4.2 Echelle d'évaluation.....	40
5.4.3 Evaluation des options technologiques	42
5.4.4 Pondération des critères.....	44
5.4.5 Calcul des points	44
5.5 RESULTATS DE LA PRIORISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR INDUSTRIE	46
5.6 ANALYSE DE SENSIBILITE.....	46
CHAPITRE 6 : RESUME ET CONCLUSIONS	55
LISTE DES REFERENCES	56
ANNEXE1.....	56
ANNEXE 2.....	127

RESUME EXECUTIF

Le projet d'Evaluation des Besoins Technologiques (EBT) pour l'adaptation au changement climatique est financé par le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) et mis en œuvre par le centre UNEP DTU Partnership (UDP) avec l'appui de ses partenaires régionaux tel Environnement et développement du tiers monde (ENDA). Le projet EBT a pour but d'aider le pays à identifier et analyser ses besoins technologiques prioritaires, qui pourront servir de base à : un portefeuille de projets et programmes technologiques respectueux de l'environnement ; et la facilitation de leur transfert et l'accès aux savoir-faire y correspondant. L'EBT sera réalisée en trois principales étapes : Identification et hiérarchisation des Technologies ; Analyse des barrières et cadre habilitant ; et Plan d'Actions Technologiques. La première étape « Identification et hiérarchisation des Technologies » a débuté en Août 2015, pour Madagascar. Elle a été menée, avec un processus participatif, par l'Equipe EBT Nationale composée du Comité National EBT, les Groupes de Travail Sectoriels Energie et Industrie, les experts/consultants nationaux, et le Coordinateur National EBT chargé de coordonner les efforts et diriger le processus global de l'EBT.

Pour le secteur Energie, les technologies identifiées pour la composante atténuation de GES du projet EBT ont été réparties en 4 groupes :

GROUPE D'OPTIONS	OPTIONS TECHNOLOGIQUES
1-Production d'électricité dans les grands centres	-Hydroélectricité grande échelle
	-Cycle Combiné Gaz Naturel grande échelle
	-Solaire Photovoltaïque grande échelle
2-Production d'électricité dans les petits centres	-Eolienne on shore grande échelle
	-Hydroélectricité petite échelle
	-Biomasse Combustion-Gazéification et Moteur à gaz petite échelle
	-Eolienne on shore petite échelle
	-Solaire Photovoltaïque petite échelle
3-Economie de Bois et Promotion d'Energie Alternative	-Foyer de cuisson à éthanol
	-Foyer de cuisson amélioré à bois et charbon de bois
	-Four de carbonisation amélioré
4-Eclairage	-Lanterne Solaire Photovoltaïque
	-Lampe LED
	-Bougie de jatropha

Les 4 groupes sont composés au total, de 14 technologies. Le groupe « Economie de Bois et Promotion d'Energie Alternative » est constitué des technologies utilisées pour la réduction des pressions sur les forêts (puits), le « Foyer de cuisson à éthanol » inclus dans ce groupe permet aussi de remplacer les foyers de cuisson à GPL et pétrole, pour atténuation des émissions de GES. Les 3 autres groupes contribuent à l'atténuation des émissions de GES. L'identification des technologies et l'identification des catégories et critères d'évaluation, ont été effectuées à partir des études bibliographiques, web graphiques et des entretiens avec les experts du Groupe de Travail Sectoriel Energie (GTSE). Les notations et pondérations ainsi que la proposition de liste de technologies choisies ont été réalisées d'une manière participative par le GTSE. Les technologies choisies initialement sont les technologies classées premières dans les 4 groupes d'options :

N°	GROUPE D'OPTIONS TECHNOLOGIQUES	TECHNOLOGIES CHOISIES
1	Production d'électricité de grands centres	Hydroélectricité de grande taille
2	Production d'électricité de petits centres	Hydroélectricité de petite taille
3	Economie de bois et promotion d'énergie alternative	Foyer de cuisson à éthanol
4	Eclairage	Lampe LED

Toutefois, la recommandation est de se limiter à 3 technologies par secteur pour éviter une charge de travail très importante dans les étapes 2 et 3 de l'EBT. Les 3 technologies suivantes sont finalement choisies, compte tenu de leur importance en matière de développement socio-économique et d'atténuation des émissions de GES du pays :

N°	GROUPE D'OPTIONS TECHNOLOGIQUES	OPTION TECHNOLOGIQUE CHOISIE
1	Production d'électricité de grands centres	Hydroélectricité de grande taille
2	Production d'électricité de petits centres	Hydroélectricité de petite taille
3	Eclairage	Lampe LED

Pour le secteur Industrie, la liste des options technologiques d'atténuation de GES avant hiérarchisation se présente comme suit:

1	Réduction du Ratio Clinker/Ciment par Ajouts de Cendres Volantes
2	Bioplastiques
3	Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)
4	Recyclage des Vieux Papiers
5	Réduction du Ratio Clinker/Ciment par Ajouts de Pouzzolane
6	Captage et Stockage de CO2
7	Elimination des émissions de mercure liées aux opérations d'extraction d'or
8	Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques
9	Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion
10	Lavage des Effluents Gazeux

L'identification des technologies et l'identification des catégories et critères d'évaluation, ont été effectuées à partir des études bibliographiques, web graphiques et des entretiens avec les experts du Groupe de Travail Sectoriel Industrie (GTSI). Les notations et pondérations ainsi que la proposition de liste de technologies choisies ont été réalisées d'une manière participative par le GTSI. Après hiérarchisation, les 3 options technologiques sélectionnées sont :

1	Réduction du Ratio Clinker/Ciment par Ajouts de Cendres Volantes
2	Bioplastiques
3	Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

La Direction Générale de l'Environnement du Ministère de l'Environnement de l'Ecologie et des Forêts, avec l'appui technique des centres UNEP DTU Partnership (UDP) et Environnement et développement du tiers monde (ENDA), met en œuvre le projet d'Évaluation des Besoins Technologiques (EBT) respectueuses de l'environnement. L'EBT débouchera sur l'élaboration de Plans d'Action Technologique (PAT) nationaux qui recommandent des cadres habilitants pour la diffusion des technologies prioritaires et qui facilitent l'identification des bons projets de transfert de technologie avec des liens vers des sources de financement pertinentes. Les PTA proposeront des actions concrètes nécessaires à la réduction ou à la suppression des barrières, entre autres politiques et financières, liées aux technologies. Ainsi le projet EBT a pour but d'aider le pays à identifier et analyser ses besoins technologiques prioritaires, qui pourront servir de base à : un portefeuille de projets et programmes technologiques respectueux de l'environnement ; et la facilitation de leur transfert et l'accès aux savoir-faire y correspondant. L'analyse des études menées, regroupées dans les documents stratégiques de Madagascar ont permis de choisir les deux secteurs prioritaires suivant pour l'atténuation: Energie et Industrie.

L'EBT relative à chaque secteur, sera réalisée en trois principales étapes :

- Identification et hiérarchisation des Technologies
- Analyse des barrières et cadre habilitant
- Plan d'Actions Technologiques

Pour l'atténuation de GES, les étapes se résument comme suit :

Etape1 : Identification et hiérarchisation des Technologies

- Identification de 10 à 12 options Technologiques
- Hiérarchisation des Technologies par une Analyse Multicritères (AMC) menée par le Groupe de Travail Sectoriel.
- Choix de 2 à 4 Technologies en vue des étapes 2 et 3 de l'EBT.

Etape2 : Analyse des barrières et cadre habilitant

Etape 2.1 Analyse des barrières

- Analyser les conditions de marché pour chaque Technologie
- Identifier, prioriser et regrouper en catégories, les obstacles au développement des Technologies, à titre indicatif : économiques, institutionnels, juridiques, techniques, sociaux, culturels.

Etape 2.1 Cadre habilitant

Trouver les solutions possibles pour éliminer les barrières, entre autres :

- Incitations économiques (exonérations fiscales, subventions, mécanisme de financement...)
- Amélioration de l'organisation institutionnelle (création d'organismes de financement, de Contrôle de qualité de matériels et équipements, ...)
- Mise à jour des cadres légaux et réglementaires.

Etape 3 : Plan d'Actions Technologiques (PTA)

Ensemble d'actions prioritaires et idées de projet pour favoriser la pénétration de chaque Technologie dans le marché avec les mesures d'accompagnement assurant une appropriation par les décideurs :

- Éléments pour un cadre propice à la participation du gouvernement
- Acteurs et institutions responsables
- Étapes et calendrier de mise en œuvre
- Moyens de mise en œuvre (besoins financiers, mécanismes de financement,...)

Le plan de travail initial est résumé comme suit :

No.	Activité	Année											
		2015				2016				2017			
	Mois	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	28-30		
1.1	Nommer le coordinateur du projet EBT et constituer le Comité National EBT	■											
1.2	Organiser les parties prenantes	■											
1.3	Elaborer un projet de plan de travail détaillé		■										
1.4	Identifier des sources de données et d'expertise	■											
1.5	Organiser un atelier de lancement national et finaliser le plan de travail sur la base des commentaires des parties prenantes			■									
1.6	Participer aux ateliers régionaux a) de renforcement des capacités b) de partage d'expériences			■		■							
1.7	Prioriser des technologies, produire projet de rapport			■									
1.8	Finaliser le rapport de technologies prioritaires (Rapport EBT)				■								
1.9	Effectuer une évaluation du marché, c'est-à-dire analyser les obstacles et créer un cadre propice au déploiement et à la diffusion des technologies prioritaires Finaliser the rapport (rapport AB&CP)					■	■						
1.10	Préparer un plan d'action technologique (PAT) + idées de Projet, produire projet de rapport							■					

CHAPITRE 2 : CONTEXTE NATIONAL

2.1 SITUATIONS GEOGRAPHIQUE, MACROECONOMIQUE ET ENERGETIQUE

2.1.1 Situations géographique [6]

Madagascar est une île localisée au sud-ouest de l'océan indien entre 11°57'-25°35'S et 43°14'-50°27'E. A l'ouest, le canal de Mozambique la sépare de l'Afrique, et à l'Est, l'océan indien du continent Asiatique. Elle a une longueur de 1600km du Nord au Sud, une largeur de 580km et une superficie de 587 041 km² avec des côtes de 5 063km. Le relief est marqué par les hautes plaines et collines sur le haut plateau central régressant en altitude vers l'Ouest et les grandes falaises à l'Est. Le climat est, en général, de type tropical humide sur le littoral Est, de type tropical d'altitude sur les Hautes terres centrales, très chaud sur littoral Ouest et sec dans le Sud.

2.1.2 Situation macroéconomique [7]

Les données macroéconomiques sont résumées dans le tableau 1 ci-dessous.

Le taux de croissance annuel moyen est de 3,11%. La population rurale a atteint 14 millions en 2005 et compterait 22,3 millions en 2020. La taille de ménage avoisine les 4,8 individus en 2010 [7]. La pauvreté est plus marquée en milieu rurale, en 2010, l'indice y afférente dépasse les 82% en milieu rurale et 54% en milieu urbain. Le produit intérieur brut par personne (PIB per capita) est croissant d'après ce tableau.

Tableau 1 : Données macroéconomiques

Indicateurs	2000	2005	2010	2015	2020
Population	15 222 856	17 730 289	20 040 981	21 610 959	28 069 044
Superficie	587 041	587 041	587 041	587 041	587 041
Densité	26	30	34	37	48
PIB nominal (en millions USD)	3 878	5 038	9 441	16 914	30 305
Secteur primaire (en millions USD)	1 026	1 294	2 296		
Secteur secondaire (en millions USD)	500	721	1 262		
Secteur tertiaire (en millions USD)	2 021	2 592	4 421		
PIB per capita (USD)	250	280	430	783	1 080
Population en dessous du seuil de pauvreté	77%	74%	81%		

Source : INSTAT

2.1.3 Situation du secteur Energie

Le bilan énergétique de l'année 2010 [1] est résumé dans les tableaux 3, 4 et 5 ci-dessous pour montrer la structure de l'offre et de la demande du secteur Energie. L'unité énergétique utilisée pour établir le bilan énergétique est le kilo tonne équivalent pétrole (ktep). 1ktep = 41,848 TJ et les facteurs de conversion des unités énergétiques en ktep sont donnés dans le tableau 2 suivant:

Tableau 2 : Facteurs de conversion

	DENSITE	(Source)	PCI	(Source)
Pétrole Brut	0,850 tonne/m ³	MdE	1,000 tep/tonne	MdE
Charbon Minéral			0,600 tep/tonne	MdE
Hydro-énergie				
Bois Energie				
- Bois De Feu	0,600 tonne/m ³	MdE	0,359 tep/tonne	MdE
- Bois De Carbonisation	0,700 tonne/m ³	MdE	0,299 tep/tonne	MdE
Bagasse			0,200 tep/tonne	MdE
Balle De Riz			0,320 tep/tonne	MdE
Autres Primaires				
Electricité			0,086 tep/tonne	MdE
Gaz Liquéfié	0,575 tonne/m ³	OMH	1,100 tep/tonne	MdE
Essences	0,725 tonne/m ³	MdE	1,050 tep/tonne	MdE
- Essence Super	0,745 tonne/m ³	OMH	1,050 tep/tonne	MdE
- Essence Tourisme	0,725 tonne/m ³	OMH	1,050 tep/tonne	MdE
- Essence Aviation	0,715 tonne/m ³	OMH	1,050 tep/tonne	MdE
Kérosènes	0,791 tonne/m ³	OMH	1,030 tep/tonne	MdE
- Pétrole Lampant	0,791 tonne/m ³	OMH	1,030 tep/tonne	MdE
- Jet Fuel	0,791 tonne/m ³	OMH	1,030 tep/tonne	MdE
Gas Oil	0,845 tonne/m ³	OMH	1,020 tep/tonne	MdE
Fuel Oil	0,955 tonne/m ³	MdE	0,970 tep/tonne	MdE
Fuel Oil	0,955 tonne/m ³	MdE	0,970 tep/tonne	MdE
Charbon De Bois			0,690 tep/tonne	MdE
Bitume	1,031 tonne/m ³	OMH	1,000 tep/tonne	MdE
Lubrifiant	0,900 tonne/m ³	OMH	1,000 tep/tonne	MdE

Source : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – Juillet 2014

MdE : Ministère chargé de l'Énergie
 OMH : Office Malgache des Hydrocarbures
 PCI : pouvoir calorifique inférieur

Tableau 3 : Consommation d'énergie par source en ktep en 2010

SOURCE	Consommation	Poids
Bois de chauffe	2 914,20	72,8%
Charbon de bois	443,7	11,1%
Bagasse	37,9	0,9%
Balle de riz	15,2	0,4%
Produits pétroliers	466,8	11,7%
Electricité	81,5	2,0%
Charbon minéral	22,4	0,6%
Autres (non énergétique)	21,6	0,5%
TOTAL	4 003,30	100%

Source : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – Juillet 2014

Tableau 4 : consommation d'énergie par secteur en ktep en 2010

SECTEUR	Consommation	Poids
Résidentiel	2 370,5	59,2%
Commerce Service Administration	924,0	23,1%
Industrie manufacturière	340,7	8,5%
Transport intérieur	327,6	8,2%
Transport international	36,9	0,9%
Agriculture Pêche Sylviculture	3,6	0,1%
TOTAL	4 003,3	100%

Source : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – Juillet 2014

Tableau 5 : Offre d'énergie par source en ktep en 2010

SOURCE	Offre	Poids
Bois énergie	4 515,20	85,2%
Bagasse	44,1	0,8%
Balle de riz	15,2	0,3%
Hydro énergie	76,4	1,4%
Produits pétroliers	602,2	11,4%
Charbon minéral	22,5	0,4%
Non énergétique	23	0,4%
TOTAL	5 298,60	100%

Source : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – Juillet 2014

Ce bilan indique que la principale source d'énergie à Madagascar est le bois énergie. Pour l'année 2010, la consommation de bois énergie s'élève à 3 357,9 ktep, soit 83,9% de la consommation totale. Les produits pétroliers arrivent à 12,2% de la consommation totale, soit 469,4 ktep, ils sont totalement importés. La consommation d'électricité n'est que de 2%. Le plus énergétivore est le secteur Résidentiel (Ménages), avec une consommation de 2 370,5 ktep dont 2 293,4 ktep proviennent du bois énergie. L'industrie énergétique (centrales électriques, meules de carbonisation, auto producteurs d'énergie) consomme 1 683,6 ktep d'énergie primaire (bois énergie, hydroénergie et bagasse) et 134,5 ktep d'énergie secondaire (produits pétroliers)

Le diagnostic du secteur Energie se résume comme suit :

-Le **bois énergie** (bois de chauffe et charbon de bois) [1] sert principalement de combustible pour la cuisson au niveau des ménages et des services tels que les restaurants et les gargotes. 82% des ménages consomment du bois

de chauffe et 17% de charbon de bois selon l'enquête EPM 2010 de l'INSTAT. La majeure partie des ménages utilise pour la cuisson des foyers métalliques traditionnels pour le charbon de bois et des trépieds traditionnels pour le bois de chauffe. Ces foyers de cuisson traditionnels ont des rendements relativement faibles. Des grands projets de diffusion de foyers de cuisson améliorés ont été entrepris par le Ministère en charge de l'Énergie, en partenariat avec la Banque Mondiale, dans les années 1990. Toutefois, les impacts des activités en termes de quantité de bois économisés et d'émissions de GES n'ont pas été évalués. Des textes réglementaires régissent le sous-secteur Bois énergie, mais leur mise en vigueur n'est pas effective.

-Les produits pétroliers sont totalement importés. En 2013, selon les bilans pétroliers de l'Office Malgache des Hydrocarbures (OMH)[3], Madagascar a importé 12 954 t de GPL ; 32 034 m³ de pétrole lampant ; 472 481 m³ de gasoil et 107 102 m³ de fuel oil. La facture d'importation de ces produits était très importante de l'ordre de 509 millions US\$ de sortie de devise. Il convient de noter qu'une partie importante, environ 75% du gasoil est utilisée pour le transport. Ils représentent entre 11,4% de l'offre en énergie en 2010. Le sous-secteur Pétroliers aval est libéralisé. 4 principaux opérateurs privés (Total, Vivo/Shell, Jovenna et Galana) assurent l'approvisionnement et la distribution des produits pétroliers tandis que 17 sociétés disposent des licences sur l'importation de lubrifiants [1]. Le contrôle et la surveillance du secteur hydrocarbures aval sont assurés par l'Office Malgache des Hydrocarbures (OMH), sous la tutelle du Ministère chargé des hydrocarbures aval et le Ministère chargé des Finances. La réforme du sous-secteur a apporté une amélioration de la fourniture des produits aux consommateurs. Les sous-secteurs du Transport et de la Production d'Électricité constituent les principaux consommateurs de produits pétroliers, en particulier en gasoil et fuel oil. L'enquête EPM de l'INSTAT 2010 a montré que 81,2 % des ménages malgaches utilisent le pétrole lampant comme source d'éclairage, et une petite partie l'utilise comme combustible pour la cuisson. Madagascar possède des ressources en pétrole, en particulier, la présence de pétrole lourd a été démontrée. Son exploitation à des fins commerciales va commencer incessamment [1].

-L'électricité présente une consommation de l'ordre de 2% de la consommation totale en énergie. Le taux d'accès à l'électricité est faible. Seulement 15% des ménages avaient accès à l'électricité en 2013, avec un taux d'accès de 4,75% en milieu rural et 51% en milieu urbain [3]. Une quantité d'énergie estimée à environ 2 200 GWh est utilisée à des fins d'éclairage et à d'autres usages d'électricité à Madagascar en 2013 [3]. Près de la moitié est consommée par les ménages, notamment pour l'éclairage, mais également pour des usages tels que les télévisions, radio, chargement de téléphone mobile, et d'autres utilisations (cuisson de riz, frigidaire...). 22% de l'électricité sont utilisés par le secteur industriel, et moins de 5% par le secteur commercial. Madagascar dispose d'un potentiel hydroélectrique énorme, de l'ordre de 7 800 MW, mais 162 MW (dont 23 MW par des privés et le reste par JIRAMA) seulement est exploité actuellement [3]. La principale contrainte freinant l'exploitation de cette ressource est le financement. La réforme du sous-secteur Electricité est régie par la Loi 98-032 du 22 janvier 1999. Des dispositifs et mécanismes pour le développement du sous-secteur et sécurisant les investissements du secteur privé, sont mis en place : Organisme de Régulation de l'Electricité (ORE), Agence de Développement de l'Electrification Rurale (ADER), le Fonds National de l'Electricité (FNE), le mécanisme d'ajustement de tarifs, la procédure d'octroi des contrats. La société d'Etat JIRAMA reste encore le principal fournisseur d'Electricité. La puissance installée totale de la JIRAMA est passée de 288 MW en 2005 à 484 MW en 2013 [3]. La production des centrales hydroélectriques représente environ 56% de la production totale d'électricité, ce taux était de 68% il y a 14 ans [3]. L'électrification rurale est confiée à l'ADER qui en assure la maîtrise d'œuvre déléguée et gère le Fonds National sur l'Electricité. La production d'énergie électrique en milieu rural est assurée par 27 opérateurs privés sélectionnés et appuyés par l'ADER [1].

-Les énergies renouvelables[1], entre autres l'énergie solaire, éolienne et biomasse, sont potentiellement importants, mais leur part dans l'offre en énergie reste encore marginale. L'utilisation de l'énergie ainsi produite se limite à l'éclairage public, la pré-électrification et la cuisson. Au titre de la Bioénergie, des initiatives ont été prises, sans encore prendre une grande envergure. La Bioénergie se trouve encore à un stade de démarrage. Une politique des énergies nouvelles et renouvelables a été élaborée, mais son application n'a pas été effective. Toutefois, en détachant l'importation des équipements afférents à l'énergie renouvelable, l'Etat a favorisé l'acquisition et l'utilisation surtout de l'énergie solaire.

2.2 POLITIQUES DE DEVELOPPEMENT

2.2.1 Politique de Développement National [8]

La crise politique de 2009 survenue à Madagascar a engendré une énorme dégradation économique, sociale et environnementale. La solution pour arrêter l'appauvrissement et redresser la situation socio-économique du pays a commencé en 2014. A cet effet, L'Etat a établi la Politique Générale de l'Etat (PGE) (Mai 2014) dont le principal objectif est d'instaurer un développement inclusif et durable fondé sur une croissance inclusive pour combattre la pauvreté.

Les axes prioritaires touchent :

- Le renforcement de la Gouvernance, de l'Etat de droit et l'instauration d'une justice équitable.
- La reprise économique à travers l'instauration d'un environnement social et politique stable, le maintien de la stabilité macroéconomique et le rétablissement d'un climat des affaires attrayant.
- L'élargissement de l'accès aux services sociaux de base de qualité.

Ces choix intègrent les dimensions genre, humanitaire, sociale, environnementale, territoriale et la nouvelle technologie. Les défis et orientations stratégiques liés plus directement avec l'EBT pour l'atténuation de GES dans les secteurs Energie et Industrie sont :

- Défi7. Reprise économique* : stimuler la production intérieure, stimuler la croissance économique ;
- Défi8. Création d'emplois* : créer un climat favorable à la reprise des activités et au relèvement de la capacité de production et d'embauche de manière à réduire le sous-emploi, appuyer la création de petites et moyennes entreprises (réduction des coûts de création et de fonctionnement).
- Défi11. Infrastructures, grands travaux, équipements* : construire des infrastructures : autoroutes, ports, aéroports, ouvrages d'arts, barrages hydrauliques, réseaux d'irrigations, et barrages hydroagricoles,
- Défi12. Efficacité énergétique* : promouvoir les énergies renouvelables et particulièrement l'hydraulique mais aussi le solaire et l'éolienne afin de réduire de manière durable le coût de l'énergie et la dépendance aux produits pétroliers.
- Défi16. Préservation de l'environnement* : adapter et atténuer les effets néfastes du changement climatique sur les politiques et stratégies de développement durable.
- Défi20. Développement du secteur privé* : faire du secteur privé un levier de la croissance économique et de la création d'emploi, promouvoir la culture entrepreneuriale, le principe de partenariat entre privés nationaux et à l'international, mettre en place le cadre institutionnel et juridique du partenariat public-privé, et assurer l'harmonisation et synergie des stratégies et actions des Partenaires Techniques et Financiers.

2.2.2 Politique de développement du secteur Energie [3]

Pour relever les défis et pour mettre en œuvre les actions relatives aux orientations stratégiques de la PGE, une Nouvelle Politique Energétique (NPE) a été établie en Août 2015. La vision de la NPE est fondée sur un principe fondamental de moindre coût et sur cinq objectifs qualitatifs: l'accès de tous à l'énergie moderne, l'abordabilité, la qualité et la fiabilité des services, la sécurité énergétique, et la durabilité. Le principe fondamental gouverne les politiques, stratégies, et l'analyse économique pour atteindre les objectifs, tandis que les objectifs établissent la vision pour le secteur. La NPE a pour vision, un secteur énergétique qui favorise la prospérité et le bien-être des citoyens, et promeuve le développement économique du pays à travers :

- Un approvisionnement de l'énergie au moindre coût,
- L'accès de tous à des services et produits modernes de qualité, en prenant notamment en considération les différences de besoin et d'accès des différents sexes dans une optique d'équité,
- Une production, exploitation, et consommation des ressources qui reposent sur des pratiques durables et qui garantissent la sécurité énergétique du pays.

La NPE considère les trois principales utilisations de l'énergie à Madagascar, à l'exclusion du transport :

- L'éclairage et les usages de l'électricité recourent toute utilisation d'énergie pour but d'éclairage, ou impliquant l'électricité comme source d'énergie, par les ménages, commerces, et industries malgaches

-La cuisson comprend les utilisations de combustibles (à l'exclusion de l'électricité, donc, mais comprenant la biomasse

ou des hydrocarbures) dans une fonction de cuisine domestique.

-Les utilisations thermiques commerciales et industrielles regroupent les utilisations de biomasse et d'hydrocarbures par le secteur privé dans le cadre d'une activité économique.

Les objectifs quantitatifs de la NPE se résument comme suit:

-Un taux d'accès à l'électricité à une source d'éclairage moderne de 70% en 2030, contre 15% actuellement.

-Un taux de pénétration des foyers de cuisson améliorés (à bois de chauffe ou charbon de bois, au GPL, à éthanol, à briquettes, ou autres alternatives au charbon et au bois) de 71% en 2030, contre moins de 4% actuellement.

-Un taux d'utilisation des meules de carbonisation avec un rendement supérieur à 20%, de 100% en 2030, contre un rendement de 10% à 12% actuellement ; et un programme de reboisement à vocation énergétique.

-Un taux de pénétration d'équipements à meilleure efficacité énergétique pour les utilisations thermiques commerciales et industrielles de 60% (soit 60% des commerces et industries mettront en œuvre des mesures d'efficacité énergétique d'ici 2030), alors que ces équipements sont largement absents actuellement.

2.2.3 Politique de développement du secteur Industrie

Le principal objectif de la politique industrielle est de continuer le processus de l'industrialisation rurale et régionale à travers un développement durable et inclusif et tout en respectant l'environnement pour un développement durable. Cet objectif est conforté par la PGE qui recommande l'appui à la création de petites et moyennes entreprises (réduction des coûts de création et de fonctionnement) dans le défi 8, et le développement du secteur privé dans le défi 20. Le secteur Industrie est également concerné par l'adaptation et l'atténuation des effets néfastes du changement climatique, stipulées au défi 16 de la PGE.

2.3 POLITIQUE NATIONALE DE LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le développement du pays nécessite l'évolution de certains secteurs d'activité. Pour parvenir à un développement durable, le pays a alors élaboré en 2011 la Politique Nationale de Lutte contre les Changements Climatiques (PNLCC). Cette politique sert, entre autres, de référence aux actions à entreprendre, elle entre également dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), du Protocole de Kyoto auxquelles Madagascar a adhéré respectivement en 1998 et en 2003. Cinq axes stratégiques figurent dans la PNLCC :

Axe 1 : Renforcement des actions d'adaptation au changement climatique tenant en compte des besoins réels du pays.

Axe 2 : Mise en œuvre des actions d'atténuation au profit du développement du pays.

Axe 3 : Intégration du changement climatique à tous les niveaux.

Axe 4 : Développement des instruments de financements pérennes.

Axe 5 : Promotion de la recherche, développement et transfert de technologie et gestion adaptative.

Par ailleurs, la dimension « Changements Climatiques » a été tenue en compte dans la Politique Générale de L'Etat (PGE) et le Plan National de Développement (PND) actuels du pays. A ce sujet, on peut citer une des orientations stratégiques du défi 16 de la PGE « Adapter et atténuer les effets néfastes du changement climatique sur les politiques et stratégie de développement durable » ; défi qui est mis en exergue à travers l'axe stratégique 5 du PND. Entre autres, les documents suivants ont été également élaborés par le département ministériel en charge de l'environnement :

-Stratégie nationale sur le mécanisme de Développement Propre (MDP) du protocole de Kyoto,

-Première, Deuxième et Troisième Communications Nationales du pays ; cette dernière est en cours de validation

-Programme d'Actions National d'Adaptation au changement climatique (PANA). Ce document donne les orientations de projets du PANA et qui couvrent les cinq secteurs prioritaires suivants : l'agriculture et l'élevage, la santé publique, les ressources en eau, les zones côtières et la foresterie.

-Actions Nationales d'Atténuation Appropriés (ANAA ou NAMA). Cinq secteurs ont été proposés pour la mise en œuvre du NAMA à savoir : Energie, Foresterie, Energie/Déchets, Agriculture et Transport.

Le pays a élaboré le document où figurent les Contributions Prévues Déterminées au niveau National (CPDN) dans le cadre de la préparation de la COP 21 de Paris. Ce document traduit les intentions de contribution du pays en faveur de la lutte contre les changements climatiques et comporte trois sections se rapportant à l'Atténuation, à l'Adaptation et aux Moyens de mise en œuvre. Concernant spécifiquement l'Atténuation, les grandes actions y afférentes identifiées touchent les quatre secteurs du GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat) ci-après : Energie, Agriculture, Utilisation des Terres Changement d'Affectation de Terres et Foresterie (UTCATF), et Déchets. L'intention de contribution du pays couvre la période 2021-2030 et vise à la fin de la période une diminution de 14% pour les émissions des **trois GES directs (Dioxyde de carbone (CO₂), Méthane (CH₄) et Hémioxyde d'azote (N₂O))** d'une part, et d'une augmentation de la capacité des puits du pays de 32%, d'autre part. Ces pourcentages se réfèrent au scénario « Business as usual ».

Il est à remarquer que Madagascar appartient au groupe de Pays non annexe I à la CCNUCC, et n'a pas encore d'obligation à réduire ses émissions de GES. Toutefois, si on considère la Nouvelle Politique Énergétique (NPE) couvrant la période 2015-2030, le pays a l'ambition de réussir sa transition énergétique passant d'un système énergétique qui utilise des énergies d'origine fossile vers un système énergétique au moindre coût, basé principalement sur les énergies renouvelables ; en matière de changement climatique, cette transition énergétique constitue une contribution à l'atténuation des émissions de GES.

2.4 SELECTIONS DE SECTEURS

L'EBT à Madagascar, se rapporte à l'atténuation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) pour les secteurs Energie et Industrie. Le choix des deux secteurs sont les résultats des différentes études menées, regroupés dans les documents de communication nationale sur le changement climatique de Madagascar, selon le contexte des Termes de référence pour le consultant dans le domaine de l'atténuation. En effet, l'analyse du profil national des émissions de GES et de l'évolution des émissions de GES directs donnés dans les 2 tableaux ci-dessous, contenus dans le document de préparation de la Troisième Communications Nationales (TCN) [7], justifie ce choix.

Le tableau 6 présente les catégories de sources d'émissions de GES directs des secteurs autres que le secteur Utilisation des Terres Changement d'Affectation des Terres et Foresterie (UTCATF) pour **l'année de référence 2005 de la TCN**. Il montre le niveau d'émission des GES de chaque catégorie de source et la hiérarchisation des émissions pour aboutir à l'identification des catégories de sources clés constituées par les secteurs **Agriculture** (Sols agricoles, Fermentation entérique, Gestion de fumier et Riziculture), **Energie** (Transport, Autres secteurs « combustion » et Industries manufacturières et construction) et **Procédés industriels** (Produits minéraux). Il est à signaler que, selon le GIEC, « une catégorie de source clé est une catégorie prioritaire dans le système d'inventaire national car son estimation a un effet significatif sur l'inventaire total des GES direct d'un pays pour ce qui est du niveau absolu des émissions, de la tendance des émissions ou des deux ».

Le tableau 7 correspond à l'évolution des émissions de GES directs entre 2001 et 2010. Les secteurs Agriculture et Energie sont les principaux secteurs émetteurs des GES directs car plus 95% du total des émissions proviennent de ces deux secteurs. Le secteur Agriculture émet plus de GES directs que celui de l'Energie car leurs émissions sont estimées respectivement à 84,57% et 12,72% de l'émission totale, pour l'année 2005. Les autres secteurs (Déchet et Procédés Industriels) ne représentent que 2,67%, les détails de leurs poids sont donnés au tableau 7.

Les Facteurs de conversion en Gg équivalent CO₂ (Gg éq.CO₂) des GES directs, donnés par le GIEC sont :

1Gg CO₂ = 1Gg éq. CO₂

1Gg CH₄ = 21Gg éq.CO₂

1Gg N₂O = 310Gg éq.CO₂

Tableau 6 : Emissions de GES directs des secteurs autres que l'UTCATF pour l'année de référence 2005 de la TCN

Secteur	Catégorie source	GES directs	Gg	Gg éq.CO ₂	Poids %	Poids cumulés %	Source clé
Agriculture	Sols agricoles	NO ₂	30,1	9331	33,75%	33,75%	OUI
Agriculture	Fermentation entérique	CH ₄	318,31	6684,51	24,18%	57,92%	OUI
Agriculture	Gestion du fumier	N ₂ O	14,96	4637,6	16,77%	74,70%	OUI
Agriculture	Riziculture	CH ₄	117,06	2458,26	8,89%	83,59%	OUI
Energie	Autres secteurs (Combustion)	CH ₄	63,58	1335,18	4,83%	88,42%	OUI
Energie	Transport	CO ₂	941,15	941,15	3,40%	91,82%	OUI
Energie	Industries manufacturière et construction	CO ₂	366,99	366,99	1,33%	93,15%	OUI
Procédés industriels	Produits minéraux	CO ₂	343,26	343,26	1,24%	94,39%	OUI
Déchet	Mise en décharge des déchets solides	CH ₄	13,98	293,58	1,06%	95,45%	
Energie	Industries énergétiques	CO ₂	275,26	275,26	1,00%	96,45%	
Energie	Autres secteurs(Combustion)	NO ₂	0,82	254,2	0,92%	97,37%	
Agriculture	Gestion du fumier	CH ₄	11,83	248,43	0,90%	98,27%	
Energie	Industries énergétiques	NO ₂	0,46	142,6	0,52%	98,78%	
Energie	Autres secteurs (Combustion)	CO ₂	114,56	114,56	0,41%	99,20%	
Déchet	Traitement des eaux usées	NO ₂	0,24	74,4	0,27%	99,46%	
Energie	Industries énergétiques	CH ₄	3,37	70,77	0,26%	99,72%	
Déchet	Traitement des eaux usées	CH ₄	1,33	27,93	0,10%	99,82%	
Agriculture	Brûlage dirigé de la savane	CH ₄	0,76	15,96	0,06%	99,88%	
Energie	Industries manufacturière et construction	NO ₂	0,04	12,4	0,04%	99,92%	
Energie	Industries manufacturière et construction	CH ₄	0,44	9,24	0,03%	99,96%	
Agriculture	Brûlage sur place des résidus agricoles	CH ₄	0,15	3,15	0,01%	99,97%	
Energie	Transport	NO ₂	0,01	3,1	0,01%	99,98%	
Agriculture	Brûlage dirigé de la savane	NO ₂	0,01	3,1	0,01%	99,99%	
Energie	Transport	CH ₄	0,11	2,31	0,01%	100,00%	
TOTAL				27648,94	100,00%		

Source : Draft de la Troisième Communication Nationale (en cours)

Tableau 7 : Evolution des émissions de GES directs entre 2001 et 2010 en Gg équ.CO2

Secteur	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Agriculture	19615.25	20269.77	20735.15	24680.83	23382.01	23067.49	22913.91	23182.76	23464.04	23726.67
%	85.04	88.12	86.77	89.18	84.57	83.19	82.72	85.56	85.62	85.41
Energie	2591.31	2030.82	2446.7	2564.69	3527.76	3497.87	3623.81	2757.14	2718.29	2990.6
%	11.23	8.83	10.24	9.27	12.76	12.61	13.08	10.18	9.92	10.8
Autres secteurs	859.17	700.79	714.20	428.61	739.17	1162.79	1162.39	1153.88	1222.99	1053.33
%	3.72	3.05	2.99	1.55	2.67	4.19	4.20	4.26	4.46	3.79
Total	23065.73	23001.38	23896.05	27674.13	27648.94	27728.15	27700.11	27093.78	27405.32	27770.55

Source : Draft de la Troisième Communication Nationale

Le secteur Agriculture n'a pas été retenu pour l'EBT relative à l'atténuation de GES, car il a été préférable de l'intégrer dans l'EBT adaptation au changement climatique avec le secteur Eau. Les secteurs Energie et Procédés industriels appartiennent aux catégories de sources clés comme étant les catégories de sources les plus grandes émettrices de GES dont l'atténuation devrait être intégrée dans les actions les plus prioritaires. Ils sont donc choisis pour l'EBT pour l'atténuation des GES. Ce choix est conforme aux défis et orientations stratégiques de l'ensemble Politique Générale de l'Etat, Politique Nationale de Lutte contre les Changements Climatiques, Nouvelle Politique Energétique et Politique de Développement Industriel, du pays.

La catégorie de source « Transport » du secteur Energie est écartée. En effet, malgré la part relativement importante du sous-secteur transport dans le bilan d'émission de GES directs et son appartenance aux catégories de sources clés, il n'a pas été considéré dans la NPE. Cette décision est justifiée, d'après des membres des parties prenantes ayant participé aux réunions préparatoires de la NPE, par le fait que les actions relatives à la réduction de la consommation d'énergie dans le Transport telles que le recours au transport en commun, transport ferroviaire, amélioration du système routiers tant urbains qu'interurbains et ruraux, aux biocarburants, requiert de programmes multisectoriels avec d'énormes budgets et de maîtrises d'ouvrages et d'œuvre qui relèvent des autres départements tels que les Ministères en charge de l'aménagement des territoires, des travaux publics, du transport, de l'agriculture. La préparation et la mise en œuvre de telles actions nécessitent une forte coordination de niveau gouvernemental.

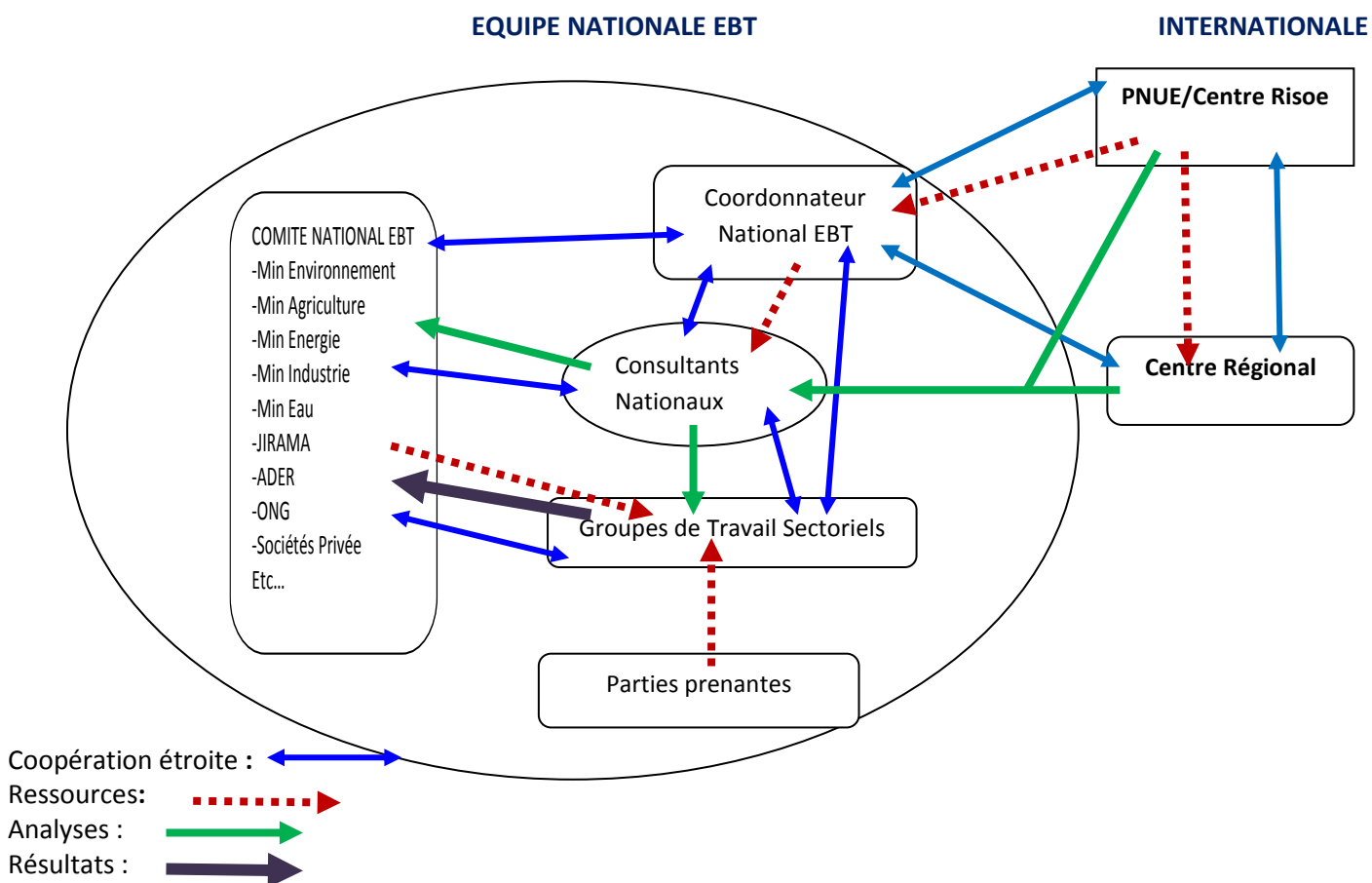
La catégorie de source « Industrie manufacturière et construction » du secteur Energie ne sera pas également analysée. Les utilisations thermiques commerciales et industrielles (combustion de biomasses et hydrocarbures) font parties des 3 utilisations considérées dans la NPE. Toutefois, les études réalisées pour l'évaluation des économies d'énergie dans l'Industrie lors de la préparation de cette nouvelle politique sont très sommaires, car selon le rapport y correspondant, il existe très peu d'informations sur l'utilisation d'énergie thermique dans les industries à Madagascar. Aussi, seul le secteur « Procédés industriels » qui fait partie des sources clés selon le tableau 6, est retenu pour faire l'objet de l'EBT d'atténuation de GES.

En conséquence, l'EBT relative à l'atténuation de GES intervient dans le secteur Procédés Industriels et le secteur Energie avec les sous-secteurs Industrie Energétique (centrales de production d'électricité et les meules de production de charbon de bois), les « Autres secteurs » composés des ménages, administration, commerce, service (gargotes, cuisines collectifs,..) et les sources stationnaire et mobile de l'agriculture, la foresterie et la pêche [1].

