

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

Faculté de Droit, d'Economie, de Gestion et de Sociologie

(Domaine : Science de la Société)

Département Economie

(Mention Economie)

.....

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Maitrise en Sciences
Economiques

Option : DEVELOPPEMENT ET ECONOMIE PUBLIQUE

MADAGASCAR FACE AUX ENERGIES RENOUVELABLES

Par : Monsieur RAFAMATANANTSOA Temitra Fiaro

Encadreur : Monsieur RAMIARAMANANA Jeannot (Professeur)

Promotion : FANDRESENA

Date de dépôt : 30 janvier 2017

Date de soutenance : 17 Janvier 2017

AU : 2015/2016

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie le Seigneur, Celui qui m'a aidé dans l'accomplissement de mon Mémoire, Celui qui me donne la force, la persévérance et la foi dans tout ce que j'entreprends, tous mes accomplissements reviennent à Lui.

Mes remerciements sont aussi adressés à Monsieur RAMANOELINA Armand René Panja, Professeur, Président de l'Université d'Antananarivo, à Monsieur RAKOTO David Olivaniaina, Docteur, le Doyen de la Faculté de Droit, d'Economie, de Gestion et de Sociologie, à Monsieur RAMAROMANANA Andriamahefazafy Fanomezantsoa, Docteur, le Chef de Département de m'avoir donné l'opportunité de faire ce travail de Mémoire pour l'obtention de mon diplôme en Maîtrise es-Sciences Economiques, une autre pierre pour bâtir notre édifice.

Puis, une attention particulière pour mon encadreur, le Pr RAMIARAMANANA Jeannot qui m'a guidé et m'a bien encadré tout le long du devoir, votre aide a été vraiment bénéfique pour moi donc mes vifs remerciements Monsieur.

Je remercie les personnes qui m'ont aidé durant mes recherches, pour leur suggestion des idées, pour leur partage, sans oublier ma famille et mes proches pour leur soutien.

Enfin, je tiens à remercier aussi les étudiants de ma promotion pour le soutien mutuel.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
Partie I : Cadrage théorique et la situation des énergies renouvelables (EnR) dans le monde ...	5
Chapitre I : Energies renouvelables : pourquoi ?.....	6
Chapitre II : Les énergies durables dans le monde	18
Partie II : Les énergies renouvelables à Madagascar	26
Chapitre I : Etats des lieux	27
Chapitre II : Les perspectives de développement.....	38
CONCLUSION.....	51

Liste des Abréviations

ADER : Agence de Développement de l'Electrification Rurale

AIE : Agence Internationale de l'Energie

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

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

DEER : Direction de l'Electricité et des Energies Renouvelables

DIRMEM : Directions Interrégionales de l'Energie et des Mines

EnR : Energies Renouvelables

ERD : Electrification Rurale Décentralisée

EUEI PDF : European Union Energy Initiative Partnership Dialogue Facility : Initiative de l'UE pour l'énergie

FED : Fonds Européen de Développement

GESFORCOM : Gestion Forestière Communale et Communautaire

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat

GW : Gigawatt

GWh : Gigawatt par heure

JIRAMA : Jiro sy RAno Malagasy

kW : Kilowatt

kWh : Kilowatt par heure

MW: Megawatt

MWc : Mégawatts crête

NPE : Nouvelle lettre de Politique Énergétique

NYSERDA : New York State Energy Research and Development Authority (Autorité de recherche et de développement de l'énergie de l'État de New York)

OPEP : Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole

PIB : Produit Intérieur Brut

SAARC: South Asian Association for Regional Cooperation

SE4All : Sustainable Energy For All

SOLIMA : Solitary Malagasy

Tep : Tonne équivalent pétrole

TWh : Téra watt par heure

UE: Union Européenne

Wc: Watt crête

WWF: World Wide Fund

Liste des figures

Figure 1 : Les émissions de gaz effet de serre par secteur	7
Figure 2 : La capacité mondiale totale d'énergie solaire photovoltaïque.....	24
Figure 3 : La capacité d'énergie mondiale d'énergie éolienne	24
Figure 4 : Part des sources de biomasse dans la production mondiale de chauffage et d'électricité	25
Figure 5 : Potentiel solaire de Madagascar :	33
Figure 6 : Potentiels hydroélectriques.....	35
Figure 7 : La vitesse moyenne du vent par Fokontany (10 m au sol)	37
Figure 8 : Coût de production prévisionnel des installations biomasse en USD/kWh en comparaison des autres technologies disponibles :	42
Figure 9 : Nombre moyen d'appareils électriques par ménage avant et après l'électrification	47
Figure 10 : Evolution des dépenses énergétiques des ménages électrifiés selon l'activité principale du chef de ménage	48

Liste des tableaux

Tableau 1 : Structure de la production d'électricité d'origine renouvelable en 2012	23
Tableau 2 : Les types d'énergie utilisés par les ménages pour l'éclairage.....	28
Tableau 3 : Puissance installée selon les sources d'énergie en 2012	30
Tableau 4 : Production de la JIRAMA entre Janvier et Juillet 2013	36
Tableau 5 : L'électrification des 4 villages	39
Tableau 6: Comparaison entre centrale électrique à partir de diesel et centrale électrique à partir de biomasse.....	46

Liste des annexes

Annexe 1: Tableau de comparaison entre énergie renouvelable et groupe électrogène.....	III
Annexe 2 : Tableau sur la consommation d'énergie par secteur de Madagascar entre 2004	III
Annexe 3 : Graphe sur le coût d'investissement prévisionnel des installations « biomasse » (en USD/kW installé HT) en comparaison des autres technologies disponibles.....	IV
Annexe 4 : Tableau sur la puissance installée pour l'électrification rurale (Réalisation de 2004 à 2012)	IV
Annexe 5 : Tableau sur les coûts de production des différents types d'installation	V
Annexe 6 : Les instances administratives du secteur de l'électricité à Madagascar	VI

INTRODUCTION

L'énergie occupe une place importante pour entamer une activité, c'est un acteur omniprésent intervenant dans plusieurs opérations, elle est indispensable à nos fonctions et consommée en abondance dans toutes les machines utilisées dans la vie quotidienne comme le transport et le travail. Elle était le moteur de l'industrialisation (l'énergie du charbon en Grande Bretagne au début du 19^e siècle) et a permis l'amélioration de l'économie des pays essentiellement « fournisseurs » et exportateurs de pétrole comme le Moyen Orient. L'énergie est donc « *un bien précieux, à la base de tout succès économique et du bien-être de l'homme. Facteur de progrès.* »¹. On peut recourir certains besoins par l'énergie : les besoins en chaleur : besoin pour se réchauffer, pour cuire les aliments, pour chauffer l'habitat, pour certaines transformations industrielles, les besoins de force motrice : pour le transport des hommes et des marchandises ; les besoins d'éclairage : l'électricité, etc... ; les besoins en matières premières spécifiques : on utilise parfois certaines sources d'énergie comme matières premières comme le pétrole et le gaz pour les industries pétrochimiques. Les besoins en électricité spécifique : la multiplication des moteurs électriques, des appareils ménagers, etc...

Dans la théorie, la croissance économique entraîne la hausse de la consommation en énergie, il existe un rapport causal entre consommation énergétique et croissance économique, l'énergie consommée augmente avec la production mesurée par le PIB, c'est pourquoi les pays développés ont une consommation très élevée. Cette élévation est due à certaines facteurs : le développement est accompagné d'une création ou ajout d'industries consommatrices d'énergie, tous les secteurs exigent de l'énergie comme le cas de l'agriculture moderne dont le rendement est 5 fois plus grand que l'agriculture classique, les choix technologiques sont devenus importants par rapport à leurs pertinences (importance du rapport énergie production), la place du taux d'indépendance énergétique qui est en fonction croissante du rapport énergie production (les pays développés ont tendance à opter des comportements « energy using »).

L'énergie a pris sa place dans la théorie économique depuis l'évolution industrielle par l'importance des énergies utilisées par les machines pour l'amélioration de la productivité. Pour Adam SMITH, l'énergie permet des gains de productivité assez importants lors de l'utilisation des machines, d'autres auteurs pensent que le facteur énergie n'est pas un facteur

¹ Office Fédéral des Questions Conjoncturelles

de production à part entière mais A. SMITH s'explique sur ces gains qui se diluent dans les rémunérations des facteurs de production classiques (salaire et profit)². Il y a aussi Stanley JEVONS qui a introduit la question énergétique dans l'analyse économique, son étude est centrée sur les impacts de la limitation de la production de charbon sur le développement industriel.

Beaucoup d'économistes ont fait des études et recherches sur la relation entre la croissance économique et la consommation d'énergie. Stern D. (1993) a fait une étude sur la relation de causalité entre PIB, le capital, le travail et la consommation d'énergie aux Etats-Unis, il rejette l'hypothèse que seule l'énergie et sa qualité sont importantes dans la croissance économiques mais aussi l'hypothèse des néoclassiques sur le rôle moindre de l'énergie par rapport aux facteurs de production travail L et capital K, l'énergie cause une croissance économique mais c'est un facteur limitatif.

Cheng B. S. et Lai T. W. (1997) ont déterminé la causalité entre la consommation d'énergie et la croissance d'énergie mais aussi entre la consommation d'énergie et l'emploi en Taiwan, pour lui, la consommation d'énergie ne cause pas la croissance économique mais c'est la croissance économique qui entraîne la consommation d'énergie.

Asafu-Adjaye J. (2000) a fait une étude sur la relation causale entre la consommation d'énergie et le PIB en introduisant aussi le prix pour l'Inde, l'Indonésie, la Thaïlande et les Philippines, il a conclu qu'il y a une relation de causalité à un sens de l'énergie vers le PIB pour l'Inde et l'Indonésie et une relation de causalité réciproque entre l'énergie, le PIB et les prix pour la Thaïlande et les Philippines.

Aquel A. et Butt M. S. (2001) ont fait des études sur la relation entre PIB et énergie, PIB et consommation en divers composantes de l'énergie, entre l'emploi et consommation d'énergie en Pakistan, il y a aussi une relation de causalité de la croissance économique vers la consommation d'énergie seulement, la croissance économique affecte la consommation d'essence et de gaz mais pas l'inverse et la consommation d'électricité affecte la croissance économique mais pas l'inverse.

Imran K. et Siddiqui M. M. (2010) ont fait l'étude sur la relation entre PIB, consommation d'énergie et les facteurs de production K et L sur 3 pays du SAARC (l'Inde, le

² SMITH A. « Recherche sur la nature et les causes de la richesse des nations », 1776, Chapitre VI : partie constituante du prix des marchandises, in. SACKO Issa, *Analyse des liens entre croissance économique et consommation d'énergie au Mali*, CERFOD - FSJE - Université du MALI, p. 5

Pakistan et le Bangladesh), ils ont montré qu'il y a absence de causalité à court terme du PIB vers la consommation d'énergie ou vice versa.

Laudosli M. et Ben Rejeb J. (2011) ont étudié la relation entre croissance économique et demande d'énergie en Tunisie, ils ont trouvé qu'il y a une causalité unidirectionnelle de la croissance économique vers la consommation d'énergie à long terme.