CHAPITRE 3 : ARRANGEMENT INSTITUTIONNEL DE L'EBT ET IMPLICATION DES PARTIES PRENANTES

Une organisation efficace est indispensable pour la conduite et la réussite de l'EBT. Cette organisation requiert une structure institutionnelle appropriée à la mise en œuvre des 3 étapes du projet. Les principaux éléments de la structure sont présentés sur la figure 1ci-dessous.

Figure 1 : Schéma de la structure institutionnelle



3.1 EQUIPE NATIONALE EBT

L'Équipe Nationale EBT est le principal organe de décision du projet EBT, elle est présidée par le Directeur Général de l'Environnement du Ministère en charge de l'environnement en l'occurrence le Ministère de l'Environnement de l'Écologie de la Mer et des Forêts. Cette équipe est composée du Comité National EBT et d'un groupe plus large comprenant les Groupes de Travail Sectoriels/Technologiques et les experts/consultants nationaux qui les assisteront. Le Coordonnateur EBT étant le point focal du projet, joue un rôle clé et sert de lien entre les différents groupes pour assurer le bon fonctionnement de leurs travaux.

3.1.1 Coordonnateur EBT

Le Coordonnateur EBT est chargé d'assurer le rôle de point focal pour le projet, de coordonner les travaux des différents groupes et de gérer le processus global de l'EBT. Il donnera l'orientation et encadrera le projet global, en facilitant la communication avec les membres du Comité EBT National, les consultants nationaux et les groupes de parties prenantes, ainsi que la formation de réseaux, la compilation des informations, la coordination et la communication de tous les résultats des travaux.

3.1.2 Comité National EBT

Le Comité National EBT est le groupe central de décideurs et comprend des représentants chargés de la mise en œuvre des politiques issus de ministères pertinents, ou d'autres représentants familiarisés avec les objectifs de développement nationaux, des politiques sectorielles, la science du changement climatique, les impacts potentiels du changement climatique pour le pays, et les besoins en matière d'adaptation. La liste des entités membres du Comité National EBT est donnée ci-dessous. Le principal rôle du Comité National EBT consiste à superviser le projet en collaboration avec le coordinateur EBT, ses responsabilités spécifiques sont les suivantes :

- Identifier les priorités nationales de développement, ainsi que les secteurs prioritaires.

-Approuver les technologies et les stratégies d'atténuation et d'adaptation recommandées par les Groupes de Travail Sectoriels.

-Approuver le Plan d'Action Technologique Sectoriel (une feuille de route en termes de politiques qui seront requises pour éliminer les obstacles et créer un environnement favorable) et élaborer un Plan d'Action Technologique National transversal pour l'atténuation et l'adaptation.

LISTE DES ENTITES MEMBRES DU COMITE NATIONAL EBT [5] :

- Direction Générale du Budget
- Direction Générale de l'Economie
- Direction Générale de l'Energie
- Direction Générale Technique (Ministère de l'Agriculture)
- Direction Générale de l'Industrie
- Direction Générale de l'Eau
- Direction Générale de la JIRAMA
- Direction Générale du CNRIT
- Direction Générale du CNRE
- Direction Générale de la FOFIFA
- Secrétariat Exécutif de l'ADER
- Institut pour la Maîtrise de l'Energie (Département Physique-Université d'Antananarivo)

3.1.3 Consultants/experts nationaux

Les consultants sont des experts nationaux en atténuation qui travaillent en étroite collaboration avec les Groupes de Travail Sectoriels et le Comité National EBT, sous la supervision du Coordinateur EBT. D'une manière générale, la tâche des consultants nationaux consiste à soutenir tout le processus EBT. Dans cette première étape de l'EBT, ils ont fourni les services d'assistance technique liés aux processus nécessaires pour mener l'identification et la hiérarchisation des technologies d'atténuation via un processus participatif impliquant les parties prenantes concernées. Les consultants nationaux ont aidé le Coordinateur EBT à appliquer une approche participative au processus EBT en facilitant la communication au sein de l'équipe nationale EBT, la sensibilisation des parties prenantes, la formation de réseaux, la coordination et la diffusion des résultats.

3.1.4 Groupes de Travail Sectoriels

Le Groupe de Travail Sectoriel Energie (GTSE) a été constitué suite à des analyses issues des rencontres avec les responsables d'institutions/organismes, la liste des personnes rencontrées est donnée en annexe 2. Le GTSE dans le cadre de cette Etape1 de l'EBT, est composé d'experts dont les noms sont donnés ci-après et leurs coordonnées en annexe 2. Il est signalé que les membres du GTSE pourraient être revus selon les étapes et les circonstances dans la mise en œuvre de l'EBT.

N°	Nom et Prénom	Fonction	Institution/Organisme
1	RAMILIARISOA Herivelo	Directeur de Développement des Energies Renouvelables	Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures
2	Augustin RANDRIANARIVONY	Directeur des Energies Alternatives	Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures
3	RAKOTOFIRINGA J Marc	Chef de Service/DEA	Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures
4	ANDRIANARIVONY Rina	Cadre supérieur	WWF
5	RANDRIAMANALINA B Solo Thierry	Ingénieur	WWF
6	RATSARAEFADAHY Milson	Chef de Service Etudes	ADER
7	RATSIRANTO Vololonirina	Chef de Service	Direction Equipement Electricité/JIRAMA
8	Faly H ANDRIAMASITENA	Ingénieur	Direction Equipement Electricité/JIRAMA
9	LAIVAO Michel Omer	Coordonnateur National EBT	Ministère de l'Environnement de l'Ecologie de la Mer et des Forêts
10	ANDRIAMANANTSOA Bertin	Consultant Atténuation Energie	
11	RAOBELINA Solofoniaina	Consultant EBT Energie	

Les membres du Groupe de Travail Sectoriel Industrie (GTSI) dont les coordonnées sont précisées en annexe 2, sont les suivants :

N°	Nom et Prénom	Institution/Organisme
1	RAMAMONJISOA Mamitiana	Centre National de Recherche Industrielle et Technologique (CNRIT)
2	ANDRIAMANALINA William	Ecole Supérieure Polytechnique-Université d'Antananarivo(ESPA)
3	FARALAHY Dimitri	Ministère de l'Industrie et Développement du Secteur Privé (MIDSP)
4	Edmond TEODILE	Ministère de l'Industrie et Développement du Secteur Privé (MIDSP)
5	ROBINIRINA Aubert	Ordre des Ingénieurs de Madagascar (OIM)
6	RAZAFIMIHARY Mejamirado	Syndicat des Industries de Madagascar (SIM)
7	LAIVAO Omer Michel	Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie, de la Mer et des Forêts
8	RAVALISON François	Consultant National en Evaluation des Besoins en Technologie

3.2 PROCESSUS DE DIALOGUE AVEC LES PARTIES PRENANTES

Les processus de dialogue avec les parties prenantes des secteurs Energie et Industrie, dans le cadre de cette étape1 « Identification et Hiérarchisation des Technologies » de l'EBT, se présentent comme suit.

3.2.1 Processus de dialogue avec les parties prenantes du secteur Energie

L'identification des parties prenantes a commencé par les réunions et entretiens avec le Point Focal de l'EBT et des hauts responsables du Ministère chargé de l'Energie.

Des réunions avec des hauts responsables de différents institutions/organismes se sont tenues par la suite, le tableau contenant la liste des personnes rencontrées, leurs coordonnées et les dates, est joint en annexe 2. L'objet de ces réunions consistait à : la présentation du projet EBT, l'explication de la mission du consultant, l'échange d'informations sur l'atténuation des émissions de GES dans les secteur Energie, la constitution d'un GTSE et la préparation et la fixation de la date de la première réunion du Groupe de travail dont l'objet serait la présentation de l'EBT, les options technologiques et l'Analyse Multicritère (AMC). Le consultant a remis à chaque interlocuteur au cours de chaque réunion, une proposition de liste de technologies d'atténuation de GES pour le secteur et lui a transmis par la suite des propositions de fiches technologiques relatives aux propositions de technologies, et un exemple de catégories de critères et de critères pour l'AMC, en vue de la préparation de la première réunion.

La première réunion du GTSE s'est tenue une semaine après la dernière de la série de réunions avec des responsables d'institutions/organismes, elle consistait comme prévu à : la présentation du projet EBT par le point focal EBT, la présentation de propositions de technologies par les experts et la présentation et le lancement de l'AMC en vue de la hiérarchisation des technologies. Les membres du GTSE ont proposé aux experts de : répartir les technologies proposées entre des groupes de technologies, et proposer des catégories de critères et les critères d'évaluation des technologies avec notes explicatives, et proposer des pondérations des catégories de critères et poids des critères.

La deuxième réunion a commencé par la présentation par les experts : des propositions de groupes de technologies, catégories de critères et critères pour l'AMC avec propositions de pondérations et de poids, et une proposition de tableau de notation des technologies pour chaque groupe de technologies. Cette réunion a permis aux membres du GTSE: d'introduire d'autres technologies, d'améliorer les fiches technologiques, de retenir 4 groupes de technologies, de statuer sur les catégories de critères et les critères de notation pour un groupe de technologies et de finaliser le tableau de notation y correspondant, et d'attribuer les notations de chaque technologie par rapport aux critères, après discussions et justifications ayant abouties à des notes consensuelles, sans tenir compte dans un premier temps des pondérations des catégories de critères et des poids des critères. L'outil utilisé pour ces notations et mis à disposition de chaque membre, est le « Tableau de notations des technologies par rapport aux critères » que nous avons couplé avec le « Tableau de pondération des critères » et le modèle Excel MCA Template v3 donné par le projet pour l'Analyse Multicritère (AMC). Les notations de toutes les technologies ainsi que les pondérations de catégories de critères et les poids des critères proposés par les experts et acceptés par le GTSE, ont été introduits dans l'outil. Les résultats des calculs ont donné une note pondérée finale de chaque technologie et une

hiérarchisation des technologies. Pour, les 3 groupes de technologiques restant, les membres ont décidé qu'ils seront évalués avec les mêmes catégories de critères que le premier groupe et que les experts leur transmettront des propositions de critères avec un tableau de notations pour chaque groupe de technologiques, et en retour, ils feront parvenir aux experts leurs propositions de notations en vue de la prochaine réunion.

La troisième réunion a été consacrée aux 3 groupes restant, pour : la fixation du nombre de technologies à évaluer dans chaque groupe d'options, l'adoption des critères de notations des technologies, la présentation des notations de chaque technologie par rapport aux critères par chaque membre suivie de débats pour arriver à des notations consensuelles finales. Les experts ont présenté des propositions de pondérations des catégories de critères et des poids des critères qui ont été validées par le GTSE. Les membres ont demandé aux experts de procéder aux calculs avec les notations attribuées et les pondérations et poids validés et leur transmettre les résultats pour observations en vue d'obtenir les notations finales et la hiérarchisation des technologies pour chacun des 4 groupes de technologies.

Après hiérarchisation des technologies dans chacun des 4 groupes de technologies et suite à la recommandation de réduire à 3 le nombre de technologies sélectionnée, en vue de réduire le volume de travail du consultant pour les prochaines étapes de l'EBT, le GTSE a décidé d'une manière consensuelle, de retenir 3 technologies.

3.2.2 Processus de dialogue avec les parties prenantes du secteur Industrie

La première identification des parties prenantes a été effectuée au cours des entretiens avec le Point Focal de l'EBT et des responsables du Ministère chargé de l'Industrie. Des réunions avec des hauts responsables de différents institutions/organismes tels que le Ministère de l'Industrie et Développement du Secteur Privé, le Syndicat de l'Industrie et le Centre National de Recherche Industrielle et Technologique ont été organisées. Elles ont eu pour objet : la présentation du projet EBT, l'explication de sa mission par le consultant ; l'échange d'informations sur le changement climatique et l'atténuation des émissions de GES dans le secteur Industrie ; et la constitution d'un Groupe Technique du Secteur Industrie (GTSI). Le tableau contenant la liste des personnes rencontrées et leurs coordonnées, est en annexe 2 (Secteur Industrie – Personnes rencontrées). La méthodologie de travail avec le GTSI, est explicitée à la section 5.4.

CHAPITRE 4 : PRIORISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR ENERGIE

L'identification et la priorisation des Technologies d'atténuation des émissions de GES du secteur Energie, ont été menées dans le cadre du contexte national et selon l'arrangement institutionnel et l'implication des parties prenantes présentés successivement aux chapitres 2 et 3. Le présent chapitre développe les 3 sections suivantes :

- Emission de GES et technologies existantes pour le secteur Energie.
- Identification des Technologies d'atténuation des GES.
- Critères et processus d'hiérarchisation des Technologies pour le secteur Energie.

4.1 EMISSIONS DE GES ET TECHNOLOGIES EXISTANTES POUR LE SECTEUR ENERGIE

4.1.1 Emission de GES

Les émissions de GES du secteur Energie en 2005, année de référence pour l'inventaire de GES de la TCN, sont données dans le tableau 8 suivant [1]:

Tableau 8 : Emissions de GES du secteur Energie en 2005 en Gg

CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVMN	SO ₂
1 697,96	67,49	1,33	45,43	1 296,47	135,91	51,91

Source : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – 2014

Les quantités et poids des émissions de GES directs sont donnés dans le tableau suivant[1].

Tableau 9 : Emission de GES directs du secteur Energie en 2005

GES DIRECTS	QUANTITE (GgEqCO ₂)	POIDS (%)
CO ₂	1 697,96	48,14
CH ₄	1 417,19	40,18
N ₂ O	411,76	11,67
TOTAL	3 526,91	100

Source : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – 2014

La répartition des émissions de GES directs par sous-secteur se présente comme suit [1] :

Tableau 10 : Répartition des émissions de GES directs du secteur Energie

SOUS SECTEUR	QUANTITE (GgEqCO ₂)	POIDS (%)
Résidentiel	1315,64	37,30
Transport	946	26,82
Industries Energétiques	486,27	13,79
Industrie Manufacturière et Construction	389,9	11,05
Commerce, Institutionnel et Services	380,04	10,77
Agriculture, Foresterie et Pêche	9,07	0,27
TOTAL	3 526,91	100

Source : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – 2014

L'évolution des émissions de GES de 2005 à 2010 est présentée sur les graphiques suivant.

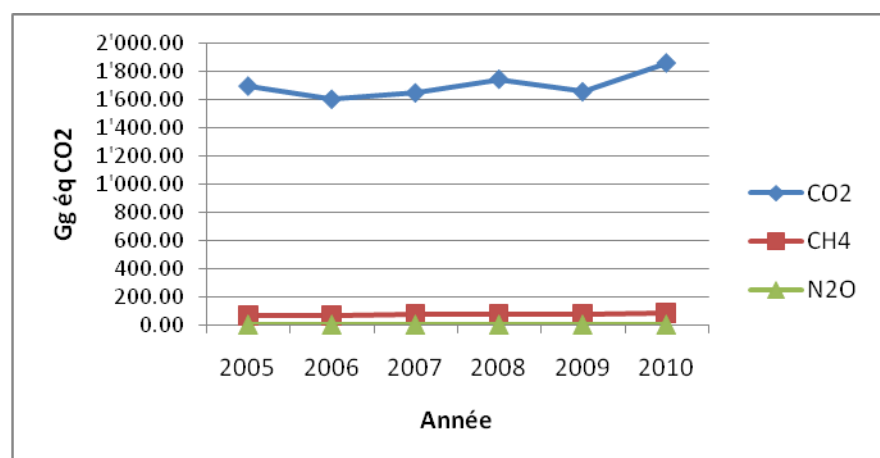
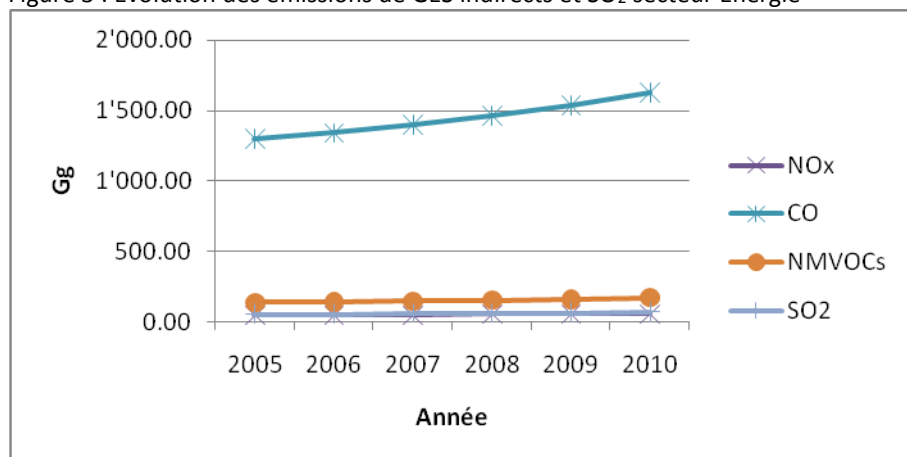


Figure2 : Evolution des émissions de GES directs secteur Energie

Source : Draft de la Troisième Communication Nationale

Figure 3 : Evolution des émissions de GES indirects et SO₂ secteur Energie



Source : Draft de la Troisième Communication Nationale

Le tableau suivant donne les émissions des GES de 2005 à 2010 :

Tableau 11 : évolution des émissions des GES du secteur Energie de 2005 à 2010, en Gg

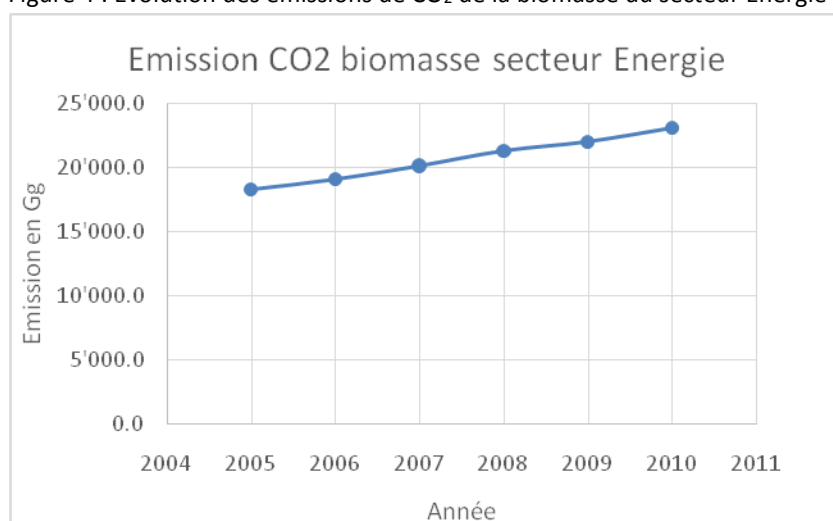
Types de GAZ	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Evol. 2005 à 2010
CO2	1698,2	1604,6	1649,6	1746,7	1657,6	1862,3	9,7%
CH4	67,5	69,8	72,5	75,7	79,9	85,1	26,1%
N2O	1,328	1,384	1,458	1,541	1,589	1,669	25,6%
NOx	45,4	46,5	48,9	51,6	52,2	54,9	20,8%
CO	1296,5	1339,5	1397,6	1462,6	1534,9	1629,0	25,6%
COVM	135,9	139,6	144,9	150,6	159,1	169,7	24,9%
SO2	51,9	53,9	56,6	59,8	61,7	65,1	25,3%

Source : Draft de la Troisième Communication Nationale

De 2005 à 2010, l'évolution du CO₂ est de l'ordre de 10%, du NO_x de 21% et des autres gaz de l'ordre de 25%.

L'évolution de l'émission de CO₂ par la combustion de la biomasse pour le secteur Energie entre 2005 et 2010 est visualisée sur la figure ci-après [1] :

Figure 4 : Evolution des émissions de CO₂ de la biomasse du secteur Energie



Source : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – 2014

4.1.2 Principales technologies utilisées dans le secteur Energie

Pour la cuisson[2], une grande proportion des ménages dépend encore des cuiseurs traditionnels métalliques « fatapera gasy » avec une proportion de 36 % pour le charbon de bois tandis que pour le bois de chauffe, le recours au trépied « toko » de toute sorte reste la pratique la plus courante. Une faible adoption des foyers de cuisson améliorés est constatée. En 2010, 81,2% des ménages dépendent des lampes à pétrole pour l'éclairage[2] 12,3% utilisent l'électricité des réseaux, 3,8% les bougies, 1% les petits groupes électrogènes. La production d'électricité[2] dans les grands centres exploités par JIRAMA, est assurée par des centrales hydroélectriques et des centrales thermiques diesels fonctionnant au fuel ou au gasoil. Pour l'électrification rurale, les petits centres isolés exploités par des sociétés privées, utilise pour la production, des microcentrales thermiques diesels et à gazogènes, hydroélectriques, éoliennes, solaires.

4.2 CONTEXTE DE DECISION

Le tableau 4 du chapitre 2 « contexte national » ci-dessus, montre que la consommation totale d'énergie a été estimée à 4000 ktep en 2010. Le pays est grand consommateur de bois énergie (84% de la consommation totale) utilisé principalement pour la cuisson dans les ménages. Cette pratique engendre un problème aigu de déforestation qui détruit les forêts et réduit ainsi la séquestration de GES.

Les produits pétroliers occupant 12% du bilan énergétique, sont totalement importés, la sortie de devises y afférente atteignait 509 millions US\$ en 2013, le Transport et la Production d'électricité sont leurs principaux consommateurs, 80% des ménages utilisent le pétrole lampant pour l'éclairage. Le sous-secteur Pétrolier aval est libéralisé : l'approvisionnement, le transport, le stockage et la distribution sont assurés par les privés ; la régulation relève de l'OMH.

L'électricité n'atteint que 2% du bilan énergétique, le taux d'électrification est très faible (15%), le principal fournisseur d'électricité est la société d'Etat JIRAMA. La réforme du sous-secteur Electricité a permis l'entrée des privés dans la vente d'énergie à la JIRAMA dans les grands et moyens centres, et dans la production et distribution dans les petits centres isolés ruraux. La régulation est confiée à l'ORE et le développement de l'électrification rurale par l'ADER qui gère le Fonds National d'Electricité. La part des hydrocarbures dans la production d'électricité a connu une forte augmentation des dernières années, et a entraîné une importante hausse du coût du kWh, des délestages et une croissance des émissions de GES ; celle de l'hydroélectricité a donc régressée, alors que le coût du kWh de cette technologie non polluante, est 2 à 4 fois moins cher que celui des centrales diesels, respectivement dans les petits centres isolés ruraux et les moyens et grands centres urbains.

Les potentiels en énergie renouvelables sont importants : 7800 MW de potentiel hydroélectrique identifiés, dont 162 MW (2%) exploités ; potentiel éolien estimé à 2000 MW, les côtes Nord, Est et Sud du pays présentent de sites intéressants, le coût du kWh est le moins cher après l'hydroélectrique, pour les grands centres ; potentiel solaire estimé à 750 W/m² avec 2 800 heures d'ensoleillement annuel, énergie incidente moyenne de 2000 kWh/m²/an, sites les plus intéressants se situent sur la côte Ouest avec un niveau de rayonnement de l'ordre de 5 500 kWh/m²/an ; les principales biomasses exploitées à des fins énergétiques sont les balles de riz et les bagasses.

Concernant l'émission de GES, l'inventaire pour l'année 2010 donne 27 770 Gg éq CO₂ d'émissions de GES directs (tableau 7 ci-dessus). Le secteur Energie contribue à 11% de ces émissions étant non négligeables, et devrait faire l'objet d'une réduction. Comme il est dit plus haut, les forêts devraient être également protégées. Des projets ont été entrepris pour ce faire, mais les résultats n'arrivent pas à satisfaire les objectifs fixés.

Des options d'atténuation des émissions de GES et de protection de puits ont été proposées dans des documents et en particulier, dans les communications nationales. Les objectifs des politiques de développement national, citées au chapitre 2 précédent, considèrent et visent la concrétisation de ces propositions. En particulier, la NPE recommande un approvisionnement au moindre coût basé principalement sur les énergies renouvelables, et le recours à la maîtrise de l'énergie (utilisation rationnelle et économie d'énergie) dans les 3 principales utilisations de l'énergie (Transport non inclus) : éclairage et (autres) usages de l'électricité, cuisson surtout dans les ménages, et utilisations thermiques de la biomasse et des hydrocarbures dans les commerces et industries. Les budget-programme des actions relatives à la mise en œuvre de ces recommandations ont été établis. Les actions indiquées dans la NPE sont toutes pertinentes, mais leur réalisation demande beaucoup de temps et d'énormes budgets. Une priorisation s'avère en conséquence, nécessaire. Pour les actions sélectionnées, une analyse poussée des obstacles entravant leur déroulement et bonne fin, suivie de l'identification des cadres propices pour surmonter les obstacles et de l'établissement des budget-programme y correspondant, devraient être effectués, en vue de faciliter la création des partenariats techniques et financiers pour l'effectivité de leur réalisation.

Le présent projet d'EBT, compte tenu de ses objectifs et activités à développer, apporterait une contribution significative à la satisfaction de ces exigences. Tel est le contexte sur lequel a été conduite la sélection des technologies respectueuses de l'environnement pour l'atténuation des émissions de GES du secteur Energie.

4.3 IDENTIFICATION DE TECHNOLOGIES D'ATTENUATION D'EMISSION DE GES

4.3.1 Documents et sites web consultés

La première liste de technologies d'atténuation de GES et les premières fiches technologiques y afférentes ont été proposées par le Consultant. Elles ont été identifiées à partir des études des documents spécifiant les défis de l'ensemble des politiques de développement national et les orientations stratégiques en vue de l'atténuation des GES du secteur Energie, d'une part, et à partir des travaux web-graphiques pour s'acquérir des informations sur les technologies sur le plan régional et international, d'autre part. Les documents et sites web consultés sont les suivants :

Documents consultés :

- 1- Politique Générale de l'Etat – Programme de mise en œuvre –2015
- 2- Plan National de Développement
- 3- Politique Nationale de Lutte contre le Changement Climatique
- 4- Stratégie Nationale sur le MDP
- 5- Loi N°2015 – 003 Charte de l'Environnement
- 6- Diagnostic du Secteur Energie – WWF – Ministère de l'Energie –2012
- 7- Document de l'Etude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures – Août 2015
- 8- NAMA
- 9- Documents nationaux sectoriels d'inventaire et d'atténuation d'émission de gaz à effet de serre

Sites web consultés :

- 1- Climatetechwiki
- 2- Sites web contenant : des rapports EBT atténuation de Côte d'Ivoire, Sénégal, Congo, et des publications sur les technologies d'atténuation de GES secteur énergie

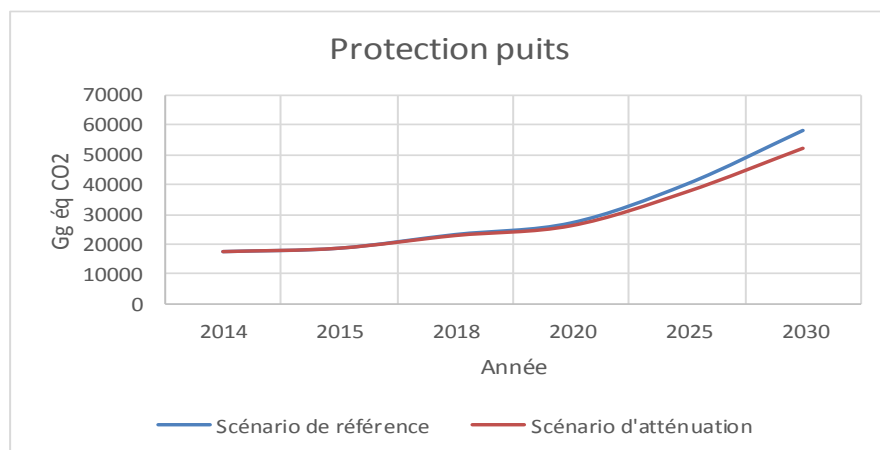
4.3.2 Aperçu des options d'atténuation de GES

Des options technologiques d'atténuation ont été proposées en 2014 [1] dans le cadre de la préparation de la troisième communication nationale :

4.3.2.1 Protection de puits (forêts)

Les 3 options suivantes ont été identifiées pour la protection des puits étant la protection des forêts pour notre cas : remplacement des foyers de cuisson à charbon de bois par des foyers de cuisson à éthanol ; diffusion de meules de carbonisation améliorées ; et diffusion de foyers de cuisson améliorés utilisant le bois de feu. Les scénarii de référence et d'atténuation de chacune de ces 3 options sont donnés dans le rapport « Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie –2014 » [1] que nous avons établi. La somme des émissions des GES directs des scénarii de référence des 3 options, donne le scénario de référence de la protection des puits ; et la somme des émissions des GES directs des scénarii d'atténuation des 3 options produit le scénario d'atténuation de la protection des puits. La figure ci-dessous montre l'atténuation engendrée par ces 3 mesures.

Figure 5 : GES directs émis et évités pour la protection de puits

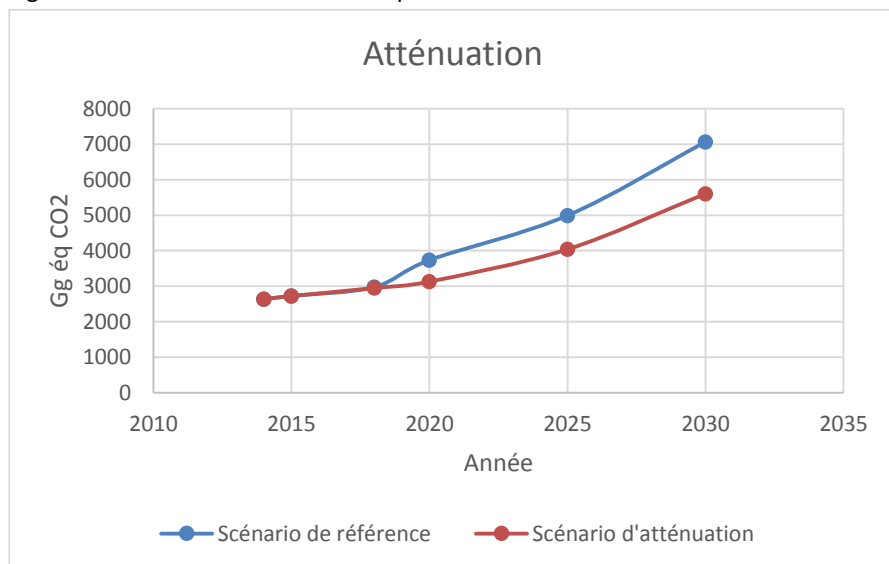


Source : Nos calculs à partir des données du rapport « Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie, 2014 »

4.3.2.2 Réduction des émissions

Les 6 options d'atténuation suivantes ont été évaluées : aménagement d'une grande centrale hydroélectrique ; remplacement des réchauds à pétrole par des Foyers Ethanol ; remplacement des réchauds à gaz (GPL) par des Foyers Ethanol ; diffusion des groupes électrogène à huile végétale brute ; biocarburants B5 ; et biocarburants E5. Le rapport « Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie –2014 » [1] contient des résultats des calculs des scénarii de référence et d'atténuation de chacune de ces 6 options. La somme des émissions des GES directs des scénarii de référence des 6 options, donne le scénario de référence de l'atténuation ; et la somme des émissions des GES directs des scénarii d'atténuation des 6 options donne le scénario d'atténuation. L'atténuation obtenue est montrée sur la figure suivante.

Figure 6 : GES directs émis et évités pour la réduction des émissions



Source : Nos calculs à partir des données du rapport « Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – Juillet 2014 »

La diffusion des lampes LEDs a été identifiée comme une option d'atténuation lors de l'analyse d'atténuation des GES du Secteur Energie traduite dans le rapport de Juillet 2014 mentionné ci-dessus, mais l'émission de GES évitée n'a pas pu être évaluée à cause d'insuffisance de données (retard d'acquisition), selon ce rapport.

4.3.3 Listes des technologies

La liste de technologies initiale, préparée et proposée par le consultant est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Liste initiale des technologies

Fiche	Technologies	Echelle	Disponibilité
Fiche1	Hydroélectricité	Grande et petite	Moyen et court terme
Fiche2	Biomasse Combustion	Petite	Court terme
Fiche3	Cycle Combiné Gaz naturel	Grande	Moyen terme
Fiche4	Solaire Photovoltaïque	Grande et petite	Court terme
Fiche5	Eolienne on shore	Grande et petite	Court terme
Fiche6	Groupe électrogène huile végétale brute	Petite	Court terme
Fiche7	Biodiesel	Grande	Court terme
Fiche8	Bioéthanol	Grande	Court terme
Fiche9	Foyer de cuisson à éthanol	Petite	Court terme
Fiche10	Foyer de cuisson amélioré à bois	Petite	Court terme
Fiche11	Four de carbonisation amélioré	Petite	Court terme
Fiche12	Lanterne Solaire Photovoltaïque	Petite	Court terme
Fiche13	Lampe LED	Petite	Court terme
Fiche14	Moteur à Injection Directe	Petite	Court terme

Suite aux recommandations du GTSE de répartir les technologies en groupes de technologies, en vue d'un meilleur cadrage de la hiérarchisation, lors de la première réunion, le consultant a établi et proposé la liste initiale de groupes de technologies suivante :

Tableau 13 : Liste initiale de groupes de technologies

GRUPE DE TECHNOLOGIES	TECHNOLOGIES
1-Production d'électricité dans les grands centres	-Hydroélectricité grande échelle
	-Cycle Combiné Gaz Naturel grande échelle
	-Solaire Photovoltaïque grande échelle
	-Eolienne on shore grande échelle
2-Production d'électricité dans les petits centres	-Hydroélectricité petite échelle
	-Biomasse Combustion-Gazéification et Moteur à gaz petite échelle
	-Eolienne on shore petite échelle
	-Solaire Photovoltaïque petite échelle
3-Economie de Bois et Promotion d'Energie Alternative	-Groupe électrogène à huile végétale brute petite échelle
	-Foyer de cuisson à éthanol
4-Eclairage	-Foyer de cuisson amélioré à bois et charbon de bois
	-Four de carbonisation amélioré
5-Economie d'énergie dans le transport	-Lanterne Solaire Photovoltaïque
	-Lampe LED
	-Bougie de jatropha
5-Economie d'énergie dans le transport	-Biodiesel
	-Bioéthanol
	-Moteur à injection directe

La détermination de ces propositions de groupes de technologies par le consultant a été effectuée à partir de l'analyse, en particulier, de la NPE et des documents de préparation de la TCN. Par rapport à la liste de technologies initiale du tableau 12, le nombre de technologies a passé de 14 à 19 technologies. Les raisons de cette augmentation

sont : la séparation de grande échelle et de la petite échelle pour les technologies de production d'électricité telles que l'Hydroélectricité, le Solaire photovoltaïque et l'Eolienne on shore, à cause de la catégorisation des centrales de production en un groupe « Production d'électricité dans les grands centres » et un groupe « Production d'électricité dans les petits centres », et l'ajout par le consultant la technologie « Bougie de jatropha » pour le groupe Eclairage, suite à des recherches web graphiques et des confirmations indiquant que la technologie est en phase de développement pilote à Amparafaravola se situant dans la partie Nord Est de la haute terre du pays.

La modification suivante a été également apportée suite aux recommandations du GTSE : la technologie « Foyer de cuisson amélioré à bois » du tableau 11 a été remplacée par la technologie « Foyer de cuisson amélioré à bois et charbon de bois » appartenant au groupe 3 « Economie de Bois et Promotion d'Energie Alternative » du tableau 13 ci-dessus.

Par la suite, le GTSE a établi le tableau ci-après donnant la liste des groupes de technologies retenues pour l'AMC sur la base des principales raisons suivantes : recommandation de la « bonne pratique » de répertorier une liste de 10-12 technologies prioritaires [4] ; priorité aux technologies estimées disponibles à court terme ; maîtrise de l'énergie dans le secteur Transport en vue d'une réduction importante d'émissions de GES, non faisable à court terme; et nécessité d'un rapide développement socio-économique durable, respectueuse de l'environnement.

Tableau 14 : Liste des groupes de technologies retenues pour l'AMC

GRUPE DE TECHNOLOGIES	TECHNOLOGIES
1-Production d'électricité dans les grands centres	-Hydroélectricité grande échelle
	-Solaire Photovoltaïque grande échelle
	-Eolienne on shore grande échelle
2-Production d'électricité dans les petits centres (en dessous de 1MW)	-Hydroélectricité petite échelle
	-Biomasse Combustion-Gazéification et Moteur à gaz petite échelle
	-Eolienne on shore petite échelle
	-Solaire Photovoltaïque petite échelle
	-Groupe électrogène à huile végétale brute petite échelle
3-Economie de Bois et Promotion d'Energie Alternative	-Foyer de cuisson à éthanol
	-Foyer de cuisson amélioré à bois et charbon de bois
	-Four de carbonisation amélioré
4-Eclairage	-Lanterne Solaire Photovoltaïque
	-Lampe LED
	-Bougie de jatropha

Par rapport à la liste initiale des groupes de technologies (tableau 13), le groupe « Economie d'énergie dans le transport » a été enlevé, compte tenu des faits évoqués à la section 2.4 justifiant la sélection des secteurs. La technologie « Cycle Combiné Gaz Naturel grande échelle » a été éliminée, car le GTSE estime qu'elle ne serait disponible qu'à moyen terme. Ainsi, les 4 groupes de technologies composés par un total de 14 technologies, donnés au tableau 14 ci-dessus, ont été retenus pour l'AMC.

Le groupe « Economie de Bois et Promotion d'Energie Alternative » est constitué des Technologies utilisées pour la réduction des pressions sur les puits (forêts). Les 3 autres groupes contribuent à l'atténuation des émissions de GES.

4.4 CRITERES ET PROCESSUS D'HIERARCHISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR ENERGIE

L'identification des critères d'évaluation et la hiérarchisation des technologies ont suivi les étapes suivantes :

- Sélection des critères d'évaluation ;
- Notation des technologies ;
- Attribution des coefficients de pondération ;
- Combinaison des notes et poids ;

-Analyse des résultats.

4.4.1 Sélection des critères d'évaluation

Le consultant a commencé par l'identification des catégories de critères, suivie de celle des critères, et les a soumis, avec les justificatifs, aux commentaires, discussions et décisions du GTSE. Les catégories de critères ont été identifiées à partir de la connaissance des priorités nationales en matière de développement et changement climatiques décrites aux sections 2.2 et 2.3 du contexte national ; elles permettent dans un premier niveau, d'apprécier les contributions de chaque technologie au développement socio-économique, et à l'amélioration du contexte environnemental et de développement/transfert de technologie. Les critères présentent les détails de chaque catégorie de critères à un niveau plus bas, ils servent à mieux connaître les avantages apportés par chaque technologie au développement national dans ses différentes dimensions (économique, social, environnemental, besoins en technologies).

Le GTSE a décidé d'avoir : les mêmes catégories de critères, pour les 4 groupes de technologies ; les mêmes critères pour les groupes de technologies « Production d'électricité dans les grands centres » et « Production d'électricité dans les petits centres » ; et les critères qui lui correspondent respectivement pour le groupe « Economie de bois et promotion d'énergie alternative » et le groupe « Eclairage ». Ils sont présentés dans les tableaux suivant :

Tableau 15 : Catégories de critères pour les 4 groupes de technologies

CATEGORIE DE CRITERES	DEFINITION
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	Contribution à réduire la dépendance aux produits pétroliers (Défi 12 du PGE); et à la promotion de l'économique (Vision et Objectifs NPE)
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	Contribution à favoriser la prospérité et le bien-être de la population (Vision et Objectifs de la NPE: 3-1)
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	Contribution à adapter et atténuer les effets néfastes au changement climatique Vision de développement durable, défi 16 PGE)
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT DE TRANSFERT DE TECHNOLOGIQUE	Contribution à réduire de manière durable le coût de l'énergie (Défi 12 PGE)

Tableau 16 : Critères d'évaluation des groupes de technologies « Production d'électricité dans les grands centres » et « Production d'électricité dans les petits centres »

CATEGORIE	CRITERE	DEFINITION
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	Contribution à l'amélioration de la balance de paiement
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	Contribution à la sécurité énergétique	Contribution à la mise à disposition d'un service énergétique fiable
	Contribution à la création d'emploi direct	Contribution à l'amélioration des conditions de vie (revenus des ménages,...)
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	Réduction de la pollution locale	Contribution à l'amélioration de la santé, du confort
	Réduction émission de GES	Contribution à la limitation des impacts des changements climatiques
IMPACT TECHNIQUE	Coût	Contribution à la fourniture d'énergie au moindre coût et respectueuse de l'environnement
	Potentiel	Ressources d'énergie potentiellement disponibles localement
	Maturité	Niveau de maîtrise de la technologie sur le plan local et niveau facilité du transfert de technologies pour améliorer l'expertise locale

Tableau 17 : Critères d'évaluation du groupe de technologies «Economie de bois et promotion d'énergie alternative »

CATEGORIE	CRITERES	DEFINITION
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	Contribution à l'amélioration de la balance de paiement
	Contribution à la diversification du secteur industriel ou artisanal	Contribution à la création d'activités génératrices de revenus liées la cuisson
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	Contribution à la réduction des dépenses des ménages	Contribution à la mise à disposition d'équipement de transformation et de cuisson à meilleur rendement
	Contribution à la création d'emploi direct	Contribution à l'amélioration des conditions de vie (revenus des ménages,...)
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	Réduction de la pollution à l'intérieur des habitations	Contribution à l'amélioration de la santé, du confort
	Réduction des pressions sur les forêts (puits)	Contribution à la limitation des impacts des changements climatiques
IMPACT TECHNIQUE	Coût de la technologie	Contribution à la fourniture d'énergie au moindre coût et respectueuse de l'environnement
	Maturité	Niveau de maîtrise de la technologie sur le plan local et possibilité de transfert de technologies pour améliorer l'expertise locale

Tableau 18 : Critères d'évaluation du groupe de technologies «Eclairage»

CATEGORIE	CRITERES	DEFINITION
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	Contribution à l'amélioration de la balance de paiement
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	Contribution à la réduction des dépenses des utilisateurs (ménages, services, commerces, industries) en éclairage à moyen terme	Contribution à la mise à disposition d'équipement d'éclairage rentable et à meilleur rendement
	Contribution à l'amélioration du rendement énergétique de l'éclairage (Lm/W)	Contribution à l'amélioration des conditions de vie (propreté, sécurité, confort,...)
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	Réduction de la pollution à l'intérieur des habitations	Contribution à l'amélioration de la santé, du confort
	Réduction des émissions de GES	Contribution à la limitation des impacts des changements climatiques
IMPACT TECHNIQUE	Coût	Contribution à la fourniture d'énergie au moindre coût et respectueuse de l'environnement
	Durée de vie	Réduction des remplacements de lampes

4.4.2 Notation des technologies

Les notations des technologies ont été réalisées séparément pour les 4 groupes de technologies. Chaque note par rapport à chaque critère, a été attribuée d'une manière consensuelle sur une échelle de 1 à 5, après commentaires, discussions et décisions communes des membres du GTSE. Les notations utilisées pour le critère «Coût de production (\$/kWh)» de la catégorie de critère « Impact Technique» sont les coûts des kWh donnés dans la NPE (pages 69 et 70) pour les 2 groupes d'options « Production d'Electricité des Grands Centres » et « Production d'Electricité des Petits Centres ». La grille de notation suivante a été utilisée pour les notations des autres critères :

- 1 : très faible contribution
- 2 : faible contribution

- 3 : moyenne contribution
 4 : importante contribution
 5 : très importante contribution.