La consommation en énergie augmente de plus en plus et tend à rencontrer plusieurs contraintes : certaines ressources comme le pétrole commencent à s'épuiser, la consommation d'énergie fossile augmente la concentration des gaz à effet de serre, surtout le CO₂ et accentue le réchauffement climatique, les pays en voie de développement ont besoin d'énergie pour avoir une croissance économique en tenant compte de l'augmentation de la population. La gestion de l'énergie (au niveau individuel, ville, région, pays) est devenue un problème de société, *« elle implique l'accès à des ressources (comment produire de l'électricité, par exemple ?), leur transformation ainsi que la prise en compte de l'impact des filières énergétiques sur l'environnement au sens large du terme. »*³, une consommation démesurée peut nuire à l'environnement. Il est alors essentiel de prendre en compte les effets des choix énergétiques sur l'avenir de la planète : là où réside l'essentiel des énergies renouvelables, ces sources d'énergie vont contribuer à une énergie durable (va répondre aux besoins du moment présent sans compromettre ceux des générations futures). Les énergies renouvelables sont des énergies de flux, il qualifie l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la biomasse, la géothermie. Les énergies renouvelables ont un impact moins important sur l'environnement que les énergies fossiles, elles sont faiblement émettrices de gaz à effet de serre, mais elles sont sous exploitées dues à son coût d'exploitation surélevé d'où le ralentissement de son développement , cependant certains pays commencent à les introduire dans leurs mix énergétiques⁴ et leurs y donnent une place assez importante alors que d'autres non, une question alors se pose : **quels sont les enjeux des énergies renouvelables aujourd'hui surtout à Madagascar ?**

La première partie va parler de la situation mondiale des énergies renouvelables, elle englobera les chapitres concernant le pourquoi des énergies renouvelables et leur place dans l'énergie mondiale ; la seconde partie parlera de la place des énergies renouvelables à

³ CLEMENT Daniel, Pierre PAPON, « Vers une énergie durable ? », Edition Le Pommier, 2010, p. 30

⁴ Appelé aussi bouquet énergétique, le mix énergétique définit la répartition des différentes sources d'énergie utilisées pour la production d'une énergie bien définie

Madagascar incluant les chapitres sur l'état des lieux énergétiques du pays et les perspectives de développement des EnR.

Partie I : Cadrage théorique et la situation des énergies renouvelables (EnR) dans le monde

Les énergies fossiles dominent beaucoup la production et la consommation d'énergie mondiale, elles devancent de loin les EnR. Les EnR commencent néanmoins à se développer petit à petit avec l'environnement instable autour des énergies fossiles. Cette partie parlera du pourquoi des EnR qui englobera la polémique sur le changement climatique et les grandes familles d'EnR, et elle parlera aussi de la place des EnR dans le monde en évoquant la transition énergétique.

Chapitre I : Energies renouvelables : pourquoi ?

La polémique sur les effets de l'exploitation d'énergie sur le climat a fait surface depuis la révolution industrielle où l'utilisation de nouvelles machines a commencé à s'accélérer, cette exploitation contribue à une grande partie de la pollution. Les discussions se centrent sur les effets néfastes des énergies fossiles notamment le pétrole et le charbon qui restent les sources d'énergie les plus dominantes, et sur les EnR qui sont des sources pouvant assurer une substitualité.

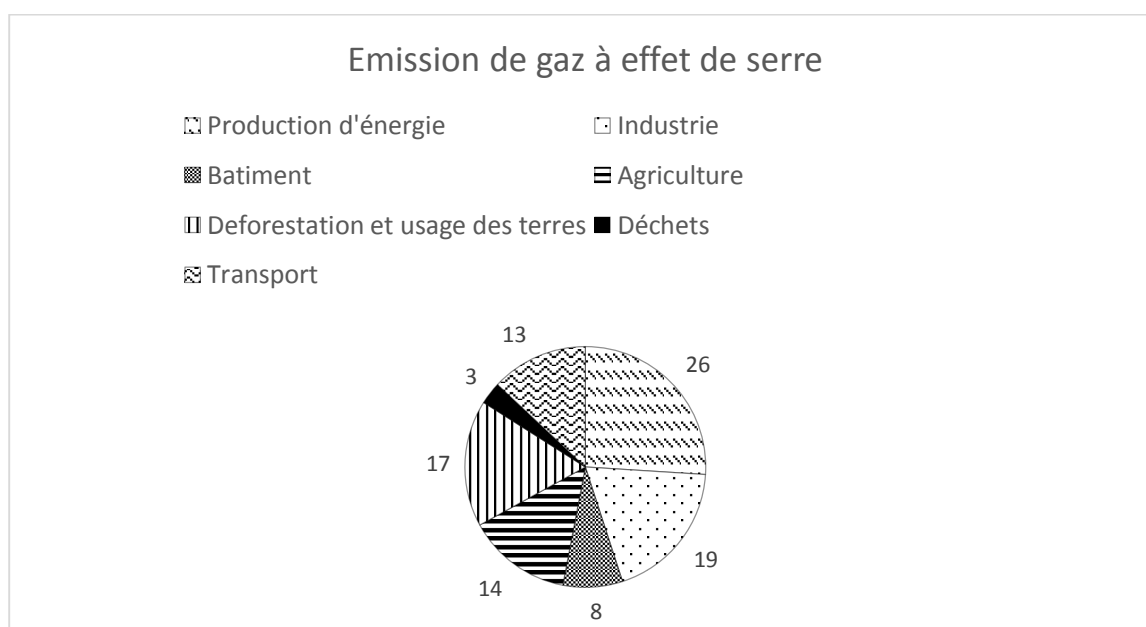
Section 1 : Le changement climatique :

Le changement climatique provient de l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il existe 6 gaz qui accroissent l'effet de serre : le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux et 3 autres gaz contenant du fluor. L'homme n'a jamais pris en compte l'effet de ses activités jusqu'au jour où les conséquences de ses actes reviennent vers lui, c'était en 1992 lors de la Conférence des Nations Unies à Rio de Janeiro. Il faut préciser que l'effet de serre est quand même important car il réchauffe l'atmosphère.

A cause des activités non maîtrisés, l'homme ne se doute pas encore que les variations météorologiques fréquentes sont les produits de ses actes, selon la GIEC, 2/3 des émissions de gaz à effet de serre provient de la production et de la consommation d'énergie. Ses conséquences météorologiques s'accroissent en fréquence et en intensité chaque année, et les dommages économiques s'accroissent avec ce phénomène, « Pour l'année 2008, les dommages directs des catastrophes naturelles ont été estimés par les assureurs à environ 45

milliards de dollars dans le monde, (...). L'accroissement des dommages économiques s'explique en partie par l'augmentation de la couverture des assurances et de celle des richesses produites par nos sociétés. »⁵. En 2008, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère est de 383 parties par millions (ppm) contre 280 à l'âge préindustriel. Le réchauffement climatique montre des conséquences visibles comme la hausse de la fréquence des événements météorologiques extrêmes depuis 1970, la hausse du niveau moyen de la mer d'environ 2 cm/ décennie⁶, certains scientifiques affirment que les effets sentis actuels ne sont que des premières manifestations de modification climatique que la population terrestre va sentir pendant les siècles à venir.

Figure 1 : Les émissions de gaz effet de serre par secteur



Source : GIEC, 2007

Des scientifiques, des dirigeants d'Etat ont chacun évoqué des solutions pour ralentir la pollution de l'atmosphère et certains stipulent que la solution est d'intervenir dans la façon où l'homme consomme l'énergie : augmenter le prix du pétrole, comme affirmaient Nicolas Sarkozy et Gordon Brown lors du Sommet de G8 en Juillet 2009 : « *Nous devons reconnaître en tant consommateurs que des prix anormalement bas du pétrole, s'ils apportent des bénéfices à court terme, provoquent des dommages à long terme.* ». Ils ont pris exemple le cas économique mondial lors des chocs pétroliers de 1973 et de 1980 lorsque les pays de l'OPEP

⁵ PERTHUIS Christian (De), « Le changement climatique », Idées Reçues, Le Cavalier Bleu, p. 14

⁶ Source : 4^{ème} rapport d'évaluation du GIEC

augmentaient le prix du pétrole et que le reste du monde était dans l'obligation de s'adapter. Cette renchérissement du pétrole ralentirait aussi les gaspillages en consommation de pétrole et inciterait la rationalisation. Donc sortir de la dépendance au pétrole peut-elle régler le problème des émissions de gaz à effet de serre ? Ce qui est sûr, c'est que cette approche peut favoriser l'adoption d'une économie non émettrice de carbone et stimule le développement des énergies renouvelables ou EnR comme le cas de la Silicon Valley en 2008 lorsque le passage du prix du pétrole au-dessus de 100 \$ a déclenché une vague d'investissement dans les technologies vertes.

Mais le renchérissement du pétrole entraîne des effets pervers :

- Le pétrole sera substituer par le charbon qui est le responsable numéro un d'émission mondiale de CO₂ (42% pour le charbon, 38% pour le pétrole, 20% pour le gaz naturel), le charbon est moins cher mais aussi plus abondant (200 années de réserves de consommation). Un renchérissement du pétrole augmentera donc l'utilisation du charbon dans la production d'électricité et augmentera les émissions.
- Selon l'AIE, les réserves de pétrole sont estimées à une durée de 40 ans de consommation, mais cela ne signifie pas qu'il n'y aura pas de pétrole après 40 ans. Avec le progrès technique, les investisseurs feront des recherches et exploreront de nouveaux gisements. Il y aura une immobilisation d'une grosse somme d'argent pour vider le sous-sol terrestre qui serait avantageux si c'est pour explorer d'autres sources d'énergie non émettrices de gaz à effet de serre.
- Une augmentation du prix du pétrole augmentera les ressources financières des acteurs qui aimeraient prolonger aussi la consommation en pétrole pour renforcer leurs postures.

Donc intervenir sur le prix du pétrole n'est pas une solution envisageable pour réduire l'émission des gaz à effet de serre car cela accentuera davantage les émissions et elle stimulera surtout les « violences géopolitiques » qui existent car avec la croissance démographique et la raréfaction du pétrole, les pays puissants n'hésiteront pas à « réutiliser leurs forces » pour accaparer les ressources afin de satisfaire leurs demandes. Si la solution ne se trouve pas alors dans les énergies fossiles, les énergies non émettrices de carbone peuvent prendre le relai pour sauvegarder la planète contre la pollution et d'agir sur l'économie des pays très dépendante du pétrole dont l'environnement est quasi instable.

Section 2 : Le concept des énergies renouvelables

Contrairement aux énergies fossiles, les EnR sont des énergies plus propres pouvant préserver l'écologie.

1) Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables (EnR) sont des énergies de flux, ce sont des énergies primaires inépuisables à une durée illimitée car elles proviennent essentiellement d'un processus naturel lié directement aux rayonnements du soleil, au vent, aux ruissellements des eaux, les plantes. Les EnR sont des énergies « propres » car elles émettent moins de gaz à effet de serre, elles rencontrent néanmoins une asymétrie fondamentale, *« les énergies fossiles ne paient pas les pollutions qu'elles engendrent, tandis que les énergies renouvelables ne reçoivent pas que très partiellement, sous forme de subventions, les compensations qu'elles devraient recevoir pour ne pas polluer »*⁷

Les EnR sont aussi plus chères que les énergies fossiles, pour qu'elles se développent, le recours à des politiques volontaristes, à des subventions, à des prix de rachats de l'électricité produite ou à des aides à l'investissement sera nécessaire. Mais avec les polémiques autour du changement climatique, elles devront accélérer leurs développements même si leurs potentiels sont inégalement répartis.

Il existe 5 grandes familles d'EnR :

- L'énergie solaire provenant du soleil
- L'énergie éolienne provenant du vent
- L'énergie hydraulique ou la houille blanche provenant des fleuves ou mers
- La biomasse ou la houille verte provenant des végétaux
- La géothermie provenant de la terre

2) L'énergie solaire:

Le soleil est la plus grande source d'énergie, l'énergie reçue varie selon les moments, par exemple la nuit ou pendant les journées nuageux, elle est de petite quantité ou inexistante. La puissance reçue est de 85 à 290 W/m²/an en moyenne, il y a 3 moyens d'exploiter le soleil.

⁷ CHEVALIER J.-M., « Les 100 mots de l'énergie », Que sais-je ?, PUF, 2009, p. 44

a) L'énergie passive

Afin de bénéficier de la chaleur venant du soleil, le plus simple est d'aménager les bâtiments pour profiter du soleil au maximum. Pour se faire, il faut installer des grandes baies vitrées pour faire entrer les rayonnements et limiter les ouvertures à l'orientation inverse des entrées (si les rayonnements rentrent au Sud, les limites et réductions sont au Nord, et inversement), il y a certaines vitres composées de quelques couches de verre séparées par du gaz qui réduisent les pertes. Et pour stocker la chaleur, les murs et les planchers jouent un rôle important dans l'émission.

Une bonne architecture peut faire des économies en matière de chauffage, « *Les écoles se présentent ainsi beaucoup à l'architecture solaire. En effet, elles ne sont occupées que le jour, lorsque les apports solaires sont directement exploitables pour le chauffage et l'éclairage naturels... Les économies d'énergie se sont révélées être de 30% dans une école belge à... 100% dans une école espagnole.* »⁸

b) Centrales électriques thermiques solaires

Ici, la chaleur est reconvertie en énergie mécanique puis convertie en énergie électrique. Il existe 3 types de centrales électriques qui se différencient par leurs focalisations des rayons solaires : *les concentrateurs cylindro-paraboliques* qui sont des longs miroirs cylindriques possédant un long tube situé au point focal du cylindre, *les centrales à tours* qui sont des belvédères situés à une certaine hauteur cernés par un champ de miroirs et qui renvoient des rayons solaires depuis cette hauteur, *les collecteurs paraboliques* ressemblant à des antennes de télévisions qui sont dirigées vers le soleil où les rayons solaires se concentrent sur un point focal. Ces 2 derniers types peuvent procurer des températures élevées allant jusqu'à 1000 °C alors que le premier ne peut pas dépasser 500 °C.

Il est plus favorable d'implanter ces centrales solaires dans des régions où les rayonnements du soleil atteignent les 1900 kWh/m²/an, sur des grandes surfaces de terrain très plates. Cette technique est souvent considérée comme le plus rentable car elle peut répondre vraiment à la demande d'électricité, « *ses pics de production correspondaient aux pics de consommation électrique. C'est ce qui avait fait le succès des centrales de Californie,*

⁸ VERNIER Jacques, «Les énergies renouvelables », PUF, Oct 2009, p. 12

où les très forts besoins en climatisation coïncident précisément avec les pics d'ensoleillement. »⁹.

c) L'énergie solaire photovoltaïque :

Il s'agit d'une conversion directe du rayonnement solaire en électricité. Elle se fait par l'utilisation de cellules photovoltaïques (des cellules solaires composées essentiellement de silicium qui jouent un rôle de conducteur), une série de cellule montée en parallèle permet d'alimenter un équipement électrique : c'est le « module photovoltaïque ». Ce module est aussi accompagné de châssis et de supports pour la fixation, des accessoires de câblage et un onduleur. Une batterie est aussi essentielle pour stocker l'énergie reçue, et un régulateur de charge pour éviter des charges excessives.

Elle peut alimenter plusieurs choses : des petits appareils comme les montres, calculettes alimentés par des cellules de petite puissance ; des équipements électriques éloignés de tout réseau distribution électrique comme des équipements publics ou professionnelles (éclairage de sites isolés, de lampe portable, des cabines téléphoniques, des panneaux de signalisation routière, ...), des habitats isolés. Une installation d'une puissance de 5 KW peut alimenter un village de 500 habitants si l'estimation est que chaque habitant a besoin d'une puissance de 10 W pour ses besoins.

Pour raccorder la production d'électricité via l'installation photovoltaïque, il y a 2 choix : les toits ou murs photovoltaïques comme ceux de l'usine General Motors à Saragosse avec une puissance de 12 MWc qui peuvent alimenter 5000 logements, puis les centrales électriques photovoltaïques comme la centrale de l'Espagne avec 60 MWc.

L'énergie solaire a un coût d'investissement élevé, cela s'explique par le coût de l'électricité produite (s'il s'agit d'un raccordement avec un réseau : 3 à 6 fois plus chère que l'électricité traditionnelle) accompagnée de la lourdeur des prix des moyens de stockage d'énergie, la production peut être irrégulière car elle dépend de la saison et non des besoins (les besoins en chauffage sont par exemple en pic de consommation en hiver alors que le soleil est quasi absent). Mais les installations sont quand même robustes et ne nécessitent qu'un faible frais de maintenance, et elles ne provoquent aucun bruit, l'énergie solaire assure

⁹ Ibid, p. 22

l'autonomie en électricité de la localité qui en jouit, et elle est surtout inépuisable et respecte l'écologie donc ne dégage pas de gaz polluantes.

3) L'énergie éolienne:

Les nouvelles éoliennes (différentes au système de fonctionnement des moulins à vent) ont été créées pour subvenir à la demande d'électricité de la population lors du choc pétrolier. Les bons sites éoliens sont celles où la vitesse du vent avoisine les 5 m/s. « *Certains auteurs estiment que seulement 4% des sites favorables sont utilisables : dans ce cas, le potentiel global de l'énergie éolienne serait d'environ 40000 TWh, ce qui est le double de la production électrique mondiale actuelle, qui est de l'ordre de 20000 TWh : ce n'est pas donc négligeable !* »¹⁰.

Les éoliennes sont aussi connues pour leurs impacts sur l'environnement. Certains les accusent de porter atteintes au paysage, les bruits causés par des machines tournantes et des pales dérangent des fois, ces pales sont aussi dangereuses pour les animaux (en Californie, les éoliennes implantées dans les collines ont tué des dizaines d'aigles royaux).

Les éoliennes sont surtout utilisées pour 2 usages principaux :

- D'abord pour le pompage de l'eau souterraine : destinée pour les besoins domestiques, d'irrigation,... l'eau est stockée dans un réservoir après que des pompes mécaniques ou électriques la puisent ;
- Et puis pour la production d'électricité : pour un site éloigné de tout réseau de distribution comme des régions isolées des pays industrialisés ou des villages des pays du Tiers-Monde, ce site.

L'énergie par le vent est irrégulier car la vitesse du vent varie souvent et le problème c'est qu'elle peut diminuer jusqu'à moins de 3m/s. Le problème avec les installations est donc sa « pollution visuelle et sonore » dénoncée en haut, elles peuvent émettre des perturbations électromagnétiques provoquant des problèmes dans la réception de signal des réseaux comme pour la télévision ou les téléphones portables. Elles nécessitent beaucoup d'espace pour une production à grande échelle et doivent être installées loin des habitants donc loin de la localité, l'énergie éolienne nécessite aussi des moyens de stockage. C'est quand même une énergie propre sans émission de gaz à effet de serre et la production suit la demande (en hiver

¹⁰ Ibid, p. 32

les vents sont plus forts donc correspond à la période où les besoins en énergie sont élevés) et ne nécessite pas de matières premières.

4) La houille blanche ou l'hydraulique :

C'est l'EnR la plus répandue en ce moment. L'hydraulique se manifeste sous 2 aspects :

a) L'énergie des fleuves et des rivières :

La puissance puisée dépend de la hauteur de la chute et du débit de l'eau, la plus grande centrale est d'une puissance de 18000 MW située en Chine suivie par celle de la Grande Québec avec une puissance de 15000 MW. Cette chute est créée en partie par un barrage

Dans l'hydraulique des fleuves et rivières, il faut toujours faire face à l'irrégularité des cours d'eau, ces cours varient suivant les saisons ce qui pose des problèmes pour répondre à la demande d'électricité non constante aussi (le cas où les pics horaires ou saisonniers ne coïncident pas avec les périodes où les cours d'eau n'atteignent pas leurs débits maximaux). Mais l'avantage de cette EnR c'est que l'eau peut être stocké, d'où les centrales d'eau, les centrales d'écluse et les centrales au fil d'eau. Les centrales hydrauliques ne polluent pas mais enclenchent quelques effets sur l'environnement comme par exemple les barrages des cours d'eau empêchent certains poissons de migrer, ils peuvent provoquer un assèchement d'une rivière en aval.

b) L'énergie des océans :

L'énergie qui peut être captée jusqu'ici est l'énergie des marées, celle des océans est dispersée et difficile à collecter. Les marées sont des variations périodiques du niveau de la mer, les sites des marées ayant les plus grandes amplitudes¹¹ sont la baie de Fundy en Canada (15,4 m), la baie de San José en Argentine (14 m) et la baie de Severn en Grande Bretagne (13,8 m). Il faut installer un barrage au niveau de la baie créant une sorte de bassin pour capter l'énergie potentielle des marées, des pertuis captent l'eau qui envahit le bassin lors de la montée et de la descente de la marée, et lorsque la différence de niveau entre la mer et le bassin est considérable, les pertuis lâchent l'eau stockée et l'eau se dirige vers des turbines qui

¹¹ La différence entre le niveau de la haute mer et le niveau de la basse mer

génèrent de l'électricité. L'investissement dans ces centrales marémotrices est coûteux, il dépend de l'amplitude des marées et de la taille de la surface de bassin, le coût d'exploitation est quand même faible car il y a peu de frais de maintenance et d'exploitation.

Il existe aussi une option où l'énergie est puisée par le fait que le soleil réchauffe la surface de l'eau. « *Du coup, on peut imaginer de remonter par pompage l'eau froide des profondeurs jusqu'à la surface et d'opérer un transfert de chaleur entre l'eau chaude de surface et l'eau froide ainsi remonter.* »¹². Cette technique a permis à l'île de la Réunion de fournir 20% de ses besoins électriques.