Les notes sont données dans les tableaux suivant :

Tableau 19 : Notations des groupes de technologies « Production d'électricité dans les grands centres »

CATEGORIE DE CRITERES	CRITERE	Hydro-électricité	Solaire Photo voltaïque	Eolienne on shore
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	5	3	4
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	Contribution à la sécurité énergétique	5	5	5
	Contribution à la création d'emploi direct	5	3	4
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	Réduction de la pollution locale	4	5	3
	Réduction émission de GES	5	5	5
IMPACT TECHNIQUE	Coût production (\$/kWh)	0,07	0,12	0,10
	Potentiel	5	5	3
	Maturité	5	4	4

Tableau 20 : Notations des groupes de technologies « Production d'électricité dans les petits centres »

CATEGORIE DE CRITERES	CRITERE	Hydro électricité	Biomasse Combustion	Solaire Photo voltaïque	Eolienne on Shore	Groupe Electrogène Huile végétale brute
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	5	3	4	3	3
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	Contribution à la sécurité énergétique	5	3	4	4	2
	Contribution à la création d'emploi direct	4	5	3	3	5
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	Réduction de la pollution locale	4	1	4	4	1
	Réduction émission de GES	5	5	5	5	5
IMPACT TECHNIQUE	Coût production (\$/kWh)	0,26	0,27	0,71	0,85	0,46
	Potentiel	4	4	5	3	4
	Maturité	5	4	4	5	4

Tableau 21 : Notations du groupe technologiques «Economie de bois et promotion d'énergie alternative»

CATEGORIE DE CRITERES	CRITERES	Foyer de cuisson à éthanol	Foyer de cuisson amélioré à bois et charbon de bois	Four de carbonisation amélioré
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	4	3	3
	Contribution à la diversification du secteur industriel ou artisanal	5	3	4
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	Contribution à la réduction des dépenses des ménages	3	4	2
	Contribution à la création d'emploi direct	4	3	3
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	Réduction de la pollution à l'intérieur des habitations	4	3	3
	Réduction des pressions sur les forêts (puits)	4	3	3
IMPACT TECHNIQUE	Coût de la technologie	2	3	3
	Maturité	4	5	3

Tableau 22 : Notations du groupe technologiques «Eclairage»

CATEGORIE DE CRITERES	CRITERES	Lanterne solaire photovoltaïque	Eclairage LED	Bougie de jatropa
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	5	4	3
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	Contribution à la réduction des dépenses des utilisateurs (ménages, services, commerces, industries) en éclairage à moyen terme	4	5	3
	Contribution à l'amélioration du rendement énergétique de l'éclairage (Lm/W)	4	4	3
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	Réduction de la pollution à l'intérieur des habitations	4	5	3
	Réduction des émissions de GES	5	5	4
IMPACT TECHNIQUE	Coût de la technologie	4	4	1
	Durée de vie	4	5	4

4.4.3 Attribution des coefficients de pondération

La méthode utilisée pour déterminer les coefficients de pondération est la « méthode d'allocation budgétaire » où l'attribution de coefficients de pondération est réalisée selon une procédure participative. Comme il est présenté ci-dessus, les critères sont classés en 2 niveaux pour simplifier le processus d'allocation budgétaire : le niveau supérieur est la « catégorie des critères » et le niveau bas est les critères liés à chaque catégorie de critères. Le processus de pondération a suivi les étapes suivant :

- Attribuer des coefficients de pondération aux catégories de critères.
- Attribuer des poids aux critères de chaque catégorie de critères.

- Obtenir le poids final de chaque critère par la multiplication du poids du critère par le coefficient de pondération de la catégorie de critères (niveau supérieur) à laquelle il est lié.
- Obtenir à la fin du processus, la somme des poids finaux des critères égale à 100.

Les coefficients de pondération ainsi que les poids de critères ont été attribués d'une manière consensuelle, par le GTSE, après commentaires et discussions sur les propositions de coefficients de pondérations et poids avancés par le consultant.

La détermination des coefficients de pondération des catégories de critères a été effectuée selon les étapes suivantes :

- Partir du scénario de base « même coefficient de pondération pour chaque catégorie de critères » égal à 25% comme il est montré dans le tableau ci-après :

Tableau 23 : Coefficients de pondération du scénario de base

CATEGORIE DE CRITERES	COEFFICIENT [%]
Contribution au développement économique	25
Contribution au développement social	25
Contribution au développement environnemental	25
Impact technique	25
TOTAL	100

-Prendre en compte les considérations ci-dessous pour la détermination des coefficients de catégories de critères, au vu des visions et objectifs politiques énoncées au chapitre 2, et après études:

- même ordre de grandeur des coefficients de catégories de critères (entre 20% et 30%), pour un total des poids égal 100% ; en vue d'un développement durable où le développement social, développement économique, développement environnemental et impact technique de chaque technologie soient intégrés, et où l'écart entre les poids des catégories de développement entre eux ne devrait pas être important : un coefficient ne descend pas au-dessous de 20% et ne dépasserait pas 30%;
- étant donnée la vision de la NPE, donner beaucoup plus de poids à la contribution au développement économique et à l'impact technique contenant comme critères, entre autres le coût de production de l'énergie : le coefficient de pondération pour chacun de ces 2 catégories de critères, dépasse les 25%;
- ne pas négliger les contributions aux développements social et environnemental, en vue d'un développement durable ; toutefois chacun de leurs coefficients de pondération devrait descendre en dessous de 25% ;

-Aboutir aux propositions de coefficients de pondération suivant :

Tableau 24 : Coefficients de pondération retenus

CATEGORIE DE CRITERES	COEFFICIENT [%]
Contribution au développement économique	28
Contribution au développement social	23
Contribution au développement environnemental	22
Impact technique	27
TOTAL	100

Ces propositions ont été adoptées par le GTSE qui a décidé de prendre et d'utiliser Les coefficients de pondération du tableau 23, pour les 4 groupes de technologies. Les poids des critères ont été établis par le GTSE à l'issue d'un processus participatif. Les coefficients de pondérations des catégories de critères ainsi que les poids des critères y correspondant, pour les 4 groupes de technologies, sont précisés dans les tableaux suivant :

Tableau 25 : Coefficients de pondération et poids de critères du groupe de technologies «Production d'électricité dans les grands centres»

CATEGORIE DE CRITERES	Coefficients de pondération (1)	CRITERES	Poids en % de (1)	Poids total du critère
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	28	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	100%	28
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	23	Contribution à la sécurité énergétique	50%	12
		Contribution à la création d'emploi direct	50%	12
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	22	Réduction de la pollution locale	50%	11
		Réduction émission de GES	50%	11
IMPACT TECHNIQUE	27	Coût	33%	9
		Potentiel	33%	9
		Maturité	33%	9
Total	100			100

Tableau 26 : Coefficients de pondération et poids de critères du groupe de technologies «Production d'électricité dans les petits centres»

CATEGORIE DE CRITERES	Coefficients de pondération (1)	CRITERES	Poids en % de (1)	Poids total du critère
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	28	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	100%	28
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	23	Contribution à la sécurité énergétique	50%	12
		Contribution à la création d'emploi direct	50%	12
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	22	Réduction de la pollution locale	50%	11
		Réduction émission de GES	50%	11
IMPACT TECHNIQUE	27	Coût du kWh produit	50%	14
		Potentiel	25%	7
		Maturité	25%	7
Total	100			100

Tableau 27 : Coefficients de pondération et poids de critères du groupe de technologies «Economie de bois et promotion d'énergie alternative»

CATEGORIE DE CRITERES	Coefficients de pondération (1)	CRITERES	Poids en % de (1)	Poids total
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	28	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	50%	14
		Contribution à la diversification du secteur industriel ou artisanal	50%	14
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	23	Contribution à la réduction des dépenses des ménages	50%	12
		Contribution à la création d'emploi direct	50%	12
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	22	Réduction de la pollution à l'intérieur des habitations	50%	11
		Réduction des pressions sur les forêts (puits)	50%	11
IMPACT TECHNIQUE	27	Coût de la technologie	60%	16
		Maturité	40%	11
Total	100			100

Tableau 28 : Coefficients de pondération et poids de critères du groupe de technologies «Eclairage»

CATEGORIE DE CRITERES	Coefficients de pondération (1)	CRITERES	Poids en % de (1)	Poids total
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE	28	Contribution à la réduction d'importation d'énergie	100%	28
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT SOCIAL	23	Contribution à la réduction des dépenses des utilisateurs (ménages, services, commerces, industries) en éclairage	50%	12
		Contribution à l'amélioration du rendement énergétique de l'éclairage (Lm/W)	50%	12
CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL	22	Réduction de la pollution à l'intérieur des habitations	50%	11
		Réduction des émissions de GES	50%	11
IMPACT TECHNIQUE	27	Coût	60%	16
		Durée de vie	40%	11
Total	100			100

4.4.4 Combinaison des notes et des poids

Les notes et les poids totaux attribués à chacune des technologies, sont combinés pour obtenir la note finale étant la note pondérée finale de chaque technologie. La note pondérée finale d'une technologie est la somme des notes par rapport à chaque critère multipliée par les poids correspondant, résumée par la formule suivant :

$$N_i = \sum_{j=1}^n p_j \cdot n_{ij} [9] \quad \text{où } N_i : \text{note finale de la technologie } i$$

P_j : poids du critère j
 n_{ij} : note de la technologie i sur la base du critère j

L'outil que nous avons utilisé pour cette combinaison est et le modèle Excel MCA Template v3 donné par le projet pour l'Analyse Multicritère (AMC) couplé à notre modèle Excel de tableau de notations, et de tableau de pondération et de poids des critères. Les résultats des combinaisons des notes et des poids pour les 4 groupes de technologies sont donnés dans les tableaux suivant :

Tableau 29 : Notes finales des technologies du groupe de technologies
«Production d'électricité dans les grands centres»

Option scores	
Option	Weighted Score
Hydroélectricité	72,0
Solaire Photovoltaïque	20,0
Eolienne on shore	23,4

Tableau 30 : Notes finales des technologies du groupe de technologies
«Production d'électricité dans les petits centres»

Option scores	
Option	Weighted Score
Hydroélectricité	79,9
Biomasse Combustion	32,0
Solaire Photovoltaïque	42,6
Eolienne on shore	25,4
Groupe électrogène à huile végétale brute	23,8

Tableau 31 : Notes finales des technologies du groupe de technologies
«Economie de bois et promotion d'énergie alternative»

Option scores	
Option	Weighted Score
Foyer de cuisson à éthanol	72,7
Foyer de cuisson amélioré à bois	38,5
Four de carbonisation amélioré	23,2

Tableau 32 : notes finales des technologies du groupe de technologies «Eclairage»

Option scores	
Option	Weighted Score
Lanterne solaire photovoltaïque	61,8
Eclairage LED	69,8
Bougie de Jatropa	16,2

4.4.5 Analyse des résultats

La hiérarchisation des technologies pour chacun des 4 groupes de technologies a été établie par l’outil mentionné ci-dessus. Les hiérarchisations sont présentées dans les tableaux suivant :

Tableau 33 : Hiérarchisation des technologies du groupe de technologies «Production d’électricité dans les grands centres»

Ranking of options		
Rank	Option	Weighted Score
1	Hydroélectricité	72,0
2	Eolienne on shore	23,4
3	Solaire Photovoltaïque	20,0

Tableau 34 : Hiérarchisation des technologies du groupe de technologies «Production d’électricité dans les petits centres»

Ranking of options		
Rank	Option	Weighted Score
1	Hydroélectricité	79,9
2	Solaire Photovoltaïque	42,6
3	Biomasse Combustion_	32,0
4	Eolienne on shore	25,4
5	Groupe électrogène à huile végétale brute	23,8

Tableau 35 : Hiérarchisation des technologies du groupe de technologies «Economie de bois et promotion d’énergie alternative»

Ranking of options		
Rank	Option	Weighted Score
1	Foyer de cuisson à éthanol	72,7
2	Foyer de cuisson amélioré à bois	38,5
3	Four de carbonisation amélioré	23,2

Tableau 36 : Hiérarchisation des technologies du groupe de technologies «Eclairage»

Ranking of options		
Rank	Option	Weighted Score
1	Eclairage LED	69,8
2	Lanterne solaire photovoltaïque	61,8
3	Bougie de Jatropha	16,2

4.4.5.1 Choix initial des technologies

Les technologies pour les prochaines étapes de l'EBT, choisies initialement par le GTSE à l'issue d'une procédure participative sont la technologie classée première de chacun des 4 groupes de technologies telles qu'il est donné dans le tableau suivant :

Tableau 37 : Technologies choisies initialement

N°	GRUPE DE TECHNOLOGIES	TECHNOLOGIE CHOISIE
1	Production d'électricité de grands centres	Hydroélectricité de grande taille
2	Production d'électricité de petits centres	Hydroélectricité de petite taille
3	Economie de bois et promotion d'énergie alternative	Foyer de cuisson à éthanol
4	Eclairage	Eclairage LED

4.4.5.2 Sélection des technologies

Chaque technologie choisie est la meilleure dans son groupe d'utilisation, en intégrant son impact technique et ses contributions au développement socio-économique et environnemental. Elle mérite chacune de faire l'objet des étapes 2 et 3 de l'EBT. Toutefois, pour éviter un travail trop conséquent pour la suite de l'EBT, le GTSE a décidé de retenir les 3 technologies données dans le tableau ci-dessous, pour les prochaines étapes de l'EBT.

Tableau 38 : Technologies retenues pour le secteur Energie

N°	GRUPE DE TECHNOLOGIES	TECHNOLOGIE RETENUE
1	Production d'électricité de grands centres	Hydroélectricité de grande taille
2	Production d'électricité de petits centres	Hydroélectricité de petite taille
3	Eclairage	Eclairage LED

La technologie « Foyer de cuisson à éthanol » a été écartée dans ce dernier classement. En effet, les entretiens avec des membres du groupe technique ayant participé aux réunions de préparation de la NPE, ont permis de confirmer que le développement des foyers de cuisson à éthanol relève de programmes et activités plurisectoriels appartenant aux départements/organismes comprenant entre autres : les Ministères en charge de l'aménagement des territoires (pour l'aspect foncier), de l'agriculture (pour les plantations et fournitures de matières premières pour la production d'éthanol), de l'industrie et/ou artisanat (pour la production d'éthanol et la production locale de foyers de cuissons); le secteur privé ; les ONG ; et les partenaires techniques et financiers . La mise en œuvre du développement de la dite technologie nécessite, en conséquence, un processus beaucoup plus long et une coordination relativement lourde.

L'analyse des notes et des classements des technologies dans les tableaux d'hiérarchisation (tableaux 33, 34, 36) permet de constater que chaque technologie classée première dans chacun des 3 groupes de technologies, est la « gagnante » incontestable dans le groupe de technologies auquel elle appartient. Des tests de sensibilité en faisant varier les pondérations des catégories de critères et les poids des critères, avec les conditions d'attribution des coefficients de pondération posées à la section 4.3.3 ci-dessus, n'apportent pas de modification à chaque hiérarchisation dans chacun des 3 groupes de technologies.

CHAPITRE 5 : PRIORISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR INDUSTRIE

5.1 EMISSIONS DE GES ET TECHNOLOGIES EXISTANTES DU SECTEUR INDUSTRIE

5.1.1 Contexte

Madagascar est parmi les pays en développement où l'industrialisation est très faible. Mais, depuis l'an 2003 les besoins du pays en cimenterie ne cessent de croître. Et les émissions des gaz à effet de serre qui en résultent sont toujours en augmentation au sein du secteur Industrie. A Madagascar, les émissions de GES dues au procédé industriel étaient évaluées à 343 Gg_{éq. CO₂} en 2005. Si aucune mesure n'est prise pour enrayer leur progression, ces émissions sont appelées à atteindre 1190 Gg_{éq. CO₂} en 2020.

Deux documents officiels, ont permis d'extraire des données relatives aux émissions de GES et aux technologies existantes dans le Secteur Industrie : la Communication Nationale Initiale au titre de la CCNUCC-Madagascar et la Deuxième Communication Nationale au titre de la CCNUCC-Madagascar. Cependant la mise à disposition du draft de la Troisième Communication Nationale a aussi permis d'utiliser des données plus récentes.

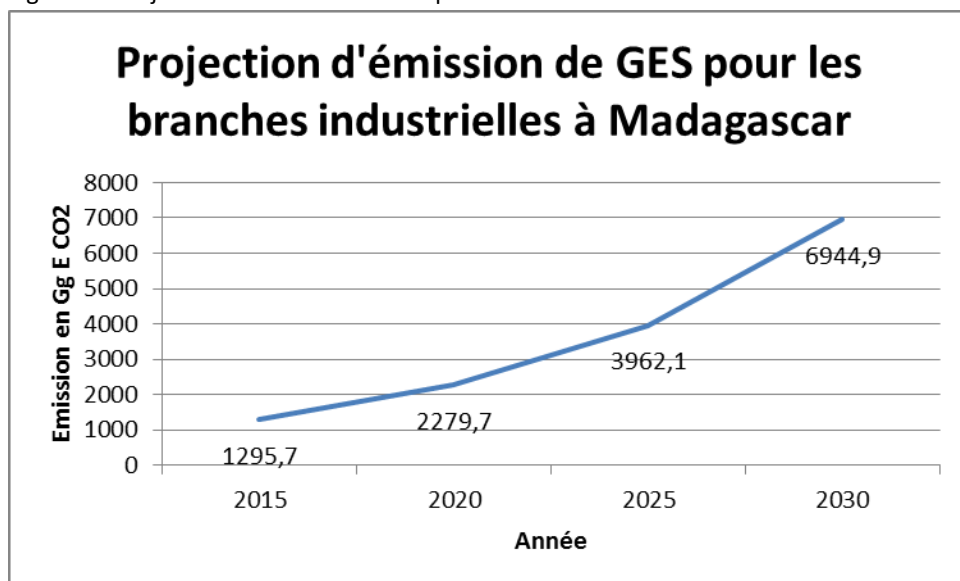
Respectant entièrement la méthodologie du GIEC, préconisée à partir de la décision 10/CP2 de la CCNUCC et de la version révisée 1996 des lignes directrices du GIEC/OCDE/AIE), l'inventaire se focalisait sur le dioxyde de carbone (CO₂) ; l'oxyde de carbone (CO), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (NO₂) et les composés organiques volatils non méthanoïques (COVNM).

Dans la deuxième Communication Nationale, l'inventaire des GES a été cadré relativement aux recommandations de la Conférence des Parties prises lors de sa huitième session (Décision 17/CP 8), en prenant l'année 2000 comme année de référence. Par ailleurs, la CP 8 a également recommandé de prendre en compte les émissions/absorptions de GES dues aux activités humaines dans l'inventaire: les GES directs tels que le CO₂ (Dioxyde de carbone), le CH₄ (Méthane), le N₂O (Hémioxyde d'azote), les Gaz fluorés tels que les HFCs (Hydrofluorocarbures), les PFCs (Hydrocarbures per fluorés), le SF₆ (Hexafluorure de soufre) et les GES indirects tels que le CO (Monoxyde de carbone), les NO_x (Oxydes d'azote), les COVNM (Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques) et le SO₂ (Dioxyde de soufre).

Dans les industries manufacturières et construction d'une part et dans les procédés industriels d'autre part, en 2002 on a enregistré respectivement : du CO₂ de 20.63% et 1.41%, du SO₂ de 5.04% et 0.12%, des COVNM de 2.15% et 4.19%. Particulièrement pour les industries manufacturières et construction, on a enregistré 0.99% de CO.

La figure suivante donne la projection d'émission de GES pour les branches industrielles à Madagascar [10].

Figure 7 : Projection d'émission de GES pour le secteur Industrie



Source : MAG99/G31, 2002

Selon le draft de la Troisième Communication Nationale, les émissions de GES du secteur Procédés Industriels correspondent aux émissions des GES issues des activités industrielles telles que la production de ciment qui a émis plus des 99 % des émissions totales produites par le secteur. Le reste des émissions provient des procédées agroalimentaires, de la production des vins et des bières.

5.1.2 Les catégories de sources et les émissions

Les émissions du secteur Industrie sont dominées par l'émission de CO₂ émanant de la production de ciment (plus de 99%). De 2005 à 2010, les émissions de CO₂ augmentent progressivement sauf pour les années 2002 et 2009 qui ont connu une légère baisse. Ces chutes des émissions sont dues aux problèmes politiques provoquant un ralentissement des activités industrielles dont les productions de ciment.

Tableau 39 : Emission de GES du secteur Industrie pour l'année 2005

GES	Quantité émise	Pourcentage	Source principale
CO ₂	343,26	99,57	Ciment
COVNM	1,25	0,36	Alcool
SO ₂	0,23	0,07	Papier
(CO et NOx)	0,01	0,001	Papier
TOTAL	344,75	100%	Secteur Industrie

Source : Draft de la troisième communication nationale

Pour l'année 2005: la quantité de CO₂ rejetée est de 343.26 Gg soit 99,57% des émissions totales (344.75 Gg) dans le secteur. Les autres gaz ne prennent qu'une proportion relativement minime : 1.25 Gg soit 0,36% de COVNM, 0.23 Gg soit 0,07% de SO₂ et 0.01 Gg soit 0,001% de CO et NOx.

5.2 CONTEXTE DE DECISION

Madagascar traverse une situation où tous les chiffres sont dans le rouge. De plus Madagascar, île tropicale, subit les changements climatiques avec violence. Les cyclones plus puissants, **les inondations plus fortes**, la sécheresse, et la dégradation des terres cultivables s'accroissent. Ces situations socio-économique et géographique en font l'un des pays les plus vulnérables **aux effets du changement climatique**. Même si le pays est toujours très naturel, et que les émissions de CO₂ restent globalement limitées, les pratiques doivent changer. Car la déforestation, les feux de brousse, les centrales électriques fonctionnant au fioul ou au diesel, les déchets qui s'amoncellent sont autant de causes qui aggravent la situation.

Pour atteindre, donc, les objectifs de 14% de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020, une réelle politique environnementale doit être mise en place. Et c'est le projet ambitieux présenté par la délégation malagasy au COP21.

De la crise de 2009 au Plan National de Développement

La plus longue crise socio-économique à Madagascar, débutant à la fin de 2008, a marqué une empreinte nettement plus forte que les précédentes sur l'économie et la société malagasy. La croissance n'est que de 0,9% en moyenne entre 2009 et 2013. Une telle stagnation est due à l'incertitude de sortie de crise, à la perte d'accès aux marchés préférentiels, à la suspension des aides budgétaires, aux sorties de capitaux et aux cataclysmes naturels. Et même d'après le Rapport sur la «Competitive Industrial Performance», 2012/13, publié par l'ONUDI, Madagascar occupe en

2010 la 116^{ème} place (sur 133 pays) en termes de compétitivité industrielle avec un score de 0,055. En effet, des menaces sont à prendre en compte, entre autres les risques liés aux aléas climatiques et catastrophes naturelles.

L'élection présidentielle de 2014 a mis fin à la crise et a permis de redémarrer le système à travers le Plan National de Développement (PND). Ce dernier dans son **Axe 5 : « Valorisation du Capital naturel et renforcement de la résilience aux risques de catastrophes »** part du constat que la croissance économique du pays est fortement tributaire de la situation de l'environnement et du capital naturel. La préservation et la valorisation de son capital naturel sont un enjeu majeur de développement pour Madagascar. Le capital naturel commence à connaître un processus d'épuisement en plus des pertes économiques en raison des catastrophes naturelles et du changement climatique. Les actions d'atténuation ont en effet des coûts financiers et économiques. Par ailleurs, la majorité des secteurs productifs de l'économie sont très vulnérables aux catastrophes liées aux événements climatiques extrêmes.

L'Axe 5 mettra l'accent sur la mise en place d'un dispositif et de stratégies appropriés et bien ciblés capables de préserver le capital naturel, de réduire les effets négatifs du changement climatique et de renforcer la résilience des populations et des territoires concernés. Une des priorités sera également l'intégration du capital naturel dans le processus de planification du développement économique et social et du système de la comptabilité. Cet axe 5 se décline en deux objectifs : intégrer les actions de lutte contre le changement climatique dans la promotion d'une économie résiliente et réduire la pollution de manière significative.

Le Plan National de Développement vecteur directionnel de toutes les actions

Le PND supra a été aligné à l'Axe 2 « mise en œuvre des actions d'atténuation au profit du développement du pays » de la Politique Nationale de Lutte contre le Changement Climatique (PNLCC) qui a été élaborée en 2010. La Politique Générale de l'Etat (PGE) en est une déclinaison du PND. La PGE met en évidence dans son défi n°16 « préservation de l'environnement » avec une orientation stratégique « promouvoir l'économie bleue ».

Pour le cas du secteur industrie, les Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMA) ont été élaborées. Elles ont spécifié les technologies à déployer pour atténuer les effets des changements climatiques. En plus ce secteur a bénéficié des instruments pour l'apporter les inputs nécessaires pour son développement, notamment la « Politique Industrielle de Madagascar ». Pour réaliser et réussir la mise en œuvre de cette Politique Industrielle à travers des institutions structurelles fortes telles l'Economic Development Board of Madagascar (EDBM) est renforcé, le Comité National du Développement de l'Industrie (CNDI) qui intègre tous les acteurs concernés dont l'État, le secteur privé et la société civile Malagasy est opérationnel. Et tout ceci a pour objectif de continuer le processus de l'industrialisation rurale et régionale à travers un développement durable et inclusif et tout en respectant l'environnement pour un développement durable. En outre, il est question de sensibiliser les industriels pour des systèmes de production plus propres et pour saisir les opportunités offertes par l'industrie verte et l'économie circulaire. Inciter et encourager les industries à se localiser dans les zones industrielles dédiées pour tirer profit des systèmes industriels centralisés de gestion des déchets. Assurer la mise en œuvre et le respect des législations relatives au respect de l'environnement par le secteur industriel, notamment l'application de la Loi n° 99-021 du 19 Août 1999 sur la politique de gestion et de contrôle des pollutions industrielles.

C'est dans ce contexte qu'a été développé le traitement relatif à la sélection de technologies respectueuses de l'environnement.

5.3 UN APERÇU DES OPTIONS POSSIBLES EN MATIERE D'ATTENUATION DES TECHNOLOGIES DANS LE SECTEUR INDUSTRIE ET LEUR POTENTIEL D'ATTENUATION ET AUTRES AVANTAGES ASSOCIES.

La Communication Nationale Initiale au titre de la CCNUCC-Madagascar et la Deuxième Communication Nationale au titre de la CCNUCC-Madagascar (année 2009) ont chacune présenté des technologies convenant au contexte industriel Malagasy et pouvant contribuer à l'atténuation aux changements climatiques.

Dans la Communication Nationale Initiale, les experts ont préconisé les technologies suivantes :

- Lavage des effluents gazeux
- Filtration chimique des gaz
- Techniques de production plus propres par le biais du transfert de la technologie
- Valorisation des déchets industriels
- Substitution des matériaux au niveau des procédés industriels

Quant à la Deuxième Communication Nationale, les deux technologies suivantes ont été proposées :

- Réduction du ratio clinker/ciment par l'utilisation d'ajouts qualifiés (cendres volantes)
- Captage et stockage des CO₂

Le draft de la Troisième Communication Nationale a priorisé :

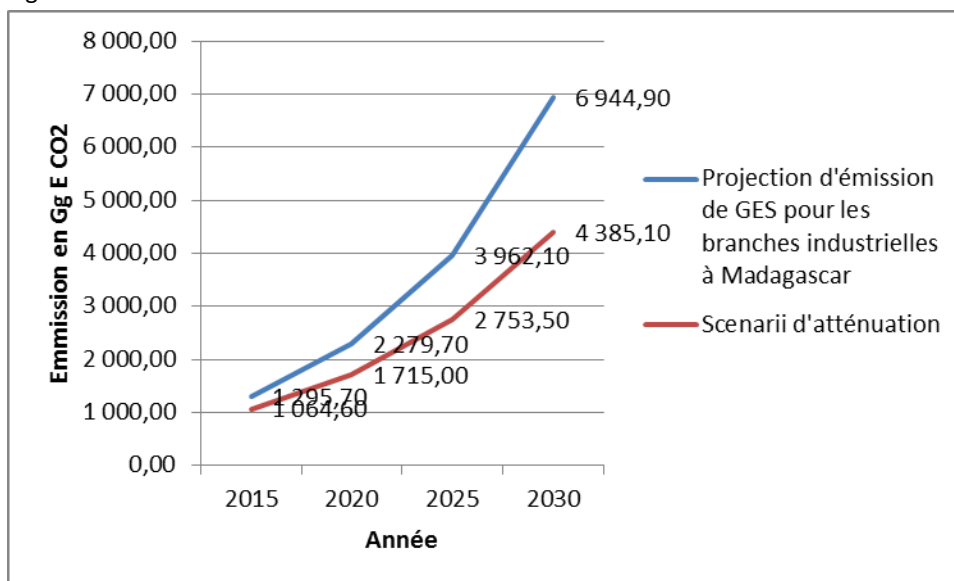
- Réduction du ratio clinker/ciment par l'utilisation d'ajouts qualifiés (cendres volantes) une technologie qui a été déjà mentionnée dans la Deuxième Communication Nationale.

Par ailleurs, l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI), dans son ouvrage « Industrie Verte », a proposé :

- Elimination des émissions de mercure liées aux opérations d'extraction d'or artisanale ou à petite échelle par Cuisson de l'amalgame dans des récipients fermés par une cornue.

Les scénarii d'atténuation selon les technologies prescrites par les documents, ci-dessus, sont présentés dans la figure suivante :

Figure 8 : Scénarii de référence et d'atténuation de GES du secteur Industrie



Source : Communication nationale 2

Cette figure montre que globalement il y a accroissement d'émission de GES et d'effort d'atténuation de 2015 à 2030. Mais l'écart entre les deux a tendance à s'amplifier. L'évolution de cet écart donne 231.1 en 2015, 564.7 en 2020, 1208.6 en 2025 et 2559.8 en 2030. Soit une progression moyenne de 1141.05 Gg E CO₂ par cinq an.

Des acteurs ont été identifiés tels que Ministère de l'Industrie, Syndicat des Industries de Madagascar, Centre de recherche, Entreprises et Personnes ressources. Suivant une approche par acteur, la mission d'Evaluation de Besoins en Technologie leur a été partagée. Et ce qu'attend le processus de leur part a été discuté entre autres de rejoindre le Groupe de Travail sectoriel Industrie. A partir de ces approches par acteur, des technologies ont été proposées et discutées. Et elles viennent s'ajouter à celles préconisées dans des documents d'étude. La liste suivante présente un groupage de toutes ces technologies :

- Groupe 1 : les technologies établies par le consultant à partir des documents ci-dessus
 - Lavage des effluents gazeux,
 - Filtration chimique des gaz,

- Réduction du ratio clinker/ciment par l'utilisation d'ajouts qualifiés (cendres volantes) qui est une technologie existante,
- Captage et stockage des CO₂,
- Elimination des émissions de mercure liées aux opérations d'extraction d'or artisanale,
- Groupe 2 : les technologies proposées par des membres du Groupe de Travail Sectoriel Industrie
 - Valorisation des déchets industriels (sciure de bois). Cette technologie, en tant que valorisation des déchets industriels, reflète ce qui a été préconisée dans la Communication Initiale. Les membres du Groupe ont précisé à ce que soit de la sciure de bois. Il s'agit ici d'une technologie existante,
 - Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques,
- Groupe 3 : les technologies proposées par le Syndicat des Industries de Madagascar ou SIM qui a un représentant au sein du Groupe de Travail Sectoriel Industrie
 - Recyclage de vieux papiers,
 - Réduction du ratio clinker/ciment par l'utilisation d'ajouts qualifiés (pouzzolane) qui est une technologie existante
 - Bioplastiques

Il y a eu dix technologies dont trois existantes : Réduction du ratio clinker/ciment par l'utilisation d'ajouts qualifiés (cendres volantes), Réduction du ratio clinker/ciment par l'utilisation d'ajouts qualifiés (pouzzolane), et Valorisation des déchets industriels (sciure de bois). Une Fiche technologique par technologie choisie a été élaborée à partir de la liste finale qui est la suivante :

Tableau 40 : Options technologiques d'atténuation du secteur Industrie

	Option
Option 1	Recyclage des Vieux Papiers
Option 2	Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal
Option 3	Captage et Stockage de CO ₂
Option 4	Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane
Option 5	Bioplastiques
Option 6	Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO ₂ des Gaz de Combustion
Option 7	Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques
Option 8	Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)
Option 9	Lavage des Effluents Gazeux
Option 10	Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes

5.4 CRITERES ET PROCESSUS DE PRIORISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR INDUSTRIE

Les Fiches Technologiques ont été partagées aux membres du groupe bien avant la première réunion de travail. L'objectif est de leur permettre de lire le document et éventuellement d'apporter des données, le cas échéant, pour améliorer le document en question. Mais, les membres ont été encouragés à proposer d'autres technologies pouvant atténuer les changements climatiques, parce que quelques membres ont déjà mis en œuvre des technologies d'atténuation.

Au cours de la première réunion du groupe, les technologies ont été présentées une à une à travers les Fiches technologiques. Des discussions ont permis d'améliorer les fiches en question.

Une deuxième réunion a été organisée pour comprendre ensemble l'Analyse Multicritères ou AMC. AMC est le logiciel informatique utilisé pour prioriser les technologies. Quelques exemples de technologies ont l'objet d'application. Et après cette séance de compréhension commune, chaque membre a rempli son tableau pour être

discuté pour une autre séance de travail. Mais avant cette session, chaque membre a été sollicité d'envoyer leur tableau au Consultant afin qu'il puisse en faire la synthèse. Et la discussion s'est portée sur cette synthèse.

La troisième réunion et sur la base de la synthèse, la discussion a permis de s'entendre sur l'évaluation des scoring et sur la pondération. On a même reconsidéré quelques technologies quant à leur appartenance dans le secteur Industrie, car il y a eu une difficulté à distinguer Industrie et Energie.

Pour faire la priorisation, la méthode Analyse Multi Critères a été adoptée. Cette méthode a été proposée par DTU-ENDA. Elle permet d'évaluer et d'apprécier une technologie à travers des critères mesurables.

5.4.1 Critères de priorisation et catégorisation des critères

Pour les critères de priorisation, le consultant a procédé par revue documentaire notamment sur les documents relatifs au changement climatique. Cette démarche a permis d'avoir deux critères :

- Réduction des Gaz à Effet de Serre
- Protection de l'environnement

L'expérience du consultant, lors de ses interventions sur des projets de développement du Bureau International du Travail (BIT)* d'une part, et ses pratiques en matière de projet/technologie/entreprise** d'autre part, a permis de dégager respectivement trois et deux critères. Le BIT est réputé sur l'implémentation des projets axés emploi en tenant compte de l'aspect genre. Ces critères sont les suivants :

- *Emploi
- *Genre
- *Pérennité
- **Rentabilité
- **Coût

Enfin le consultant a effectué un benchmarking des critères des études en besoins de technologies lors de TNA phase I. Et ceci a permis d'avoir deux critères.

- Croissance économique
- Adaptabilité

Ces critères ont été, par la suite, présentés et discutés au niveau des membres du Groupe de Travail Sectoriel Industrie. En outre, les membres du groupe, sur la base de leur expérience et de leur spécialisation, ont proposé cinq autres critères :

- Pertinence
- Durée de montage
- Acceptabilité
- Flexibilité
- Facilité du transfert de technologie

Chaque critère a été évalué par rapport à leur pertinence par rapport à une technologie. Ensuite, deux à deux, les critères ont l'objet de comparaison pour voir s'il n'y a pas doublon. Et enfin, une dernière revue a permis d'ôter des critères jugés trop ambitieux. La discussion autour de l'évaluation des critères a permis d'arrêter à 11 critères adoptés unanimement :

1. Réduction des Gaz à Effet de Serre
2. Protection de l'environnement
3. Rentabilité
4. Croissance économique
5. Emploi
6. Genre
7. Pérennité
8. Coût
9. Pertinence
10. Adaptabilité
11. Acceptabilité

Les 11 critères ont été catégorisés selon 3 catégories :

Catégorie « atténuation de GES »

- Réduction des GES
- Protection de l'environnement

Catégorie « avantage de développement durable »

- Rentabilité
- Croissance économique
- Emploi
- Genre
- Pérennité

Catégorie « caractéristique de la technologie »

- Coût
- Pertinence
- Adaptabilité
- Acceptabilité

Le tableau suivant donne un résumé succinct des critères de priorisation et catégorisation des critères.

Tableau 41 : Critères de priorisation et catégorisation des critères d'évaluation des technologies du secteur Industrie

	Critère	Catégorisation des critères
Critère 1	Réduction des GES	Atténuation des Gaz à Effet de Serre
Critère 2	Protection environnement	
Critère 3	Rentabilité	Avantages de Développement Durable
Critère 4	Croissance économique	
Critère 5	Emploi	
Critère 6	Genre	
Critère 7	Pérennité	
Critère 8	Coût	Caractéristiques de la Technologie
Critère 9	Pertinence	
Critère 10	Adaptabilité	
Critère 11	Acceptabilité	

5.4.2 Echelle d'évaluation

Pour prioriser les technologies choisies, l'échelle de notation 1-5 ou Likert scale a été unanimement adopté par les membres du Groupe. Cette méthode est sans doute la plus intuitive qui soit. Elle n'est pas basée sur une étape préalable de calcul des scores des items, puis une seconde étape présentant des réponses dichotomiques lors de l'utilisation de l'échelle. En quelque sorte, Likert « télescope » les deux étapes en une seule. Il soumet directement aux sujets dont il souhaite mesurer l'attitude, des propositions à juger selon une échelle prédéterminée, du type: *Tout à fait d'accord - D'accord - Sans avis - En désaccord - Tout à fait en désaccord*. Le nombre des modalités possibles peut varier (généralement de 1 à 5), mais correspond le plus souvent à un nombre impair de manière à ménager une modalité relativement neutre ou non polarisée au centre de l'échelle. Le nombre de modalités proposées est fonction à la fois de la précision souhaitée, mais aussi de la capacité présumée des sujets à effectuer des discriminations fines, un trop grand nombre de catégories n'entraînant pas nécessairement une augmentation de la précision.

Chaque catégorie reçoit une note a priori (par exemple, 5 pour *Tout à fait d'accord*, 4 pour *D'accord*, ...et 1 pour *Tout à fait en désaccord*). Pour les items dont l'acceptation est contraire à l'attitude générale que l'on veut mesurer au moyen de cette échelle, les valeurs sont ordonnées dans l'autre sens: 1 pour *Tout à fait d'accord* et 5 pour *Tout à fait en désaccord*

Un prétest permet en général de s'assurer que les items entretiennent bien un rapport avec l'attitude que l'on prétend mesurer. Il s'agit le plus souvent de procéder à une analyse factorielle de manière à vérifier la relative unidimensionnalité de l'échelle (grande cohérence entre les réponses aux différents items) et d'éliminer les items atypiques.

Et le tableau d'échelle d'évaluation est donné comme suit :

Tableau 42 : Echelle d'évaluation des technologies du secteur Industrie

	Critère	Catégorisation des critères	Echelle d'évaluation	Valeur Préférée (Elevée, Faible)	Commentaires, détails de notation
Critère 1	Réduction des GES	Atténuation des Gaz à Effet de Serre	Echelle 1-5	Elevé	1 si très mauvais en atténuation GES, 5 si très bien en atténuation GES
Critère 2	Protection environnement		Echelle 1-5	Elevé	1 si très mauvais en protec° env, 5 si très bien en protection de l'environnement
Critère 3	Rentabilité	Avantages de Développement Durable	Echelle 1-5	Elevé	1 si non rentable, 5 si très rentable
Critère 4	Croissance économique		Echelle 1-5	Elevé	1 s'il n'y a pas croissance éco, 5 s'il y a une forte croissance éco
Critère 5	Emploi		Echelle 1-5	Elevé	1 s'il n'y a pas de création d'emploi, 5 s'il y a une forte création d'emploi
Critère 6	Genre		Echelle 1-5	Elevé	1 si le Genre n'est pas respecté, 5 si le genre est fortement respecté
Critère 7	Pérennité		Echelle 1-5	Elevé	1 si développement non pérenne, 5 si développement pérenne
Critère 8	Coût	Caractéristiques de la Technologie	Echelle 1-5	Faible	1 si coût technologie est très cher, 5 si coût technologie est très bas
Critère 9	Pertinence		Echelle 1-5	Elevé	1 si technologie n'est pas pertinent, 5 si technologie est très pertinent
Critère 10	Adaptabilité		Echelle 1-5	Elevé	1 si technologie n'est pas adaptable, 5 si technologie est très adaptable
Critère 11	Acceptabilité		Echelle 1-5	Elevé	1 si technologie n'est pas acceptable, 5 si technologie est fortement acceptable

5.4.3 Evaluation des options technologiques

Chaque technologie a été évaluée sous chacun des 11 critères selon une échelle d'évaluation de Likert 1-5. L'approche par membre du Groupe de Travail Sectoriel Industrie a été adoptée. Un tableau à deux entrées (option technologique/critère) a été distribué à chacun des membres afin qu'il puisse consigner son évaluation. Ensuite les tableaux ont été envoyés au consultant pour synthèse. Et cette dernière a été de nouveau partagée aux membres pour information et en vue de discussion au cours d'une séance de travail.