L'hydraulique a aussi l'image de dégradeur d'écosystème à cause des barrages au milieu des fleuves et marées, les turbines causent quelques bruits, et si les installations sont sujet de déstabilisation et d'écroulement, elles pollueront l'environnement en contaminant l'eau. Les grands barrages coûtent chers et nécessitent une solidité financière pour l'investisseur mais sont rentables, elles ne nécessitent pas beaucoup de frais d'entretien et d'exploitation et elles connaissent une durée de vie de 100 ans (soit 2 à 4 fois plus que les installations des autres EnR), elles sont aussi indépendantes et ne produisent aucun déchet polluant. L'énergie hydraulique est inépuisable et propre comme toutes les EnR,

5) La houille verte ou la biomasse :

La biomasse est l'EnR la plus développée dans le monde, elle représente 11% de la production mondiale d'énergie. Elle est représentée par les biocarburants et les biocombustibles. Le bois¹³ est le plus souvent utilisé comme combustible pour des usages industriels ou domestiques, l'énergie-bois est produit de 2 façons : la carbonisation (le charbon de bois) et la gazéification (pour obtenir des gaz comme l'oxyde de carbone et le méthane qui peuvent être transportés, ailleurs pour alimenter quelque chose et produire de l'électricité). 70% à 80% de l'usage du bois énergie dans les Tiers Monde est consacré seulement à la cuisson des aliments alors que dans les pays industrialisés il est destiné pour le chauffage pour l'habitat individuel (chauffage principal ou d'appoint).

¹² VERNIER Jacques, « Les énergies renouvelables », PUF, Oct 2009, p. 71

¹³ Il existe des plantations destinées spécialement à produire de l'énergie afin d'éviter la destruction des forêts dans l'exploitation du bois comme la plantation des eucalyptus au Brésil et des saules en Europe

Il existe deux manières de produire de l'électricité en utilisant le bois énergie : par la production de vapeur d'eau dans une chaudière à bois qui va alimenter une turbine ou un moteur à vapeur et qui va générer de l'électricité, ou par la production de gaz par le processus de gazéification qui va alimenter un moteur à pistons. Il y aussi une cogénération de production d'électricité et de chaleur.

Sur l'environnement, le bois n'accentue pas vraiment l'effet de serre car le CO₂ qu'il dégage est réabsorbé par les plantes et les arbres, *« la filière « bois » contribue à l'effet de serre, pour une même quantité d'énergie de chauffage produite :*

- 12 à 15 fois moins que le chauffage au charbon ;
- 10 à 12 fois moins que le chauffage au fioul ;
- 5 à 6 fois moins que le chauffage au gaz ;
- 3 à 6 fois moins que le chauffage électrique. »¹⁴

Pour les biocarburants, il y d'abord le bioéthanol¹⁵ qui peut substituer à l'essence produit par la fermentation des sucres contenus dans les plantes riches en sucre, en amidon et les plantes ligneuses,. Il faut quand même des moteurs adaptés à ce biocarburant (dont le cout de fabrication leurs fabrications est faible : 200 €) donc des stations-services à adapter aussi (20000 à 40000 € par stations). Ensuite il y a le biodiesel qui peut substituer le gazole, tiré dans les huiles végétales et des esters d'huile.

Par rapport à l'environnement, les quantités de gaz à effet de serre dégagées par le biocarburant sont inférieures par rapport à celles des carburants pétroliers, soit une quantité de 30 à 80% de moins. Sur les forêts, certaines organisations écologiques qualifient les biocarburants de « diesel de déforestation » car certaines régions comme l'Asie du Sud Est ont fait une grande promotion de cette énergie et ont rasé des hectares de forêt pour laisser la place à une plantation d'huile de palme.

6) La géothermie ou l'énergie de la terre :

Le centre de la Terre émet de la chaleur par la radioactivité, un flux de chaleur géothermique de 0,06 W/m² peut être senti à la surface (un faible flux 3500 fois moins que

¹⁴ VERNIER Jacques, « Les énergies renouvelables », PUF, Oct 2009, p. 79

¹⁵ L'éthanol améliore l'indice d'octane du moteur c'est-à-dire son pouvoir détonant, mais il a un pouvoir calorifique inférieur à l'essence donc peut provoquer une faible puissance, néanmoins cette puissance peut être compensée par le rendement du moteur

celui de l'énergie solaire), donc il s'agit d'exploiter la chaleur accumulée ou stockée dans les sous-sols terrestres. Certes les flux sont différents selon les régions du globe, les régions avec une haute activité géothermique sont celles où il y a souvent des éruptions volcaniques, des fumerolles, des geysers, le flux peut atteindre 1 W/m^2 . La géothermie est considérée comme une EnR car la chaleur stockée dans les sous-sols est renouvelée en permanence par la chaleur de la Terre

Il existe 3 types de géothermie :

- La géothermie basse énergie : les ressources de basse énergie se trouvent à une profondeur de 1000 à 2500 m situées dans des bassins sédimentaires, elles ont une température comprises entre 30 et 100°C. Les exploitations se font par le processus de double puits ou des pompes à chaleurs. La géothermie basse énergie est utilisée pour le chauffage des bains et piscines, le chauffage de logements et de bâtiments. Pour les coûts d'investissement, une installation non amortie coûte 250 à 600 €/KW.
- La géothermie haute et moyenne énergie : L'exploitation se fait à une profondeur allant de 1000 à 3000 m, pour la haute énergie elle se fait dans les gisements de vapeur sèche et humide, à une température comprise entre 200 à 350°C environ, dans des gisements d'eau chaude sous pression ayant une température comprise entre 90 et 180°C pour la moyenne énergie. La géothermie haute et moyenne énergie est surtout exploitée pour fournir de l'électricité mais elle est aussi utilisée pour multiples « applications industrielles » grâce à la chaleur et la vapeur comme pour le lavage et la teinture textile ou le traitement des eaux usées. Pour les coûts d'investissement, il va de 1200 € à 2800 €/KW selon la taille

La géothermie ne brûle pas de carbone donc ne dégage pas de CO_2 dans l'atmosphère mais le petit bémol est qu'elle dégage un gaz très malodorant à cause de la présence de l'hydrogène sulfuré, l'eau géothermale rejetée après avoir cédée de sa chaleur peut polluer les rivières avec les sels et métaux qu'elle contient.

Les EnR sont significatives pour l'environnement car elles n'émettent pas de gaz à effet de serre contrairement aux énergies fossiles, son développement assure la dépendance énergétique d'un pays (par rapport à l'instabilité de l'environnement autour du pétrole) et la dépendance d'une localité ou d'un ménage (afin d'éviter les problèmes liés aux réseaux

nationales comme les coupures de courant par exemple). Alors comment inciter les pays à introduire les EnR dans leurs mix énergétiques ?

Chapitre II : Les énergies durables dans le monde

Vu que le monde fait face à un problème majeur, un protocole signé au Japon fait surface pour réguler les activités des pays du monde, notamment les pays industrialisés qui émettent beaucoup de gaz à effet de serre. Ce protocole a permis aux EnR d'assurer leurs intégrations dans les mix énergétiques afin que les pays puissent passer à une transition énergétique.

Section 1 : La transition énergétique

1) Le protocole de Kyoto :

Le protocole de Kyoto est un accord international fait au Japon en 1997 après la réflexion sur la Terre à Rio de Janeiro en 1992. Il a pour but de promouvoir un développement durable et de réduire les gaz à effets de serre qui entraînent le changement climatique, le protocole rentrait en vigueur en 2007 après la ratification de la Russie. Le protocole impose une réduction de 5,5%¹⁶ des émissions de gaz à effet de serre pour la période 2008-2012 par rapport au taux de l'année 1990. 39 pays parmi les 160 qui ont ratifié le protocole ont accepté de limiter leurs émissions, comme chiffre : il est de 8% pour l'Union Européenne, 6% pour le Canada, 7% pour les États-Unis même s'ils n'ont pas ratifié le protocole, 6% pour la Hongrie, pour le Japon et pour la Pologne, il y a aussi les pays qui ont la possibilité d'augmenter leurs émissions comme la Norvège qui pourrait augmenter les leur d'1%, l'Islande de 10% et l'Australie de 8%.

Le protocole de Kyoto se pose sur des mécanismes flexibles permettant de diffuser les efforts de réduction entrepris par certains pays :

- Le mécanisme de développement propre (MDP) basé sur des projets qui encouragent les pays de l'Annexe I¹⁷ de diminuer leurs coûts de réduction des émissions en les incitant à investir dans des pays où ces coûts sont faibles, d'habitude il s'agit des pays en développement qui ont ratifié le protocole et qui n'ont pas d'objectifs quantitatifs

¹⁶ CHEVALIER J.-M, « Les 100 mots de l'énergie », Que sais-je ?, PUF, 2008, p.112

¹⁷ Englobe les pays industrialisés signataires de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques ou CCNUCC en 1992

de réduction. « *On estime qu'environ la moitié du potentiel du mécanisme de développement propre se trouve en Chine et en Inde* »¹⁸.

- Le mécanisme de mise en œuvre conjointe (MOC) permettant aux entreprises de l'Annexe I de participer à l'investissement des projets de réduction des émissions dans des autres pays, les pays dont leurs coûts de réduction sont très élevés peuvent ainsi participer à la réduction des émissions en orientant leurs investissements vers les pays ayant des coûts de réduction faibles.

Ce protocole a donc permis d'aider les pays qui rencontraient des failles pour résoudre leurs problèmes, il fut alors établi un équilibre entre les traités internationaux car les pays rencontrant des difficultés recevaient des soutiens.

2) Le concept de transition :

A part les ennuis environnementaux, les pays du monde rencontrent aussi des problèmes d'ordre énergétique et économique, l'évolution des prix du gaz et autres énergies suivant le marché et les spéculations monétaires, l'approvisionnement en énergie et l'épuisement des ressources naturelles obligent les pays à revoir leurs politiques énergétiques.

La transition énergétique désigne le passage d'un état énergétique à un autre état plus durable, c'est-à-dire l'abandon de certaines énergies dites fossiles pour l'utilisation d'un autre moyen de production et de consommation plus durable pour la population, il consiste aussi à appuyer indirectement le protocole de Kyoto en la mise en œuvre des moyens de production plus sévères sur les impacts de ces derniers sur la planète et sur la population. Pour une utilisation plus durable, les EnR rentrent en jeu accompagnés d'une réduction de la consommation en énergie.

Voici une illustration des politiques de transition énergétique de quelques pays pour bien comprendre le concept.

a) La transition énergétique chinoise :

La Chine est parmi les grands émetteurs de gaz à effet de serre, elle est la première dans la production et la consommation de charbon dans le monde et représentait 28% des émissions mondiales en 2013 mais elle a commencé à introduire des politiques¹⁹ de lutte

¹⁸ CHEVALIER J.-M, « Les 100 mots de l'énergie », Que sais-je ?, PUF, 2008, p.113

¹⁹ 12ème Plan quinquennal chinois pour 2011-2015

contre le changement climatique depuis 2011. La réduction des émissions est le but principal du pays et pour cela l'Etat a choisi d'entreprendre un mix énergétique en développant les énergies renouvelables et en réduisant la part du charbon dans la production énergétique, donc il s'agit d'une modification du modèle de développement : la Chine possède l'une des réserves les plus riches du monde en gaz, c'est pourquoi le gouvernement va entamer une « *substitution du charbon au profit du gaz* », les chaudières à charbon vont être remplacées par des cogénérations biomasses... Il y a un grand développement des EnR en Chine et l'Etat fait en sorte que ça dure, « *Notre but est que d'ici 2020 les énergies renouvelables représentent 15 % de notre consommation* » (Yaxiong Zhang)²⁰. L'Etat va aussi se soucier de leur efficacité énergétique²¹, il va régler la consommation de la population en ressource et en quantité.