Lors de cette séance de travail, la synthèse a été projetée pour déclencher une échange et discussion. Les membres du Groupe ont revu l'évaluation et ont unanimement ajusté quelques notations. Et le tableau final a été le suivant :

Tableau 43 : Notations des Technologies du secteur Industrie

Option / Critère	Réduction des GES	Protection environnement	Rentabilité	Croissance économique	Emploi	Genre	Pérennité	Coût	Pertinence	Adaptabilité	Acceptabilité
Echelle d'évaluation	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5
Valeur préférée	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
Recyclage des Vieux Papiers	3	5	4	4	4	4	5	3	5	5	4
Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations	4	5	4	4	4	3	4	3	4	4	4
Captage et Stockage de CO2	4,8	5	2	4	3	3	4	2	4	3	3
Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	4,8	5	4	4	3	3	4	4	4	4,4	4,6
Bioplastiques	4,8	5	4	4	3	3	4	3	4	4,4	4,4
Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de	4,2	5	4	4	3	3	4	4	3	3,2	4
Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	2,6	5	4	4	4	4	4	3	5	4,6	4,2
Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	4,6	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4
Lavage des Effluents Gazeux	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3,5	3
Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4

5.4.4 Pondération des critères

Quand l'évaluation des options technologiques a été unanimement stabilisée, les membres ont discuté de la pondération à attribuer à chaque critère. Les pondérations relatives à la réduction des GES et à la protection de l'environnement ont été unanimement fixées respectivement à 23.2 et 17.2. Il a été laissé aux soins des experts dans le domaine de proposer les pondérations pour les autres critères tout en se cadrant à un total=100. Le résultat des pondérations des critères est donné dans le tableau suivant :

Tableau 44 : Pondération des critères

	Critère	Allocation de budget (total = 100)	Pondération [%]
Critère 1	Réduction des GES	23,2	23%
Critère 2	Protection environnement	17,2	17%
Critère 3	Rentabilité	6,2	6%
Critère 4	Croissance économique	7,5	8%
Critère 5	Emploi	8	8%
Critère 6	Genre	4,2	4%
Critère 7	Pérennité	6	6%
Critère 8	Coût	8	8%
Critère 9	Pertinence	7,5	8%
Critère 10	Adaptabilité	6	6%
Critère 11	Acceptabilité	6,2	6%
Total		100	
Budget utilisé		OK	

5.4.5 Calcul des points

Les critères pondérés couplés avec l'évaluation des options technologiques a permis d'avoir le tableau de calcul des points pour chaque technologie et selon chaque critère pondéré. Ce tableau est présenté comme suit :

Tableau 45 : Notations pondérées des Technologies

Options \ Criteria	Réduction des GES	Protection environnement	Rentabilité	Croissance économique	Emploi	Genre	Pérennité	Coût	Pertinence	Adaptabilité	Acceptabilité	Point pondéré de chaque option
Echelle d'évaluation	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	
Valeur préférée	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée	Faible	Elevée	Elevée	Elevée	
Pondération [%]	23	17	6	8	8	4	6	8	8	6	6	
Recyclage des Vieux Papiers	18,18	83,33	66,67	70,00	50,00	100,00	100,00	45,45	100,00	100,00	62,50	63,15
Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	63,64	83,33	73,33	50,00	50,00	0,00	16,67	54,55	30,00	50,00	62,50	55,88
Captage et Stockage de CO2	100,00	83,33	0,00	60,00	20,00	40,00	50,00	100,00	10,00	0,00	0,00	57,06
Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	100,00	75,00	53,33	40,00	20,00	40,00	16,67	27,27	20,00	70,00	100,00	60,77
Bioplastiques	100,00	100,00	66,67	60,00	20,00	40,00	16,67	36,36	20,00	70,00	87,50	67,35
Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de	72,73	91,67	66,67	40,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	62,50	44,25
Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	0,00	75,00	66,67	50,00	40,00	80,00	33,33	36,36	60,00	80,00	75,00	46,20
Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	90,91	41,67	100,00	100,00	100,00	100,00	16,67	9,09	30,00	50,00	62,50	65,01
Lavage des Effluents Gazeux	18,18	0,00	33,33	0,00	0,00	0,00	16,67	54,55	30,00	25,00	0,00	15,40
Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	109,09	83,33	100,00	50,00	50,00	100,00	16,67	9,09	30,00	50,00	62,50	68,64

5.5 RESULTATS DE LA PRIORISATION DES TECHNOLOGIES POUR LE SECTEUR INDUSTRIE

Le modèle AMC proposé permet automatiquement d'obtenir la priorisation des options technologiques qui est la suivante :

Tableau 46 : Résultats de la priorisation des Technologies du secteur Industrie

Rang	Option	Point pondéré
1	Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	68,6
2	Bioplastiques	67,3
3	Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	65,0
4	Recyclage des Vieux Papiers	63,1
5	Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	60,8
6	Captage et Stockage de CO2	57,1
7	Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	55,9
8	Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	46,2
9	Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion	44,2
10	Lavage des Effluents Gazeux	15,4

Ce tableau met en évidence que les trois technologies avec les plus hauts scores sont : réduction du ratio clinker/ciment par ajout de cendres volantes, bioplastiques et valorisation de déchets industriels (sciure de bois).

Les membres se sont attendus à ce résultat. En effet, c'est un résultat prévisible surtout pour les cinq premières technologies.

Sur la première et la cinquième technologie, elles ont été fréquemment citées par les membres. Cependant, ces derniers optent pour la première.

Enfin, la deuxième et la troisième technologie ont été choisies sur le même pied d'égalité.

Les fiches technologiques afférentes aux technologies dans le tableau de priorisation sont présentées en annexe.

5.6 ANALYSE DE SENSIBILITE

L'analyse de sensibilité permet d'analyser le modèle AMC en étudiant l'impact de la variabilité des facteurs d'entrée du modèle (ici les critères pondérés) sur la variable de sortie (ici le poids pondéré de chaque technologie et son rang). Déterminant les entrées responsables de cette variabilité, l'analyse de sensibilité permet d'apprécier

variabilité des variables de sortie. L'analyse de sensibilité étudie comment des perturbations sur les variables d'entrée du modèle engendrent des perturbations sur la variable réponse.

Le tableau de pondération et le tableau de priorisation du processus de priorisation contiennent respectivement les variables d'entrée et les variables de sortie.

- Une hypothèse a été considérée : les allocations de budget de la « réduction des GES » et la « protection environnement » sont maintenues constantes respectivement 23.2 et 17.2. Les membres du groupe ont pensé que ces hypothèses constituent le fondement de l'étude elle-même. Et leur maintien constitue une stabilisation du modèle,
- On a généré des échantillons raisonnés à partir d'interaction de variables d'entrée, ce qui a permis d'avoir des sorties multi variées,

Les variables d'entrée et sorties initiales sont données dans les tableaux suivants :

Tableau 47: Test de sensibilité 1

	Critère	Allocation de budget (total = 100)	Poids [%]	Rang Option	Point pondéré
Criterion 1	Réduction des GES	23,2	0,232	1 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	68,6
Criterion 2	Protection environnement	17,2	0,172	2 Bioplastiques	67,3
Criterion 3	Rentabilité	6,2	0,062	3 Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	65,0
Criterion 4	Croissance économique	7,5	0,075	4 Recyclage des Vieux Papiers	63,1
Criterion 5	Emploi	8	0,08	5 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	60,8
Criterion 6	Genre	4,2	0,042	6 Captage et Stockage de CO2	57,1
Criterion 7	Pérennité	6	0,06	7 Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	55,9
Criterion 8	Coût	8	0,08	8 Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	46,2
Criterion 9	Pertinence	7,5	0,075	9 Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion	44,2
Criterion 10	Adaptabilité	6	0,06	10 Lavage des Effluents Gazeux	15,4
Criterion 11	Acceptabilité	6,2	0,062		
	Total	100			
	Budget utilisé	OK			

Il y a 11 variables d'entrée et 10 variables de sorties. Avec les valeurs des variables d'entrée dans la 3^{ème} colonne, on a obtenu les 3 premières technologies qui sont « réduction du ratio clinker/ciment par ajouts de cendres volantes, bioplastiques, et valorisation de déchets industriels (sciure de bois).

1/ L'allocation maximum dans les critères 3 à 7 (catégorie des critères correspondant à « avantages de développement durable ») est de 8. La valeur de chaque critère dans cette catégorie a été ramenée à 8, tandis que celles des autres ont été ajustées pour rester dans le total=100. Et ses effets sont présentés dans le tableau qui suit :
Les trois technologies demeurent parmi les 3 premières : la « réduction du ratio clinker/ciment par ajouts de cendres volantes » et la « valorisation de déchets industriels (sciure de bois) » ont gagné respectivement 3.9 et 4.1. Tandis que la « bioplastiques » a perdu 0.1 et est devenu en 3^{ème} rang.

2/ On a procédé comme dans 1 / mais pour les critères 8 à 11 (catégorie des critères relatifs « caractéristiques de la technologie »). Les effets générés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 48: Test de sensibilité 2

	Critère	Allocation de budget (total = 100)	Poids [%]	Rang Option	Point pondéré	
Critère 1	Réduction des GES	23,2	0,232	1 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	69,4	0,7
Critère 2	Protection environnement	17,2	0,172	2 Bioplastiques	68,2	0,9
Critère 3	Rentabilité	5,6	0,056	3 Recyclage des Vieux Papiers	64,7	1,6
Critère 4	Croissance économique	4	0,04	4 Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	63,0	-2,0
Critère 5	Emploi	6	0,06	5 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	62,7	
Critère 6	Genre	6	0,06	6 Captage et Stockage de CO2	55,3	
Critère 7	Pérennité	6	0,06	7 Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	55,0	
Critère 8	Coût	8	0,08	8 Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	47,9	
Critère 9	Pertinence	8	0,08	9 Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion	43,8	
Critère 10	Adaptabilité	8	0,08	10 Lavage des Effluents Gazeux	15,8	
Critère 11	Acceptabilité	8	0,08			
	Total	100				
	Budget utilisé	OK				

La « réduction du ratio clinker/ciment par ajouts de cendres volantes » reste au premier rang avec un gain de 0.7. La « bioplastiques » redevient 2nd avec un gain de 0.9. La « valorisation de déchets industriels (sciure de bois) » est reléguée au 4^{ème} rang avec -2.0 tandis que le « recyclage des vieux papiers » vient en troisième position avec un gain de 1.6.

3/ La valeur minimum 4.2 a été prise pour uniformiser les valeurs de chacun des critères 3 à 7, et en ajustant les autres critères pour rester dans le total=100. Et l'impact a été le suivant :

Tableau 49: Test de sensibilité 3

	Critère	Allocation de budget (total = 100)	Poids [%]	Rang Option	Point pondéré	
Critère 1	Réduction des GES	23,2	0,232	1 Bioplastiques	69,8	2,5
Critère 2	Protection environnement	17,2	0,172	2 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	68,0	-0,7
Critère 3	Rentabilité	4,2	0,042	3 Recyclage des Vieux Papiers	65,0	1,8
Critère 4	Croissance économique	4,2	0,042	4 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	64,6	
Critère 5	Emploi	4,2	0,042	5 Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	60,8	
Critère 6	Genre	4,2	0,042	6 Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	56,0	
Critère 7	Pérennité	4,2	0,042	7 Captage et Stockage de CO2	54,3	
Critère 8	Coût	8,6	0,086	8 Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	48,9	
Critère 9	Pertinence	10	0,1	9 Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion	44,4	
Critère 10	Adaptabilité	10	0,1	10 Lavage des Effluents Gazeux	16,5	
Critère 11	Acceptabilité	10	0,1			
	Total	100				
	Budget utilisé	OK				

La « bioplastiques » est en première position avec un gain de 2.5. Cette fois-ci, la « réduction du ratio clinker/ciment par ajouts de cendres volantes » est descendue en 2^{ème} position avec une perte de -0.7. Et le « recyclage des vieux papiers est en 3^{ème} position avec un gain de 1.8. Il est à noter que « valorisation de déchets industriels (sciure de bois) » est descendue en 5^{ème} position.

4/ On a procédé comme dans 3/ en prenant la valeur minimum dans les critères 8 à 11 qui est de 6. Et le résultat est le suivant :

Tableau 50: Test de sensibilité 4

	Critère	Allocation de budget (total = 100)	Poids [%]		Rang Option	Point pondéré	
Critère 1	Réduction des GES	23,2	0,232		1 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	71,2	2,6
Critère 2	Protection environnement	17,2	0,172		2 Bioplastiques	67,6	0,2
Critère 3	Rentabilité	7	0,07		3 Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	67,1	2,1
Critère 4	Croissance économique	7	0,07		4 Recyclage des Vieux Papiers	64,4	
Critère 5	Emploi	7,6	0,076		5 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	61,2	
Critère 6	Genre	7	0,07		6 Captage et Stockage de CO2	56,2	
Critère 7	Pérennité	7	0,07		7 Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	54,5	
Critère 8	Coût	6	0,06		8 Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	47,1	
Critère 9	Pertinence	6	0,06		9 Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion	44,5	
Critère 10	Adaptabilité	6	0,06		10 Lavage des Effluents Gazeux	14,3	
Critère 11	Acceptabilité	6	0,06				
	Total	100					
	Budget utilisé	OK					

On retrouve le modèle de priorisation initiale c'est-à-dire, la « réduction du ratio clinker/ciment par ajouts de cendres volantes » au 1^{er} rang avec un gain de 2.6, la « bioplastiques » au 2^{ème} rang avec un gain de 0.2 et « valorisation de déchets industriels (sciure de bois) » au 3^{ème} rang avec un gain de 2.1.

5/ Pour les critères 3 à 7, on a calculé la moyenne arithmétique des allocations de budget et on a attribué cette valeur à chacun de ces critères. Les autres critères de 8 à 11 ont été ajustés pour rester dans le total=100. Le résultat a donné :

Tableau 51 : Test de sensibilité 5

	Critère	Allocation de budget (total = 100)	Poids [%]	Rang Option	Point pondéré	
Critère 1	Réduction des GES	23,2	0,232	1 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	70,4	1,8
Critère 2	Protection environnement	17,2	0,172	2 Bioplastiques	68,2	0,9
Critère 3	Rentabilité	6,38	0,0638	3 Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	65,4	0,4
Critère 4	Croissance économique	6,38	0,0638	4 Recyclage des Vieux Papiers	64,6	
Critère 5	Emploi	6,38	0,0638	5 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	62,1	
Critère 6	Genre	6,38	0,0638	6 Captage et Stockage de CO2	55,8	
Critère 7	Pérennité	6,38	0,0638	7 Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	54,8	
Critère 8	Coût	6,7	0,067	8 Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	47,6	
Critère 9	Pertinence	7	0,07	9 Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion	44,5	
Critère 10	Adaptabilité	7	0,07	10 Lavage des Effluents Gazeux	14,9	
Critère 11	Acceptabilité	7	0,07			
Critère 12						
	Total	100				
	Budget utilisé	OK				

On retrouve les mêmes résultats qu'au 5/ c'est-à-dire la « réduction du ratio clinker/ciment par ajouts de cendres volantes » en 1^{ère} position avec un gain de 1.8, la « bioplastiques » en 2^{ème} position avec un gain de 0.9 et « valorisation de déchets industriels (sciure de bois) » en 3^{ème} position avec un gain de 0.4. On a donc, retrouvé la priorisation initiale.

6/ Pour cette dernière fois, on a calculé la moyenne arithmétique des critères 8 à 11. Cette valeur a été attribuée à chacun des critères en jeu en ajustant les autres pour avoir le total=100. Le résultat de cet échantillon est :

Table 52 : Test de sensibilité 6

	Critère	Allocation de budget (total = 100)	Poids [%]	Rang Option	Point pondéré	
Critère 1	Réduction des GES	23,2	0,232	1 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	72,5	3,9
Critère 2	Protection environnement	17,2	0,172	2 Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	69,1	4,1
Critère 3	Rentabilité	8	0,08	3 Bioplastiques	67,2	-0,1
Critère 4	Croissance économique	8	0,08	4 Recyclage des Vieux Papiers	64,7	
Critère 5	Emploi	8	0,08	5 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	60,5	
Critère 6	Genre	8	0,08	6 Captage et Stockage de CO2	56,2	
Critère 7	Pérennité	8	0,08	7 Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	53,9	
Critère 8	Coût	4,6	0,046	8 Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	46,9	
Critère 9	Pertinence	5	0,05	9 Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion	44,8	
Critère 10	Adaptabilité	5	0,05	10 Lavage des Effluents Gazeux	13,5	
Critère 11	Acceptabilité	5	0,05			
	Total	100				
	Budget utilisé	OK				

Tableau 53: Test de sensibilité 7

	Critère	Allocation de budget (total = 100)	Poids [%]	Rang Option	Point pondéré	
Critère 1	Réduction des GES	23,2	0,232	1 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (CV) par Ajouts de Cendres Volantes	70,3	1,7
Critère 2	Protection environnement	17,2	0,172	2 Bioplastiques	68,2	0,8
Critère 3	Rentabilité	6,38	0,0638	3 Valorisation de déchets industriels (sciure de bois)	65,3	0,3
Critère 4	Croissance économique	6,38	0,0638	4 Recyclage des Vieux Papiers	64,5	
Critère 5	Emploi	6,38	0,0638	5 Réduction du Ratio Clinker/Ciment (PZ) par Ajouts de Pouzzolane	62,0	
Critère 6	Genre	6,38	0,0638	6 Captage et Stockage de CO2	56,0	
Critère 7	Pérennité	6,38	0,0638	7 Elimination des Emissions de Mercure liées aux Opérations d'Extraction d'Or Artisanal	54,9	
Critère 8	Coût	6,925	0,06925	8 Recyclage des Déchets Electriques et Electroniques	47,5	
Critère 9	Pertinence	6,925	0,06925	9 Filtration Chimique des Gaz par Récupération du CO2 des Gaz de Combustion	44,5	
Critère 10	Adaptabilité	6,925	0,06925	10 Lavage des Effluents Gazeux	15,0	
Critère 11	Acceptabilité	6,925	0,06925			
	Total	100				
	Budget utilisé	OK				

Ici encore, la même priorisation initiale a été retrouvée, c'est-à-dire la « réduction du ratio clinker/ciment par ajouts de cendres volantes » en 1^{ère} position avec un gain de 1.7, la « bioplastiques » en 2^{ème} position avec un gain de 0.8 et « valorisation de déchets industriels (sciure de bois) » en 3^{ème} position avec un gain de 0.3. Il y a une

similitude entre le résultat dans 5/ et dans 6/ à -0.1 près. Il est aussi à noter que, quand on a attribué la valeur de la moyenne à chaque valeur des critères 8 à 11, dans le processus d'ajustement des autres critères notamment de 3 à 7, on a retrouvé la moyenne précédente de 6.38.

Le tableau suivant résume les plans d'expérience sur l'analyse de sensibilité :

Tableau 54 : Récapitulation de l'analyse de sensibilité

Plans d'expérience (sur les variables d'entrée)	Stabilité de la priorisation (sur les variables de sortie)
Valeur maximum attribuée à chacun des critères 3 à 7	On retrouve les 3 technologies dans la priorisation initiale
Valeur maximum attribuée à chacun des critères 8 à 11	Différente par rapport aux 3 technologies priorisées initialement
Valeur minimum attribuée à chacun des critères 3 à 7	Différente par rapport aux 3 technologies priorisées initialement
Valeur minimum attribuée à chacun des critères 8 à 11	Identique aux 3 technologies priorisées initialement
Valeur moyenne attribuée à chacun des critères 3 à 7	Identique aux 3 technologies priorisées initialement
Valeur moyenne attribuée à chacun des critères 8 à 11	Identique aux 3 technologies priorisées initialement

Ce tableau montre que l'impact de la variabilité des facteurs d'entrée du modèle sur la variable de sortie :

- représente une probabilité de 66.67% pour retrouver les trois mêmes technologies que celles en tête de la priorisation initiale
- représente une probabilité de 50% pour le retrouver les trois mêmes technologies priorisées comme la priorisation l'initiale

- représente une probabilité de 33% pour ne pas retrouver les mêmes technologies en tête de la priorisation initiale

Au vue de ces conclusions, les résultats donnés par le modèle de l'AMC appliquée dans le processus de priorisation des technologies d'atténuation au changement climatique est fiable.

Sur ces 10 technologies, ont été choisies les trois premières :

1. Réduction du Ratio Clinker/Ciment par Ajouts de Cendres Volantes
2. Bioplastiques
3. Valorisation de Déchets Industriels (sciure de bois)

CHAPITRE 6 : RESUME ET CONCLUSIONS

Les objectifs de la première étape de l'EBT consistent à identifier et hiérarchiser les technologies dont le développement contribue à atteindre les objectifs nationaux de développement durable et les objectifs d'atténuation des émissions de GES dans les secteurs Energie et Industrie.

L'identification, l'élaboration des fiches et la priorisation des technologies ont été réalisées selon le processus participatif et la hiérarchisation selon la méthode d'analyse multicritères. Les parties prenantes ont participé effectivement à la réalisation et la bonne fin de ces tâches, par les différentes réunions et échanges de correspondances organisés et effectués pour ce faire.

Les technologies d'atténuation d'émission de GES sélectionnées sont les suivantes :

Secteur Energie :

- Hydroélectricité de grande taille
- Hydroélectricité de petite taille
- Eclairage LED

Secteur Industrie :

- Réduction du Ratio Clinker/Ciment par Ajouts de Cendres Volantes
- Bioplastiques
- Valorisation de Déchets Industriels (sciure de bois)

Le développement de ces six technologies correspond aux actions prioritaires pour le développement soutenu de Madagascar. Dans la deuxième étape du projet EBT, les technologies feront l'objet d'analyse des barrières freinant leur mise en valeur et de détermination des solutions pour la levée des barrières, pour arriver à la troisième étape du projet visant l'élaboration d'un Plan d'Actions Technologiques (PAT).

LISTE DES REFERENCES

- [1] : Analyse d'atténuation des gaz à effet de serre – Secteur Energie – Juillet 2014
- [2] : Diagnostic du Secteur Energie – WWF – Ministère de l'Energie – Septembre 2012
- [3] : Document de l'Etude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures – Août 2015
- [4]: ATELIER DAKAR/TNA WORKSHOP SALY/Stick memory/Work presentations/Jour2/9.MCA_1-3/slide6
- [5]: atelier 01 OCTOBRE 2015 STRUCTURE EBT/Presentation Structure_EBT_DGE/slide 7
- [6]: Préparation de la Deuxième Communication Nationale de Madagascar « Description des Circonstances Nationales » - Ministère de l'Environnement des Eaux et Forêts – Direction Générale de l'Environnement – RAKOTOBE Henri
- [7] : Draft de la Troisième Communication Nationale
- [8] : Politique Générale de l'Etat (PGE) – Mai 2014
- [9] : Les avis de l'Ademe – L'éclairage à diodes électroluminescentes (LED) – Septembre 2014
- [10] : MAG99/G31, 2002

ANNEXE1
FICHES DES TECHNOLOGIES

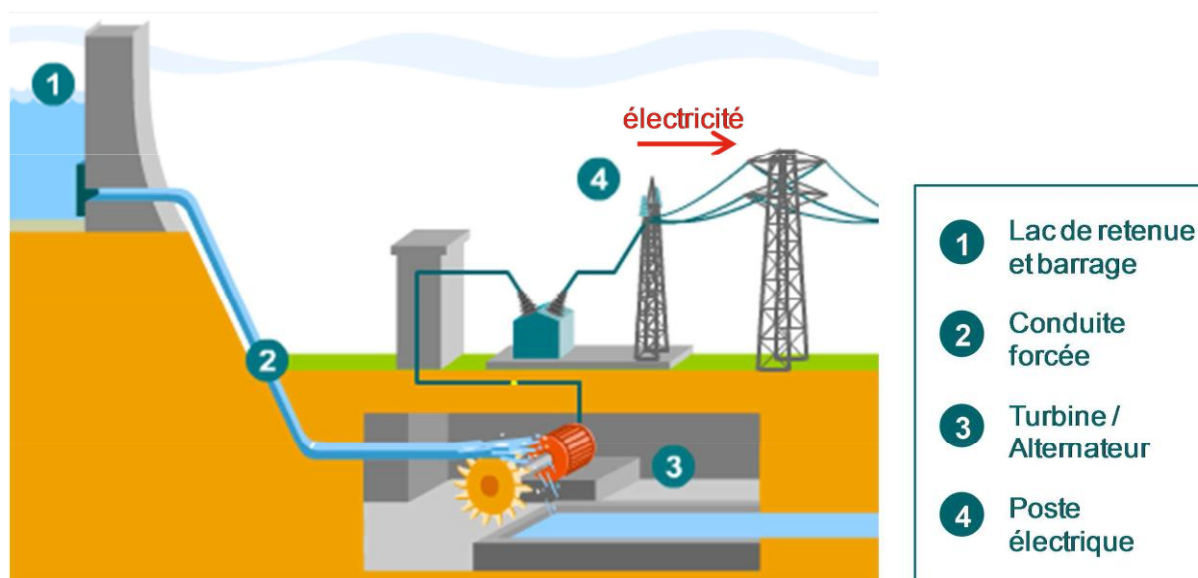
FICHES DES TECHNOLOGIES SELECTIONNEES SECTEUR ENERGIE

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 1/ HYDROELECTRICITE

Nom de la technologie :	Hydroélectricité
Echelle :	Grande et petite
Disponibilité :	Court terme
Statut	Grande échelle, sélectionnée pour les grands centres Petite échelle, sélectionnée pour les moyens et petits centres

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

Les centrales hydroélectriques exploitent l'énergie potentielle gravitaire de l'eau pour produire de l'électricité. La chute de l'eau, guidée par un réseau de conduites, entraîne des turbines reliées à un alternateur. On distingue les ouvrages hydroélectriques disposant d'un stock d'énergie (ouvrages lac avec retenue d'eau) à ceux produisant au "fil de l'eau". Les ouvrages éclusés sont mixtes, avec une capacité de stockage limitée. La taille des ouvrages est extrêmement variable, de l'ordre du kWe pour la "pico-hydro" jusqu'à plusieurs dizaines de GWe, pour des hauteurs de chutes de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Les centrales de taille restreinte, souvent au "fil de l'eau", produisent une électricité considérée comme fatale. A l'inverse, les ouvrages disposant d'un stock hydraulique sont des outils de flexibilité pour le réseau. Certains ouvrages, les STEP (stations de transfert d'énergie par pompage), disposent en plus d'une capacité de pompage qui offre un degré de flexibilité supplémentaire, en remontant l'eau dans un bassin supérieur pendant les périodes creuses de consommation électrique et en produisant de l'électricité durant les périodes de plus forte consommation.



Les turbines hydroélectriques d'aujourd'hui sont capables de convertir plus de 90% de l'énergie disponible en électricité.

L'hydroélectricité est actuellement la deuxième source d'énergie renouvelable la plus utilisée dans le monde, juste derrière la biomasse solide. Environ 20% de l'électricité fournie à l'échelle mondiale est produite par l'hydroélectricité et, dans certains pays, il fournit plus de 50% de l'approvisionnement en électricité.

Les catégories de puissance des centrales hydroélectriques sont données ci-après² :

TYPE	Hydro catégorie de puissance Description
Les grandes centrales hydroélectriques	Plus de 100 MW et habituellement de se nourrir dans un grand réseau d'électricité
Milieu hydro	15-100 MW (alimentation habituellement dans une grille)

Les petites centrales hydroélectriques	1 - 15 MW (alimentation habituellement dans une grille)
Mini hydro	Au-dessus de 100 kW et inférieure à 1 MW (soit tenir régimes seuls ou nourrir plus souvent dans le réseau)
Micro hydro	De 5 kW à 100 kW (généralement fournir de l'énergie pour une petite collectivité ou de l'industrie rurale dans les zones reculées loin de la grille)
Pico hydro	De quelques centaines de watts jusqu'à 5 kW

Source : Egre et Milewski (2002)

La grande centrale hydroélectrique est une technologie éprouvée, durable, robuste, efficace (rendement de 90%) et assure une grande sécurité d'approvisionnement d'énergie. La technologie est commercialement et techniquement mature. Le grand barrage du système peut faire l'objet d'utilisation multiple, entre autres l'irrigation, l'approvisionnement en eau résidentiel et industriel, le contrôle des inondations. Il assure également une bonne régulation des débits d'eau nécessaire au fonctionnement de la centrale. Une grande centrale hydroélectrique émet une quantité très faible de GES, 4g CO₂éq/kWh (une centrale diesel de même taille, la référence, émet 840g CO₂éq/kWh)

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques¹

La technologie s'adapte à l'approvisionnement en énergie des grands et mini réseaux électriques. La gamme de puissance d'une centrale hydroélectrique est comprise entre des centaines de W et des dizaines de GW. Le taux de disponibilité est de 85 à 95% (sans prendre en compte le stock hydraulique). La durée de fonctionnement est de 2000 à 6000h/an, la durée de fonctionnement des centrales au fil de l'eau dépend des débits des cours d'eau. Le facteur de charge est compris entre 20 et 95%, les facteurs de charge élevés se rapportent aux centrales au fil de l'eau. La durée de vie d'une centrale est estimée à 30 ans. La technologie émet 4g CO₂ éq/kWh. A titre comparatif, une centrale diesel de référence émet 840g CO₂ éq/ kWh.

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance²

Les projets de grandes centrales hydroélectriques requièrent de très importants investissements. Le coût d'investissement varie de moins de 1400 € / kW à 1900 € / kW, (Idaho National Laboratory, 2005). Les coûts d'exploitation et d'entretien sont relativement faibles, le coût de fonctionnement est de l'ordre de 0,033€ / kWh d'électricité produite et celui de l'entretien environ 0,025€ / kWh (EUSUSTEL). Le coût moyen de production à Madagascar est de l'ordre 0,07 \$US/kWh pour les grands centres, et de l'ordre de 0,27 \$US/kWh pour les petits centres.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR³

L'hydroélectricité est actuellement la deuxième source d'énergie renouvelable la plus utilisée à Madagascar, juste derrière le bois énergie. Le pays dispose d'un potentiel d'énergie hydraulique relativement important de l'ordre de 7800MW. La puissance installée hydraulique est de 162 MW (soit 2% du potentiel identifié) dont 23 MW appartiennent à des privés. La production des centrales hydroélectriques représente environ 56% de la production totale d'électricité, ce taux était de 68% il y a 14 ans. La plus grande centrale hydraulique installée à Madagascar est Andekaleka avec une puissance installée de 90 MW, le pays ne possède pas encore de grande centrale. D'après l'étude effectuée récemment à Madagascar, le coût moyen de production d'une grande centrale hydroélectrique est estimée à 0,07 \$US/kWh alors que celui d'une centrale diesel de référence est compris entre 0,21 et 0,27 \$US/kWh. L'analyse comparative des options montre que les centrales hydroélectriques de grande et petite tailles constituent les options technologiques de moindre coût pour la production d'électricité tant pour les grands centres que pour les mini réseaux. Pour ces derniers, le coût de production moyen est de 0,27 \$US/kWh étant moins de la moitié de celui d'une centrale diesel de référence.

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : Le remplacement des centrales thermiques à base de combustibles fossiles par l'hydroélectricité permet une importante réduction d'émission de GES.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par une augmentation significative du taux d'électrification, pour les grandes centrales, prévention contre les inondations, développement de l'irrigation, meilleur approvisionnement en eau résidentiel.

Impacts sur le développement économiques : réduction du coût de l'énergie dans le système économique pour le rendre plus compétitif, création de richesse, réduction de la dépendance aux combustibles fossiles, réduction de la facture pétrolière. L'option hydroélectrique est le moindre coût tant pour les grands réseaux que pour les mini-réseaux.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation importante de l'émission de GES, réduction de la pollution.

¹ : Les moyens de production d'énergie électriques et thermiques – Rassemblons nos énergies – Préfet de Bretagne – Ademe – Région Bretagne – Mai 2014 (ENEA – Consulting – 2014 – Les – moyens – de – production – d'énergie pdf)

² : Hydro barrages à grande échelle pour l'approvisionnement en électricité _ ClimateTechWiki

³ : Document de l'Etude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures –Août 2015

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 13/ ECLAIRAGE LED

Nom de la technologie :	Eclairage LED
Echelle :	Petite
Disponibilité :	Court terme
Statut :	Technologie sélectionnée

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

La LED (light-emitting diode), ou DEL (diode électroluminescente) est un composant électronique à semi-conducteur. Lorsqu'un courant traverse la diode dans le sens passant, celle-ci émet de la lumière. Contrairement aux sources lumineuses conventionnelles, les LED sont des composants électroniques, à savoir de minuscules puces électroniques en cristaux semi-conducteurs. Les LED se passent de filtres chromatiques: leur lumière est directement produite en diverses couleurs grâce à différents matériaux semi-conducteurs. Ces dernières années, l'efficacité des LED a doublé tous les deux ans. Aujourd'hui, les LED trouvent place dans de nombreuses applications. Elles sont devenues des sources lumineuses rentables largement reconnues pour leurs nombreux avantages.

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Les LED sont à la fois plus économiques et plus écologiques que les autres solutions techniques en matière d'éclairage.

Caractéristiques techniques³ : Les lampes LED ont un plus grand Rendement Lumineux Utile (exprimé en pourcentage de lumens par watt) que les lampes fluocompactes (LFC) ou les lampes à vapeur de sodium (HPS) utilisées traditionnellement dans les systèmes d'éclairage public. Elles offrent également un éclairage huit fois supérieure à celle des lampes à incandescence, devenues obsolètes. Les lampes LED ont une durée de vie utile de plus de 50 000 heures (une lampe allumée en moyenne 8 heures par jour a une durée de vie de 17 ans).

Comparatif de rendements et de durées de vie		
Technologie	Rendement (lumen par watt lm/W)	Durée de vie moyenne (heures)
Lampe incandescente	10 - 20 lm/W	1 000 h - 2 000 h
Lampe halogène	15 - 20 lm/W	2 000 h - 3 000 h
Lampe fluorescente	40 - 70 lm/W	6 000 h - 15 000 h
Lampe à LED	40 - 100 lm/W	15 000 h - 50 000 h

Les lampes LED sont extrêmement efficaces et permettent des économies de 75 à 90% par rapport aux lampes à incandescence conventionnelles, au sodium ou au mercure, et de 10 à 20% par rapport aux LFC. En raison de leur longue durée de vie, les lampes LED permettent d'éviter les interruptions de services, les dommages et les remplacements constants des lampes, rendant possibles de grosses économies de maintenance. Les lampes LED sont extrêmement pratiques pour être utilisées là où les éclairages sont compliqués ou coûteux à installer et à entretenir comme, par exemple, les ponts, les structures très élevées ou les éclairages de sécurité. Les nouvelles installations d'éclairage LED réduisent considérablement les coûts des câbles de cuivre, dont l'épaisseur (diamètre) est à peine une fraction de ce que requièrent les installations des lampes traditionnelles (au sodium ou à métal halide). Les lampes LED fonctionnent à bas voltage (< 32v) et génèrent une chaleur minimale, ce qui offre une grande sécurité d'installation et d'utilisation. Les lampes LED résistent à de grandes variations de température et aux vibrations, ce qui garantit un fonctionnement continu. Elles ne sont pas fragiles et se cassent difficilement, à la différence de

toutes les autres lampes conventionnelles, qu'elles soient à incandescence, fluorescentes (à économie d'énergie), ou à décharge haute intensité. Utilisés à l'origine pour des applications spécifiques uniquement (voyants lumineux indiquant la présence d'énergie électrique), la technologie et les systèmes d'illumination LED ont aujourd'hui pénétré pratiquement sur la totalité du marché mondial de l'éclairage général, remplaçant les lampes traditionnelles à incandescence et les lampes fluorescentes. A la différence des LFC ou au sodium, les LEDs ont un allumage rapide et ne tardent pas à atteindre un niveau optimum d'illumination et de température de la couleur. Les lampes LED sont recyclables et ne polluent pas l'environnement. Les lampes fluorescentes à économie d'énergie et celles au sodium contiennent du mercure ; les lampes fluorescentes émettent également des ondes électromagnétiques nocives pour la santé quand elles sont placées à une courte distance (lampes de bureau ou de chevet).

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance : Le coût d'une LFC de 15W (équivalent en luminosité à une lampe à incandescence de 60W) est de l'ordre de 2,8 \$US². Le prix d'une LED de 15W équivalente à une lampe à incandescence de 120W à Antananarivo est de l'ordre de 3,54 \$US.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR

Les LED 220V/AC sont déjà disponibles sur le marché à Antananarivo, néanmoins, leurs qualités ne sont pas connues. Mais, leur diffusion, avec des mesures d'accompagnement adéquates, entraînera une réduction importante de la consommation d'électricité pour l'éclairage dans tous les secteurs économiques, et atténuera en conséquence l'émission de GES au niveau de la production d'électricité.

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : Le remplacement des lampes à incandescence et les LFC par les LED contribue à l'atténuation des GES.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par la mise à sa disposition de technologie plus propre et à moindre coût.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière, mise à disposition d'une option d'éclairage au moindre coût.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES, les LED sont recyclables

¹ : Lanternes solaires/Climate TechWiki /Climate TechWiki

² : Document de l'Etude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures – Août 2015

³ : Avantage de la Technologie d'Echange LED Chrono HTML Document

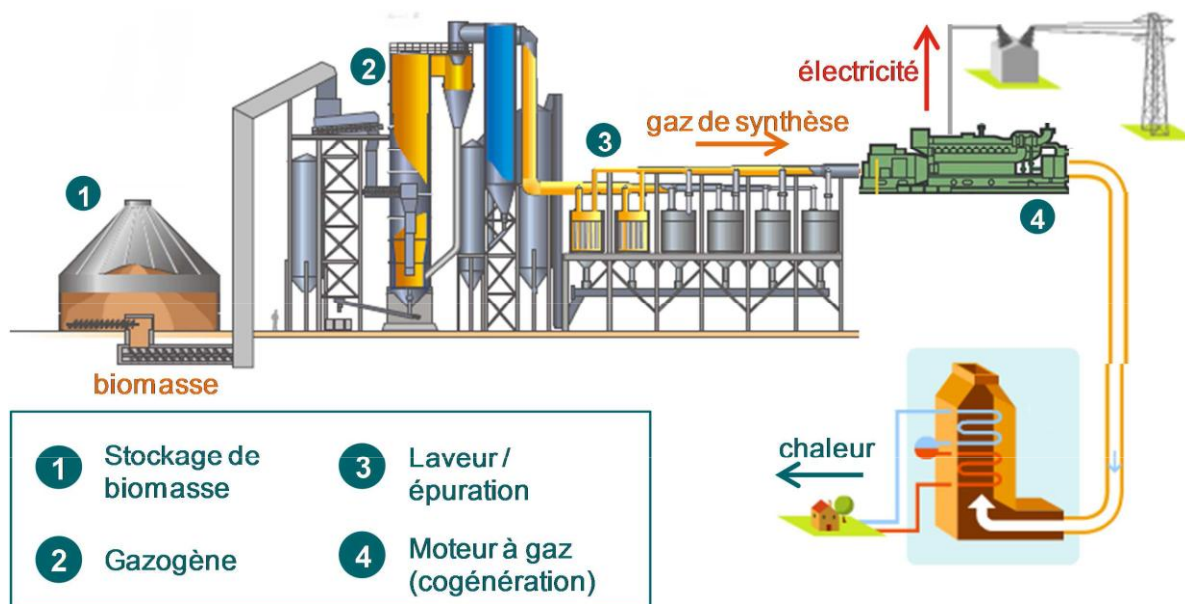
FICHES DES AUTRES TECHNOLOGIES

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 2/ BIOMASSE

Nom de la technologie :	Biomasse Combustion
Echelle :	Petite
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE^{1 et 2}

La combustion est le procédé le plus connu pour convertir la biomasse en énergie. Deux types de technologies sont matures, rentables et attrayantes, la combustion de la biomasse et la co-combustion de la biomasse avec des combustibles fossiles. La co-combustion de la biomasse avec le charbon est d'usage pour les grandes installations industrielles, les grands réseaux électriques ou les grands centres autonomes. De même, les centrales à turbines à vapeur, brûlant la biomasse pour obtenir une vapeur surchauffée à haute pression pour entraîner une turbine à vapeur couplée à un générateur électrique, disposent d'une puissance comprise entre 5 et 30 MW dans la pratique commerciale. La technologie la plus appropriée actuellement pour produire de l'énergie dans les petites villes isolées des grands réseaux, pour l'électrification rurale semble être la filière Gazéification et moteur à gaz. C'est une centrale de production d'électricité composée d'une unité de gazéification de la biomasse, un système de filtration du gaz et un groupe électrogène à gaz. La gazéification est un processus thermo-chimique, qui ressemble à la carbonisation par manque d'oxygène. A la différence de la carbonisation, le gaz sortant est dit de synthèse est composé essentiellement de H₂, CO, CO₂ et CH₄ et peut être utilisé après filtrage pour le fonctionnement d'un moteur. Les usines de gazéification ont des niveaux de puissances qui vont de 20-40 kW à plusieurs dizaines de MW. Les unités de quelques dizaines de kW sont bien appropriées pour les petites quantités de résidus. Les usines de gazéification du bois fonctionnent de manière relativement fiable. Il est important de mentionner les projets couronnés de succès pour la gazéification des balles de riz.



CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques¹ : Nous considérons ici la technologie adaptée à l'électrification des petits sites isolés ruraux, en l'occurrence la gazéification et moteur à gaz, les centrales à turbines à vapeur à base de biomasse, avec cogénération. La centrale de production d'électricité composée d'une unité de gazéification de la biomasse, un système de filtration du gaz et un groupe électrogène à gaz. La biomasse utilisée est la balle de riz. Le gaz sortant de l'unité de gazéification est un gaz dit de synthèse composé essentiellement de H₂, CO, CO₂ et CH₄. Le gaz passe par du filtrage avant d'être brûlé dans un moteur à combustion. La gamme de puissance va de 10kW à des dizaines de

MW. La durée de vie de l'unité est estimée à 20 ans. La technologie émet 0g CO₂ éq/kWh, en effet la balle de riz appartient à la catégorie de combustibles neutre en carbone.

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance³ : Le coût d'investissement en capital est de 2207 \$US/kW, le coût de maintenance est estimée à 0,0204 \$US/kWh (faible par rapport à celui d'une centrale diesel de référence 0,056 \$US/kWh), le coût moyen de production est de 0,27 \$US/kWh moins de la moitié de celui du groupe diesel.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR

Les centrales à turbines à vapeur à base de biomasse ont été utilisées depuis longtemps à Madagascar par les industries sucrières (bagasse), usines de transformation de bois (bois), une industrie textile (bois) et par d'autres industries (balles de riz). Dans les sucreries et l'industrie textile, les centrales sont utilisées pour la cogénération de chaleur et d'électricité. La production d'électricité dans les centres isolés ruraux par Gazéification et moteur à gaz a commencé en 2010, la biomasse utilisée est la balle de riz. En effet, le pays est producteur de riz étant la base de la nourriture de la population. Le coût de production moyen est de 0,27 \$US/kWh. Pour les mini-réseaux, cette option est le moindre coût après l'hydraulique³.

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : Le remplacement des centrales thermiques à base de combustibles fossiles par des centrales thermiques à base de balle de riz permet une réduction d'émission de GES.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par une augmentation significative du taux d'électrification, réduction de la facture électrique de la population et de ses activités économiques et sociales, création d'activités génératrices de revenus.

Impacts sur le développement économiques : réduction du coût de l'énergie dans le système économique pour le rendre plus compétitif, création de richesse, réduction de la dépendance aux combustibles fossiles, réduction de la facture pétrolière.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES.

¹ : Combustion de la biomasse et de la co-combustion de la chaleur et électricité _ ClimateTechWiki

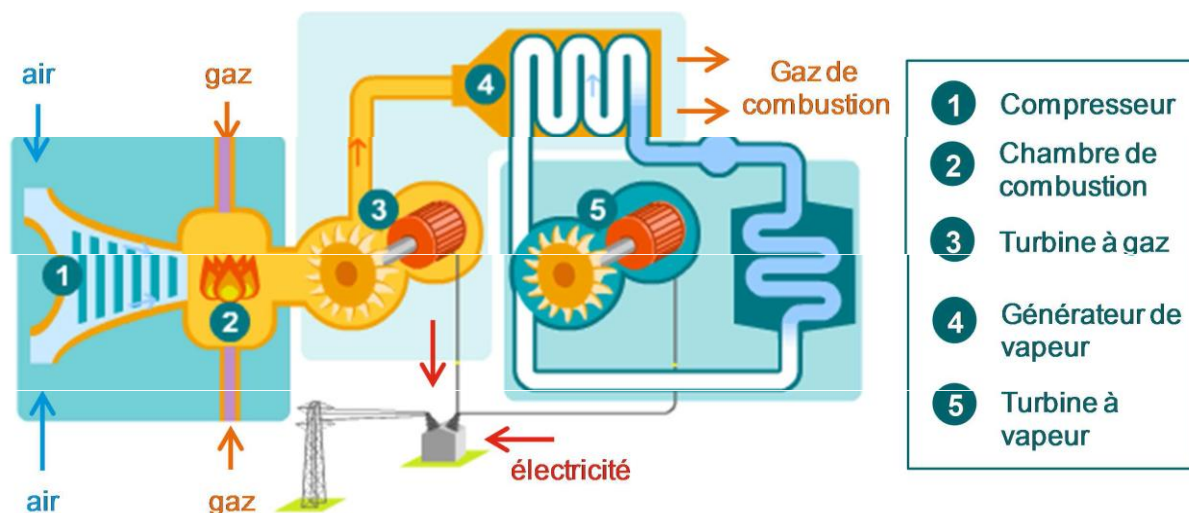
² : Les moyens de production d'énergie électriques et thermiques – Rassemblons nos énergies – Préfet de Bretagne – Ademe – Région Bretagne – Mai 2014 (ENEA – Consulting – 2014 – Les – moyens – de – production – d'énergie pdf)

³ : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Énergie – Madagascar

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 3/ GAZ NATUREL

Nom de la technologie :	Cycle Combiné Gaz naturel
Echelle :	Grande échelle
Disponibilité :	Moyen terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹



Un cycle combiné consiste à produire de l'électricité sur 2 cycles successifs. Le premier cycle est semblable à celui d'une turbine à combustion (TAC) : le gaz brûlé en présence d'air comprimé actionne la rotation de la turbine reliée à l'alternateur. Dans le second cycle, la chaleur récupérée en sortie de la TAC alimente un circuit vapeur qui produit également de l'électricité avec une turbine dédiée. Les centrales à Cycle Combiné Gaz Naturel (CCGN) présentent l'avantage d'atteindre des rendements élevés (57 à 61%), par rapport aux TAC en cycle simple (30 à 42%), et de fournir une alternative aux centrales thermiques à flamme avec un moindre impact environnemental. La cogénération sur les CCG est possible en valorisant la chaleur résiduelle, mais elle demeure peu répandue. Avec cogénération, le rendement atteint 70 à 90%. Les CCGN émettent moins de la moitié des CO₂ émis par les centrales à charbon de puissance analogue.