Cette transition se pose sur de grands enjeux tels que :

- Un enjeu économique reposant sur une modification de l'aspect social et économique de la Chine qui a un énorme lien avec le développement grandiose du pays, le 12ème Plan quinquennal permet une entrée dans une « *civilisation écologique* ».
- Un enjeu énergétique reposant sur la diminution de la dépendance en charbon qui produit plus de 65%²² de l'électricité et qui pollue beaucoup l'air.

b) La transition énergétique américaine :

Les Etats-Unis est le second plus grand émetteur de gaz à effet de serre dans le monde. La transition s'appuie aussi sur des objectifs de lutte contre les changements climatiques et une politique efficace sur l'efficacité énergétique. L'Etat de New York est l'un des Etats des Etats-Unis à passer sa transition en premier.

Le premier Plan Énergétique de l'État de New York (New York State Energy Plan) a été élaboré en 2002 et avait comme objectif de réduire ses émissions de 5 % en 2010 et 10 % en 2020 par rapport à 1990, en matière d'efficacité énergétique, la réduction de l'intensité énergétique primaire de l'État de 25 % et l'augmentation de la production d'énergies renouvelables de 50% étaient mis en exergue. En 2009, leurs buts étaient surtout

²⁰ Département De La Prévision Economique Du Centre d'Information De La Commission Nationale Pour La Réforme Et Le Développement De Chine

²¹ C'est le rapport énergétique entre la quantité d'énergie délivrée et la quantité d'énergie absorbée, s'il y aura moins de perte, l'efficacité est meilleure

²² AIE

d'ordre climatique, il s'agissait de réduire les émissions de 80 % en 2050 par rapport à celui de 1990, Le Plan énergétique de 2014 prévoyait de réduire l'intensité carbone du secteur énergétique de 50% en 2030 par rapport à 2010. Ces buts sont concentrés sur le secteur des bâtiments, des industries et du système de production de l'électricité. « *La ville de New York, qui héberge près de la moitié des habitants de l'État, s'est fixée des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre tout aussi ambitieux. Mis en place en 2007 par l'ancien maire de New York, Michael Bloomberg, le programme PlaNYC a défini une vision à long terme pour l'agglomération. Il prévoit notamment de réduire ses émissions de 30 % en 2030 par rapport à 2005 et évoque l'ambition de les réduire de 80 % en 2050. Les institutions publiques de la ville doivent se montrer exemplaires et atteindre l'objectif de 30 % dès 2017.* »²³

La bonne marche de la politique d'efficacité énergétique de New York se base sur 3 grands axes : la connaissance des quantités d'énergies utilisées, leur réduction, et la gestion des pointes de consommations. Les 2 premiers visent les grands bâtiments qui consomment la moitié de l'énergie de la ville, les propriétaires des bâtiments sont obligés de publier leurs consommations en énergie et en eau chaque année et par pieds carré. Ces 2 axes sont accompagnés d'une série de lois locales (adoptées en fin de l'année 2009), et aussi des programmes élaborés par le NYSERDA qui interviennent sur tous les secteurs de l'économie mais surtout l'industrie et le tertiaire. Quant aux pics de consommation, le NYSERDA doit manier la consommation de la population de New York pendant toute l'année car la ville connaît une fluctuation de vague de chaleur alors la population demande plus d'électricité pour le chauffage ou la climatisation.

Ce pas fait par l'Etat de New-York est considéré comme un « start up » dans l'analyse de la consommation en énergie et a permis quelques sociétés de services énergétiques à trouver leurs voies dans le développement des énergies renouvelables, la Californie et le Massachusetts sont maintenant des grands tauliers de la transition énergétique américaine.

c) La transition énergétique belge

La production d'énergie de la Belgique est aussi dominée par les énergies fossiles, la production d'électricité est d'origine nucléaire et thermique (respectivement 37,5% et 38,4%

²³ CHAPPOZ Loïc, *La transition énergétique est en marche aux États-Unis : zoom sur l'État de New York*, Les cahiers de GLOBAL CHANCE, N° 35, Juin 2014

de la production nationale)²⁴, la Belgique dépend aussi beaucoup de l'extérieur pour avoir de l'énergie car elle importe du gaz et du pétrole de 60 millions de tonnes chaque année et emprunte aussi de l'électricité à certains pays européens. Selon le rapport « Planète Vivante » de la WWF publié en 2014, la Belgique serait « *cinquième pays du monde présentant l'empreinte écologique²⁵ la plus élevée par habitant* » à cause de leurs grandes émissions de gaz à effet de serre. Avec tous ces problèmes, le pays a modifié sa politique énergétique.

La première intention de la Belgique est de réduire leurs émissions, cette dernière est également déterminée parmi les objectifs du paquet Climat Energie 2020 mis en place en 2008 par l'UE, une diminution de 20% par rapport au niveau de 1990. Les EnR vont être introduits dans le mix énergétique. L'UE voit grand sur ses objectifs pour ses années à venir :

- La réduction d'au moins 40 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990;
- La participation des énergies renouvelables d'au moins 27 % dans le mix énergétique
- La diminution d'au moins 27 % de l'utilisation d'énergie : l'utilisation rationnelle²⁶ de l'énergie

Cette transition énergétique permet donc à la Belgique une diminution de sa dépendance énergétique qui semble coûteuse et qui en plus de ça fait du pays un « ennemi écologique ».

Section 2 : La production énergétique via les énergies mondiales

En 2012, la part des EnR dans la production mondiale d'électricité atteint plus de 20 %²⁷, sa production est estimée à 4699,2 TWh. La part des énergies fossiles était de 68,1 %, 10,9 % pour le nucléaire, 0,2 % pour la combustion des déchets non renouvelables. Dans cette part de 20 %, l'hydroélectricité a contribué les 78% de la production d'électricité via les EnR,

²⁴ Febeg 2015

²⁵ C'est un indicateur évaluant les pressions qu'exercent les hommes sur les écosystèmes et la capacité de la Terre à se régénérer

²⁶ Il s'agit d'une démarche consistant à consommer moins d'énergie en conservant le même confort

²⁷ Source : Observ'ER

suivie de l'énergie éolienne avec 11,4%, puis la biomasse avec une part de 6,9 %, après l'énergie solaire et la géothermie ayant respectivement 2,5 % et 1,5 %.

Tableau 1 : Structure de la production d'électricité d'origine renouvelable en 2012

Sources	TWh en 2012	% en 2012
Hydraulique	3663,4	78
Eolienne	534,3	11,4
Biomasse	326,2	6,9
Solaire	104,5	2,2
Géothermie	70,4	1,5
Energie marine	0,540	0,01
Total	4447,5	100

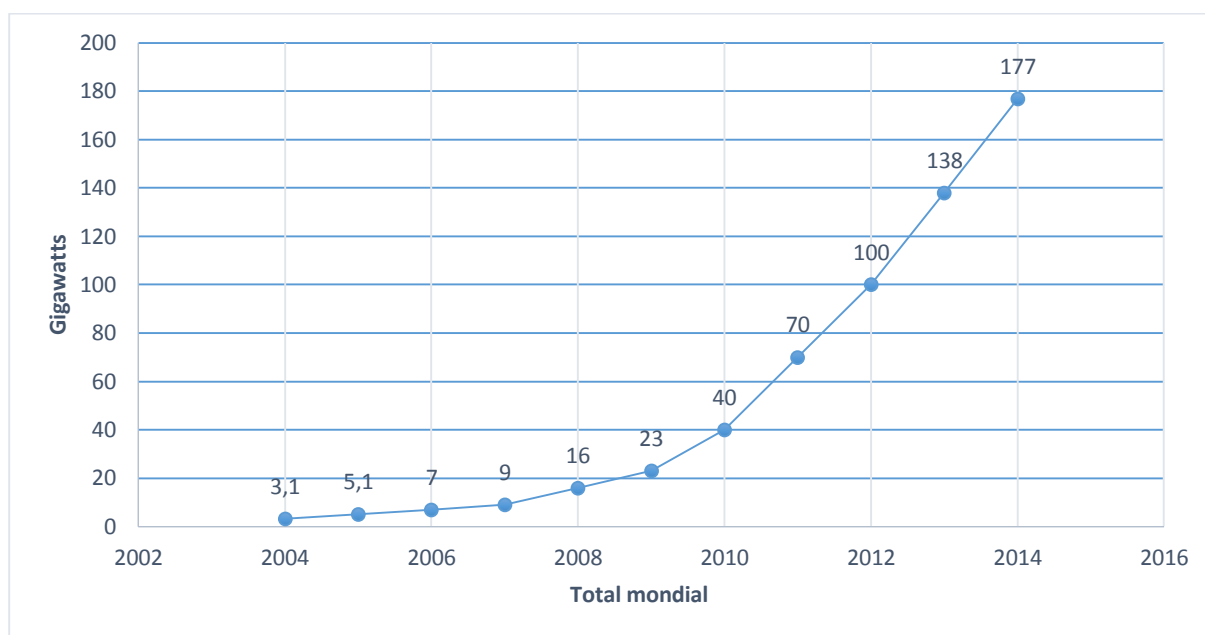
Source : Observ'ER

Fin 2014, cette part de la production électrique des EnR a connu une amélioration car elle atteignait les 22,8 %²⁸ dont 16,6% pour l'hydroélectricité, 3,1% pour l'énergie éolienne, 1,8% pour la biomasse, 0,9% pour l'énergie solaire photovoltaïque et 0,4% pour la géothermie ; dans la consommation finale énergétique, sa part a atteint les 19,1% face aux 78,3% des combustibles fossiles et les 2,6% de l'énergie nucléaires, la biomasse est la plus consommée par rapport aux autres EnR.

L'énergie solaire photovoltaïque gagne de plus en plus de marché et occupe une place importante dans la production d'électricité de certains pays car son coût de production a rapidement baissé, il y avait une installation d'une capacité de 40 GW située principalement en Chine, aux Etats-Unis et au Japon, d'autres pays ont suivi le régime comme l'Amérique Latine.