Actuellement, le marché des turbines à gaz de monde a quatre grands fabricants: Alstom Power, General Electric, Siemens-Westinghouse et Mitsubishi Heavy Industries. Les grandes turbines à gaz avec des puissances plus élevées sont principalement utilisées dans les centrales à cycle combiné pour la chaleur et la cogénération d'énergie. L'application dans les centrales électriques à cycle combiné fournira une augmentation de sortie plus grande que les TAC, étant donné que le rendement électrique de cycle mixte est supérieur à celle d'un cycle simple (environ 15 à 20 points de% en fonction de la sortie de l'installation). Par conséquent, les grandes turbines à gaz avec leurs rendements électriques plus élevés dans les deux systèmes de cycles simples et combinés assureront une meilleure conservation de l'énergie et de l'utilisation (ENTTRANS, 2008)².

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques¹

La technologie s'adapte à l'approvisionnement en énergie des grands réseaux électriques. La gamme de puissance d'une centrale CCGN est comprise entre 100 MWe et plus de 1GWe. Le taux de disponibilité est de 80 à 90%, l'indisponibilité est due en particulier aux opérations de maintenance. La durée de fonctionnement est de 2000 à 6000h/an. Le facteur de charge est compris entre 20 et 90%, un facteur de charge élevé correspond à une utilisation en base. La durée de vie d'une centrale CCGN est estimée à 25 ans. La technologie émet 438g CO₂ éq/kWh. A titre comparatif, une centrale diesel de référence émet 840g CO₂ éq/kWh.

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance³

Le coût d'investissement en capital est de 954 \$US/kW, le coût de maintenance fixe est de 14 \$US/kW/an et le coût de maintenance variable est estimée à 0,004 \$US/kWh, le coût moyen de production est de 0,12 \$US/kWh.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR⁴

Les centrales à turbines à combustion à base de biomasse ont été utilisées depuis longtemps à Madagascar par les industries sucrières (bagasse), usines de transformation de bois (bois), une industrie textile (bois) et par d'autres industries (balles de riz). Dans les sucreries et l'industrie textile, les centrales sont utilisées pour la cogénération de chaleur et d'électricité. Le CCGN n'existe pas encore à Madagascar. Toutefois, cette option technologique est considérée comme la plus avantageuse pour compléter la production hydroélectrique. Elle fait partie des options au moindre coût et constitue une option plus propre et plus flexible que le charbon et le diesel (Politique et stratégie énergétique). De plus, la production au gaz naturel peut être utilisée aussi bien pour la production de base que de pointe

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : Le remplacement des centrales thermiques à base de produits pétroliers liquides par des centrales CCGN permet une réduction d'émission de GES de 50% par rapport à la solution à base combustibles pétroliers liquides.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par une augmentation significative du taux d'électrification, réduction de la facture électrique de la population et de ses activités économiques et sociales, création d'activités génératrices de revenus.

Impacts sur le développement économiques : réduction du coût de l'énergie dans le système économique pour le rendre plus compétitif, création de richesse, réduction de la facture pétrolière. Le coût moyen de production est estimé à 0,12 \$US/kWh étant largement inférieur à celui du coût d'une centrale à fuel oil.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES.

¹ : Les moyens de production d'énergie électriques et thermiques – Rassemblons nos énergies – Préfet de Bretagne – Ademe – Région Bretagne – Mai 2014 (ENEA – Consulting – 2014 – Les – moyens – de – production – d'énergie pdf)

² : Gas Natural centrales à cycles combiné _ ClimateTechWiki

³ : Document de l'Etude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures – Août 2015

⁴ : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Energie – Madagascar

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 4/ SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Nom de la technologie :	Solaire Photovoltaïque
Echelle :	Grande et petite
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

Les systèmes solaires photovoltaïques (PV) convertissent l'énergie du rayonnement solaire en électricité grâce à un matériau semi-conducteur qui, sous l'excitation des photons de la lumière, crée un déplacement d'électrons. Les matériaux semi-conducteurs peuvent être cristallins (silicium monocristallin et poly-cristallin), sous forme de couche mince (silicium amorphe, tellure de cadmium), ou encore faits de matière organique. Les matériaux cristallins (première génération de cellules solaires) sont les plus répandus. Les couches minces (deuxième génération de cellules solaires) ont toutefois des propriétés intéressantes, notamment pour une intégration aux bâtiments (meilleur captage du rayonnement diffus, bonne résistance à l'échauffement, etc.). Les systèmes se présentent sous forme de panneaux disposés au sol ou sur des toitures, dans un nombre variant de un à plusieurs centaines de panneaux. Le courant délivré étant continu, l'installation d'un onduleur est nécessaire pour délivrer un courant alternatif, notamment dans le cas d'une injection de l'électricité sur le réseau. Les panneaux PV captent les rayonnements solaires direct et diffus. Certains systèmes comme les « trackers », qui suivent la course du soleil, ou les concentrateurs (troisième génération) permettent de maximiser les rendements en zones de fort ensoleillement direct.

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques²

La technologie s'adapte à l'approvisionnement en énergie des grands et mini et micro réseaux électriques. La gamme de puissance d'une centrale solaire photovoltaïque est comprise entre des dizaines de W et des centaines de MW. Le taux de disponibilité est de 20 à 27%. La durée de fonctionnement est de l'ordre 3000h/an, elle correspond au nombre d'heures pendant lesquelles l'onduleur est allumé (en journée). La durée de vie d'une centrale est estimée à 20 ans. La première génération de cellules solaire a un rendement en termes de production d'électricité compris entre 20 et 25%, la deuxième génération présente un rendement de 10 à 16%, et la troisième génération obtient en laboratoire un rendement de 40%. Cette dernière a été développée à l'origine pour une utilisation dans l'espace. La technologie émet 46g CO₂ éq/kWh. A titre comparatif, une centrale diesel de référence émet 840g CO₂ éq/ kWh.

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance³

Le coût d'investissement en capital est de 2788 \$US/kW pour une grande centrale et de 11 250 \$US/kW pour une petite centrale. Les coûts de maintenance fixe sont respectivement de 20 \$US/kW/an pour une grande centrale et de 707 \$US/kWh pour une petite centrale. Le coût moyen de production est de 0,12 \$US/kWh pour une grande centrale et de 0,71 \$US/kWh pour une petite centrale sans batterie de stockage.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR⁴

Madagascar possède un important potentiel en Energie solaire avec une Energie incidente de l'ordre de 2 000 kWh/m²/an et presque toutes les régions du pays ont plus de 2 800 heures d'ensoleillement annuel, soit une puissance solaire de 750 W/m². Les régions les plus intéressantes disposant d'un niveau de rayonnement supérieur à 5 500 kWh/m²/an sont les parties nord-ouest, centre-ouest et sud-ouest de l'île. L'Energie solaire est valorisée en Energie électrique grâce aux installations photovoltaïques, et en énergie pour la cuisson, grâce au cuiseur solaire ou au solaire à concentration. Malgré les potentiels existants, ces ressources restent encore sous-exploitées. Leurs valorisations restent très restreintes, au niveau des CSB, Ecoles et particuliers. Pour la société JIRAMA (société national de l'électricité de l'eau), un seul centre à Benenitra fonctionne avec une production solaire en appoint avec une production thermique au gasoil.

Un aperçu des prix d'achat des installations solaires est présenté ci-après :

- Panneaux photovoltaïques silice amorphe de 50 Wc : 700 000 Ar

- Panneaux photovoltaïques de 50 Wc : 1 000 000 Ar (monocristallin, polycristallin)
- Batteries de 50 Ah : à partir de 250 000 Ar
- Régulateur : à partir de 170 000 Ar

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : Le remplacement des centrales thermiques à base de produits pétroliers par des centrales solaires photovoltaïques permet une réduction importante d'émission de GES. La technologie émet 46g CO₂ éq/kWh alors que une centrale à base de produits pétroliers de référence émet 840g CO₂ éq/ kWh.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par une augmentation du taux d'électrification et par sa mise à disposition de technologie propre.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière. Le coût moyen de production est estimé à 0,12 \$US/kWh pour les grandes centrales et 0,71 \$US/kWh pour les petites centrales sans batterie de stockage.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES.

¹: Les moyens de production d'énergie électriques et thermiques – Rassemblons nos énergies – Préfet de Bretagne – Ademe – Région Bretagne – Mai 2014 (ENEA – Consulting – 2014 – Les – moyens – de – production – d'énergie pdf)

²: PV solaire_ ClimateTechWiki

³: Document de l'Etude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures –Août 2015

⁴: Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Energie – Madagascar

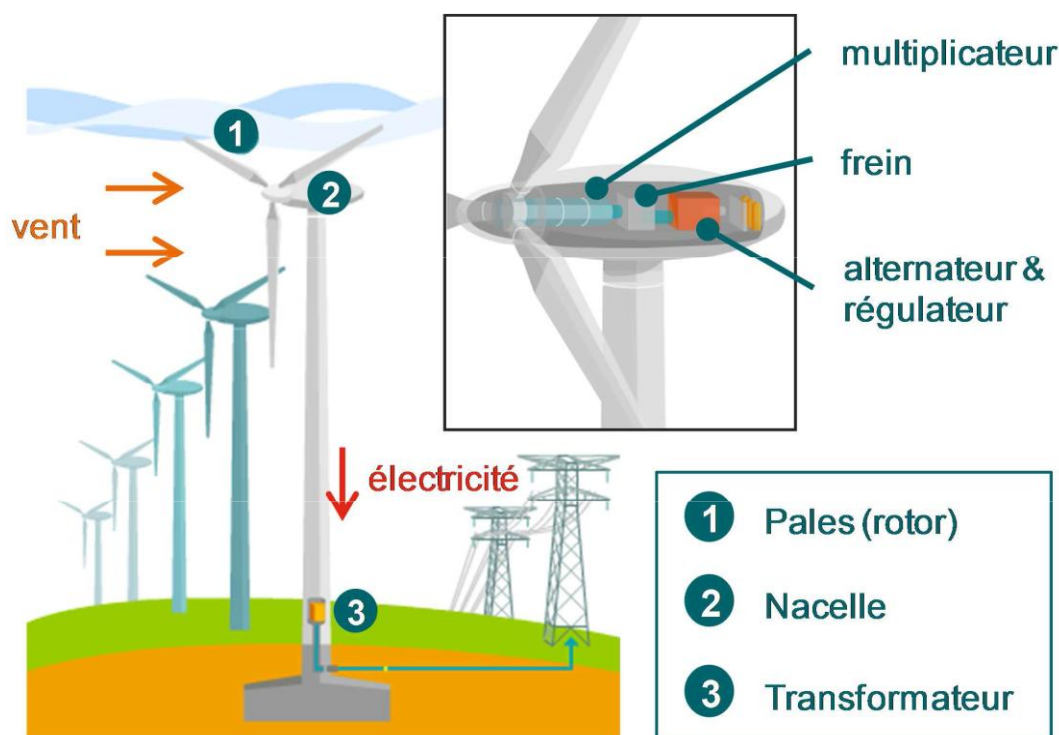
ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 5/EOLIENNE ON SHORE

Nom de la technologie :	Eolienne on shore
Echelle :	Grande et petite
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

Après l'hydro-électricité, l'énergie éolienne est pratiquement la moins chère des énergies renouvelables. Ainsi, depuis le début de l'utilisation moderne de l'énergie éolienne dans les années 80, la technologie a connu un développement impressionnant, en particulier ces 5 dernières années. La puissance totale installée dans le monde était de 282 GW en 2012 (GWEC 2013).

Une éolienne transforme l'énergie cinétique du vent en électricité via un rotor, lié aux pales, ainsi qu'un dispositif électromécanique. La puissance fournie étant proportionnelle au cube de la vitesse du vent, la performance de l'éolienne dépend de l'emplacement ainsi que de la présence éventuelle d'obstacles. L'énergie du vent peut être captée à partir d'une vitesse de 3 m/s, pour une performance maximale atteinte à partir de 12 m/s à 15 m/s. Les éoliennes sont mises à l'arrêt au-delà d'une vitesse de vent seuil (variable selon les modèles). Les modèles les plus répandus sont les éoliennes à axe horizontal à 3 pales, avec des rotors à vitesse variable. Alors que les modèles initiaux étaient conçus avec des rotors à vitesse fixe, les exigences des opérateurs de réseaux pour une électricité de meilleure qualité ont fait évoluer les technologies vers une variabilité croissante de la vitesse des rotors. Une évolution majeure concerne également le passage des électroaimants à des aimants permanents, plus fiables et efficaces à charge partielle.



CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE¹

Caractéristiques techniques¹

La technologie s'adapte à l'alimentation en énergie des grands et mini et micro réseaux électriques. La gamme de puissance d'une centrale éolienne est comprise entre des dizaines de W et des centaines de MW. Le taux de disponibilité est de 25 à 35%. La durée de fonctionnement est de l'ordre de 6000h/an. La durée de vie d'une centrale est estimée à 20 ans. Les modèles récents d'éolienne à axe horizontal, tripale ont actuellement un rendement de production d'électricité supérieur à 40%, soit environ 75% de la limite de Betz (rendement de 59%). La conception,

l'installation et la maintenance du système sont relativement aisées. La technologie émet 12g CO₂ éq/kWh. A titre comparatif, une centrale diesel de référence émet 840g CO₂ éq/ kWh.

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance²

Le coût d'investissement en capital est de 2250 \$US/kW pour une grande centrale et de 13725 pour une petite centrale. Les coûts de maintenance fixe sont respectivement de 25 \$US/kW/an pour une grande centrale et de 1226,9 \$US/kWh pour une petite centrale. Le coût moyen de production est de 0,10 \$US/kWh pour une grande centrale et de 0,85 \$US/kWh pour une petite centrale sans batterie de stockage.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR³

Madagascar possède un potentiel important en matière de production d'Énergie éolienne. Il y a 3 sortes de vents dans le pays : les vents des côtes, les vents locaux, les vents provenant de l'océan dont les alizés et les cyclones. Les vents des côtes et locaux peuvent avoir une variation d'intensité journalière, les vents alizés ont des variations saisonnières. Mais ils constituent les vents potentiels pour la mise en place d'une installation éolienne. Globalement, les régions Nord, Sud et la côte Est constituent les zones favorables où la vitesse de vent est intéressante, atteignant 7,5 à 9 m/s dans le nord, 6 à 9 m/s dans le sud. En considérant les zones du Nord au Sud longeant la côte Est, ayant une vitesse de vent aux environs de 6,5 m/s, Madagascar dispose d'un potentiel de 2 000 MW d'Énergie éolienne. Le montage des installations éoliennes peut être réalisé localement à partir des matériaux importés notamment la turbine même si certaines entreprises importent la totalité des pièces.

Des sociétés privées interviennent dans la vente et la distribution des installations éoliennes. Des petites installations d'électrification rurale isolées fonctionnent actuellement au nord et au sud du pays. Des installations individuelles existent sur la côte Est.

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : Le remplacement des centrales thermiques à base de produits pétroliers par des centrales éoliennes permet une réduction importante d'émission de GES. La technologie émet 12g CO₂ éq/kWh alors que une centrale à base de produits pétroliers de référence émet 840g CO₂ éq/ kWh.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par une augmentation du taux d'électrification et par sa mise à disposition de technologie propre.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière. Le coût moyen de production est estimé à 0,10 \$US/kWh pour les grandes centrales et 0,85 \$US/kWh pour les petites centrales sans batterie de stockage. Pour les grandes centrales, l'option éolienne est le moindre coût après l'hydroélectricité.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES. L'option éolienne atténue plus que le solaire photovoltaïque.

¹ : Les moyens de production d'énergie électriques et thermiques – Rassemblons nos énergies – Préfet de Bretagne – Ademe – Région Bretagne – Mai 2014 (ENEA – Consulting – 2014 – Les – moyens – de – production – d'énergie pdf)

² : Document de l'Étude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures – Août 2015

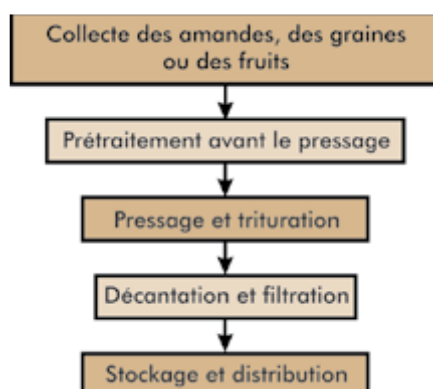
³ : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Énergie – Madagascar

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE6/ GROUPE HUILE VEGETALE BRUTE

Nom de la technologie :	Groupe électrogène huile végétale brute
Echelle :	Petite
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

La combustion est le procédé le plus connu pour convertir la biomasse en énergie. Deux types de technologies sont matures, rentables et attrayantes, la combustion de la biomasse et la co-combustion de la biomasse avec des combustibles fossiles. La co-combustion de la biomasse avec le charbon ainsi que les centrales à turbines à vapeur sont d'usage pour les grandes installations industrielles, les grands réseaux électriques ou les grands centres autonomes. Une des technologies appropriée actuellement pour l'électrification rurale et/ou l'usage domestique semble être la filière Groupe électrogène à huile végétale brute (HVB). La production d'huiles végétales à destination carburant utilise les mêmes équipements que la production alimentaire traditionnelle que ce soit à l'échelle artisanale ou industrielle. Les différentes étapes de la récolte à l'obtention de l'huile « carburant » sont données ci-dessus¹ :



CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques¹

C'est une centrale de production d'électricité composée d'un groupe électrogène diesel alimenté en HVB réchauffée afin de ramener leur viscosité dans des valeurs proches de celles des produits pétroliers et acceptées par les équipements d'alimentation des moteurs. La température nécessaire à la combustion complète des HVB doit dépasser leurs températures d'inflammation qui dépassent les 316°C par exemple pour l'huile de tournesol. Dans la pratique, ces températures sont supérieures à 400°C. Les moteurs appropriés sont les moteurs diesels à injection indirecte de type « chambre de turbulence », la température moyenne de la préchambre* est d'environ 500 à 600°C dès 10 % de puissance délivrée. Pour les moteurs diesels à injection directe, les façons de s'assurer d'un niveau de température suffisant des chambres de combustion sont les modifications mécaniques des pistons et de pièces internes au moteur, ou le fonctionnement en bicarburation (gazole-HVB), sans modifications mécaniques. La technologie s'adapte à l'approvisionnement en énergie des petits centres isolés et pour les usages domestiques. La gamme de puissance est de l'ordre 0,5kW à des MW. Le taux de disponibilité est de l'ordre de 50%. La durée de vie est estimée à 5 ans. La technologie émet 0g CO₂ éq/kWh. A titre comparatif, une petite centrale diesel de référence émet 840g CO₂ éq/kWh.

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance

Le coût d'investissement en capital² est estimé à 2000 \$US/kW. Le coût moyen de production³ est estimé à 0,46 \$US/kWh.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR⁴

L'agrocarburant à Madagascar se trouve encore au stade de démarrage. Il n'y a pas encore d'activités commerciales officielles concernant les produits comme l'agrodiesel et l'agroéthanol. Néanmoins, des projets d'investissements existent. La filière agrodiesel est principalement basée sur la production de graines de *Jatropha curcas* et sa transformation en huile végétale pure ou en ester méthylique d'huile végétale afin d'alimenter les moteurs. En 2011, 12 projets d'investissements ont été enregistrés avec un objectif de plantation de 462 000 ha dont la réalisation reste assez faible, de l'ordre de 57 125 ha. Les principales régions d'installation de ces projets sont Atsimo andrefana,

Boeny, Diana, Haute Matsiatra, Ihorombe. A part les projets de culture, la filière possède un potentiel de production par la collecte des graines de *Jatropha curcas* et *mahafaliensis* à partir de plantation sauvage de *Jatropha*. Les zones de collecte ayant d'important potentiel, se trouvent surtout dans la région Atsimo andrefana et Androy même si l'on rencontre aussi des plantations naturelles dans le Sava. Une production d'huile de *Jatropha* commence à être entreprise mais le produit reste destiné au secteur de la savonnerie. Un essai d'utilisation de l'huile de *Jatropha* a été également réalisé avec succès sur des moteurs diesel

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : Le remplacement des centrales thermiques à base de produits pétroliers par des groupes électrogène à huile végétale brute permet une réduction importante d'émission de GES. La technologie émet 0g CO₂ eq/kWh, en effet l'huile végétale brute appartient à la catégorie de combustibles neutre en carbone alors que une centrale à base de produits pétroliers de référence émet 840g CO₂ eq/ kWh.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par une augmentation du taux d'électrification et par sa mise à disposition de technologie propre, création d'activités génératrices de revenu et d'emploi en milieu rural.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière. Le coût moyen de production est estimé à 0,46 \$US/kWh et moins cher que celui d'un groupe à gasoil ou à essence.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES.

1 : Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales-Patrick Rousset, Coordonnateur. – Brasília : Cirad, 2008.Site Internet: www.cirad.fr

2 : Notre estimation : 1,2 fois celui d'une petite centrale diesel à gazole

3 : -Adaptation d'un moteur Diesel à l'utilisation d'huile végétale pure comme carburant : Application au Prototype de « Flexy-Energy - 26 Septembre 2011 par **Dodji AGBEZO**

-Mise en place de tests technico-économiques sur la plate-forme biocarburant : de la production à l'utilisation de l'huile de *Jatropha* dans un moteur - 23 Septembre 2011 par **Patrick Fernandez D. ADIKPETO**

4 : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Energie

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 7/ BIODIESEL

Nom de la technologie :	Biodiesel
Echelle :	Grande échelle
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

Les biocarburants liquides pour le transport, y compris le biodiesel, profitent d'un regain d'intérêt au cours de ces dernières années dans les pays développés et en développement, en raison de la nécessité d'atténuer les émissions de GES du secteur transport, de réduire la dépendance aux importations de produits pétroliers coûteux et d'augmenter les revenus agricoles. La première génération de biodiesel est produite à partir d'huiles végétales, telles que de colza, de palme, de soja et l'huile de jatropha et de graisses animales. Le processus chimique le plus couramment utilisé pour réduire la viscosité des huiles d'origine biologique et les transformer en biodiesel est appelé transestérification. La transestérification chimique des huiles brutes peut être décrite, de manière schématique, comme suit :

100 kilogrammes (kg) d'huile brute + 10 kg de méthanol $\xrightarrow{\text{catalyseur}}$ 100 kg d'EMAG + 10 kg glycérol

- Le catalyseur est un composé (habituellement de l'hydroxyde de potassium ou de l'hydroxyde de sodium ou potasse) présent en petite quantité qui facilite la réaction chimique exposée plus haut.
- EMAG : esters méthyliques d'acides gras, ou « biodiesel ».

Les EMAG (biodiesel) obtenus à l'issue de cette réaction peuvent être considérés comme étant « bruts », car ils contiennent encore de nombreux contaminants comme du savon et de l'alcool. Pour que le biodiesel atteigne la norme de qualité ASTM D6751 (norme imposée par l'American Society of Testing and Materials pour le biodiesel), une transformation secondaire doit être effectuée pour éliminer ces agents contaminants. L'utilisation de biodiesel non conforme à cette norme peut endommager le moteur et annuler la garantie du fabricant du moteur. Le biodiesel peut avoir des avantages significatifs en termes d'émissions de GES et le développement socio-économique. L'élimination de ces contaminants est résumée comme suit :

- Méthylester / séparation de glycérine
- Méthylester finale / centrifugation de glycérine
- Purification du Méthylester - flash de méthanol
- Purification de la glycérine brute - fractionnement du savon
- Purification de la glycérine brute - séparation du méthanol
- Rectification de méthanol
- Collecteur de récupération de la condensation de méthanol

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques²

Le biodiesel est utilisé comme un substitut de gazole, et est généralement mélangé avec du gazole à des degrés divers. En Europe, les permis de standards de carburant uniquement jusqu'à 5% de biodiesel, principalement en raison de restrictions imposées par les carburants et les véhicules spécifications. Utilisant des mélanges de plus de 20% peut nécessiter quelques adaptations de véhicules modestes. La hausse des mélanges de biodiesel sont parfois utilisés dans les véhicules de la flotte (par exemple, camions et autobus) (IEA Bioenergy, 2009). La majeure partie de la production mondiale de biodiesel est en Europe. D'autres pays intensifient la production de biodiesel pour leurs propres besoins et pour au augmenter leur potentiel d'exportation. Au Brésil, en 2008, le gouvernement a exigé que tous les carburants diesel doit contenir 2% de biodiesel, le taux a été porté à 5% en 2013. Les Philippines ont également adopté une obligation de mélange biodiesel de 2%. En Malaisie et en Indonésie, les industries de l'huile de palme cherchent à fournir une proportion croissante de biodiesel du pays. Comme le biodiesel appartient à la catégorie de combustibles neutre en carbone, son mélange avec le gazole entraîne une réduction d'émission de GES dans le secteur transport.

Coûts de production²

Les coûts de production varient entre environ 0,50\$US / l à 1,60 \$US / l, selon les matières premières des déchets ou de l'huile végétale utilisées. Pour l'huile végétale, les coûts de production sont dominés par le coût des matières premières (IEA Bioenergy, 2009).

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR³

L'agrocultiver à Madagascar se trouve encore au stade de démarrage. Il n'y a pas encore d'activités commerciales officielles concernant les produits comme l'agrodiesel et l'agroéthanol. Néanmoins, des projets d'investissements existent. La filière agrodiesel est principalement basée sur la production de graines de *Jatropha curcas* et sa transformation en huile végétale pure ou en ester méthylique d'huile végétale afin d'alimenter les moteurs. En 2011, 12 projets d'investissements ont été enregistrés avec un objectif de plantation de 462 000 ha dont la réalisation reste assez faible, de l'ordre de 57 125 ha. Les principales régions d'installation de ces projets sont Atsimo andrefana,

Boeny, Diana, Haute Matsiatra, Ihorombe. A part les projets de culture, la filière possède un potentiel de production par la collecte des graines de *Jatropha curcas* et *mahafaliensis* à partir de plantation sauvage de *Jatropha*. Les zones de collecte ayant d'important potentiel, se trouvent surtout dans la région Atsimo andrefana et Androy même si l'on rencontre aussi des plantations naturelles dans le Sava. Une production d'huile de *Jatropha* commence à être entreprise mais le produit reste destiné au secteur de la savonnerie. Un essai d'utilisation de l'huile de *Jatropha* a été également réalisé avec succès sur des moteurs diesel

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation :

Le biodiesel appartient à la catégorie de combustibles neutre en carbone alors que la combustion des produits pétroliers émet 233g CO₂ éq/ MJ.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par création d'activité génératrices de revenu et d'emploi en milieu rural.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière (économie de devises), réduction de la dépendance aux produits pétroliers.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES, la plupart des biocarburants offrent des économies nettes de GES par rapport aux carburants fossiles.

1 : Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales-Patrick Rousset, Coordonnateur. – Brasília : Cirad, 2008.Site Internet: www.cirad.fr

2 : Biodiesel/Climate TechWiki

3 : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Énergie - Madagascar

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 8/ BIOETHANOL

Nom de la technologie :	Bioéthanol
Echelle :	Grande échelle
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

Les biocarburants liquides pour le transport, y compris le bioéthanol, profitent d'un regain d'intérêt au cours de ces dernières années dans les pays développés et en développement, en raison de la nécessité d'atténuer les émissions de GES du secteur transport, de réduire la dépendance aux importations de produits pétroliers coûteux et d'augmenter les revenus agricoles. La première génération de bioéthanol, connu sous le nom d'hydrate de carbone de l'éthanol, est produite à partir de cultures à base de sucre ou de l'amidon. Le bioéthanol est principalement utilisé dans les applications de transport. Il est mélangé avec de l'essence dans des proportions variant de 5 à 85%. Les mélanges inférieurs sont compatibles avec les moteurs à essence classiques. Les mélanges supérieurs en teneur d'éthanol de 10% ne sont adaptés qu'aux moteurs modifiés. Les deux voies de conversion sont décrites ci-dessous:

Production d'éthanol à partir de sucres : elle commence par le broyage des matières premières jusqu'à la charge d'alimentation pour extraire le sucre, qui est ensuite mélangé à la levure pour la fermentation. Dans une chambre anaérobie fermée, la levure sécrète des enzymes qui digèrent le sucre, ce qui donne plusieurs produits comprenant l'acide lactique, l'hydrogène, le dioxyde de carbone et l'éthanol (WWI, 2007). Les matières premières les plus communes comprennent la canne à sucre, la betterave à sucre, le sorgho à sucre et d'autres plantes contenant une forte proportion de sucres.

Production d'éthanol à partir des amidons : La production d'éthanol à base d'amidon nécessite une étape appelée saccharification, qui consiste à briser les grosses molécules d'amidon en sucres. Il existe deux méthodes principales pour raffiner les amidons en sucres : **le processus "de mouture humide"** où les grains sont trempés dans un mélange d'eau et d'acide sulfurique, pour séparer l'endosperme riche en amidon à partir du germe riche en protéines et en fibres. En plus de l'éthanol, le processus donne de coproduits à haute valeur ajoutée, tels que l'huile de grains, aliments de gluten, farine de germe, les amidons, la dextrine et les édulcorants. (Première Guerre mondiale, 2006) ; **le «processus de broyage à sec»** qui consiste à broyer la graine hétérogène non transformés en granulés. Le broyage à sec est moins cher, mais produit moins de coproduits. Toutefois, il engendre un coproduit très important étant la drêche sèche de distillerie avec solubles (DDSS), une haute qualité nutritive pour les bétails. Pendant la fermentation, le raffinage dégage de CO₂ qui est vendu parfois à l'industrie de boissons gazeuse (la Première Guerre mondiale, 2006).

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques¹

La production d'éthanol par fermentation biologique de sucres extraits de sucre et d'amidon est un processus techniquement mature et disponible dans le commerce. L'éthanol est surtout mélangé avec l'essence avec un taux de 5% à 20%, le mélange est appelé E5 ou E20. Des mélanges avec une proportion d'éthanol plus élevée sont également disponibles, mais ils nécessitent des véhicules dédiés ou adaptés. Les biocarburants ne sont généralement pas encore compétitifs face aux combustibles fossiles, néanmoins de nombreux pays s'intéressent aux combustibles non fossiles, et ont eu la volonté d'introduire les biocarburants, y compris le bioéthanol, sur le marché. Au Brésil, le succès du programme Pro alcool de l'éthanol et de l'introduction de véhicules flex-fuel, qui peuvent fonctionner à la fois à l'éthanol et à l'essence, ont finalement abouti en 2008. Le bioéthanol produit à partir de canne à sucre contribue à environ 50% de la consommation de carburant dans le marché de l'essence (Pelkmans et al., 2009). En Colombie, à partir de 2006, il existe un mandat l'utilisation de 10% d'éthanol dans l'essence vendue dans les villes avec une population de plus de 500 000. Au Venezuela, la compagnie pétrolière d'Etat soutient la construction de 15 distilleries de canne à sucre en vue de satisfaire l'objectif de mélange à 10% d'éthanol sur le plan national. En Bolivie, 15 distilleries sont en cours de construction et le gouvernement envisage d'autoriser des mélanges d'E25. Le Costa Rica et le Guatemala sont aussi dans la course pour augmenter la production d'éthanol de canne à sucre. L'Argentine, le Mexique, le Paraguay et le Pérou envisagent des nouveaux programmes de biocarburants. En Asie, la Thaïlande a mandaté un mélange de 10% d'éthanol dans l'essence à partir de 2007, tandis

que les Philippines ont introduit un mandat similaire un mélange à 5%. En Inde, l'industrie sucrière a été appelée en vue d'un E5, le gouvernement a augmenté les moyens pour une croissance vers E10 et éventuellement E20. En Chine, le gouvernement a obligé cinq provinces pour pratiquer l'E10. En Afrique, les efforts pour accroître la production et l'utilisation d'éthanol sont en cours dans plusieurs pays (la Première Guerre mondiale, 2007). Comme le bioéthanol appartient à la catégorie de combustibles neutre en carbone, son mélange avec le gazole entraîne une réduction d'émission de GES dans le secteur transport.

Coûts de production¹

Le tableau suivant donne les coûts de production d'éthanol dans quelques pays développés en 2008, pour une production de 250 millions de litres/an (IEA Bioenergy, 2009):

Pays	Matière première	Coût de production en \$US/l
Brésil	Canne à sucre	0,31
USA	Maïs	0,75
UK	Betterave	0,52
UK	Blé	0,87
France	Maïs	0,74

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR²

La filière agro éthanol est principalement basée sur la production de la canne à sucre et sa transformation par distillation en agro éthanol. L'agro éthanol trouve son utilisation en tant que carburant alternatif à l'essence dans les moteurs ou en tant que combustible pour la cuisson au niveau des ménages. En 2011, huit (8) projets d'investissement industriels étaient en cours avec comme objectifs de planter 35 000 ha de canne à sucre. Seuls 156 ha de culture de canne à sucre et 80 ha de manioc ont été installés à cette fin, et ce surtout pour la production d'éthanol à usagedomestique. Ces projets se situent essentiellement dans les régions de Diana, Boeny, Menabe, Alaotra mangoro, Atsinanana, Amoron'i mania, Vatovavy fitovinany. A part les unités industrielles, des unités de production d'alcool traditionnel sont notées à Madagascar. La production annuelle d'alcool issu des unités traditionnelles est estimée de 980 000 hl à 2 450 000 hl avec des alcools de 40 à 70 % v/v. Cette production peut être destinée à des fins domestiques après rectification, et fonctionner au niveau des foyers à éthanol. Il n'y a pas encore de production commerciale d'agro éthanol destinée à la cuisson. Des projets pilotes ont été menés dans les villes d'Ambohitra et Vatovavy sur l'utilisation de l'agro éthanol comme combustibles pour cuisson dans les ménages en utilisant des foyers éthanol. A ce sujet, il a été constaté que les ménages dépensent en moyenne 1 litre d'alcool par jour pour leur besoin en cuisson. Par ailleurs, un essai d'incorporation d'agro éthanol comme carburant pour les véhicules a été réalisé par l'OMH et le Ministère de l'Energie.

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation :

Le bioéthanol appartient à la catégorie de combustibles neutre en carbone alors que la combustion des produits pétroliers émet 233g CO2 éq/ MJ.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par création d'emploi dans le secteur agricole et dans le secteur industrie.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière (économie de devises), croissance de la sécurité énergétique, réduction de la dépendance aux produits pétroliers, diversification du secteur industriel.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES, la plupart des biocarburants offrent des économies nettes de GES par rapport aux carburants fossiles.

1 : Bioéthanol/Climate TechWiki

2 : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Energie – Madagascar

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 9/ FOYER DE CUISSON A ETHANOL

Nom de la technologie :	Foyer de cuisson à éthanol
Echelle :	Petite échelle
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

Les poêles à éthanol peuvent être utilisées pour la cuisson, le chauffage de l'eau et le chauffage des bâtiments. La technologie peut être appliquée dans les ménages, les institutions (par *exemple*, écoles) et les industries où il est utilisé pour le chauffage de la chaudière. L'éthanol est produit à partir de plantes sucrières ou d'autres sources de biomasse. Un avantage des technologies est que la combustion d'éthanol n'a pas les problèmes de pollution de l'air de combustion de la biomasse à des fins simples de cuisson. L'éthanol est un alcool qui est produit par fermentation de sucres provenant de diverses cultures telles que le maïs, le sorgho, le blé, le manioc et la canne à sucre. Il peut être utilisé pour les applications d'énergie différentes variant de chauffage de la chaudière dans les industries de l'eau de chauffage et cuisson. Concernant ce dernier, plusieurs types de Foyers de cuisson à éthanol (FCE) sont utilisés, leurs différences résident sur la forme du combustible utilisé, soit de l'éthanol liquide, soit de gel d'éthanol '[Greengel](#)'. Dans les pays en développement, l'adoption des FCE semble plus facile en milieux urbains et semi-urbains, où la population a l'habitude de payer pour les bois de chauffage ou le charbon de bois et où les niveaux de revenu sont plus élevés. La pauvreté dans les zones rurales limite la capacité de la population de s'offrir de l'éthanol comme combustible de cuisson (Zuzarte, 2007).

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques¹

L'équipement requis pour les FCE est similaire à celui réchauds à pétrole existants. Certains fours de production d'éthanol sont en acier inoxydable pour minimiser la corrosion. Des FCE efficaces sont disponibles sur le marché UE et quelques pays en développement. Par exemple, au Malawi, la « [poêle Marko Superblu](#) », en Inde, l'Institut Nimbkar de recherche agricole (NARI, l'Inde, établi en 1968 par M. Nimbkar) a développé le [poêle NARI](#) (Rajvanshi *et al.*, 2004) en modifiant un réchaud à kérosène sous pression existante qui utilise soit un mélange dilué d'éthanol dérivé de la canne à sucre ou de sorgho sucré. Un tel l'éthanol dilué est produit localement dans des alambics illicitement pour produire de boisson alcoolique. L'éthanol est généralement utilisé à 85% de concentration. Le FCE NARI fonctionne à l'éthanol à 50% d'eau et en fait une méthode de cuisson plus sécurisant. Les FCE peuvent être conçus pour travailler sous pression ou sans pression. Un autre exemple est le projet [Gaia](#) soutenu par la [Fondation Shell](#) qui a impliqué le transfert de technologie des poêles à 'alcool déjà développés en Europe et en Amérique du Nord pour les pays en développement (Stokes et Ebbeson, 2005). Les FCE identifiés ci-dessus peuvent être introduits et diffusés dans les pays en développement, mais un aspect important de l'opération est couplage de la diffusion à la chaîne d'approvisionnement pour le carburant.

Coûts de production¹

Selon l'AIE (2006), un FC à gel d'éthanol coûte entre 2\$USD et 20\$USD par unité et le coût du carburant serait de 0,30 à 0,70\$ USD / litre d'éthanol. Le « [poêle CookSafe](#) » peut faire bouillir un litre d'eau en onze minutes et un litre d'éthanol peut durer entre onze à treize heures de temps de combustion. Le poêle NARI a été estimé à Rs 800 à 1000 (entre 12 et 15 €) (production en grande échelle). Le [poêle Superblu du Malawi](#) affirme qu'il coûte environ 2,5 Malawi Kwacha (MK).

Le tableau ci-dessous donne une comparaison de coûts des options de foyers de cuissons et de combustibles (AIE 2006) :

Combustibles	Coûts d'investissement (\$USD)	Coûts de carburant (\$USD / litre)	Phase
Biogaz	100 - 1000	0	Disponible dans le commerce

Les huiles végétales	38 - 45	0,45-0,60	Phase de déploiement
DME	45 - 60	0,25-0,35	Phase de démonstration
gel d'éthanol	2-20	0,30 à 0,70	Phase de déploiement
Kérosène	10-40	0,50 à 0,60	Disponible dans le commerce
GPL	45 - 60	De 0,55 à 0,70	Disponible dans le commerce

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR²

La filière agro éthanol est principalement basée sur la production de la canne à sucre et sa transformation par distillation en agro éthanol. L'agro éthanol trouve son utilisation en tant que carburant alternatif à l'essence dans les moteurs ou en tant que combustible pour la cuisson au niveau des ménages. En 2011, huit (8) projets d'investissement industriels étaient en cours avec comme objectifs de planter 35 000 ha de canne à sucre. Seuls 156 ha de culture de canne à sucre et 80 ha de manioc ont été installés à cette fin, et ce surtout pour la production d'éthanol à usage domestique. Ces projets se situent essentiellement dans les régions de Diana, Boeny, Menabe, Alaotramangoro, Atsinanana, Amoron'i mania, Vatovavy Fitovinany. A part les unités industrielles, des unités de production d'alcool traditionnel sont notées à Madagascar. La production annuelle d'alcool issu des unités traditionnelles est estimée de 980 000 hl à 2 450 000 hl avec des alcools de 40 à 70 % v/v. Cette production peut être destinée à des fins domestiques après rectification, et fonctionner au niveau des foyers à éthanol. Il n'y a pas encore de production commerciale d'agro éthanol destinée à la cuisson. Des projets pilotes ont été menés dans les villes d'Ambositra et Vatovavy sur l'utilisation de l'agro éthanol comme combustibles pour cuisson dans les ménages en utilisant des foyers éthanol. A ce sujet, il a été constaté que les ménages dépensent en moyenne 1 litre d'alcool par jour pour leur besoin en cuisson. Par ailleurs, un essai d'incorporation d'agro éthanol comme carburant pour les véhicules a été réalisé par l'OMH et le Ministère de l'Energie.

Les différents procédés de transformation de fabrication d'éthanol³

Trois types de procédés sont observés :

- Procédé de fabrication industrielle réalisée avec des équipements et technologies avancées, la capacité de production est de plus de 90 000 litre par jour. Ces installations sont en phase de projet pour Madagascar.
- Procédé semi-industrielle dont la production de l'unité est plus de 100 litres par jour (cas de la micro distillerie installée par TanyMeva à Ambositra). Notons que pour une unité produisant 150 litres d'éthanol par jour, le coût d'installation s'élève à 10 000 000 Ar.
- Procédé de fabrication d'alcool artisanal (toakagasy : boisson alcoolique artisanal).

Le tableau suivant nous montre les produits obtenus suivant les procédés adoptés.

Opérations	Industrielle	Semi-industrielle	Echelle artisanale
Presse et/ou broyage	1t de Canne à sucre donne 740 kg de jus	1t de Canne à sucre donne 600 à 700 kg de jus	1t de Canne à sucre donne 500 kg de jus
Fermentation	Temps de fermentation 12 heures	Temps de fermentation 18 à 24 heures	Temps de fermentation 48 heures à 14 jours
Rendement en alcool	90 litres par tonne	80 litres par tonne	70 litres par tonne
Distillation	96% Ethanol (v/v)	90 à 95% Ethanol (v/v)	40 à 70% d'Alcool (v/v)

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation :

L'éthanol appartient à la catégorie de combustibles neutre en carbone alors que la combustion des produits pétroliers émet 233g CO₂ éq/ MJ.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de santé par le recours à une cuisson avec un combustible plus propre, sans fumée ; amélioration des conditions de vie de la population par création d'emploi dans le secteur agricole et dans le secteur industrie.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière (économie de devises), croissance de la sécurité énergétique, réduction de la dépendance aux produits pétroliers, diversification du secteur industriel ou artisanal.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation d'émission de GES, l'éthanol est neutre en carbone ; le remplacement du charbon de bois et du bois dans la cuisson réduit la pression sur les puits tels que les forêts.

1 : Ethanol fourneaux de cuisine _ ClimateTechWiki

2 : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Énergie – Madagascar

3 : Première phase de l'étude stratégique du développement du secteur agrocarburant à Madagascar – Etat des lieux de la situation actuelle - Septembre 2011 – PNUD – WWF – Plateforme agro carburant durable

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 10/ FOYER DE CUISSON AMELIORE EN BOIS

Nom de la technologie :	Foyer de cuisson amélioré à bois et charbon de bois
Echelle :	Petite échelle
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

Dans les pays en développement, l'énergie nécessaire pour la cuisson constitue souvent la plus grande part de la demande totale d'énergie nationale. La biomasse assure principalement l'offre pour satisfaire cette demande. Pour réduire la pression sur les ressources en biomasse, la plupart des pays en développement a réalisé de programmes de diffusion des foyers de cuisson améliorés (FCA) (Improved Cook Stoves) en bois et charbon de bois. Un rapport de la Banque mondiale a cité 137 FCA projets dans 41 pays en développement initiés au cours de 1981 à 1991 (Barnes *et al*, 1994). En dépit des projets en cours et passés, un programme d'ICS demeure important dans le contexte des pays en développement. En effet, l'utilisation des foyers de cuisson traditionnels pollue l'intérieure des maisons et entraîne un impact négatif sur la santé des personnes surtout dans les zones rurales. On estime que la pollution de l'air intérieur due à la combustion de combustibles solides provoque environ 1,6 millions de décès chaque année (Warwick et Doig, 2004). Un FCA peut être conçu et construit de différentes manières, en fonction des conditions locales. Le principe de base consiste à isoler le feu pour réduire les pertes de chaleur par conduction, convection et principalement par rayonnement ; et le protéger contre le vent. En outre, il faut accorder l'attention sur le contrôle de l'écoulement ascendant des gaz de combustion, de manière à augmenter le transfert de chaleur vers le récipient de cuisson. Beaucoup de ces FCA sont faites d'argile et de sable puisque les deux sont presque gratuits et facilement accessibles.

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Caractéristiques techniques¹

Le rendement des FCA chinois est compris entre 28% et 40,9% avec les bois de chauffage et atteint 42,5% avec les résidus agricoles. Pour les FCA indiens, le rendement varie de 20% à 30% avec les bois de chauffage, de 14,5 à 21,9% avec le charbon de bois et de 11,4 à 24% pour les bouses de vaches. Les différences entre ces valeurs sont expliquées par le fait que les valeurs de rendement des FCA indiens sont basées sur une valeur plus élevée de chauffage des combustibles, tandis que celles des FCA chinois semblent être fondées sur le pouvoir calorifique inférieur. La conception du FCA est régit par les principes scientifiques de base pour améliorer ses performances tels que l'utilisation d'un matériau isolant léger comme l'argile pour isoler la chambre de combustion afin de minimiser la perte de chaleur et atteindre une température élevée à l'intérieur pour favoriser la combustion complète, afin de limiter la consommation de combustibles; et par l'habillage des parties en argile par du tôle métallique de faible épaisseur de forme tronconique ou cylindrique pour améliorer le contact casserole – flux de chaleur de combustion montante et en vue d'augmenter la durée de vie du FCA. La liaison argile cuite – tôle se fait généralement avec du ciment. Le Pakistan arrive à inventer de FCA pouvant économiser 50% de bois et permettant une réduction des émissions de GES de 70%. A Madagascar, le FCA à charbon ADES a rendement de 36%, une durée de vie de plus de 4ans. La consommation journalière moyenne de charbon de bois est estimée à 1,27 kg/jour

Coûts de production¹

En Inde, dans le cadre du Programme national de diffusion de foyers améliorés, le gouvernement central a alloué des subventions à hauteur de 50% les coûts de construction, de sensibilisation et les frais administratifs, confiés à des agences rattachés à l'Etat. Ainsi, le coût unitaire d'un FCA en argile varie de 110 Rs à 190 Rs (1,91 € - 3,30€), dans les six Etats concernés (ESMAP et la Banque mondiale, 2001). Le coût d'une unité de FCA à charbon de ADES, à Madagascar s'élève à 4,43 \$USD, pour une durée de vie de plus de 4 ans.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR² et ³

Plus de 99% de l'énergie consommée pour la cuisson provient de la biomasse: 77% de bois-énergie, et 13% sous forme de charbon (part après carbonisation). Près de 80% de cette énergie est utilisée dans des foyers traditionnels (3 pieds) à bois de chauffe, et environ 16% est utilisée dans des foyers à charbon de bois (foyer malagasy). Seulement 4% des foyers utilisés pour la cuisson au bois de chauffe et au charbon de bois sont des foyers améliorés. Le gaz représente une part extrêmement minoritaire des ressources. L'utilisation répandue de foyers traditionnels à bois de chauffe et à charbon de bois a des conséquences socio-économiques substantielles pour le pays. La combustion de combustibles solides à l'intérieur d'une habitation crée un niveau extrêmement élevé de pollution de l'air intérieur qui a des conséquences nocives sur la santé. D'autres impacts de l'utilisation des foyers traditionnels sont la déforestation (accélérée par la consommation inefficace du bois et la production à faible rendement de charbon de bois, rendement de 10 à 12%), et la production d'émissions de CO₂. Le bois de chauffe est en grande partie collecté à titre gratuit. Par ailleurs, une grande partie du charbon de bois provient de l'exploitation illégale, ce qui signifie que les prix du charbon de bois ne reflètent pas la valeur des ressources en bois. La sous-évaluation du bois-énergie a des impacts importants dans le secteur : elle favorise une consommation excessive et un gaspillage lors de la production, et affecte la rentabilité de l'exploitation forestière et du reboisement à vocation énergétique. Un fait qui compromet la sécurité énergétique du pays. Des opportunités existent pour améliorer la situation actuelle au niveau des différentes utilisations de l'énergie. Pour la cuisson, il s'agit entre autres du développement des meules de carbonisation améliorée et des FCA. Les FCA représentent des solutions économiquement viables pour Madagascar. En effet, la réduction de la consommation en combustibles perçue grâce à l'utilisation de ces types de foyers permet la réalisation d'une économie monétaire au niveau des ménages. Par ailleurs, la production de FCA procure une source de revenu substantielle pour les artisans. D'autre part, leur utilisation crée des bénéfices économiques considérables liés à l'amélioration de la santé. Enfin, les foyers économiques à charbon et à bois sont également financièrement viables si les prix du charbon et du bois de chauffe actuels sont pris en compte. Plusieurs organisations et projets appuient depuis longtemps la vulgarisation de foyers économes à bois et à charbon de bois à Madagascar. La Fondation Tany Meva a développé le FCA « Fatana PIPA » étant un Foyer à biomasse fabriqué en argile réfractaire, enveloppé de métal et muni d'une cheminée d'évacuation de la fumée. Son usage permet d'économiser jusqu'à 68 % de bois par rapport au Foyer Malagasy et de garantir une propreté permanente à l'intérieur de la maison suite à la réduction de l'émission de fumée. L'ADES promeut 2 types de foyers dont l'un fonctionne au bois de chauffe « Oli B » tandis que l'autre fonctionne au charbon « Oli C » ; ils ont fait l'objet de lancement avec succès à partir de 2008. Ces FCA présentent de très bon rendements et une durée de vie relativement longue.



Fatana PIPA - Fondation Tany Meva

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : réduction de la consommation de bois de feu et de charbon de bois, réduction de la pression sur les puits (forêts)

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de santé par le recours à un cuisson plus propre, moindre fumée ; amélioration des conditions de vie de la population par création d'emploi dans le secteur artisanal.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière (économie de devises), croissance de la sécurité énergétique, réduction de la dépendance aux produits pétroliers, diversification du secteur industriel ou artisanal.

Impacts sur le développement environnemental : réduction la pression sur les puits tels que les forêts, réduction de la pollution à l'intérieur des habitations.

1 : Fourneaux améliorés de Cook_Climate TechWiki

2 : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Énergie – Madagascar

3 : Document de l'Étude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures – Août 2015

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 11/ FOUR DE CARBONISATION AMELIORE

Nom de la technologie :	Four de carbonisation amélioré
Echelle :	Petite échelle
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

La production de charbon se fait à travers une méthode appelée [pyrolyse de la biomasse](#). La pyrolyse est définie comme la modification chimique irréversible provoquée par le chauffage de la biomasse, en l'absence d'oxygène. Pendant la pyrolyse, la biomasse subit une séquence de changements et donne normalement un solide carboné, appelé noir charbon, avec un mélange de gaz et de vapeurs. On distingue les 4 grandes étapes suivantes de le processus de carbonisation par combustion partielle : la combustion avec une température de plus de 600°C ; la déshydratation (séchage) à 100 – 200°C ; la distillation (carbonisation) à 270 – 600°C ; et le refroidissement de 600°C à la température ambiante. Le charbon de bois est utilisé comme combustible domestique pour la cuisson et le chauffage dans de nombreux pays en développement.

Caractéristiques techniques

Le tableau suivant est donné à titre indicatif².

Pays	Type de meule	Volume (Stères)	Humidité du bois (% M _{ba})	RM _{ba} (%M _{ba})	Durée (jours)
Burundi	Traditionnelle	22	25 - 55	12	20
	Burundaise améliorée	22	25 - 55	19	5
	Casamançaise		25 - 55	19	4

M_{ba} : masse de bois anhydre

RM_{ba} : rendement massique à base anhydre

Estimation gain de surface en fonction de l'amélioration de la carbonisation³

RM _{ba} de la carbonisation	0,08	0,10	0,17	0,18	0,19	0,20
Bois m ³ /ha	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Bois t/ha	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70	7,70
charbon t/ha	0,62	0,77	1,31	1,39	1,46	1,54
Surface pour un besoin de 200 000 t/an (milliers d'ha)	325	260	153	144	137	130
Gain en ha si on améliore à partir de 8% (en milliers ha)		65	172	180	188	195

Coûts de production⁴

Les coûts de production sont importants dans le processus de carbonisation et de commercialisation du charbon de bois. Ces coûts doivent être analysés selon les postes de dépenses ci-après, qui montrent plus clairement les avantages et inconvénients des différents systèmes:

1. Prix de revient du bois rendu sur le lieu de carbonisation, y compris coûts financiers,
2. Coût de la main d'œuvre pour la carbonisation, y compris chargement et déchargement,
3. Coût du transport du charbon de bois vers les principaux marchés ou points de distribution,
4. Coûts d'exploitation,
5. Coûts d'investissements fixes d'équipement.

La meule de carbonisation améliorée produit du charbon à moindre coût que la pratique traditionnelle.

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR⁵

La consommation annuelle en bois atteint les 22 Millions de m³ / an dont 80% pour le bois énergie.

Plus de 80% de la population utilise les ressources ligneuses comme source d'énergie. Le bois de feu est la principale énergie actuellement accessible pour les ménages ruraux et le charbon de bois, un produit de première nécessité

pour les ménages urbains. La source d'approvisionnement en bois –énergie est les forêts naturelles et les plantations. Le rendement de transformation de bois en charbon est de 8% à 20%. L'utilisation des fours de carbonisation améliorés, avec un rendement massique de 20%, ne connaît pas encore une place importante dans la production de charbons. La diffusion de cette technologie figure actuellement parmi les priorités dans le secteur énergie. En effet, l'amélioration de la technique de carbonisation peut entraîner jusqu'au dédoublement de la productivité, engendrer une économie de surface forestière exploitée et favoriser la séquestration de carbone. Le coût d'investissement supplémentaire par tonne de charbon produit par un four de carbonisation amélioré est estimé à 4,95 \$US⁶. La formation d'un charbonnier aux techniques de carbonisation améliorées coûte environ 14,18 \$US⁶. Les revenus additionnels générés par carbonisation améliorée atteignent 2,37 \$US/ m³⁽⁶⁾

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation: économie de surface forestière exploitée, réduction de la pression sur les puits (forêts)

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par le doublement de revenu de la carbonisation, la réduction importante de la durée de carbonisation.

Impacts sur le développement économiques : amélioration de la productivité de la carbonisation (dédoublement), augmentation de revenus en milieu rurale.

Impacts sur le développement environnemental :réduction la pression sur les forêts, augmentation de la séquestration de carbone

¹ : Bioéthanol/Climate TechWiki

² : Une évaluation de la technique de carbonisation en meule – Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 1997 1(2), 113-124 (113pdf – Adobe Reader

³ : La production de charbon de bois d'eucalyptus : la technique d'amélioration du rendement – RASAMINDISA Alain Michel – Juin 2013 (10+Production+charbon+du+bois.pdf)

⁴ : Techniques améliorées de carbonisation au Sahel – CRC PREDAS – Octobre 2006

⁵ : Madagascar face aux défis du changement climatique – Groupe thématique changement climatique – Octobre 2011 (cc-capitalisation-mada 2011.pdf)

⁶ : Document de l'Etude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures – Août 2015

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 12/ LANTERNE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Nom de la technologie :	Lanterne Solaire Photovoltaïque
Echelle :	Petite
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

Dans les pays en développement, la lanterne solaire est une alternative au moindre coût pour l'éclairage. Elle fournit une lumière de meilleure qualité que l'utilisation de bougies ou des lampes à pétrole. Ils sont également utilisés pour fournir l'éclairage des rues dans les zones rurales où, les lanternes solaires à LED (Light Emitting Diode) sont généralement utilisées. Les lanternes solaires sont disponibles dans le commerce. En Inde, des lanternes solaires fabriquées localement sont considérées comme un marché et capitaux matures, les subventions pour les lanternes ont été annulées. Ils ont une gamme de caractéristiques et de conceptions comme on peut le voir dans la figure suivante.



Figure 1 : Types de lanterne solaire (Source: Practical Action)

Dans les pays industriels les lanternes solaires sont généralement utilisées à l'extérieur pour fournir l'éclairage dans le jardin ou d'une allée ou pour d'autres activités de plein air telles que les applications marines ou camping. L'éclairage LED solaire est également utilisé pour les lumières dans le transport maritime et l'aviation, les panneaux de signalisation, les balises routières, et de nombreuses autres applications. Les LED résistent bien aux conditions météo extrêmes, aux vibrations et à l'UV. Les panneaux photovoltaïques peuvent être un film monocristallin, polycristallin, amorphe ou mince qui affecte la durée de vie et le prix de l'unité. Les matériaux de la lanterne varient, mais contiennent habituellement un mélange de plastique et de métal tel que l'acier inoxydable. Les lanternes solaires LED peuvent fournir de la lumière à haute intensité pour des temps plus longs, *par exemple*, 6 heures. La lanterne solaire LED «COSMOS» utilise une batterie rechargeable NiCad qui fournit plus d'une année et demie de service (Village durable, 2007).

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

Le solaire PV est adapté aux villages isolés des réseaux électriques existants et avec des niveaux d'ensoleillement élevés. Le potentiel technique de la technologie est élevé tant dans les pays industrialisés que dans les pays en développement. Les lanternes solaires sont maintenant considérées comme une technologie mature. En Inde et en Chine, les lanternes solaires sont fabriquées localement et disponibles dans le commerce. Ils exportent aussi des lanternes solaires aux pays industrialisés et à d'autres pays en développement. Il ya aussi des flux d'exportation des pays industrialisés vers les pays en développement, le marché mondial est déjà mis en place.

Caractéristiques techniques : Presque toutes les composantes de la lanterne solaire ont connu des améliorations techniques. Un des principaux développements est le remplacement des lampes fluorescentes compactes par les lampes LED caractérisées par leur longue durée de vie et leur robustesse. Les batteries sont améliorées avec le temps et les régulateurs de charge protègent les piles contre les décharges profondes et les surcharges. La lanterne

peut être maintenue au niveau local avec les pièces de rechange disponibles. La durée de vie de la lampe devrait être de 10000 heures alors que l'appareil lui-même est solide sur une période beaucoup plus longue. Avec les LED, la durée de vie de la lampe peut atteindre les 100.000 heures. La lampe LED utilise une très petite 'puce' faite d'un mélange spécial de cristaux à base de silicium. Quand un faible courant électrique passe à travers la puce, il génère de la lumière. Les LED présentent les avantages d'une gamme d'intensités lumineuses (des couleurs) obtenus à partir du mélange des cristaux, en effet, presque toute l'énergie est convertie en lumière. Les LED ont une longue durée de vie de 27 ans, résistent aux chocs et fournissent une forte intensité lumineuse.

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance : Les lanternes LFC, pour l'éclairage d'une maison dans les pays en développement ou les régions éloignées des grands centres électriques, coûtent environ 85-120 \$USD; pour les lanternes LED, le coût est plus élevé, à l'exception des lanternes MFG qui a coûté 110 USD avec une batterie d'hydrure de métal Ni avec une capacité de 24 heures de lumière. En termes de performances, la technologie LED surclasse les versions LFC. Une lanterne solaire à 19 USD existe et peut être amortie en 20 mois grâce aux économies dans l'utilisation de kérosène. L'utilisation est soutenue par un réseau de distribution et de collecte de paiement local, la population cible est la couche très pauvre (NEST, 2006).

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR

Madagascar possède un important potentiel en Energie solaire avec une Energie incidente de l'ordre de 2 000 kWh/m²/an et presque toutes les régions du pays ont plus de 2 800 heures d'ensoleillement annuel, soit une puissance solaire de 750 W/m². Dans les parties nord-ouest, centre-ouest et sud-ouest de l'île, le niveau de rayonnement dépasse les 5 500 kWh/m²/an². Toutefois, La majorité de la population utilise le pétrole lampant pour l'éclairage, 81,2 % en 2010. Le pétrole lampant constitue un moyen d'éclairage dangereux, polluant, et de mauvaise qualité. Sa consommation atteignait 53 749 m³ en 2012. D'après, l'analyse faite récemment, l'option lanterne solaire et le système solaire domestique font partie des solutions d'éclairage économiquement et financièrement viables pour les ménages qui ne peuvent pas être connectés à un réseau³. Des installations photovoltaïques de différentes gammes sont proposées sur le marché par plusieurs sociétés. Les lanternes solaires commencent également à prendre leur place.

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : Le remplacement des bougies et les lampes à pétrole par des lanternes solaires photovoltaïques, permet une réduction importante d'émission de GES. La technologie émet 46g CO₂ éq/kWh alors que une lampe à pétrole émet 840g CO₂ éq/ kWh.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par la mise à sa disposition de technologie propre éradiquant la pollution engendrée par le pétrole lampant, et fournissant un service d'éclairage nettement meilleur que la bougie et la lampe à pétrole.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière, mise à disposition d'une option d'éclairage au moindre coût.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES, air non pollué à l'intérieur des maisons

1 : Lanternes solaires/Climate TechWiki

2 : Diagnostic du secteur énergie - septembre 2012 – WWF – Ministère de l'Energie – Madagascar

3 : Document de l'Etude de la Politique et Stratégies Energétiques – Madagascar – Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures – Août 2015

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 14/ MOTEUR A INJECTION DIRECTE

Nom de la technologie :	Moteur à injection directe
Echelle :	Grande échelle
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

L'injection directe est une technique qui permet aux moteurs à essence et diesel de brûler moins de carburant. L'injection directe de carburant, sous haute pression, dans les cylindres du moteur et non avant la soupape d'admission, est l'approche utilisée dans la majorité des moteurs à essence actuels (Leonhard, 2008). Le processus d'injection directe contient un système de régulation précis du débit de carburant injecté dans le moteur en fonction du régime voulu, l'accélération. Dans des conditions de faible demande en puissance (accélération), vitesse de croisière constante, la quantité de carburant nécessaire au mélange air / carburant dans les moteurs à injection directe sont beaucoup plus faible que dans les moteurs conventionnels, ce qui réduit considérablement la consommation de carburant.

CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE¹

L'injection directe modifie le système d'injection de carburant du moteur, mais ne nécessite pas de changements supplémentaires dans la conception de la voiture ou de l'infrastructure de transport. Les moteurs à injection directe sont constitués de pièces plus robustes. En effet, ils travaillent sous des pressions nettement plus élevées que celles des systèmes à injection indirecte. Les injecteurs doivent être capables de résister à la chaleur plus élevée (600°C environ) et à la pression de combustion dans le cylindre.

Caractéristiques techniques¹:L'injection directe est entièrement développée pour les moteurs diesels. Ils ont appelés moteurs diesel à injection à rampe commune (CRDI). Pour les voitures à essence, la technologie n'a pas encore connue une large diffusion, même si elle est déjà utilisée dans certains véhicules. L'abréviation GDI, essence à injection directe, est couramment utilisée. Les nouveaux moteurs à essence à injection directe peuvent réduire considérablement les émissions de GES. Le moteur diesel à rampe commune moderne émet moins de GES et de particules. Par rapport aux moteurs conventionnels à combustion interne, avec une émission moyenne de 185g eqCO_2 / km, un moteur à combustion à injection directe permet une économie de carburant de l'ordre de 15% et donc une réduction d'émission de GES de 15% (Sharpe & Fumeurs, 2009). Cependant, encore deux tiers des véhicules à moteur à combustion interne à essence vendus dans le monde sont équipés d'un moteur à combustion interne à injection indirecte (Leonhard, 2008).

Coûts d'investissement d'exploitation et de maintenance¹ : Les moteurs à injection directe sont plus coûteux à construire parce que leurs composants doivent être plus résistants. Un moteur à injection directe est d'environ 5% plus cher qu'un moteur conventionnel, ce qui est de l'ordre de plusieurs centaines de dollars. Toutefois, il peut réduire l'émission de GES jusqu'à 15% (Sharpe & Fumeurs, 2009).

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR

La plupart des véhicules à Madagascar sont de voitures d'occasion, les voitures à moteur à injection directe circulent dans le pays, mais leur nombre reste à déterminer.

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : l'incitation à l'utilisation des voitures avec moteurs à injection directe contribue à l'atténuation des GES dans le secteur Transport Terrestre

Impacts sur le développement social du pays: amélioration des conditions de vie de la population par la mise à sa disposition de technologie plus propre (moins polluant) et à moindre coût.

Impacts sur le développement économiques : Réduction de la facture pétrolière, mise à disposition d'une option de transport terrestre au moindre coût.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES, réduction de la pollution de l'air.

¹ Injection directe pour les moteurs à combustion/Climate TechWiki /Climate TechWiki

ATTENUATION/FICHE TECHNOLOGIE 15/ ECLAIRAGE PAR BOUGIE DE JATROPHA

Nom de la technologie :	Eclairage par bougie de jatropha
Echelle :	Petite
Disponibilité :	Court terme

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE¹

Description de la bougie

Composants : Paraffine, huile de jatropha, colorant naturel, mèche en coton tressé

Caractéristiques physiques :

- Dureté : non malléable, incassable
- Forme : conique
- Fumée : aucune
- Odeur : aucune (odeur caractérisant l'huile de jatropha seulement)
- Longueur : 11 cm

Intensité : Lumière et luminosité très intense par rapport à la bougie de paraffine.

Durée : 3 heures minimum



CARACTERISTIQUES DE LA TECHNOLOGIE

La bougie de jatropha est à la fois plus économique et plus écologique que les lampes à pétrole utilisées par les ménages en matière d'éclairage.

Caractéristiques techniques² : La bougie de jatropha présente un meilleur rendement lumineux par rapport aux lampes à pétrole utilisées par la majorité de la population rurale et à la bougie de paraffine. La durée d'utilisation est de 3 heures, supérieure à celle de bougie de paraffine.

Coût: Le coût d'une bougie de jatropha est compétitif par rapport à celui de bougie de paraffine

SITUATION DE LA TECHNOLOGIE A MADAGASCAR

La bougie de jatropha est un projet du Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) primés lors du concours AngovoMeva en 2007. La Fondation TanyMeva a appuyé une Coopérative Koloharena à Amparafaravola (Région Alaotra Mangoro) pour la production et la diffusion de bougies de jatropha.

- Unité de production de 250 bougies / jour opérationnelle
- Le système de distribution effectif et fonctionnel
- 26 000 bougies sont vendues dans la Commune Rurale d'Amparafaravola

AVANTAGES

Avantages en matière d'atténuation : le remplacement des lampes à pétrole par des bougies de jatropha contribue à l'atténuation des GES.

Impacts sur le développement social du pays: amélioration de la santé de la population par la mise à sa disposition de technologie plus propre ; création d'emploi en milieu rural.

Impacts sur le développement économiques : réduction de l'importation de pétrole lampant ; développement de l'artisanat.

Impacts sur le développement environnemental : atténuation de l'émission de GES

¹ : Publication de la Fondation Tany Meva – cop17.fr pdf

² : Publication de la Fondation Tany Meva – cc_attn_ftm.pdf

FICHES DES 3 TECHNOLOGIES SELECTIONNEES DU SECTEUR INDUSTRIE

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Sous-secteur : Valorisation de sous-produits industriels habituellement mis en décharge

Technologie : Réduction du Ratio Clinker/Ciment par Ajouts de Cendres Volantes

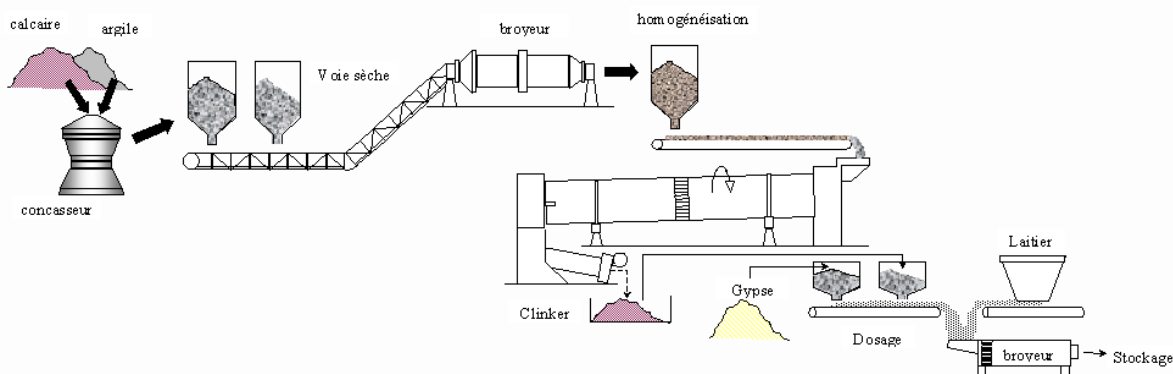
INTRODUCTION

Les cendres volantes sont des fines particules recueillies lors du dépoussiérage des gaz résultant de la combustion du charbon pulvérisé, utilisé dans les centrales thermiques. Leur composition est en relation avec les différents types de matières incombustibles présentes dans le charbon. D'une façon générale, les éléments présents sont : le silicium, l'aluminium, le fer, le calcium et le magnésium.

L'intérêt des cendres volantes réside dans la faculté qu'elles possèdent à réagir avec l'hydroxyde de calcium pour former des silicates de calcium hydratés qui ont des propriétés pouzzolaniques et hydrauliques (prise en présence d'eau).

Les cendres volantes sont utilisées en cimenterie :

- Soit pour la préparation de la matière première (le cru), en remplaçant de l'argile puisqu'elles apportent la silice, l'alumine et le fer. Le cimentier n'a plus à broyer et à sécher l'argile, les cendres sont faciles à doser, à transporter et les imbrûlés qu'elles contiennent constituent un apport de combustible suffisant.
- Soit lors du broyage final (avec le clinker, le gypse et les éventuels autres constituants secondaires). Le passage dans le broyeur permet d'augmenter leur réactivité et d'obtenir un mélange homogène. De plus, les cendres volantes favorisent le broyage et augmentent le rendement des broyeurs (grâce aux imbrûlés)



Ce processus classique permet de situer la première option qui consiste à remplacer l'argile et la deuxième option qui comprend à substituer le clinker. Chacune des deux options a sa spécificité en termes de taux de cendres volants à incorporer.

CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Caractéristiques

La composition des cendres volantes est proche des pouzzolanes naturelles. Elle varie en fonction de l'origine du charbon. Dans le cas de Madagascar, le charbon est importé d'Afrique du Sud. La composition des cendres volantes collectées de ce procédé est la suivante :

Essais	%	Essais	%
Insolubles AFNOR	7,37	MgO	0,2
Perte au feu	6,83	Oxydes divers	0,6
SiO ₂ insoluble	56,2	Total	100%
Fe ₂ O ₃	23	M.V (KN/m ³)	22,15
Al ₂ O ₃	0,8	SSB(cm ² /g)	Entre 3500 et 4430
CaO	5	D.app (g/cm ³)	0,78

➤ **Coût en Capital**

Si on benchmark l'expérience de HOLCIM Toamasina, un capital de US\$561,000 est nécessaire pour le montage d'une unité de valorisation de cendres volantes. Cette unité comprend un silo, un broyeur et un hangar.

➤ **Coût d'exploitation**

Pour exploiter l'unité de valorisation de cendres volantes, l'option de location pourrait être nécessaire pour démarrer rapidement et efficacement. 4 camions et un chargeur seront loués à raison de respectivement US\$75.00/heure et US\$950.00/mois.

➤ **Coût marginal de réduction de CO2**

Actuellement, il n'y a pas de prix fixe au kg de CO₂. Le repère commun est celui fixé par le GIEC (Groupement Interministériel des Experts sur le Climat), qui a défini que la tonne de CO₂ devait atteindre US\$112.06 en 2030 si l'on souhaite limiter à 2°C le réchauffement climatique, soit US\$58.99/tCO₂ en 2014, avec une hausse de 4% par an, pour arriver à US\$112.06 en 2030. C'est ce prix du carbone retenu par le Compte Épargne CO₂. Sur la base de cette donnée et sachant que l'utilisation de cendres volantes permet d'enregistrer une émission de CO₂ estimée à 102kg/tonne de ciment, le coût marginal serait de US\$6.26/tonne de ciment produit utilisant de cendres volantes.

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)**

HOLCIM dispose d'un terminal et station de mélange à Toamasina. Elle utilise déjà des cendres volantes comme ajout qualifié pour mélanger avec du ciment importé. Le tableau suivant permet d'apprécier la comparaison de technologie existante.

TYPES DE CIMENT PRODUIT	TYPES DE PRODUCTION	PRIX [US\$]
Lova (sac de 50kg)	Clinker	7.06
Manda (sac de 50kg)	Clinker+cendres volantes	9.29
Orimbato (sac de 50kg)	Clinker+cendres volantes	8.36

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

La cendre volante et la cendre résiduelle sont des sous-produits de combustion du charbon. Des traces de substances chimiques peuvent être détectées lors d'une analyse chimique. Par exemple, les produits chimiques identifiés peuvent comprendre du carbone et des silicates ou oxydes complexes d'aluminium (Al), de calcium (Ca), de magnésium (Mg), de sodium (Na), de soufre (S), de potassium (K), de titane (Ti), de fer (Fe) et de phosphore (P). Dénomination chimique : MxOy.SiO₂ (M = Al, Ca, Mg ou un autre métal mineur, lié à de la silice (SiO₂)).

Une analyse chimique de cendre volante et de cendre résiduelle indique également la présence de traces de métaux, tels que : arsenic (As), baryum (Ba), béryllium (Be), cobalt (Co), plomb (Pb) et manganèse (Mn).

En effet, la manipulation de cendres volantes provoque une irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires. Il est conseillé d'utiliser des moyens mécaniques de contrôle, des pratiques de travail et des équipements de protection personnelle appropriés pour éviter toute exposition au produit mouillé ou sec.

Fiabilité

Lorsque le ciment est mélangé à l'eau, la plus grande partie du ciment forme des composés cimentaires insolubles dans une réaction qui entraîne la création de chaux. Lorsqu'on les ajoute à ce béton, les cendres volantes réagissent avec la chaux pour former d'autres composés cimentaires. Dans un mélange correctement proportionné, les cendres volantes améliorent plusieurs des propriétés du béton : maniabilité, consolidation, résistance à la flexion et à la compression et aptitude au pompage améliorées, et perméabilité réduite.

Les cendres volantes contribuent de manière significative à la durabilité des ouvrages. L'utilisation de cette matière dans la production du béton réduit la consommation d'énergie et permet une efficacité et une performance améliorées. Les cendres volantes peuvent également être utilisées pour obtenir des points LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

Maturité

Les références normatives, ci-après, mettent en évidence la fiabilité mais aussi la maturité de l'utilisation des cendres volantes :

- NFP 98 111 Assise de chaussées : essais de réactivité des cendres silico-alumineuses à la Chaux
- NF EN 450-1 et 2 Cendres volantes pour bétons
- NF EN 14227-3 Mélanges traités aux liants hydrauliques (Partie 3 : Mélanges traités à la cendre volante)
- NF EN 14227-4 Mélanges traités aux liants hydrauliques (Partie 4 : Cendre volante pour mélanges traités aux liants hydrauliques)

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ Capacité institutionnelles

- a. L'organigramme de l'Etat, à travers le Ministère de l'Industrie et celui de l'Environnement, constitue une base institutionnelle solide pour cette technologie.
- b. Des instruments sont disponibles, notamment le décret sur la Zone Economique Spéciale (ZES) de Taolagnaro et le décret MECIE.
- c. L'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) qui dispose des ressources humaines toutes hiérarchies confondues au sein de ses départements Génie Industriel et Génie Chimique.
- d. Des renforcements de capacités sont nécessaires pour mettre en synergie l'Etat, les textes et les ressources.

➤ Echelle de l'application

Il est important de considérer le fait qu'HOLCIM opère déjà sur terrain. Pour ne pas secouer le système actuel, processus qui pourrait être générateur de chômage ou de migration de ressources humaines, une unité pilote est envisageable dans la Zone Economique Spéciale (ZES) de Taolagnaro. Le décret afférent à cette ZES vient d'être adopté en Conseil des Ministres. Les cendres volantes se trouvent à Taolagnaro même.

➤ Horizon temporel-Court/Moyen/Long terme

L'application est envisageable à court terme.

➤ Statut de la technologie dans le pays

A travers HOLCIM, on utilise à Madagascar les cendres volantes pour substituer le clinker. Les ciments Manda (ou CEM IV A/V 42.5) et Orimbato Noir (ou CEM IV B/V 32.5) contiennent des cendres volantes. Ils permettent de valoriser des sous-produits de centrales thermiques, de limiter l'utilisation de ressources naturelles telles que les pouzzolanes et de réduire les émissions de CO2 liées à la production de ciments plus conventionnels (essentiellement constitués de clinker). Elle s'approvisionne auprès de Sherritt International qui est une industrie d'extraction de nickel et de cobalt. Cependant, l'utilisation de cendres volantes a enregistré un surcoût d'US \$1.30 à US \$20.13 pour un sac de 50 kg de ciment.

Pour le moment, l'industrie d'extraction de titane QUIT Mines and Minerals qui importe du charbon d'Afrique du Sud a encore ces cendres volantes mises en décharge.

➤ **Acceptabilité pour les populations locales**

La consommation d'eau pour la fabrication des mortiers et des bétons, à partir de ciment avec ajout de cendres volantes, a été réduite de 20 % en moyenne. Ce qui allège le coût pour les usagers.

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

- Globalement, la fabrication d'une tonne de ciment relâche 800 kg à 900 kg de CO₂ dont 60% des émissions sont dues à la transformation des matières premières à des températures élevées. Si l'argile est remplacée par de cendres volantes, il n'y a plus de broyage d'argile qui constitue 20% des matières premières. Et par conséquent, il y a environ une réduction d'émission de CO₂ à raison de 102kg par tonne de ciment produit.
- Si les cendres sont incorporées pour substituer au clinker à raison de 35% à 65%, il y a de réduction d'émission de CO₂ estimée à 120,000 à 270,000 tonnes par an.

Avantages potentiels en matière de développement

- Il y a valorisation de déchet en provenance des industries d'extraction minière.
- Apport d'emploi supplémentaire.
- Appui tangible à l'industrie du bâtiment et des travaux publics.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

http://www.memoireonline.com/09/08/1539/m_utilisation-cendres-volantes-prevention-desordres-alkali-reaction3.html

<http://energie.lexpansion.com/habitat/le-ciment-nous-coute-cher-en-co2- a-39-7910.html>

<http://www.lafarge.ma/wps/portal/ma/fabrication-du-ciment#editoEncartVide000000000019058>

[http://cd4cdm.org/North%20Africa%20and%20Middle%20East/Morocco/Second%20National%20Workshop%20\(baselines\)/8Pres-APC-UCC%20ADS.ppt](http://cd4cdm.org/North%20Africa%20and%20Middle%20East/Morocco/Second%20National%20Workshop%20(baselines)/8Pres-APC-UCC%20ADS.ppt)

http://www.cement.org/docs/default-source/fc_concrete_technology/is548-optimizing-the-use-of-fly-ash-concrete.pdf

http://sustainability.sherritt.com/2013/ doc/Sherritt_Sustainability_Report_2013_print.pdf

Randriamalala T R, Ramamonjy T. M., Raharison M.T. (2014) : « *Développement de l'Ecologie Industrielle à Madagascar : Valorisation de cendre volante dans la construction du béton* » http://lodel.irevues.inist.fr/dechets-sciences-techniques/docannexe/file/316/4_randriamalala.pdf

Chung C.W., Shon C.S., Kim Y.S., (2010): "Chloride ion diffusivity of fly ash and silica fume concretes exposed to freeze-thaw cycles", Construct Build Mater 24, pp : 1739–1745

BLISSETT R. S, and ROWSON N. A, A review of the multi-component utilisation of coal fly ash, Fuel, 2012, 97, pp : 1–23

VASSILEV S,V, and VASSILEVA C,G, A new approach for the classification of coal fly ashes based on their origin, composition, properties, and behavior, Fuel, 2007, 86(1011), pp : 1490–512.

<https://www.comptepargneco2.com/compensation-carbone/prix-du-co2>

http://www.holcim.mu/fileadmin/templates/OU/doc/DD_Maquette_20140128_final_1_.pdf

http://www.lafarge-na.com/wps/portal/na/fr/2_3_B_3-Cementitious_detail?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/lib_na/Site_na/AllProductDataSheet/ProductDataSheet_Cement_1277242979869/Product_FR, consulté le 11 août 2015

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Sous-secteur :

Technologie : Bioplastiques

INTRODUCTION

Les Bioplastiques ont beaucoup en commun avec les plastiques conventionnels. Deux caractéristiques principales séparent des bioplastiques des plastiques conventionnels : 1) l'utilisation des matériaux renouvelables de biomasse dans la fabrication des bioplastiques. Les bioplastiques sont manufacturés à partir des sources telles que l'huile d'amidon et végétales plutôt que les plastiques basés de combustible fossile qui sont dérivés du pétrole. 2) la biodégradabilité et le compostabilité des bioplastiques. Certains bioplastiques, mais pas tous, sont biodégradables ou compostables.

La plupart des bioplastiques biodégradables sont employés pour les articles à jeter tels que sacs d'emballage ou déchets organiques. Les applications incluent des articles tels que sacs de ménage, sacs de boutique, sacs de commerce. Dans ces secteurs, le but est la biodégradabilité à partir des ressources viables.

Les besoins se font sentir sur le marché Malagasy après l'effectivité de l'interdiction des sacs plastiques inférieur à 50µ.

CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Caractéristiques

Les bioplastiques sont des plastiques fabriqués à partir de biopolymères; il existe deux types de biopolymères :

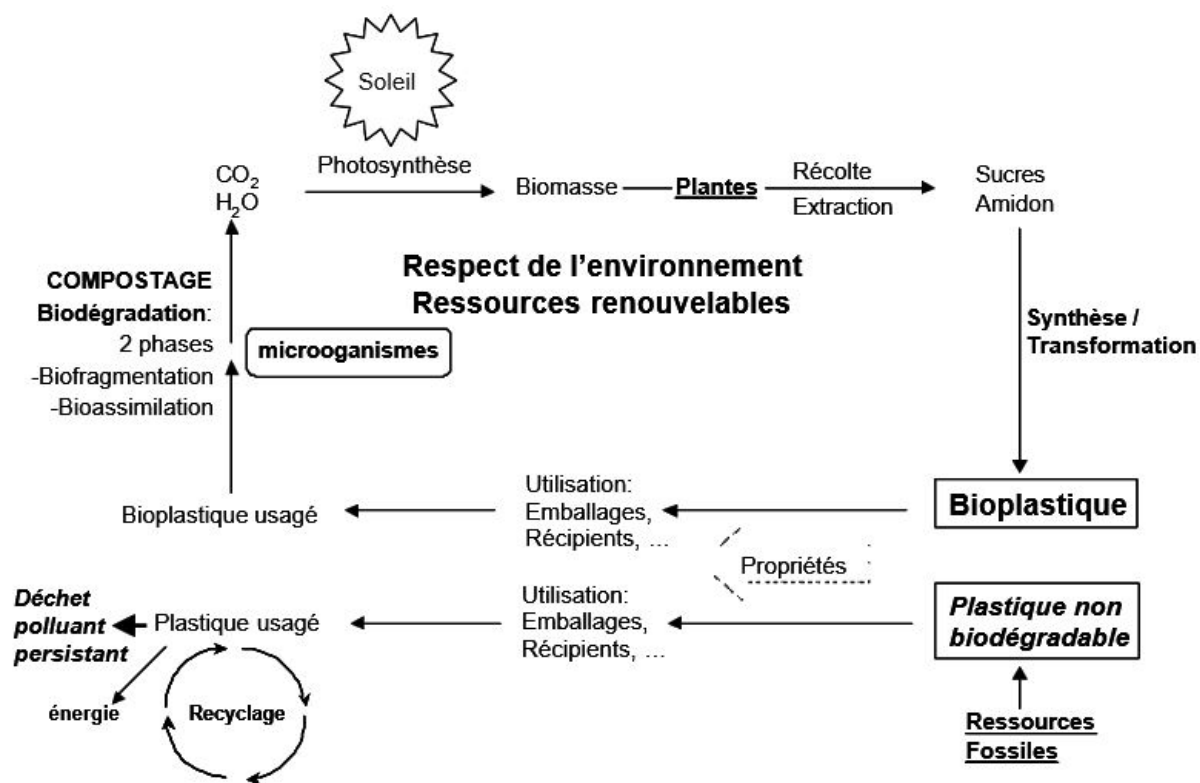
- Les biopolymères issus d'organismes vivants,
- Les biopolymères provenant de molécules polymérisables.

Après extraction de ces biopolymères, il existe deux méthodes de synthèse possible :

- La première étant basée sur la fermentation,
- La deuxième reposant sur l'utilisation de plantes modifiées génétiquement.

Les biopolymères peuvent provenir des organismes vivants tels que bois, coton, maïs, blé, soja ou autres.

Comme avec des plastiques conventionnels, l'éventail d'application des bioplastiques est très large. Plusieurs applications se sont déjà établies avec succès sur les marchés importants. Par exemple, packaging dans l'agroalimentaire, gants en médecine, pots pour plants en agriculture. Le succès commercial se produit surtout quand les propriétés particulières peuvent être transformées en fonctionnalité utile de produit et valeur ajoutée. La production mondiale actuelle des plastiques est dominée par les plastiques pétrochimiques. Cependant, le marché de bioplastique se fait sentir sur le marché local Malagasy.



➤ Coût en Capital

Les chiffres concernant les coûts de production des bioplastiques sont ceux pour produire le Biomiscanthus. Pour exemple, une unité de production de Biomiscanthus de 2 tonnes/an représente un investissement de l'ordre de 1,68 million d'US\$ et représente une production par ligne de l'ordre de 16,000 à 17,000 tonnes/an.