²⁸ REN21

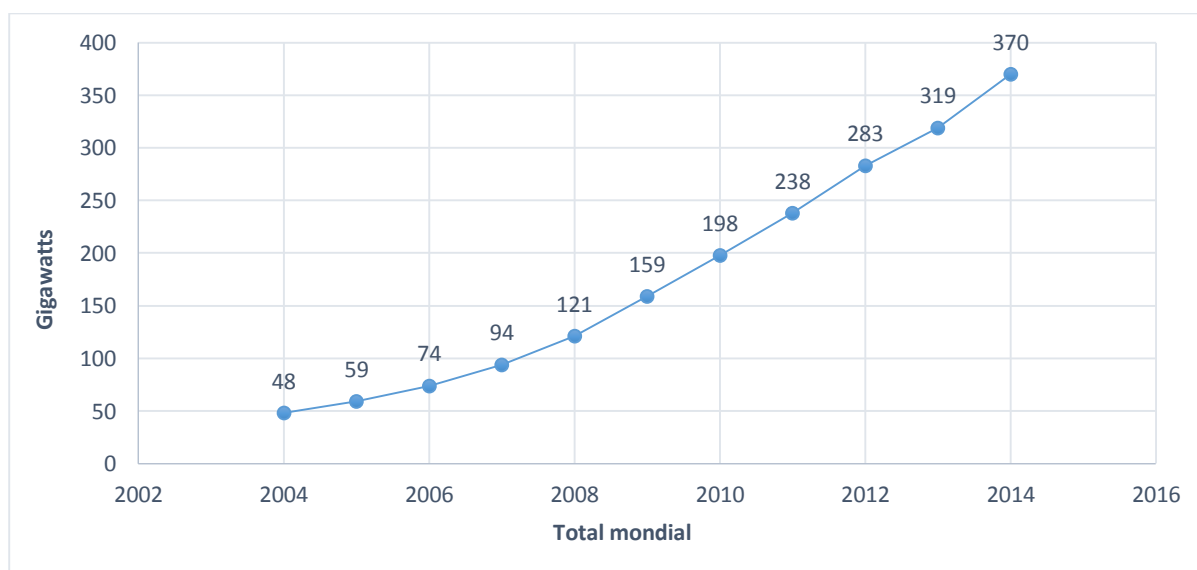
Figure 2 : La capacité mondiale totale d'énergie solaire photovoltaïque



Source : REN21

L'énergie éolienne est quant à elle la plus économique. Il avait un ajout de capacité de 51 GW en 2014 pour un total mondial de 370 GW, de nouveaux marchés se sont apparus en Asie, en Afrique et en Amérique Latine, les Etats-Unis restent le leader en production en électricité tandis que l'Asie a connu le plus grand marché au monde ; l'énergie éolienne a assumé 20% de la demande en électricité dans certains pays comme le Danemark, l'Espagne et le Portugal.

Figure 3 : La capacité d'énergie mondiale d'énergie éolienne

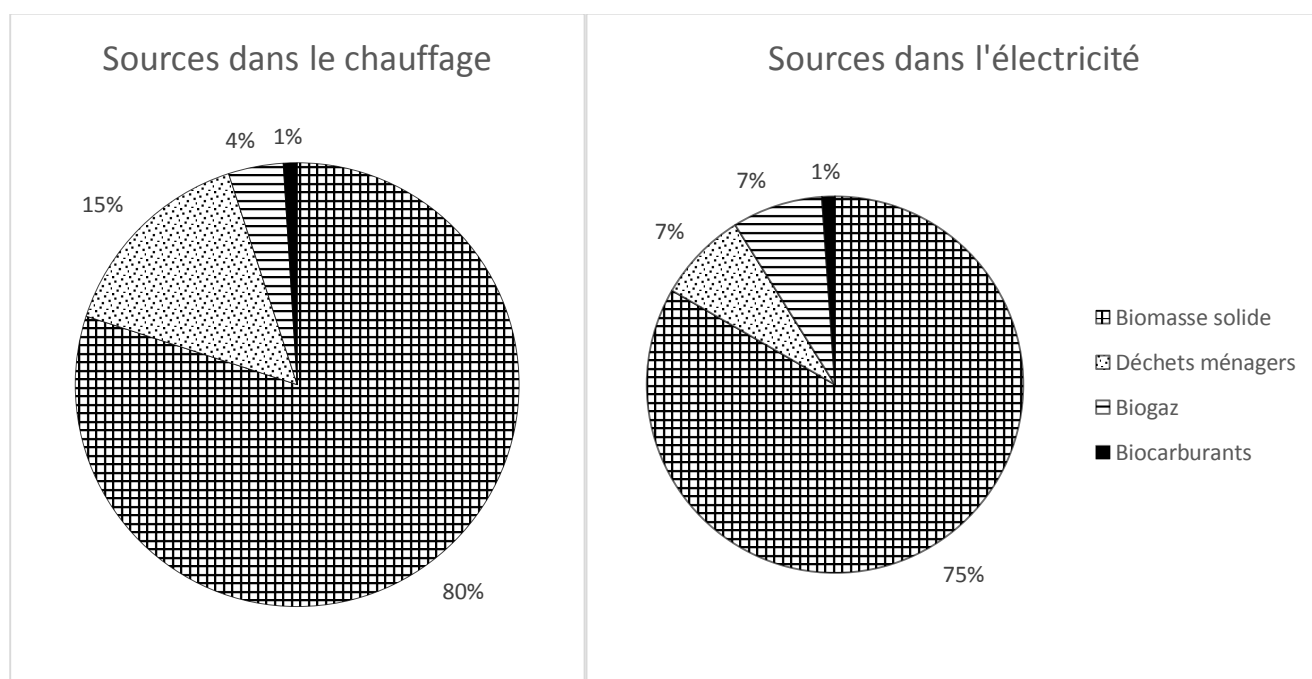


Source : REN21

L'énergie hydraulique est restée la dominante face aux autres EnR, un ajout de 37 GW a été fait en 2014 pour une capacité mondiale de 1055 GW et une production de 3900 TWh. La Chine a eu la plus grande capacité avec 22 GW suivie du Brésil et du Canada ; les industries fournisseurs ont innové les installations pour plus d'efficacité, avec cette amélioration d'efficacité suivie de la baisse des coûts, l'installation d'unité de production de grande taille s'est multipliée

La biomasse est destinée pour le chauffage, l'électricité et le transport. La production mondiale a connu une hausse de 9%, les Etats-Unis et l'Allemagne sont les leaders dans la production d'électricité. La production de biocarburants liquides s'est améliorée de 9% en 2014 et l'Asie avait le plus fort taux de croissance.

Figure 4 : Part des sources de biomasse dans la production mondiale de chauffage et d'électricité



Source : REN21

La géothermie a connu une capacité totale de 12,8 GW en 2014 après l'apport d'une nouvelle capacité de production électrique de 60 MW dont la majorité est installée au Kenya (56%) pour une production de 74 KWh Il est estimé que la capacité de consommation géothermique pour le chauffage est de 1,1 GW_{th} (Gigawatts thermique), la production de chaleur géothermique est estimée à 263 PJ, soit 73 TWh.

Partie II : Les énergies renouvelables à Madagascar

Avec les questionnements sur le changement climatique, la dépendance avec le pétrole, beaucoup de pays ont introduit les EnR dans leurs mix énergétiques, quant à Madagascar, le pays reste passif dans cette exécution, la question énergétique n'est pas une question primordiale pour les dirigeants même si elle suscite aussi beaucoup de questionnements. Cette partie parlera en premier lieu de la situation énergétique de Madagascar surtout en électricité qui évoquera aussi les potentiels en EnR de Madagascar, puis des perspectives de développement des EnR qui se sont manifestées et de leurs résultats.

Chapitre I : Etats des lieux

Le développement des EnR se réside et s'appuie sur une ou des politiques nationales énergétiques élaborées par l'Etat, il s'agit surtout de la mise à jour de cette politique car certaines initiatives n'ont pas été suffisamment exercées. « *La politique, définie en 2004, vise à assurer un approvisionnement en énergie suffisante, de meilleure qualité et au moindre coût. Elle s'inscrit dans les efforts du Gouvernement de réduire la pauvreté et d'atteindre un degré de croissance économique substantiel* »²⁹, elle se base sur des principes tels que la rationalisation de l'utilisation et la consommation en énergie, la promotion d'une consommation responsable, le respect des équilibres écologiques et l'accès aux services que l'énergie procure à la population. La mise à jour de la politique correspond à une mise en cohérence des initiatives relatives à la promotion des EnR.

Cette politique nationale énergétique a besoin de directives claires sur les EnR pour avancer dans ce sens. Il est à noter que « *la mise à jour de cette politique énergétique doit aller de pair avec celle du secteur de l'environnement qui traite de la gestion forestière, du changement climatique, ou encore celui de l'industrialisation* »³⁰.

²⁹ Plan directeur de la recherche sur les énergies renouvelables 2014-2018, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, p. 2

³⁰ *ibid*

Section 1 : Le contexte énergétique

1) Les sources d'énergie :

La population dépend beaucoup des énergies fossiles notamment le charbon, d'une part 77,7% des ménages utilisaient des bois ramassés (ménages ruraux) pour la cuisson en 2012 et 17,1% des ménages urbains utilisent le charbon de bois, d'autre part 81,2% des ménages utilisent le pétrole lampant pour la cuisson. Le bois de chauffe et le charbon de bois constituent les principales sources d'énergie pour la population malgache, le premier représente 86,9% et qui est surtout concentré chez les ménages ruraux, le deuxième représente 47,1% pour les ménages urbains. Ce bois énergie représente 84,2% de l'offre énergétique dont l'approvisionnement est assuré par quelques petits producteurs, il est suivi par les produits pétroliers et l'électricité (respectivement 6,6% et 7% de l'offre). Les EnR ne représentent que 2,2%. Mais l'exploitation du bois entraîne la déforestation, selon la Banque Mondiale en 1992, 1,1 à 1,4 millions de m³ de bois sont utilisés par an dans le pays pour être servis comme source d'énergie.

« La consommation énergétique par habitant est de 0,2 tep/an, parmi les plus faibles du monde, la moyenne mondiale étant de 1,6 tep/an. Elle repose pour le moment essentiellement sur l'utilisation du bois et de ses dérivés, ce qui a fortement contribué à la déforestation : la couverture forestière de l'île a diminué de près de 40 % entre 1950 et 2000 »³¹.

2) L'électricité :

12% des ménages ont l'accès à l'électricité dans le pays dont 4,8% se trouvent dans les zones rurales. 39% des ménages urbains quant à eux y accèdent. En 2006, une puissance totale de 308 MW a été installée qui produit plus de 66% de l'électricité générée par les centrales hydrauliques et centrales thermiques alimentées par du gasoil ou du fuel oil importé. Madagascar dépend beaucoup de l'importation des produits pétroliers qui subissent toujours des fluctuations sur le marché.

Tableau 2 : Les types d'énergie utilisés par les ménages pour l'éclairage

³¹ Fondation Energie pour le Monde, Madagascar Action Plan 2007-2012, *De l'électricité verte pour un million de ruraux à Madagascar*, p. 11

Types d'énergie	Rural		Urbain		Total	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Electricité	155 474	4,8	357 712	39,1	513 186	12,3
Générateur	34 161	1,1	7 618	0,8	41 779	1
Pétrole lampant	2 897 625	88,9	493 835	53,8	3 391 460	81,2
Bougies	104 842	3,2	53 335	5,8	158 177	3,8
Autres	67 238	2,1	4 520	0,5	71 758	1,7
Total	3 259 340	100	917 020	100	4 176 360	100

Source : Ministère de l'énergie et des mines, 2014

La compagnie nationale JIRAMA assure la production d'électricité avec une production de 108 MW, elle fut créée en 1975 pour se charger de la distribution de l'électricité et de l'eau au niveau national à un prix abordable pour les abonnés. Néanmoins, cette compagnie rencontre des lacunes en termes de capacités d'investissement sur son parc de production car le vieillissement ou/et la manque d'infrastructure ne permet plus à la JIRAMA de fournir autant d'électricité à l'ensemble du pays, c'est pourquoi le gouvernement malgache a mis en place « *un cadre législatif attractif pour de nouveaux opérateurs privés d'électricité* »³² en 1999 en votant une loi sur la libéralisation du secteur de l'électricité (Loi 98 032). Depuis, il existe 19 opérateurs privés fournisseurs d'électricité à une quarantaine de communes (à peu près 20% des communes électrifiées) avec une contribution de 22.8 MW. Les objectifs de cette libéralisation sont de développer la production d'électricité, de promouvoir la concurrence, et d'améliorer l'approvisionnement de zones rurales mais surtout d'augmenter de 10% le taux l'électrification en milieu rural après 2010 et d'assurer un mix énergétique en incluant de plus en plus les EnR.

Le Ministère de l'Energie et des Mines s'occupe du secteur électricité et de son développement par le biais des actions menées par 2 directions : la DEER et la DIRMEM. Il existe aussi une agence chargée pour la mise en œuvre de politique pour l'électrification rurale appelée l'ADER, elle a pris ses fonctions en 2005 et sa démarrage s'est faite lentement entre 2006 et 2009, elle intervient dans les zones hors du périmètre d'exploitation de la JIRAMA.

³² *ibid*, p. 12

Tableau 3 : Puissance installée selon les sources d'énergie en 2012

	Réseau JIRAMA		Réseau ADER	
Sources d'énergie	Puissance (kW)	%	Puissance (kW)	%
Termique diesel	345 540	72	3 159	75,2
Hydraulique	127 646	26,6	788	18,8
Eolienne			145	3,5
Solaire	7 000	1,4	14	0,3
Thermique biomasse			94	2,2
Total	480 186	100	4 200	100

Source : Ministère de l'énergie et des mines

Avec les crises politiques subies par le pays en 2002 et 2009, les clients de la JIRAMA ont été victime de délestage fréquent, la compagnie a fait des ajustements tarifaires par rapport à l'augmentation des prix des hydrocarbures afin d'améliorer la qualité de service mais hélas. La situation financière de la JIRAMA s'est dégradée entre 2011 et 2012 notamment causée par une baisse de l'efficacité de la compagnie car il y avait des pertes techniques fréquentes et un faible taux de recouvrement commercial, et par une hausse du prix du pétrole qui alimente les centrales thermiques. Pour se relever, la compagnie doit se recourir aux subventions octroyées par l'Etat (subventions avoisinant les 149 milliards d'Ariary en 2012 et 161 milliards en 2013)³³ afin de payer par exemple les locations des groupes électrogènes, les achats en énergies auprès des fournisseurs privés et les achats des hydrocarbures. La JIRAMA a donc rencontré une faible rentabilité en 2012 et une situation financière délicate, le Gouvernement a dû alors sortir un décret qui mentionne sa participation financière dans le capital social de la compagnie.

La demande énergétique malgache se résume par une demande énergétique pour la cuisson représentée par le bois ou le charbon de bois, quant à l'électricité, peu de ménages y accèdent à cause du manque de raccordement à des réseaux. Malgré ça, la JIRAMA rencontre toujours des problèmes de distribution en électricité liés avec le manque de carburants.

³³ Rapport d'activité 2012 de JIRAMA

Section 2 : Les potentiels en EnR

Il faut noter que l'accès à l'énergie est parmi les enjeux du développement économique et social de Madagascar, « *En matière de développement du secteur de l'énergie, durant ces 15 dernières années les actions du Gouvernement malgache ont porté essentiellement sur les trois points suivants :*

- *L'augmentation de l'accès de la population à l'électricité par une politique centrée sur la participation des communautés bénéficiaires et du secteur privé et sur le développement des sources d'énergies renouvelables.*
- *L'amélioration de l'exploitation, de la transformation, l'utilisation et le commerce du bois énergie.*
- *La refonte du cadre légal et réglementaire régissant le secteur énergie. »³⁴*

Cette refonte consistait à la privatisation du secteur énergie (l'électricité et l'hydrocarbure) comme le cas de la SOLIMA en 2003 avec la privatisation des importations des carburants, la production et la distribution d'électricité étaient libéralisées, les opérateurs privés ont obtenu une concession ou une autorisation et les prix de distribution sont régulés par l'Office de Régulation de l'Electricité. En 2015, le Gouvernement a conçu une NPE avec l'appui de l'EUEI PDF ayant comme objectif principal « l'accès de tous à l'énergie moderne », il y a 3 visions fondées sur cette NPE et parmi ces 3, l'une parle de 3 scénarii énergétiques possibles dont le SE4All. Depuis 2000, le Gouvernement pensait déjà à l'exploitation des EnR lorsqu'il élaborait un plan national d'électrification de 1500 localités rurales basé sur des techniques d'électrification classique accompagnée d'une production d'origine renouvelable afin d'accroître le taux d'accès à l'électricité qui était moins de 5%, mais le plan n'a pas abouti à cause de la crise en 2002. En 2010, les projets d'électrification rurale ne décollaient pas donc ce taux ne s'est pas amélioré, il y avait l'élaboration d'un nouveau plan d'électrification basé sur les EnR, donc selon le Gouvernement, le recours aux EnR de « proximité » améliorera le taux d'accès à l'électricité à Madagascar.

³⁴ GAZULL Laurent, ANDRIATAVY Hary, *Atouts et contraintes de l'électrification rurale décentralisée à partir de biomasse à Madagascar, op. cit.* « HAZAVANA, Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse », Expérience des projets Gesforcom et Bioenergelec à Madagascar, de 2008 à 2015, p. 33

La production en énergie de Madagascar se base alors sur les énergies fossiles, peu de programmes étaient en faveur des EnR même si les ressources sont disponibles et sont « prêtes à être exploitées », cette soit disant désavantage est due au manque de ressources du secteur public pour répondre à la demande énergétique, les ressources financières sont si limitées que le fait d'entamer un investissement reste une idée sceptique. *« Il n'existe pas, pour le moment, de mesures incitatives assez fortes et de données suffisantes sur les gisements énergétiques pour encourager véritablement les investisseurs privés locaux dans cette voie, compte tenu des incertitudes en terme de rentabilité. L'absence de méthodologie pour le montage de programmes d'électrification rurale décentralisée est également un obstacle à la mise en place de projets d'envergure »*³⁵.

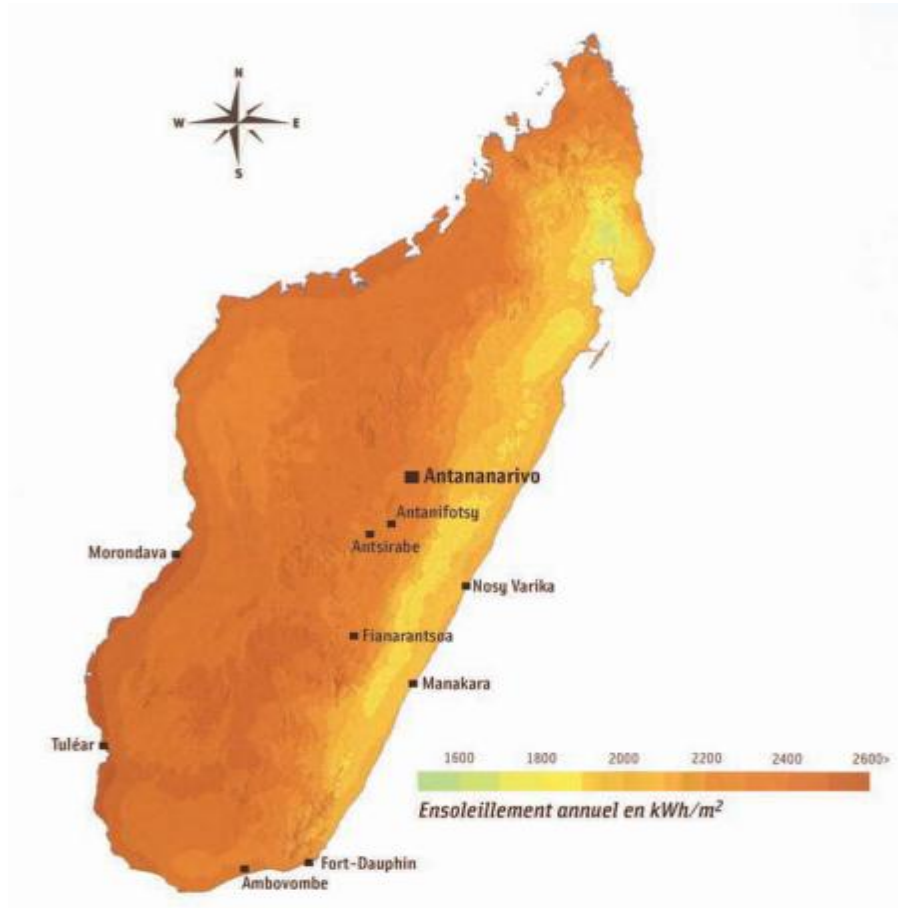
A part les ressources, les compétences sont aussi limitées, les acteurs locaux ne savent pas comment appliquer leurs connaissances sur les EnR et tout concernant l'énergie en milieu rural.

Nombreux sont les études et recherches démontrant que Madagascar possède effectivement des potentiels en quantité ou en qualité pour s'auto suffire énergétiquement.