➤ Cout d'exploitation

Les plastiques pétrochimiques ont été développés et employés intensivement pendant plus de soixante-dix années. Par conséquent, ils sont relativement bon marché comparés aux bioplastiques. Tandis qu'il y a un certain nombre de bioplastiques avec le grand potentiel, et caractéristiques uniques, pour concurrencer dans un large éventail d'applications actuellement dominées par les plastiques pétrochimiques, certaines barrières existent toujours qui empêchent ceci de se produire. Dans le meilleur des cas, pour concurrencer, les bioplastiques devraient être viables, peu coûteux et fonctionnellement équivalents aux plastiques conventionnels. Habituellement les bioplastiques sont favorables à l'environnement et viables, mais ils sont toujours relativement chers et ils ne peuvent pas remplacer les plastiques pétrochimiques dans quelques applications (Barker et Safford, 2009).

Actuellement, les bioplastiques sont deux à quatre fois plus chers que les plastiques conventionnels (Barker et Safford, 2009). Barker et Safford identifient plusieurs raisons de ceci : 1) il y a un coût élevé pour la production d'usine, 2) un coût élevé des matières premières utilisées, 3) il n'y a pas encore d'économie d'échelle, et 4) les coûts de recherche et développement de bioplastiques sont élevés (Barker et Safford, 2009).

Le prix des plastiques conventionnels est lié à la tendance des prix d'huile, car les sous-produits de l'industrie pétrolière sont les ingrédients principaux pour la production du plastique (Barker et Safford, 2009). Puisque des bioplastiques sont basés sur des autres ressources bioplastiques, donc ils ne sont pas liés à la fluctuation du prix du pétrole. Cependant, les bioplastiques sont limités par des coûts de développement et le manque élevé d'économies d'échelle pour la production en série. Il semble vraisemblablement que des économies d'échelle seront atteintes dans un avenir proche.

➤ **Coût marginal de réduction de CO2**

Le coût marginal de réduction de CO2 dans le cadre d'utilisation de bioplastique est moins par rapport au polyéthylène et au papier.

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)**

La production d'un sachet plastique standard coûte environ 6 centimes d'US\$, contre 10 pour un sachet en bioplastique. Ils sont donc environ 30% plus cher que le plastique traditionnel.

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

Une mauvaise gestion de fin de vie des plastiques compostables risque potentiellement de contaminer l'ensemble de la chaîne de recyclage ou même d'avoir des effets pervers sur l'environnement s'ils se trouvent dans les sites d'enfouissement. Les plastiques compostables qui sont déviés de la voie du compostage risquent en effet, de causer plus d'impacts nocifs sur l'environnement ainsi que des dommages au sein de l'industrie de recyclage. En effet, la dégradation d'un bioplastique dans un site d'enfouissement génère du méthane, un des principaux gaz à effet de serre, dont le pouvoir réchauffant est environ 23 fois supérieur à celui du CO2. De même, les bioplastiques qui finissent dans un bac de recyclage risquent de contaminer la chaîne de recyclage, si l'on ne peut les différencier des pétro-plastiques.

Fiabilité

- Durée de décomposition
- Une amélioration pour la nature mais aussi une amélioration pour les emplois primaires tels que l'agriculture
- Nouveaux débouchés s'offrent aux agriculteurs qui devront fournir les matières premières nécessaires à la réalisation de ces plastiques renouvelables

Maturité

Le frein majeur à la réalisation de tout produit en bioplastique est l'acquisition des certifications et normes ISO en vigueur. Toutes les certifications et normes ont été plus spécialement dédiées aux plastiques et les producteurs de bioplastique doivent s'y adapter. L'arrivée du PET a encore ajouté un obstacle supplémentaire à cet essor.

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ **Capacité institutionnelles**

Comme il s'agit d'une technologie nouvelle, l'implication des Ministères en charge de l'Industrie, de l'Environnement et de la Recherche Scientifique est déterminante. Des actions conjuguées en termes de sensibilisation sur l'utilisation de bioplastique semblent prioritaires.

➤ **Besoin de renforcement des capacités**

Un renforcement des capacités sur le compostage des bioplastiques s'avère nécessaire pour ne pas subir un nouvel effet dû à la méthanisation lors de ce processus.

➤ **Echelle de l'application**

Cette nouvelle génération de plastiques trouve sa place dans de nombreuses applications, des sacs poubelles aux emballages alimentaires et non alimentaires, des équipements électroniques (téléphones, ordinateurs) aux produits d'hygiène ou à usage unique (cotons-tiges, couches culottes, vaisselle, couverts), des accessoires agricoles (ficelles, godets, films de paillage) aux pièces automobiles (boutons, poignées, pneumatiques). Sans oublier l'impression 3D, technologie innovante et marché en plein essor où les bioplastiques jouent un rôle majeur. Puisque le bioplastique est nouveau dans le contexte économique Malagasy, une application à titre pilote est envisageable.

➤ **Horizon temporel-Court/Moyen/Long terme**

Cependant, il ne sera pas possible d'exploiter ce potentiel bioplastiques à court ou à moyen terme à Madagascar dû à des barrières économiques. Des techniques mesurant les défis et les besoins sont nécessaires pour que l'industrie s'adapte aux nouveaux plastiques (PRO-BIP, 2009).

➤ **Statut de la technologie dans le pays**

Un marché en forte croissance par opposition au marché du plastique traditionnel menacé de plus en plus par les importations asiatiques. Il manque également une politique de taxation incitative.

➤ **Acceptabilité pour les populations locales**

Cependant, le traitement du plastique biosourcé entraîne cependant une importante consommation d'eau. Alors que Madagascar fait face actuellement à des problématiques aiguës en matière d'adduction et/ou d'approvisionnement en eau.

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

Tout d'abord, les bioplastiques contribuent à la réduction des gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO₂). Les Bioplastiques génèreraient 68% de gaz à effet de serre en moins par rapport aux matières plastiques à base de combustibles fossiles. Ceci est dû à la partie végétale de leur composition. Qu'ils soient incinérés ou dégradés, ils ne produisent pas de carbone additionnel. Ils ne contribuent donc pas à l'augmentation de l'effet de serre. De plus, le bioplastique participe à la réduction des déchets à la source.

Actuellement, aucun projet n'a été enregistré concernant le décalage de la production des plastiques conventionnels aux bioplastiques. Un tel décalage empêcherait les émissions de GES comme les bioplastiques sont produits à partir d'une ressource renouvelable. Par exemple, quand la biomasse utilisée pour la production des bioplastiques est dérivée des flux de déchets de biomasse, le projet empêcherait des émissions de GES comme il empêche le délabrement de biomasse. La méthodologie suivante pourrait convenir dans cette situation, éviter des émissions des déchets de biomasse par l'utilisation comme des actions d'alimentation dans la production de pâte-à-papier. Cette méthodologie aide au calcul des émissions.

	Sacs Ecolobags en Mater-Bi	Papier	Sacs en Polyéthylène
Poids moyen à dimensions identiques	9,15 g	59,6 g	7,04 g
Consommation énergétique totale en MégaJoules pour 1000 sacs	450	4800	650
Type de Destruction	Compost	Compost	Incinération
Ratio de CO2 relargué dans l'atmosphère – effet de Serre	1	10	4

Avantages potentiels en matière de développement

- La promotion des bioplastiques pourrait passer par une taxation de certains produits non renouvelables à fort impact environnemental ou par une taxation incitative telle que l'application d'une TVA à taux réduit.
- Le développement des filières de compostage. En fait, la filière naturellement adaptée aux matériaux biodégradables est la filière «compost». Il est par conséquent indispensable, avant de procéder à toute substitution d'un polymère conventionnel par un polymère biodégradable, d'envisager en priorité sa valorisation biologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

<http://le-bioplastique.e-monsite.com/pages/iii-les-avantages-et-inconvenients.html>, consulté le 11 Août 2015

<http://www.bioplastiques.org/images/documents/Dossier%20de%20P/Note%20Club%20Bio-plastiques%20oct%202007%20%28cpt%29.pdf>, consulté le 11 Août 2015

<http://www.bioplastiques.org/images/documents/Dossier%20de%20P/Note%20Club%20Bio-plastiques%20oct%202007%20%28cpt%29.pdf>, consulté le 11 Août 2015

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Sous-secteur : Valorisation de Déchets Industriels

Technologie : Fabrication de Matériaux Composites à Base de Sciure de Bois et de Ciment Portland

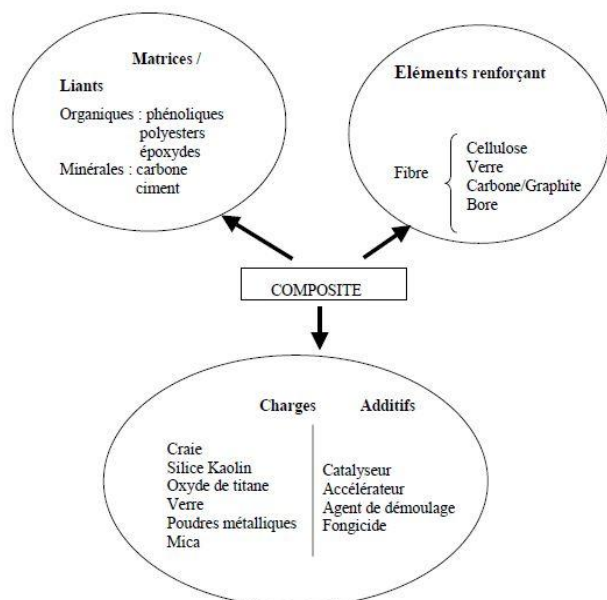
INTRODUCTION

Comme pour la plupart des matériaux, la création d'objets et d'ouvrages à partir du bois ne peut se faire que par des usinages successifs qui consistent à enlever des matières engendrant des déchets. Face au niveau du contexte de la protection de l'environnement et au même titre que l'ensemble des déchets industriels et ménagers, les déchets des industries de transformation du bois vont devoir être récupérés et valorisés.

CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Caractéristiques

On définit ces matériaux composites par un assemblage intime d'au moins deux éléments non miscibles à structures différentes dont les qualités individuelles se combinent et se complètent en donnant un matériau hétérogène dont les performances globales sont améliorées. La composition générale est donnée par la figure suivante.



➤ Coût en Capital

Le Food and Alimentation Organization (FAO) a présenté une étude stipulant qu'un investissement de US\$ 592/m³ de composite est nécessaire. Si on considère une capacité de production de 10,000 tonnes/an, l'investissement nécessaire est de US\$1,300,000.

➤ Cout d'exploitation

Si on part de l'hypothèse ci-dessus, de production de 10,000 tonnes/an, le coût d'exploitation serait de US\$1,450,000.

➤ Coût marginal de réduction de CO2

Brûler les sciures fait dégager du CO₂. Et les utiliser en composite à base de ciment éviterait ce dégagement de CO₂. Un seul mètre cube de sciure de bois transformé en composite avec du ciment portland, c'est en moyenne 1 tonne de CO₂ en moins dans l'atmosphère.

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)**

L'Ecole Supérieure Polytechnique dispose d'une presse de composite de sciure de bois avec du ciment Portland. Un jeu de moules (tuile, brique, panneau) est aussi disponible. Le coût de l'ensemble s'élève à US\$1,500 (la machine importée de Chine vaut US\$3,000 à 10,000 hors compresseur).

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

Les matériaux composites à base de sciure de bois et de ciment portland sont résistants au feu selon les normes NF P 92 501.

Fiabilité

Les matériaux composites à base de sciure de bois et de ciment portland est écologique étant donné qu'ils ne sont pas toxiques et qu'ils ne présentent quelconque dangers pour la santé publique. Ils ne contiennent pas de composés volatils dangereux ou toxiques.

Maturité

La technologie a fait l'objet d'étude et d'application à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université d'Antananarivo. Des échantillons ont été déjà réalisés et exposés.

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ **Capacité institutionnelles**

Deux entités, le Centre National de Recherche Industrielle et Technologique (CNRIT) et l'Ecole Supérieure Polytechnique (ESPA), sont déjà dans cette activité. Elles ont le savoir-faire.

➤ **Echelle de l'application**

Réalisable à partir d'une production en grande série pour le cas des briquettes et tuiles. Les tôles, qui sont des produits importés, subissent les effets de l'instabilité de l'Ariary.

➤ **Horizon temporel-Court/Moyen/Long terme**

Réalisable à court terme

➤ **Statut de la technologie dans le pays**

Le Centre National de Recherche Industrielle et Technologique (CNRIT) et l'Ecole Supérieure Polytechnique (ESPA) sont deux entités qui fabriquent sur commande des machines appropriées à la fabrication de composite à base de sciure de bois et de ciment Portland.

➤ **Acceptabilité pour les populations locales**

Peut rencontrer un mécontentement au niveau de la population. Une grande partie de cette dernière utilise la sciure de bois comme combustible ménager. La valorisation pourrait augmenter le coût de la sciure départ scierie.

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

- Un seul mètre cube de sciure de bois transformé en composite, c'est en moyenne 1 tonne de CO2 en moins dans l'atmosphère

Avantages potentiels en matière de développement

- Création de valeur dans les déchets industriels
- Création de nouvelle compétence en matière de transformation de déchets industriels (des métiers plus attractifs)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

« Les Panneaux à Base de Bois », <http://www.fao.org/docrep/016/ap427f/ap427f00.pdf>, consulté le 11 Août 2015

« Le Bois Meilleur Ennemi du CO2 », <http://www.directgestion.com/sinformer/dgmag/8428-le-bois-meilleur-ennemi-du-co2>, consulté le 11 Août 2015

<http://m.french.alibaba.com/goods/wood-shavings-press-machine.html> , consulté le 11 Août 2015

Sales C., « Innovation technologique et valorisation des sous-produits, des filières bois », https://agritrop.cirad.fr/514483/1/document_514483.pdf , consulté le 11 Août 2015

FICHES DES AUTRES TECHNOLOGIES DU SECTEUR INDUSTRIE

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Sous-secteur : Recyclage de déchets

Technologie : Valorisation à grande échelle des déchets des grandes villes par recyclage des vieux papiers

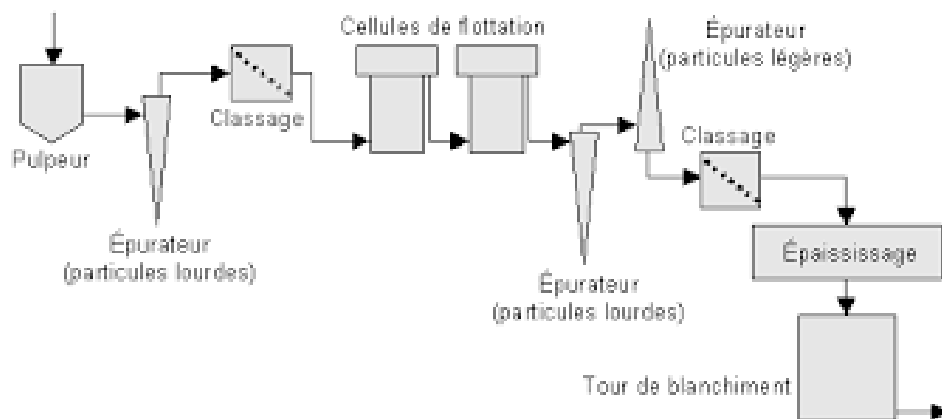
INTRODUCTION

Le recyclage des vieux papiers est un processus de transformation des déchets de papier en nouveaux produits de papier. Le processus implique les déchets de papier collectés, le trier le mélanger avec des produits chimiques pour le décomposer. Le processus de recyclage commence par la trituration jusqu'à faire des rouleaux de papier.

Caractéristiques technologiques

➤ Caractéristiques

Le recyclage du papier consiste à récupérer les vieux papiers et les traiter en nouveaux produits. Le processus de recyclage du papier implique la collecte des déchets de papier, le tri en catégories, la mise en pâte des vieux papiers, qui se nourrit dans le processus de fabrication du papier. Le raisonnement derrière le recyclage du papier est de récupérer les matières premières précieuses et de les recycler pour créer un nouveau produit qui est dans le cas de Madagascar les sachets en papier pour remplacer les sachets en plastique.



➤ Coût en Capital

Pour l'ensemble d'équipement nécessaire pour le recyclage, le coût d'investissement s'élève à US\$300,000.00, hors affrètement et assurance.

➤ Coût d'exploitation

DESIGNATION	ESTIMATIF [US\$]
Transport-ramassage (location horaire camion)	75.00
Transport-ramassage (location horaire camion + remorque)	90.00
Chargeur (location mensuelle)	950.00

➤ Coût marginal de réduction de CO₂

➤ Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)

Il n'y a plus de technologie pour recyclage des vieux papiers à Madagascar. L'unique usine, les Papeteries de Madagascar-Océan Indien (PAPMAD-OI), a arrêté sa production en 2010. Elle a rencontré des problèmes techniques : pannes fréquentes, pannes définitives de composantes électroniques déterminantes, incapacité à importer des pièces détachées. En plus du problème de paiement de factures d'électricité, elle a eu aussi un problème d'importation de vieux papiers, la collecte locale n'est pas organisée. Cette dernière aurait dû permettre de collecter $750 \text{ tonnes} \times 5\% \times 360 \text{ jours} = 13,500$ tonnes de vieux papiers. La capacité de l'usine est de 14,000 tonnes par an.

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

Pour les agents de tri :

- Les pathologies liées au tri
- Les lésions musculaires
- Les risques de souillures et de contamination

Comme le processus de recyclage actuel ne parvient pas encore à éliminer les substances d'huile minérale provenant essentiellement des couleurs utilisées pour l'impression des journaux et revues, cela explique pourquoi tous les papiers recyclés, à Madagascar, présentent des concentrations de MOSH (Mineral Oil Saturated Hydrocarbons) et de MOAH (Mineral Oil Aromatic Hydrocarbons). Il n'est pas exclu que ces substances puissent migrer vers le contenu d'un emballage, pouvant mettre en cause la sécurité.

Fiabilité

Mise à disposition d'un service fiable à tous les clients avec des variétés de produits à la demande. Ce niveau de service n'est pas maintenu car les systèmes de qualité ne sont pas encore en place.

Maturité

L'industrie de recyclage de vieux papiers à Antananarivo est mature. Le circuit industriel se présente comme suit :

- Pré- traitement
- Premier traitement physique : élimination des impuretés
- Deuxième traitement physico-chimique

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ **Capacité institutionnelles**

- Le Syndicat des Industries de Madagascar (SIM) comprend quelques membres qui opèrent déjà dans le recyclage des vieux papiers
- Il n'y a pas de taxes sur les produits de papiers importés qui sont déjà fabriqués localement

➤ **Echelle de l'application**

Application au niveau de chaque Chef-lieu de Province

➤ **Horizon temporel- Court / Moyen / Long terme**

L'application devrait être à court terme dans la mesure où la capitale Antananarivo fait face actuellement au problème d'enlèvement d'ordures ménagères. Le projet y afférent est une réponse précise aux attentes de la Ville.

➤ Statut de la technologie dans le pays

Une usine, les Papeteries de Madagascar-Océan Indien (PAPMAD-OI), recyclait des vieux papiers importés jusqu'en 2008. L'usine a fermé ses portes et a vendu, en ferrailles, les installations de capacité annuelle de 14,000 tonnes de papiers finis. Madagascar n'a plus d'usine de recyclage des vieux papiers.

➤ Acceptabilité pour les populations locales

- Par la Commune Urbaine d'Antananarivo : elle ramasse environ 700 à 750 tonnes d'ordures ménagères par jour (3 à 5% de vieux papiers),
- Par la population dans 192 Fokontany ou Quartiers : elle sera épargnée de pollution sous forme d'émission de méthane.

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

- **pollue moins:** le bilan écologique en termes de pollution atmosphérique et de consommation d'eau est meilleur,
- La collecte et la revalorisation du vieux papier valent vraiment la peine car le recyclage est une contribution active à la protection de l'environnement
- Réduction d'émission de CO₂ par rapport à une usine de fabrication de papier utilisant les pâtes mécanique ou chimique.

AVANTAGES POTENTIELS EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT

- **création d'emploi :** la collecte et le tri des vieux papiers nécessitent une haute intensité de main d'œuvre locale. L'usine de traitement proprement dit peut utiliser jusqu'à 100 personnes,
- **économie des ressources:** 55% moins d'énergie et 100 fois moins d'eau sont nécessaires,
- **préservation des forêts** en utilisant 20 fois moins d'arbres. Environ 1 tonne de vieux papiers permet de fabriquer 1 tonne de pâte recyclée alors qu'il faut 2 à 3 tonnes de bois pour fabriquer 1 tonne de papier classique.
- Le recyclage est économiquement plus avantageux que l'incinération. Alors que l'incinération d'une tonne de déchets coûte, selon les usines, de US\$150 à 300, le traitement du vieux papier se situe entre US\$100 et 150 par tonne, hors coûts de collecte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

http://www.database.tech-action.org/media/k2/attachments/ref02x09_35.pdf

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Sous-secteur : Cimenterie

Technologie : Réduction du ratio clinker/ciment par l'utilisation d'ajouts qualifiés (Pouzzolane naturelle).

INTRODUCTION

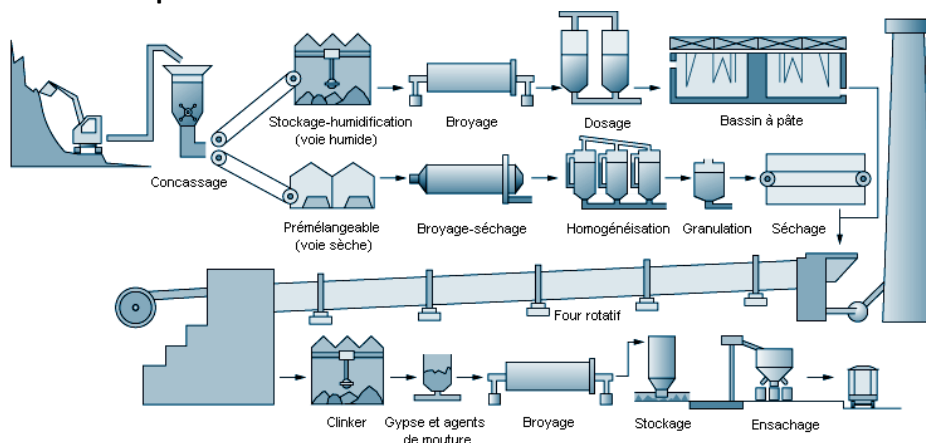
La Pouzzolane est un matériau qui, lorsqu'il est combiné avec de l'hydroxyde de calcium, présente des propriétés cimentaires. Pouzzolane (le terme technique est agent d'allongement de ciment), sont couramment utilisés comme additif à Portland mélangé de béton de ciment pour augmenter la résistance à long terme et de réduire le coût du matériau béton.

La pouzzolane est un matériau siliceux ou aluminosiliceux qui est hautement vitreux. Les matériaux de pouzzolane peuvent être ajoutés au ciment pour étendre son volume sans perte significative de propriétés. Les Pouzzolanes, généralement des matériaux, ne nécessitent pas de pré-traitement et donc peut sauver des quantités très importantes d'énergie et les émissions de CO₂, en complément de ciment régulière.

Les ciments pouzzolaniques modernes sont un mélange de pouzzolanes naturelles ou industrielles et clinker de ciment Portland, la forte alcalinité de la pouzzolane, il est particulièrement résistant aux formes courantes de la corrosion du sulfate. Une fois totalement durcie, il peut être plus fort que le ciment Portland seul, en raison de sa faible porosité, ce qui rend également plus résistant à l'absorption d'eau.

CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Caractéristiques



Les caractéristiques de pouzzolane sont données dans le tableau suivant :

Élément (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO libre (%)	P.F (%)
Pouzzolane	45.21	17.85	9.84	9.99	4.38	/	/	/	/	3.91

➤ Coût en Capital

Si on benchmark l'expérience de HOLCIM Antsirabe, un capital de US\$400,000 est nécessaire pour le montage d'une unité de valorisation de pouzzolane. Cette unité comprend un silo, un broyeur et un hangar.

➤ Cout d'exploitation

Pour exploiter l'unité de valorisation de pouzzolane, l'option de location pourrait être nécessaire pour démarrer rapidement et efficacement. 4 camions et un chargeur seront loués à raison de respectivement US\$75.00/heure et US\$950.00/mois.

➤ **Coût marginal de réduction de CO2**

Actuellement, il n'y a pas de prix fixe au kg de CO2. Le repère commun est celui fixé par le GIEC (Groupement Interministériel des Experts sur le Climat), qui a défini que la tonne de CO2 devait atteindre US\$112.06 en 2030 si l'on souhaite limiter à 2°C le réchauffement climatique, soit US\$58.99/tCO₂ en 2014, avec une hausse de 4% par an, pour arriver à US\$112.06 en 2030. C'est ce prix du carbone retenu par le Compte Épargne CO2. Sur la base de cette donnée et sachant que l'utilisation de pouzzolane permet d'enregistrer une émission de CO2 estimée à 114kg/tonne de ciment, le coût marginal serait de US\$7.02/tonne de ciment produit utilisant de pouzzolane.

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)**

HOLCIM dispose d'une cimenterie à Antsirabe. Elle utilise déjà des pouzzolanes pour mélanger avec du clinker.

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

En effet, d'importantes actions ont été réalisées en matière de sécurité, notamment :

- La poursuite de la mise en place des standards : port d'équipements de protection individuels (epi), travaux dans les espaces confinés, travaux par points chauds, code des bonnes pratiques de la conduite;
- La réalisation de plusieurs formations sécurité;
- La poursuite d'une stricte application de la limitation de la charge autorisée;
- Les visites sécurité du comité de direction à l'ensemble des sites de production;
- Le lancement de groupes de progrès «sécurité» constitués de collaborateurs directement concernés qui s'emploient à identifier et analyser des situations de risque, proposer des solutions et réaliser les plans d'actions.

Fiabilité

Le ciment, élaboré avec la pouzzolane, présente une bonne résistance mécanique à long terme ceci est attribué à l'activité des constituants (SiO₂ réactive) que contient cet ajout. Ces constituants (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, ...) consistent à fixer la portlandite par Ca(OH)₂ libéré par l'hydratation du CPA pour donner naissance à des silicates de calcium hydratés (C-S-H) supplémentaires qui doivent occuper un espace important dans la matrice cimentaire et contribuer ainsi au développement de la résistance.

Maturité

Il faut savoir qu'une tonne de ciment à base exclusive de pouzzolane ne requiert guère plus de 900 kwh/tonne (toutes énergies confondues) alors qu'un ciment ordinaire et comparable en exige 1.322.

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ **Capacité institutionnelles**

- L'organigramme de l'Etat, à travers le Ministère de l'Industrie et celui de l'Environnement, constitue une base institutionnelle solide pour cette technologie.
- Des instruments sont disponibles, notamment le décret le décret MECIE.
- L'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA) qui dispose des ressources humaines toutes hiérarchies confondues au sein de ses départements Génie Industriel et Génie Chimique.
- Des renforcements de capacités sont nécessaires pour mettre en synergie l'Etat, les textes et les ressources.

➤ **Echelle de l'application**

L'échelle d'application peut être envisagée à une production directe au niveau régionale.

➤ **Horizon temporel-Court/Moyen/Long terme**

Applicable à long terme si on projette de monter une usine de cimenterie nouvelle. L'applicabilité est à moyen terme si on envisage d'importer du clinker et d'utiliser de la pouzzolane locale.

➤ **Statut de la technologie dans le pays**

A Madagascar, l'usine de cimenterie HOLCIM utilise déjà de la pouzzolane sur un site de 16 hectares situé à 27 kilomètres de l'usine. Il s'agit d'une utilisation modérée.

➤ **Acceptabilité pour les populations locales**

- Projet de reboisement
- Projet communautaire pour l'amélioration l'irrigation des terrains agricoles
- Projet de construction d'ouvrages d'évacuation d'eaux pluviales dans le site

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

- Les matériaux de pouzzolane, en général, ne nécessitent pas « pyrotraitement » et, par conséquent, peuvent économiser des quantités très importantes d'énergie et réduire les émissions de CO₂, en complément de ciment régulier.
- L'utilisation d'un ajout cimentier naturel tel que la pouzzolane, permet de réduire les émissions des gaz (CO₂), généré lors de la production du clinker, et par conséquent on arrive à produire un ciment non polluant et durable sur le plan environnemental
- Par ailleurs, les émissions de SO₂ des cimenteries résultent de la combustion de composés portant du soufre dans le charbon, le pétrole et le coke de pétrole, et de la transformation de la pyrite et le soufre dans les matières premières. Pour atténuer ces émissions, les cimenteries installent généralement les technologies de contrôle de la pollution de l'air appelées "laveurs" pour piéger ces polluants dans leurs gaz d'échappement. En outre, le calcaire utilisé pour produire du ciment a des propriétés «auto-épuration», qui permettent à l'industrie de gérer carburants à haute teneur en soufre. En utilisant plusieurs produits de substitution du clinker, comme par exemple la puissance de la cendre de charbon, les cendres de charbon réduit en poudre et les déchets réduite terre sont nécessaires afin de disposer de la poudre de cendre de charbon.

AVANTAGES POTENTIELS EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT

- Un avantage important de l'amélioration de l'efficacité énergétique dans l'industrie du ciment serait la réduction des coûts de l'énergie.
- Dans la fabrication du ciment, des gains d'efficacité coût-efficacité de l'ordre de 10% à 20% sont déjà possible en utilisant les technologies disponibles dans le commerce. L'intensité énergétique de la plupart des procédés industriels est d'au moins 50% de plus que le minimum théorique déterminé par les lois fondamentales de la thermodynamique. L'efficacité énergétique a tendance à être plus faible dans les régions à faibles prix de l'énergie. Les technologies transversales pour les systèmes à moteur et à vapeur donneraient une amélioration de l'efficacité dans tous les secteurs, avec des économies d'énergie typiques de l'ordre de 15% à 30%. La période de récupération peut être aussi courte que deux ans, et dans les meilleurs cas, les économies financières sur la durée d'exploitation des systèmes améliorés peut fonctionner aussi haut que 30% à 50%. Dans ces processus où l'efficacité est proche du maximum pratique, les innovations dans les matériaux et procédés permettraient même d'autres gains (AIE, 2008).
- La disponibilité de substituts de clinker est suffisante pour permettre le rapport ciment à clinker à être réduite à 0,7 à l'échelle mondiale, ce qui permet théoriquement un gain d'un autre 15 Mt d'énergie thermique. Tenant compte de toutes ces potentialités, l'intensité globale de la production de ciment

pourrait être réduite de 0,9 GJ/t de ciment produite, avec des économies nettement plus élevés possibles dans de nombreux pays et régions (AIE 2010). Tel que calculé par l'AIE (2008), au total, le potentiel d'économies pour les ciments mélangés élève à 300 Mt de CO2 à 450 Mt de CO2 d'ici à 2050.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ranivoson T. (2010) : « *Evaluation et Analyse des Impacts Environnementaux et Sociaux du Projet d'Extraction de Pouzzolane à Betafo* », <http://masterea.u-bordeaux4.fr/sites/masterea/IMG/pdf/pranivoson.pdf>, consulté le 28 Août 2015.

<http://www.climatetechwiki.org/technology/clinker-substitue>, consulté le 28 Août 2015

[http://ifcextapps.ifc.org/ifcext/spiwebsite1.nsf/0/714086F298EC5E4F852576BA000E325D/\\$File/11%20EIE%20Description%20du%20projet.pdf](http://ifcextapps.ifc.org/ifcext/spiwebsite1.nsf/0/714086F298EC5E4F852576BA000E325D/$File/11%20EIE%20Description%20du%20projet.pdf), consulté le 28 Août 2015

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Sous-secteur :

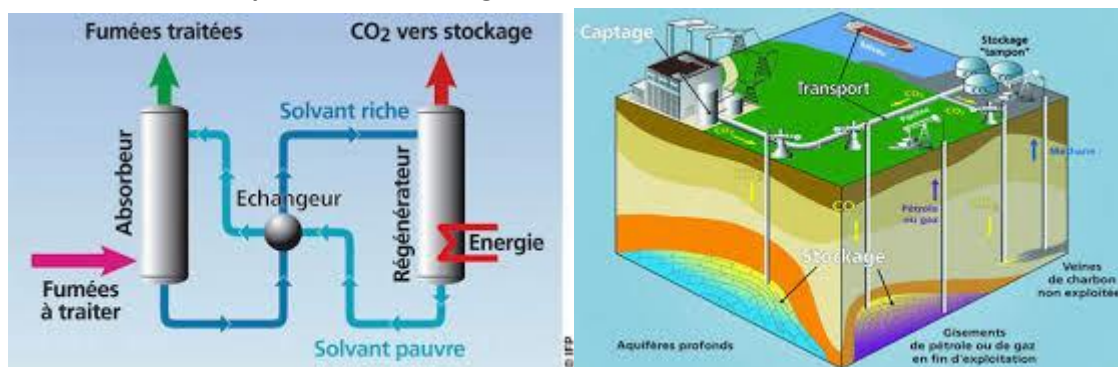
Technologie : Captage et stockage CO2 (CSC)

INTRODUCTION

La technologie « Capture et Stockage du Carbone (CSC) » est une combinaison de technologies conçues pour empêcher la libération de CO₂ générées par la production d'énergie conventionnelle et les processus de production industriels en injectant le CO₂ dans des réservoirs de stockage souterrains appropriés.

CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Caractéristiques de la technologie



Fondamentalement, la technologie de capture sépare les émissions de CO₂ du processus, après quoi le CO₂ comprimé est transporté vers un emplacement de stockage géologique adaptée et injecté.

La première étape correspond aux processus de capture qui peuvent être regroupés en trois catégories, selon laquelle l'aptitude de chaque approche dépend du procédé industriel ou le type de centrale électrique en question.

- Post-combustion: le CO₂ est éliminé du gaz de fumée résultant de la combustion d'un combustible fossile. Séparation post-combustion implique l'utilisation d'un solvant pour capturer le CO₂. Les applications typiques de cette technologie incluent le charbon (PC) des plantes, et les centrales à cycle combiné au gaz naturel (CCGN) pulvérisés. Cette technologie est particulièrement adaptée pour moderniser les applications (Office parlementaire des sciences et de la technologie, 2009).
- Pré-combustion: Le combustible primaire dans le processus est mis en réaction avec de la vapeur et de l'oxygène, et est converti en un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène, souvent appelé un "gaz de synthèse". Le monoxyde de carbone est par la suite converti en CO₂ dans un «réacteur de conversion». Le CO₂ peut ensuite être séparé, et de l'hydrogène est utilisé pour produire de l'énergie et / ou de chaleur. Cette technologie est particulièrement adaptée pour être appliquée à gazéification intégrée à cycle combiné (IGCC) centrale (GIEC, 2005).
- Oxycombustion: Le combustible primaire est brûlé dans l'oxygène au lieu d'air, qui produit un gaz de combustion contenant principalement de vapeur d'eau et une forte concentration de CO₂ (80%). Le gaz de fumée est ensuite refroidi pour condenser la vapeur d'eau, ce qui laisse un courant de CO₂ presque pur. Équipement supplémentaire est nécessaire pour la production in situ de l'oxygène de l'air (McKinsey & Company, 2008).

Une fois le CO₂ a été effectivement «capturé» d'un processus, il sera nécessaire de le transporter vers un emplacement de stockage approprié. Le CO₂ est plus efficacement transporté lorsqu'il est comprimé à une

pression supérieure à 7,4 MPa, et une température supérieure à environ 31°C. Dans ces conditions, le CO₂ supercritique présente des propriétés; il est un liquide ayant des caractéristiques de gaz.

Les emplacements de stockage de CO₂ appropriés comprennent les champs de pétrole et de gaz ou des formations salines profondes abandonnés, avec une profondeur minimale prévue de 800 m, où la température ambiante et des pressions sont suffisamment élevées pour maintenir le CO₂ dans un état liquide ou supercritique. Le CO₂ est empêché de migrer à partir du réservoir de stockage à travers une combinaison de mécanismes de piégeage physiques et géophysiques (IPCC, 2005). Les technologies utilisées pour injecter le CO₂ sont similaires à ceux utilisés dans l'industrie du pétrole et du gaz. En plus du forage de puits et de matériel d'injection, de mesure et de technologies de surveillance sont indispensables pour observer la capacité restante du site de stockage, et le comportement du CO₂.

Une fois que la phase d'injection est achevée, le bien devra être scellé en utilisant un (généralement du ciment) «bouchon» approprié, placé à une profondeur suffisante pour empêcher le CO₂ se levant du puits et éventuellement échapper ou contaminer la nappe phréatique.

➤ **Coût en Capital**

Un projet d'installation de Captage et Stockage de CO₂ vaut 60 millions d'EUR avec une capacité de stockage de 150 000 tonnes de CO₂ en deux ans.

➤ **Coût d'exploitation**

Le captage, la compression, le transport et le stockage, est évaluée entre 40 et 70 \$/t de CO₂ en terme de coût d'exploitation.

Actuellement, de loin la plupart des applications de CSC ne sont pas économiquement faisable. L'équipement supplémentaire utilisé pour capturer et compresser CO₂ exige également des quantités importantes d'énergie, ce qui augmente les besoins en carburant d'une centrale électrique au charbon entre 25-40% et fait grimper le coût (GIEC, 2005) aussi. Les Projets de démonstration CSC dans le secteur de l'énergie devraient coûter \$ 90-130 / t CO₂ évitée, du coût éventuellement tomber à 50-75 \$ /t CO₂ pour les activités commerciales à pleine échelle qui ont lieu après 2020 (McKinsey & Company, 2008). Ces coûts tiennent compte de la pénalité énergétique du captage du CO₂, mais pas les émissions en amont, afin qu'ils assument une réduction des émissions de 80 à 90% par rapport à une installation classique. Récemment, il y a eu un accent sur l'évaluation du potentiel et des coûts de CSC dans le secteur industriel (ONUDI / AIE, 2011; ZEP, 2013). De nombreux procédés industriels, pour exemple, la production de l'acier primaire, la production de ciment et de raffinage du pétrole sont exploités à la limite de l'efficacité énergétique, et le captage du CO₂ est la seule technologie qui est capable de réduire encore plus les émissions. Coûts de demander CCS dans l'industrie varient considérablement entre les applications, toutefois, certains coûts sont beaucoup moins élevés que ceux trouvés dans le secteur de l'énergie.

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 a 5)**

La technologie de captage et stockage de CO₂ n'existe pas encore à Madagascar.

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Le CO₂ ne constitue pas un gaz toxique, mais peut conduire à l'asphyxie si la concentration dans l'air devient suffisamment élevée (fuite dans un bâtiment fermé). Les risques de fuites de CO₂ à partir d'un pipeline sont probables mais le CO₂ n'est pas inflammable. De nombreux pays ont mis en place des cadres réglementaires et des normes pour le transport et le stockage permanent du CO₂, qui visent à assurer que de telles pratiques ne posent pas de menace pour la sécurité des êtres humains et l'environnement.

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ **Capacité institutionnelles et besoin de renforcement des capacités**

C'est un projet de grande envergure. Plusieurs Ministères sont impliqués dans le processus : Mines, Industrie et Environnement. Vu la complexité de la technologie, un renforcement de capacité est nécessaire sur la mobilisation des parties prenantes pour tel projet.

➤ **Echelle de l'application**

Cette technologie sera coûteuse pour Madagascar seul. Une application concertée avec les pays de l'Afrique australe longeant le Canal de Mozambique permet de partager les coûts d'installation. En tout cas c'est un projet qui peut être monté à titre pilote.

➤ **Horizon temporel- Court / Moyen / Long terme**

Il s'agit d'une application sur le long terme.

➤ **Statut de la technologie dans le pays**

La technologie n'existe pas encore à Madagascar.

➤ **Acceptabilité pour les populations locales**

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

Le CSC a le potentiel de réduire considérablement les émissions de CO2 provenant de la production d'électricité et les installations industrielles.

Cette technologie peut capturer entre 85-95% de tout le CO2 produit (GIEC, 2005), mais des réductions d'émissions nettes sont de l'ordre de 72 à 90% grâce à l'énergie qu'il en coûte pour séparer le CO2 et les émissions en amont (Viebahn et al, 2007).

AVANTAGES POTENTIELS EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT

➤ **Economiques, sociaux et environnemental.**

Le niveau auquel CSC appuie le développement durable est un sujet largement débattu. Les discussions autour permettant CCS dans Mécanisme de Développement Propre du Protocole de Kyoto illustrent les opinions divergentes entre les parties prenantes. Il est soutenu par certains qu'aucune technologie impliquant la combustion de combustibles fossiles peut être associée avec le développement durable, en raison de la nature limitée de ces ressources. D'autres se dirigent vers les effets de l'utilisation de combustibles fossiles, au-delà des émissions de CO2 seul, en incluant les impacts environnementaux de l'extraction du charbon (Coninck, 2008).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

<http://www.climatetechwiki.org/technology/ccs>

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Sous-secteur : Extraction

Technologie : Elimination des émissions de mercure liées aux opérations d'extraction d'or artisanale ou à petite échelle par Cuisson de l'amalgame dans des récipients fermés par une cornue.

INTRODUCTION

L'extraction minière artisanale et à petite échelle de l'or repose sur des techniques rudimentaires que les mineurs travaillant dans de petites et moyennes exploitations utilisent pour extraire la substance minérale qui, très souvent, se trouve être de l'or. D'ordinaire, les pratiques suivies sont simples et nécessitent peu d'investissement économique. Le mercure est souvent utilisé pour séparer le métal du minerai, en général par des personnes à peine conscientes des risques inhérents, n'ayant subi aucune formation pour pouvoir minimiser les risques et ne disposant pas de matériel de sécurité. Et les exploitations minières artisanales et à petite échelle sont le plus grand consommateur de mercure au monde.

Le mercure est utilisé pour isoler et recueillir l'or des roches dans lesquelles il est incrusté. Le mercure s'allie à l'or pour former un amalgame qui facilite la séparation de l'or de la roche, du sable ou d'autres matières. L'amalgame est ensuite chauffé pour vaporiser le mercure et ne conserver que l'or. On utilise, à cet effet, différentes méthodes, qui engendrent divers niveaux d'émissions de mercure et de CO₂, entre autres « cuisson de l'amalgame dans des récipients fermés par une cornue ». Le secteur de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle constitue la plus grande source de pollution par le mercure au monde (air et eau). C'est aussi la deuxième plus grande source de pollution atmosphérique par le mercure au monde, après la combustion au charbon.

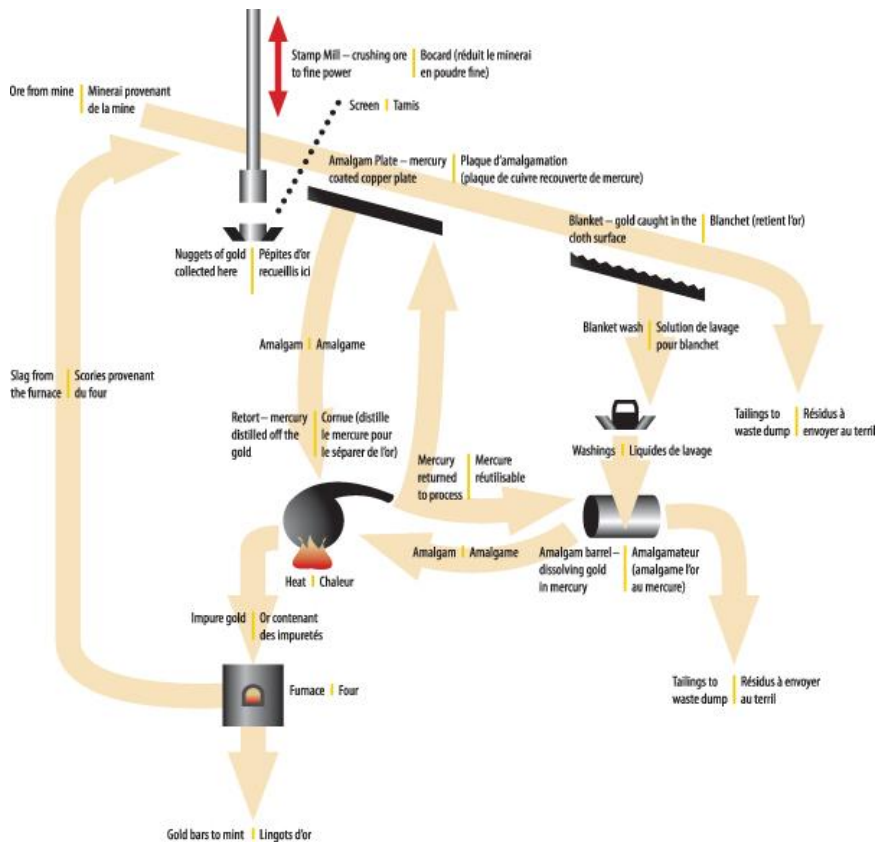
CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Coût en Capital

INTERVENTIONS TECHNIQUES	ESTIMATIF [US\$]
Écrans/tamis pour le tamisage	50.00
Cornue	3.20
Réactivation (eau salée et pile de 12 volts)	5.00
Sluice amélioré	60.00
Système de capture des vapeurs de mercure	400.00
Trousse de fusion directe	2,000.00
Broyage amélioré	7,000.00
Tables vibrantes	5,000.00

Source : Format inspiré du Forum Global sur la Mine Artisanale et à petite échelle, 7-9 décembre 2010, Manille, animé par le PNUD et ses partenaires du Programme Global Mercury avec considération des données provenant de quelques associations d'orpailleurs Malagasy.

Pour mettre en place les équipements nécessaires pour éliminer les émissions de mercure liées aux opérations d'extraction d'or artisanale ou à petite échelle par Cuisson de l'amalgame dans des récipients fermés par une cornue, un capital d'environ US\$ 14,000 est nécessaire.



➤ **Cout d'exploitation**

Le coût d'exploitation comprend l'entretien du matériel (données non disponibles). L'utilisation du mercure est réduite de 60%.

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)**

L'exploitation aurifère artisanale actuelle n'utilise aucune technologie.

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

- Dès qu'une cornue a été utilisée, elle est contaminée par le mercure. Elle doit être manipulée avec soins, conservée dans un endroit sécurisé, et des précautions doivent être prises lors du transport à l'intérieur d'un véhicule ou d'un sac à dos, afin d'éviter toute exposition au mercure.
- Les cornues ne doivent jamais être utilisées par des enfants ou des femmes en âge de procréer.
- Les cornues ne doivent être utilisées que dans des endroits bien aérés, à l'extérieur ou de préférence sous une hotte aspirante.
- Les cornues ne doivent pas être ouvertes avant refroidissement total. Sinon, des vapeurs de mercure peuvent s'en échapper.

Fiabilité

Les cornues peuvent et devraient être utilisées pour capturer et recycler le mercure, et éviter le chauffage de l'amalgame à l'air libre. Des modèles simples et peu coûteux permettent de réduire les émissions de 75 à 95%. En recyclant le mercure, mineurs et marchands réduisent leur consommation de mercure et leurs coûts de traitement. Ce recyclage du mercure peut être une première phase importante vers la transition pour un traitement et un raffinage sans mercure.

Maturité

Technologie déjà vulgarisée en Indonésie, en Colombie et en Mozambique.

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ Capacité institutionnelles

- Capacité de sensibilisation de l'Administration (Ministère en charge des Mines et autres) à renforcer.
- Capacité de l'Administration pour l'application et le suivi des instruments dans l'exploitation de la filière à renforcer.
- Prendre des mesures pour structurer les activités d'exploitation minière artisanale à l'échelle nationale.

➤ Echelle de l'application

La technologie est applicable au niveau de chaque Région, notamment dans les Régions à vocation extraction d'or artisanale.

➤ Horizon temporel-Court/Moyen/Long terme

La technologie est applicable à court terme vu le nombre d'exploitants.

➤ Statut de la technologie dans le pays

La cuisson d'amalgame mercure-or est très pratiquée à Madagascar. Cependant, la technologie utilisant la cuisson dans des récipients fermés n'est pas encore appliquée à Madagascar. Cette pratique entraîne une mise sur le marché direct de l'amalgame sous la dénomination mercure rouge.

➤ Acceptabilité pour les populations locales

Madagascar a estimé à 350 000 artisans dans l'extraction d'or artisanale ou à petite échelle. L'exploitation artisanale leur permet de produire 0.1 à 0.2 gramme d'or par jour. Les artisans travaillent 4 à 5 jours par semaine. Les risques sur l'utilisation du mercure motiveraient l'acceptabilité de la technologie par les populations rurales. En plus, la récupération du mercure, permettant de réduire le coût d'exploitation, enthousiasmerait l'acceptabilité.

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

- Capturer et recyclage de mercure,
- Evitement de chauffage de l'amalgame à l'air libre, donc évitement d'émission CO₂ de 50 à 60%, d'émission de mercure de 75 à 95%

AVANTAGES POTENTIELS EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT

- Amélioration des conditions de travail des 350 000 artisans, permettant ainsi de conjuguer emploi vert et productivité,
- Evitement d'impact sur la santé des mères et enfants, le mercure est une neurotoxine particulièrement dommageable pour le développement du fœtus et des jeunes enfants,
- Le processus permet d'empêcher le mercure de se déplacer sur de grandes distances dans l'atmosphère et causer une contamination globale des écosystèmes,
- Les artisans orpailleurs peuvent réduire leur consommation de mercure et leurs coûts de traitement,
- Cette technologie de recyclage du mercure peut être une première phase importante vers la transition pour un traitement et un raffinage sans mercure.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Telmer K., Stapper D. (2012) : « *Guide pratique PNUE-ONUDI : Réduire l'Utilisation du Mercure dans le Secteur de l'Orpillage et de l'Exploitation Minière Artisanale* »,

[http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Guide Practique Reduire L'Utilisation de Mercure_FR.pdf](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Guide%20Practique%20Reduire%20L'Utilisation%20de%20Mercure_FR.pdf), consulté le 11 Septembre 2015.

United Nations Industrial Development Program (UNIDO)-United Nations Environment Program (UNEP) (2008)

http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/AwarenessPack/French/UNEP_Mod3_French_Web.pdf, consulté le 11 Septembre 2015.

Cook R., Healy T. (2012): « *Madagascar Case Study : Artisanal Mining Rushes in Protected Areas and Response Toolkit* », <http://www.estellelevin.com/wp-content/uploads/2013/11/ASM-Madagascar-Report-Toolkit.pdf>, consulté le 8 Septembre 2015

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Sous-secteur :

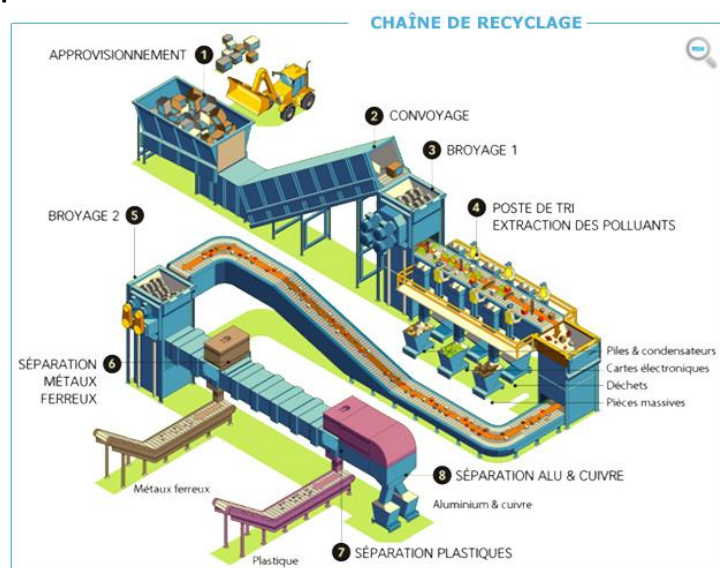
Technologie : Recyclage des Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques ou DEEE

INTRODUCTION

Les composantes principales d'Équipements Électriques et Électroniques, en termes de poids, sont fer et acier suivis des plastiques. Comme peut être vu, le fer et l'acier sont les matériaux les plus communs trouvés dans le matériel électrique et électronique et expliquent presque la moitié de tout le poids de DEEE. Les plastiques sont le deuxième plus grand composant en poids représentant approximativement 21% de DEEE. Les métaux non ferreux comprenant les métaux précieux représentent approximativement 13% de tout le poids de DEEE et de verre autour de 5%.

CARACTÉRISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Caractéristiques



➤ Coût en Capital

Un projet similaire, de recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques au Cameroun, a avancé un capital de 558 353 EUR. En moyenne en Afrique ce capital varie entre US\$200,000 et US\$300,000.

➤ Coût d'exploitation

Le traitement des déchets électroniques est très coûteux, car il s'effectue pour l'essentiel manuellement. Le démontage manuel des appareils nécessaire au recyclage coûte actuellement à l'Allemagne plus de 500 EUR par tonne, 180 EUR en Ecosse et 2 445 EUR en Autriche. Une moyenne mondiale est donnée par le tableau suivant :

Appareil	Ordre de prix
Téléviseurs	15 - 32,50 EUR / pièce
PC avec moniteur	22,50 - 45 EUR / pièce
Réfrigérateurs	15 - 25 EUR / pièce
Appareils électroménagers	7,50 - 12,50 EUR / pièce

Appareils électroniques de loisir	0,75 - 1,85 EUR / kg
Périphériques informatiques	0,75 - 1 EUR / kg

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)**

Actuellement, Madagascar ne dispose pas encore un centre de recyclage pour DEEE correspondant.

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

Des risques professionnels non négligeables :

- Activité physique
- Utilisation de machines dangereuses
- Chutes d'objets
- Manutention de matériels usagés
- Ambiances de travail

Des risques chimiques et biologiques

- Des produits chimiques dangereux
- Des agents biologiques pathogènes

Fiabilité

Le manque de fiabilité et le manque d'informations précises et détaillées crée un incertain environnement pour le développement de l'industrie du recyclage des DEEE et entrave l'investissement dans des installations de recyclage. En raison de la non-fiabilité des données disponibles, comme indiqué précédemment échant, le processus d'investissement n'est pas attrayant.

Maturité

Filière très jeune.

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ **Capacité institutionnelles**

Manque de Code de l'environnement prévoyant les obligations qu'ont les opérateurs économiques qui mettent sur le marché de tels équipements électriques et électroniques en matière de gestion opérationnelle et de financement de la collecte et du traitement des déchets associés.

Manque de Code prévoyant que les distributeurs d'équipements ménagers ont l'obligation de reprendre gratuitement les DEEE ménagers des consommateurs lors de la vente d'un équipement similaire, dans le cadre du dispositif de reprise dit « un pour un ».

➤ **Echelle de l'application**

Applicable au niveau des cinq Provinces de Madagascar.

➤ **Horizon temporel-Court/Moyen/Long terme**

Applicable à moyen terme selon la disponibilité de l'investissement.

➤ **Statut de la technologie dans le pays**

La technologie n'existe pas encore à Madagascar.

➤ **Acceptabilité pour les populations locales**

Le marché de vente de DEEE constitue une source de revenu pour un certain nombre de population à très faible revenu. L'achat de ces DEEE auprès de cette frange de population pourrait accroître le revenu de cette dernière ou du moins activer la rentrée de revenu.

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

Il y a généralement un potentiel significatif pour réduire des émissions de GES en réutilisant des processus, dû à la consommation d'énergie de processus réduite. Les processus de fabrication primaire pour les produits intermédiaires tels que la production en aluminium exigent d'un grand nombre d'absorption d'énergie de fondre la matière première (c.-à-d. bauxite). L'aluminium secondaire de récupération et de fonte exige beaucoup moins d'énergie comme aluminiums de chute déjà de grande pureté (par rapport à la bauxite). La diminution de consommation d'énergie implique consécutivement diminution d'émissions de CO₂.

L'impact de GES de la production d'autres catégories de rebut, telles que de vieux machines à laver, ordinateurs, téléphones portables, etc. peut théoriquement être sensiblement réduit au moyen d'améliorer les processus de fabrication. Cependant, car la plupart des e-déchets emploient également l'énergie pendant l'étape d'utilisateur l'efficacité de l'appareil est également un facteur important à considérer en évaluant l'impact des GES des produits électroniques pendant leur cycle de vie.

AVANTAGES POTENTIELS EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT

- Le recyclage de DEEE permet une utilisation efficace des ressources, une réduction de la consommation d'énergie et une augmentation de l'emploi.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

<http://www.climatetechwiki.org/node/5472>

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Technologie : La dépollution: Filtration chimique des gaz par récupération du gaz carbonique des gaz de combustion

INTRODUCTION

De nombreux procédés industriels émettent du CO₂ par la combustion de combustibles fossiles. Plusieurs procédés produisent aussi des émissions de CO₂ par des réactions chimiques qui ne comportent pas la combustion, par exemple, la production et la consommation de produits minéraux tels que le ciment, la production de métaux tels que le fer et l'acier, et la production de produits chimiques.

Le gaz carbonique gagné à l'aide d'un système de **récupération des gaz de combustion** est un sous-produit de la production de fumées provenant de chaudières nouvelles ou déjà existantes ainsi que de centrales électriques, et par conséquent une source économique de CO₂ pour tout consommateur ou revendeur de CO₂.



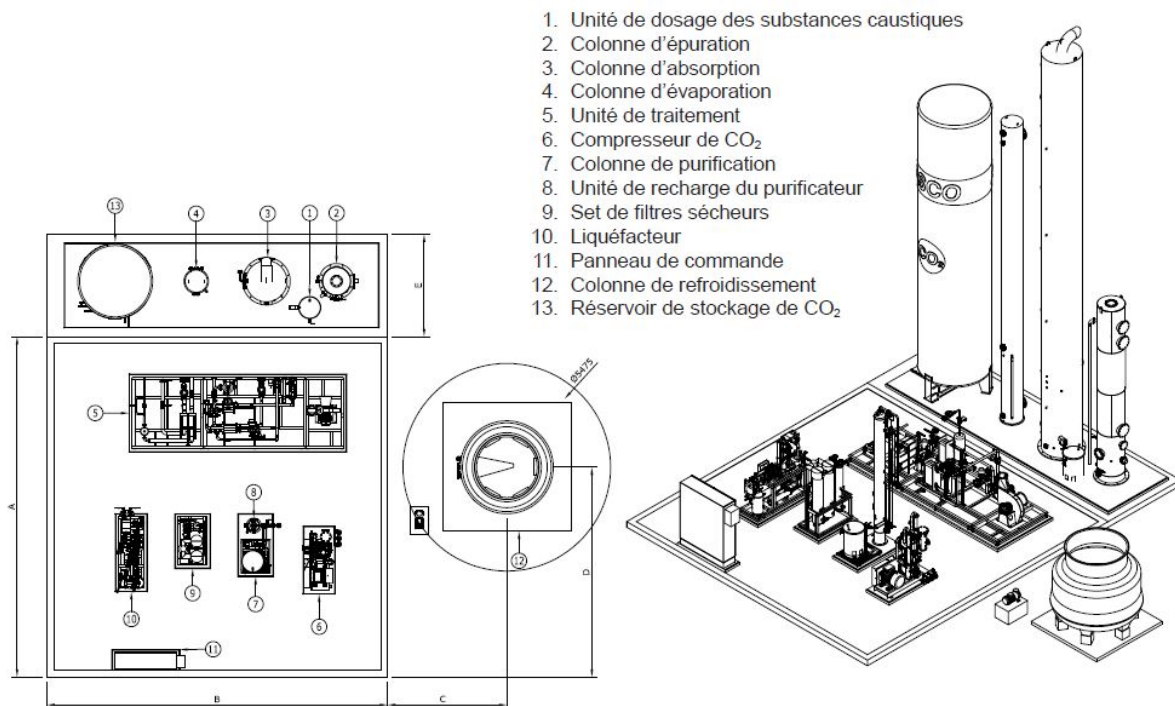
CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Caractéristiques

Les gaz de combustion des gaz d'échappement de la chaudière (que ce soit existantes, nouvelles ou même les producteurs d'électricité) contiennent des produits de combustion tels que le CO₂, la vapeur d'eau, N₂, O₂, CO, et, éventuellement, SO₂ en fonction du combustible utilisé. Ce gaz de combustion, sous l'ASCOSORB processus, est d'abord refroidi et traité avec du SO₂ pour que le gaz de combustion atteigne une température de fonctionnement appropriée et un niveau acceptable de SO₂ avant d'entrer dans le processus de ASCOSORB de l'extraction de gaz de CO₂. Une fois refroidi et traité, le gaz de fumée entre dans le système de récupération de gaz de la pile de CO₂ pour être extraite en utilisant un solvant d'absorption ASCOSORB spécialement formulé, combiné avec des tours de processus et d'emballage pour une meilleure efficacité globale. Ces tours comprennent l'absorbeur de CO₂ et de gaz décapant de CO₂ qui est la combinaison du solvant d'ASCOSORB spécialement formulé et de la technologie d'emballage optimisé, donnant ainsi le processus d'extraction permettant de traiter le rendement de CO₂ présent dans le gaz de combustion.

Une fois absorbé, le gaz de CO₂ est emporté dans le solvant ASCOSORB spécial, et les produits restants de la combustion sont évacués du haut de l'absorbeur tour. Le solvant, enrichi en CO₂, est transmis à la tour d'extraction qui utilise le solvant pauvre rebouilli combinée avec du tour et de matériau de garnissage structuré pour libérer le

gaz de CO₂ à partir du courant de solvant enrichi. Le CO₂ ainsi dégagé est à une température et pression contrôlées, prêt pour un traitement ultérieur.



➤ **Coût en Capital**

Un projet équivalent se chiffre à 17 million d'EUR.

➤ **Coût d'exploitation**

Faible coût d'exploitation dû à la faible consommation d'énergie. En plus, la récupération d'amine intégrée permet d'avoir une réduction supplémentaire du coût d'exploitation. Il faut prévoir 10 €/kg de gaz polluants éliminés.

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)**

La technologie relative à la filtration des gaz n'est plus appliquée à Madagascar. Elle a été appliquée dans une usine de rizerie où le CO₂ a été capté, stocké et utilisé dans l'industrie de fabrication de boissons gazeuses. La relance est conditionnée par le coût de l'équipement et par conséquent le renforcement de capacités correspondant.

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

- Mesures de température du filtre pouvant entrainer, suivant les seuils, un message d'alerte, le by-pass et un arrêt de l'installation
- Compte-tenu du risque d'incendie possible sur un filtre, les dispositifs de sécurité sont plus contraignants

Fiabilité

Le traitement de gaz carbonique du système de récupération du CO₂ des gaz de combustion est complété par des équipements de compression, de purification, de séchage et de liquéfaction. Efficaces et de haute qualité, ceux-ci sont généralement livrés avec des unités de production et de récupération de sous-produits. Ceci garantit que le CO₂ liquide produit par toute l'unité de récupération du CO₂ des gaz de combustion dépasse les paramètres définis par de nombreux clients et les normes industrielles.

La technologie de récupération du CO₂ des gaz de combustion extrait la quasi-totalité du volume de gaz carbonique contenu dans les gaz de fumées.

Maturité

Cette technique est mature et applicable à un grand nombre de polluants.

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ Capacité institutionnelles

Les Ministères en charge de l'environnement et de l'industrie sont concernés par cette technologie. Des appuis sont nécessaires pour inventorier les instruments existant à Madagascar en matière de gaz polluant. Des renforcements de capacités sont nécessaires pour leur mise à jour et/ou leur application.

➤ Echelle de l'application

Développer à l'échelle du laboratoire des procédés de réduction et de valorisation du CO₂ provenant de procédés industriels, d'en quantifier le degré de rentabilité et de mettre en œuvre les plus prometteurs sous la forme d'une application pilote à l'échelle du laboratoire. Et il est recommandé de faire un benchmarking de l'expérience locale de la rizerie de Vodihala-Ambatondrazaka.

➤ Horizon temporel- Court / Moyen / Long terme

Technologie applicable à moyen terme.

➤ Statut de la technologie dans le pays

L'utilisation de la technologie est arrêtée. Deux options sont en vue : remettre en marche celle arrêtée ou faire une nouvelle installation.

➤ Acceptabilité pour les populations locales

Les populations locales sont victimes de la pollution de l'air. L'adoption de la technologie fondée sur la filtration chimique des gaz permet d'améliorer la vie et l'atmosphère de ces populations.

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

- Limiter l'empreinte carbone en proposant de réduire à la source les quantités de CO₂ et de valoriser celles qui sont émises
- Contribuer à réduire de 30 % les émissions liées à la combustion d'énergie

AVANTAGES POTENTIELS EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT

- Réduction d'importation de CO₂ liquide
- Création d'emplois pour homme et femme
- Nouvelle spécialisation ayant un effet d'entraînement dans le système éducatif notamment la formation professionnelle

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

<http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>, consulté le 11 Août 2015

<http://www.ascoco2.com/fr/produits/recuperation-du-co2-des-gaz-de-combustion/>, consulté le 13 Août 2015

« Captage, Stockage et Valorisation de CO₂ »,

<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/valorco.pdf>, consulté le 28 Septembre 2015

« Evaluation Technico-économique des Systèmes de Réduction des Emissions de Particules des Chaudières Biomasse », http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/87659_synthese-evaluation-emissions-chaudieres-biomasse.pdf, consulté le 28 Septembre 2015

FICHE TECHNOLOGIQUE POUR ATTÉNUATION

Secteur : Industrie

Technologie : Dépollution, cas de Lavage des Effluents Gazeux

INTRODUCTION

La dépollution est une technique qui consiste à éliminer les contaminations dues aux activités industrielles (rejets de gaz). Dans notre contexte, il s'agit de procéder à un lavage des gaz (absorption) afin de transférer les polluants de la phase gazeuse à la phase liquide.

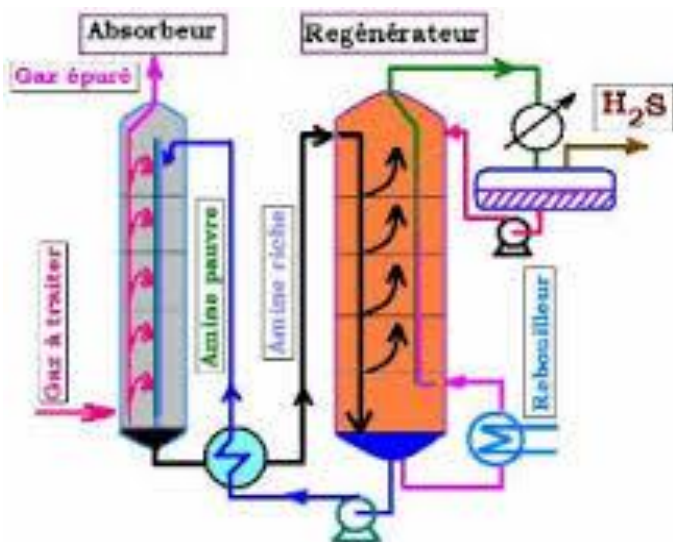
Pratiquement, l'absorption consiste à mettre en contact le gaz et le liquide de lavage afin de transférer dans ce dernier le ou les constituants contenus dans la phase gazeuse. Ensuite, l'absorption « gaz – liquide » est accélérée par une réaction chimique entre le gaz dissous et l'un des constituants de la phase liquide.

CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES

➤ Caractéristiques

La technologie d'absorption par voie humide permet le traitement des polluants dans les émissions gazeuses. Elle s'applique particulièrement aux émissions reliées à la combustion, aux émissions acides et aux odeurs. Ces polluants sont notamment produits par les industries papetières, métallurgiques et chimiques ainsi que par les entreprises procédant à l'incinération des déchets.

Le traitement des émissions gazeuses par la méthode d'absorption par voie humide consiste à neutraliser les contaminants à l'aide d'un liquide d'épuration. Ce liquide d'épuration, dont la nature varie en fonction des contaminants à traiter, est mis en contact avec les émissions gazeuses. Les contaminants sont alors captés par le liquide et extraits de l'effluent gazeux. À la sortie du système, les eaux d'épuration peuvent être rejetées dans le réseau d'égout municipal ou, si leurs caractéristiques l'exigent, dirigées vers un système de traitement.



➤ Coût en Capital

Les coûts de traitement des émissions gazeuses selon la technologie d'absorption par voie humide varient en fonction de la quantité et du type des polluants à traiter. La valeur de tels projets (conception et installation) peut varier de 100 000 \$ à 1 000 000 \$ pour des débits à traiter allant de 1 700 à 85 000 m³/heure. À titre d'exemple, l'installation d'un système complexe qui traite 42 500 m³/h d'effluents gazeux provenant d'un incinérateur de munitions à Lübben, en Allemagne, a coûté 1 500 000 \$.

➤ Coût d'exploitation, (le coût marginal de réduction de CO₂)

Les coûts d'exploitation de cette technique sont non négligeables, se répartissant comme suit :

- Achat : 12.000 à 21.000€ pour des unités de traitement de 200 à 300 m³/h

- Cout de fonctionnement : 20 à 45€/ (m³/ h).

➤ **Coût en comparaison de technologie existante (référence) (compétitivité échelle 1 à 5)**

Technologie	Cout
Absorption	<ul style="list-style-type: none"> - Achat : 6000€ à 10000€ pour des unités de traitement de 500 à 1000 kg - Cout de remplacement du charbon actif : 2 à 5€/ kg - Cout de suivi et de maintenance
Condensation	<ul style="list-style-type: none"> - Entre 3 et 25€ / kg de polluants organiques éliminés - Cout d'investissement : de l'ordre de 17000 à 30000€ pour une unité de 300m³/ h
Procédés d'oxydation thermique	<ul style="list-style-type: none"> - achat : 25 000 à 110 000 € pour des unités de traitement de 200 à 800 m³/h, - coûts de fonctionnement énergétique annuel : 3 000 à 15 000 €/an pour une unité de 200 m³/h (dépendamment du type de combustible, de la capacité de traitement et de l'apport énergétique à fournir), - coûts de suivi et de maintenance.

➤ **Sécurité, Fiabilité, Maturité**

Sécurité

- Des mesures de protection doivent être prises au niveau des systèmes de refroidissement à eau pour empêcher les pertes de solvants dans les canalisations
- L'eau de contact déversée dans les canalisations doit être *préalablement* traitée. La concentration en solvants chlorés peut s'élever au maximum à < 1 mg/l (mesuré sous forme de Cl).
- L'installation de prétraitement doit être combinée avec un séparateur de sécurité.
- Les résidus de distillation et les agents auxiliaires de filtration, ainsi que les capsules de filtres, doivent être traités comme déchets spéciaux.
- Les effluents gazeux doivent être épurés au moyen de systèmes à charbon actif ou à l'aide de mesures équivalentes.
- Par des installations de rétention adéquates, faites de matériaux étanches et résistants aux solvants, il faut éviter que des solvants atteignent les canalisations ou s'infiltrent dans le sous-sol.
- Par une manipulation soigneuse et un recours aux installations techniques actuellement disponibles, les pertes de solvants chlorés dans l'environnement doivent être maintenues aussi basses que possible.

Fiabilité

- Systèmes « sur mesure » conçus et réalisés selon les spécifications du client, pour répondre à des législations et à des normes locales et internationales alliant sûreté d'utilisation, fiabilité et économies d'énergie

Maturité

Cette technique est mature et applicable à un grand nombre de polluants.

APPLICABILITE SPECIFIQUE PAR PAYS

➤ **Capacité institutionnelles**

Des entités comme le Ministère en charge de l'environnement et l'Office National pour l'Environnement sont parties prenantes dans l'adoption d'une technologie comme telle. Toutefois des renforcements de capacités s'avèrent déterminants pour cerner tous les aspects environnementaux dans l'application de cette technologie.

➤ **Echelle de l'application**

Cette technologie est applicable dans :

- La production agroalimentaire
- Dans le séchage de déchets et notamment Déchet d'Equipements Electriques et Electroniques

Elle est applicable dans chaque lieu de Province, la Ville d'Antsirabe incluse.

➤ **Horizon temporel- Court / Moyen / Long terme**

Applicable dans le moyen terme. Cependant l'implication des industriels, principaux clients de l'utilisation effective de la technologie, est plus que nécessaire dans le processus d'application.

➤ **Statut de la technologie dans le pays**

La technologie n'est pas encore appliquée à Madagascar. Le dégagement de gaz perturbant l'environnement est source de conflit avec la population environnante à l'entreprise émettrice.

➤ **Acceptabilité pour les populations locales**

La technologie basée sur le lavage des effluents gazeux constitue une solution au conflit mentionné ci-dessus. En effet, son adoption sera également accepté par les populations locales.

AVANTAGES EN MATIERE D'ATTENUATION

- Ce traitement possède un rendement épuratoire important (80 à 95 %). Il permet de fournir des effluents à faible teneur en contaminants.
- Le système de traitement des effluents gazeux mis au point par MESAR/ENVIRONAIR permet l'élimination de la plupart des contaminants contenus dans les émissions gazeuses. Il s'adapte aux variations de concentration des contaminants contenus dans les émissions gazeuses à traiter, et le temps de réponse est inférieur à 2,5 secondes.
- D'une part, l'enlèvement des gouttelettes de liquide d'épuration (5 microns) est assuré à 99 %, minimisant ainsi la quantité de liquides qui, dans certains cas, devront faire l'objet d'un procédé de traitement postérieur ou qui seront émises dans l'atmosphère. Et d'autre part, un rendement de 98 % peut être obtenu sur la consommation des réactifs chimiques utilisés (liquide d'épuration).

AVANTAGES POTENTIELS EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT

- Adaptable à beaucoup de secteurs industriels

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEME, « Traitement par Absorption (Lavage) »

<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/traitement-par-absorption-lavage-2014.pdf>, consulté le 11 Août 2015

Müller E., Meier W., Rüegg E. : « Directives pour la Gestion des Eaux Résiduaire, des Déchets et des Effluents Gazeux du Nettoyage à Sec (lavage chimique au moyen de solvants),

<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00353/index.html?lang=fr&download=NHZLpZig7t,Inp610NTU>

[042l2Z6ln1ae2lZn4Z2qZpnO2Yug2Z6gpJCGdn19fWym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2ldvoaCVZ,s-.pdf](#), consulté le 11 Août 2015

ANNEXE 2

SECTEUR ENERGIE

LISTE DES PERSONNES RENCONTREES

N°	Date et heure	Nom et Prénom	Fonction	Institution/Organisme	Téléphone	Email
1	23/07/2015 21/08/2015	RAMILIARISOA Herivelo	Directeur de Développement des Energies Renouvelables	Ministère de l’Energie et des Hydrocarbures	0344966146	dder@energie.gov.mg
2	27/08/2015	R. Léonce	Responsable de la Planification	ADER	0332353796	rleonce@moov.mg
3	28/08/2015	Augustin Fortunat RAMANANTSAHALA	Directeur de l’Equipement Electricité	JIRAMA	0348324309	deel@jirama.mg
4	01/09/2015	Ravaka RANAIVOSON	Cadre Dirigeant	Fondation TanyMeva	0340708376	ravakaranaivoson@tanymeva.org
5	02/09/2015	Jackis RANDRIAMAHAZOMANANA	Directeur Général de l’Energie	Ministère de l’Energie et des Hydrocarbures	0344966169	
6	02/09/2015	Voahirana RANDRIAMBOLA	Foot Print Programme Coordinator	WWF	0344980355	vrandriambola@wwf.mg
7	03/09/2015	Mamisoa RAKOTOARIMANANA	Secrétaire Exécutif	ADER	0332353795	rmamisoa@moov.mg
8	04/09/2015	Lala RABENANDRASANA	Chef de Département Hydraulique et Energies Renouvelables	JIRAMA	0348330700	deel-dher@jirama.mg
9	04/09/2015	Augustin RANDRIANARIVONY	Directeur des Energies Alternatives	Ministère de l’Energie et des Hydrocarbures	0344966145	dea@energie.gov.mg

Objet des réunions : présentation du projet EBT, documents relatifs à atténuation GES, options technologiques, constitution du Groupe de Travail Sectoriel Energie, fixation de la date de la première réunion AMC.

LISTE DES MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL SECTORIEL ENERGIE

N°	Nom et Prénom	Fonction	Institution/Organisme	Téléphone	Email
1	RAMILIARISOA Herivelo	Directeur de Développement des Energies Renouvelables	Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures	0344966146	dder@energie.gov.mg
2	Augustin RANDRIANARIVONY	Directeur des Energies Alternatives	Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures	0344966145	dea@energie.gov.mg
3	RAKOTOFIRINGA J Marc	Chef de Service/DEA	Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures	0344966111	sed@energie.gov.mg
4	ANDRIANARIVONY Rina	Cadre supérieur	WWF	0344981490	randrianarivony@wwf.mg
5	RANDRIAMANALINA B Solo Thierry	Ingénieur	WWF	0344984003	strandriamanalina@wwf.mg
6	RATSARAEFADAHY Milson	Chef de Service Etudes	ADER	0332353793	milsonratsara@moov.mg
7	RATSIRANTO Vololonirina	Chef de Service	Direction Equipement Electricité/JIRAMA	0348334957	deel-ddr-sirh@jirama.mg
8	Faly H ANDRIAMASITENA	Ingénieur	Direction Equipement Electricité/JIRAMA	0327971060	fandriamasitena-deel@jirama.mg
9	LAIVAO Michel Omer	Coordonnateur National EBT	Ministère de l'Environnement de l'Écologie de la Mer et des Forêts	0340562045	Laivao2002@ yahoo.fr
10	ANDRIAMANANTSOA Bertin	Consultant Atténuation Energie		0340699969	bertinden@yahoo.fr
11	RAOBELINA Solofoniaina	Consultant EBT Energie		0348755125	dirtanasee@gmail.com

Les fiches de présence des 3 réunions du Groupe de Travail Sectoriel Energie sont données ci-après :

SECTEUR INDUSTRIE

LISTE DES PERSONNES RENCONTREES

Entités Personnes consultées	Activités	Technologies proposées
<p>RizerieRadadafara MrRaoelijaona Gérant Adresse: Lot III T 149, AnosibeMandrangobato II, 101 Antananarivo Phone : +261333726786</p>	<p>Rizerie Dans cette activité, son unité de rizerie produit pour une tonne de paddy 8% de son et 20 à 22% de bale de riz. Le son est vendu pour les éleveurs et la bale de riz pour les briquetiers (donc il y a émission de CO₂) et les agriculteurs (donc il y a méthanisation).</p>	<p>Valorisation de bale de riz</p>
<p>Scierie et Menuiserie d'Anosibe Mme SoloariveloMiarozo Gérante Propriétaire Adresse : près Lot IIIX 42 bis, Anosibe 101 Antananarivo Phone : +261330728188 e-mail : solarivelo.miarozo@gmail.com</p>	<p>Scierie et menuiserie Lors de débitage de chevrons et traverses, son unité de production dégage des sciures de bois. Laissées à l'air libre, ces dernières favorisent la méthanisation</p>	<p>Valorisation de sciure de bois</p>
<p>Brick KING MrRakotondraniainaRija MrRakotosonMahery Directeur Propriétaire Adresse: P65, Sud Ambohipo 103 Antananarivo Phones: +261331911147 +261341907467</p>	<p>Produits agglomérés de ciment Ils produisent des produits agglomérés à partir de sable de carrière, de gravillon et de ciment. La grande majorité de leurs produits (99%) va dans le bâtiment pour substituer les briques en terre cuite. Donc leur unité de production contribue à réduction d'émission de CO₂</p>	<p>Valorisation de sable de carrière</p>

<p>Coopérative familiale Mr Rakotondramanana Richard Leader Adresse : Sud Ambohipo 103 Antananarivo</p>	<p>Fabrication de briques artisanale Pour la cuisson de 50,000 briques en argile, il leur faut 170 sacs de 50kg de débris de charbon de bois si l'argile est impur et 200 sacs si l'argile est pur. Evidemment, il y a ici une émission de CO₂</p>	<p>Réduction d'utilisation de débris de charbon</p>
<p>SPAH MrRajaonaryNirina DirecteurGénéral Adresse : Enceinte Papmad, Route d'Ambohimambola 103 Antananarivo Phone: +261340200498 e-mail: nirinarajaonary@gmail.com</p>	<p>Recyclage de vieux papiers Comme matières premières, il utilise des vieux papiers collectés localement. Et ses produits finis sont des tissu papier à raison de 1500 tonnes par an. Il a du mal à faire collecter les matières premières. Dernièrement, il a monté une entreprise de collecte de vieux papiers ECOBAK. Mais les résultats sont loin d'être tangibles</p>	<p>Organisation de collecte de vieux papiers</p>
<p>ARTICOM Mr RandriamorasataJoso Directeur Propriétaire Adresse : Lot IT 91 A, Itaosy 102 Antananarivo Phone: +261332468803 e-mail: morasatajoso@gmail.com</p>	<p>Fabricant d'équipement de technologie Dans le processus de fabrication d'huile essentielle, sur 100kg de feuille ou d'écorce on récupère respectivement 100kg et 98 kg de déchets. Si laissés à libre, ces déchets génèrent la méthanisation. Il fabrique de l'alambic (coût=US\$5,333.00 à US\$6,666.00). pour valoriser les déchets soit il les utilise pour la cuisson (donc il y a une économie circulaire) soit il les utilise comme biomasse pour alimenter un gazogène (coût=US\$13,333.00 pour un gazogène de 20 KVA)</p>	<p>Valorisation des déchets d'extraction d'huile essentielle</p>
<p>HOLCIM Madagascar Mme Rasoanaivo Nathalie Chef de Département Développement Durable Adresse : 1 Bis, Rue Patrice Lumumba Tsaralalàna 101 Antananarivo Phones : +261202229486 +261321150145 e-mail : nathalie.rasoanaivo@holcim.com</p>	<p>Cimenterie Dans leur processus de fabrication de ciment, ils utilisent de pouzzolane (à 25km de leur centrale) et de cendres volantes (à partir de ciment importé. La centrale de mélange se trouve dans un port)</p>	<p>Valorisation des cendres volantes et pouzzolane pour autres usagers</p>
<p>ONUUDI</p>	<p>Développement industriel</p>	<p>Technologies visibles dans</p>

<p>Mr Tavernier Louis Junior Energy Expert Adresse: Bât Ariane 5, Zone GalaxyAndraharo 101 Antananarivo Phones : +261202336540 +261340106953 e-mail : L.Tavernier@unido.org</p>	<p>Ils ont un programme sur l'initiative industrie verte</p>	<p>l'annexe I</p>
<p>COMPAGNIE VIDZAR Mme Rabakoliarisoa Marie Monique Directeur des Opérations Adresse : Immeuble DZAMA, AnosibeAngararangana 101 Antananarivo Phone : +261202261243 +261344748404 +261320744186 e-mail : exportmada@dzama.mg</p>	<p>Fabrication de rhum Elle vient d'obtenir l'exploitation d'une usine de sucrerie appartenant à l'Etat Malagasy. La bagasse y est laissée à l'air libre et source de méthanisation</p>	<p>Valorisation de déchet industriel</p>
<p>Syndicat des Industries de Madagascar (SIM) - Mr RajaoneraFredy Président du Conseil d'Administration Adresse : Immeuble Premium 3^{ème} Etage (ex Village des jeux) Ankorondrano 101 Antananarivo Phones : +261320716077 +261202220565 +261202224007 e-mail : fredyraonera@sim.mg - Mme RakotovaoSendra Directeur Executif Adresse : Immeuble Premium 3^{ème} Etage</p>	<p>Il s'agit ici d'une rencontre pour expliquer le Projet et la mission du Consultant. Ces membres du SIM ont posé des questions sur le changement climatique. Ceci prouve l'intérêt qu'ils ont manifesté à l'endroit du sujet. Le syndicat a été invité à rejoindre le Groupe Sectoriel Industrie</p>	

<p>(ex Village des jeux) Ankorondrano 101 Antananarivo Phones : +261202224007 +261340764129 e-mails : syndusmad@sim.mg de@sim.mg - Mme Rakotonirainy Sylvie DAF PROCHIMAD Adresse : ZI Mandrosoalvato 104 Antananarivo Phones : +261202244140 +261320740219 - Mr Rabezandrina Angelin Directeur Commercial VITOGAZ Adresse : 122, rue Rainandriamampandry Faravohitra 101 Antananarivo Phones : +261202236000 +261320722415 e-mail : a.rabezandrina@vitogaz.mg</p>		
<p>Ministère de l'Industrie et Développement du Secteur Privé - Mme Rakotoarisaina Ranaivo Liva Directeur de l'Infrastructure, de la Technologie, de l'Innovation et de l'Environnement Adresse : Ambohidahy 101 Antananarivo Phones : +261340752452 +261321100152 +261331242847 e-mails : ditie@midsp.gov.mg</p>	<p>Il s'agit ici d'une rencontre pour expliquer le Projet et la mission du Consultant. Le Ministère a saisi l'occasion pour expliquer ce qu'il fait déjà dans le processus de respect de l'environnement en général et de l'atténuation au changement climatique en particulier. Le Ministère a été invité à rejoindre le Groupe Sectoriel Industrie</p>	

<p>ranaivolila@gmail.com - Mr Tsaramody Alfredo Chef de Service Adresse : Ambohidahy 101 Antananarivo Phone : +261324137946 e-mail : tsaramodyalfredo@yahoo.fr</p>		
<p>Centre National de Recherche Industrielle et Technologique (CNRIT) Mr Ravoninjatovo Achille Chercheur Enseignant Adresse : CNRIT Tsimbazaza 101 Antananarivo Phones : +261340352390 +261320200423 e-mail : achillegc@yahoo.fr</p>	<p>Il s'agit ici d'une rencontre pour expliquer le Projet et la mission du Consultant. Le CNRIT a expliqué ce qu'il pourrait apporter dans le processus d'atténuation au changement climatique en termes de technologies conçues et déjà éprouvées à Madagascar. Il a donné une liste de ces technologies. Le CNRIT a été invité à rejoindre le Groupe Sectoriel Industrie</p>	

LISTE DES MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL SECTORIEL INDUSTRIE

-1/ Mr Ramamonjisoa Mamitiana, Centre National de Recherche Industrielle et Technologique(CNRIT)

Phone : +261330200422 e-mail :mtr_mamitiana@yahoo.fr

-2/ Mr Andriamanalina William , Ecole Supérieure Polytechnique-Université d'Antananarivo(ESPA)

Phone : +261331408135 e-mail : gadougle@gmail.com

-3/ Mr Faralahy Dimitri , Ministère de l'Industrie et Développement du Secteur Privé (MIDSP)

Phone : +261348448455 e-mail : dfaralahy@yahoo.fr

-4/ Mr Edmond Téodile , Ministère de l'Industrie et Développement du Secteur Privé (MIDSP)

Phone : +261324661697 e-mail : teodiledmond@yahoo.fr

-5/ Mr Robinirina Aubert, Ordre des Ingénieurs de Madagascar (OIM)

Phone : +261331147148 e-mail : aubertrob@yahoo.fr

-6/ Mr Razafimihary Mejamirado, Syndicat des Industries de Madagascar (SIM)

Phone : +261331132182 e-mail : mejamirado@moov.mg