³⁵ Ibid, p. 13

1) L'énergie solaire :

Figure 5 : Potentiel solaire de Madagascar :



Source : Ministère de l'énergie et des mines

Cette carte d'irradiation montre la présence du soleil et de son réchauffement sur le pays. Elle montre que le potentiel en énergie solaire du pays est important car il dispose un ensoleillement annuel de 2800 heures qui peut apporter 2000 kWh/m², des régions comme Diana, Sava, Sofia, Boeny, Melaky, Menabe, Haute Matsiatra, Amoron'i Mania, Anosy, Androy, Atsimo Andrefana, Vakinankaratra, Bongolava, Atsimo Atsinanana jouissent d'un ensoleillement apportant des rayonnements supérieurs à 5500 kWh/m² ³⁶. L'énergie solaire peut être transformée en énergie électrique par le biais de ces 2 installations suivantes :

³⁶ Source : Rapport de diagnostic du Secteur Energie 2012

- Le solaire photovoltaïque :

Quelques sociétés proposent différentes gammes de produits sur le marché qui sont essentiellement importées, elles fournissent surtout des panneaux solaires, des batteries et les accessoires qui les accompagnent. Comme les installations sont importées, leurs coûts sont souvent élevés et c'est pourquoi beaucoup de gens hésitent encore son adoption. Voici un aperçu des prix d'achat³⁷ des installations solaires :

- Panneaux photovoltaïques silice amorphe de 50 Wc : 700 000 Ar
- Panneaux photovoltaïques de 50 Wc : 1 000 000 Ar
- Batteries de 50 A : à partir de 250 000 Ar
- Régulateur : à partir de 170 000 Ar

- Le solaire à concentration et cuiseur solaire :

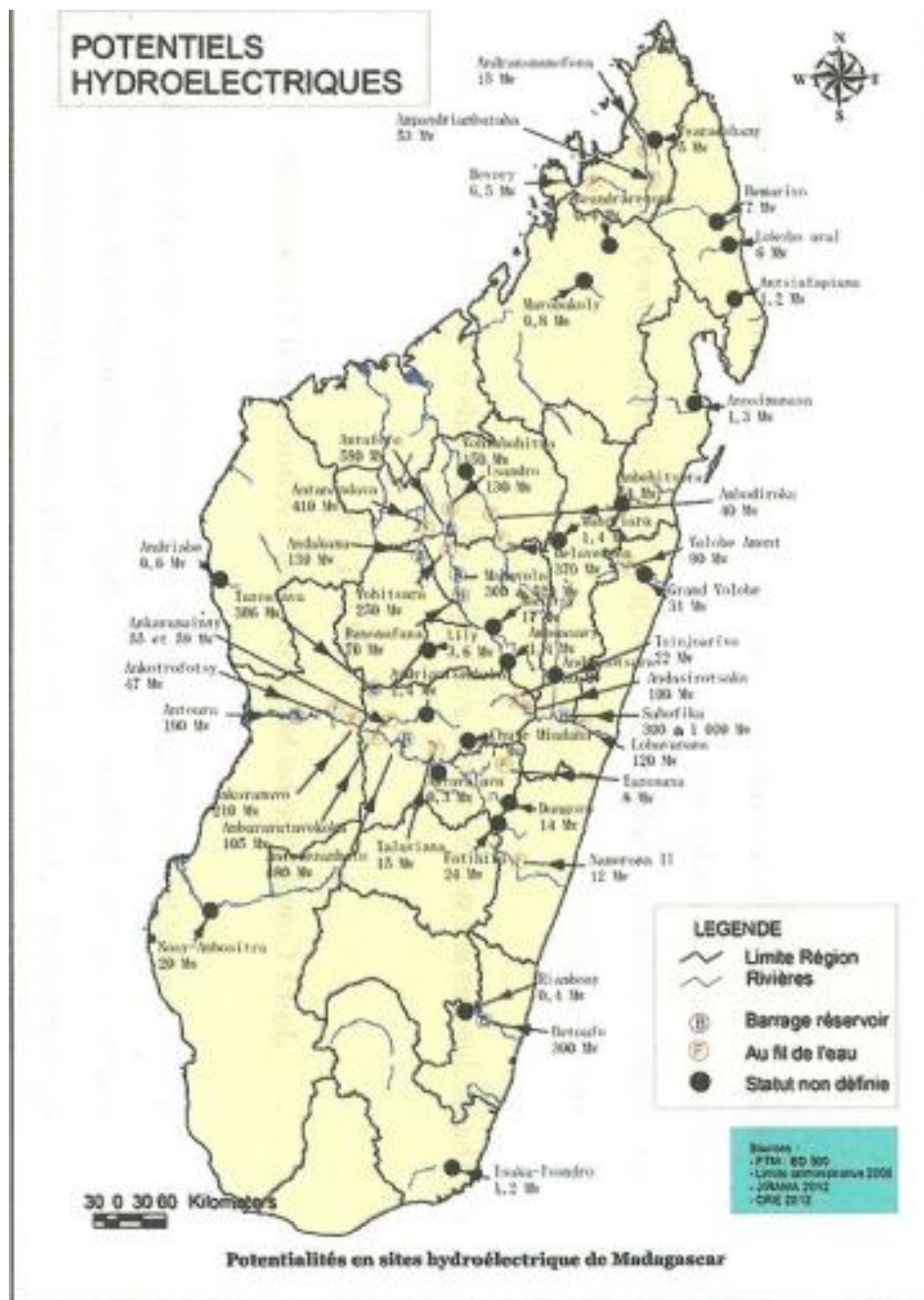
Des cuiseurs et fours solaires sont fabriqués localement à partir de matériaux métalliques importés. « *Un four solaire est une caisse isolée à l'intérieur de laquelle la température peut monter jusqu'à 150° C. 100 fours solaires économisent 720 tonnes de bois de chauffage et une surface de 130 ha de forêts.* »³⁸.

³⁷ Source : RANDRIANARISOA Amédée Mamy Tiana, *Energies durables pour tous*, Friedrich Ebert Stiftung, oct 2003, p. 29

³⁸ Ibid, p. 30

2) L'énergie hydraulique :

Figure 6 : Potentiels hydroélectriques



Source : JIRAMA - Direction de l'Equipement Electricité

Pour l'énergie hydraulique, le potentiel n'est pas tout à fait exploité (seulement 2,5% par la JIRAMA), le premier grand investissement de la JIRAMA dans la construction d'une centrale électrique est celui d'Andekaleka en 1982, elle fait tourner 2 turbines de 29 MW chacune. Un groupement de banques Arabes a financé l'installation d'une troisième turbine

d'une puissance de 33 MW. La JIRAMA a aussi 2 centrales hydroélectriques pour la production d'électricité : la centrale de Sahanivotry exploitée par la Société HYDELEC fournissant une puissance de 16000 kW, et la centrale de Tsiazompaniry exploitée par la Société Henri Fraise et Fils fournissant une puissance de 5400 kW, elles sont en mode IPP ou Independent Power Producer.

Tableau 4 : Production de la JIRAMA entre Janvier et Juillet 2013

Mode de Production de la JIRAMA avec les PRIVES	Production en kWh	%
Thermiques (dont 62,2% JIRAMA)	336 757 427	41
Hydroélectricité (dont 89,38% JIRAMA)	484 556 799	59
Solaire (100% JIRAMA)	4 081	00
TOTAL	821 318 307	100

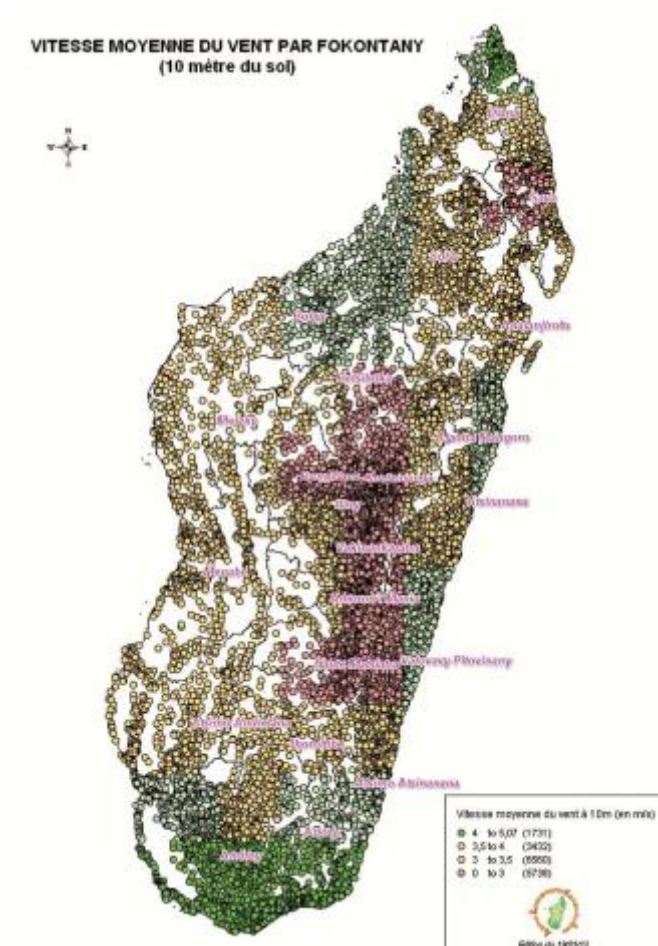
Source : JIRAMA

3) La biomasse :

2 produits issus de la biomasse peuvent substituer certains produits pour l'usage domestique, le bioéthanol par la canne à sucre et l'huile végétale peut remplacer l'essence et être utilisé comme combustible pour la cuisson domestique, le biodiesel issu du *Jatropha curcas* peut alimenter les moteurs après transformation. Grace au Canal de Pangalanes, les jacinthes d'eau peuvent être exploitées comme source du biogaz, les déchets urbains peuvent l'être aussi. En général, la biomasse est rarement exploitée dans le pays mais différents projets ont vu le jour par l'intermédiaire des acteurs sociaux et internationaux et certains ont porté leurs fruits comme ceux dans les régions de Boeny, d'Alaotra Mangoro, d'Anosy et de la Haute Matsiatra.

4) L'énergie éolienne :

Figure 7 : La vitesse moyenne du vent par Fokontany (10 m au sol)



Source : ADER

Pour recourir à l'énergie éolienne, une région ou une localité doivent connaître des vitesses de vent entre 3 m/s et 25 m/s. Grâce aux vents des côtes, aux vents locaux et aux vents provenant des mers et océans, Madagascar connaît un potentiel énorme pour l'énergie éolienne, ces vents se substituent selon le temps, par exemple les vents provenant des océans sont présentes à un certain moment durant la saison d'été, quant aux vents locaux, elles varient selon la journée. La vitesse du vent dans les régions du Nord, Sud et Est peut atteindre les 9 m/s et donc peut fournir une énergie de 2000 MW.

Madagascar rencontre plusieurs avantages naturels c'est pourquoi l'île connaît beaucoup de potentiel en EnR. L'énergie solaire, l'énergie hydraulique et l'énergie éolienne peuvent être intégrés dans le mix énergétique du pays et peuvent beaucoup apporter dans la production d'électricité.

Chapitre II : Les perspectives de développement

Il existe des initiatives venant des opérateurs privés ou de l'Etat malgache pour promouvoir les EnR, voici quelques projets qui montrent que les EnR sont accessibles à tous et que son développement a des réels impacts sur la vie de la population et que les enjeux sont mesurables.

Section 1 : Les projets et les programmes remarquables :

1) Le projet « Barefoot College » du WWF 2013 :

7 femmes âgées ayant aucun niveau d'instruction provenant des villages isolés d'Iavomanitra et de Tsaratanana ont suivi un semestre de formation en Inde avec d'autres femmes venant d'autres pays dans le cadre du développement de la technologie photovoltaïque au sein de Barefoot College de Tilonia. Ces femmes proviennent des régions enclavées sans électricité, des femmes âgées car elles n'auront pas une tendance à quitter leurs villages après la formation qui est fort probable chez les jeunes, et des personnes déscolarisées car les formateurs ont le défi de montrer que ces personnes peuvent contribuer au développement de leurs communautés.

Comme ces femmes n'ont aucun niveau d'instruction, la formation se faisait par mime et elle consistait à ce que les femmes âgées seront capables de démonter des panneaux solaires et de fabriquer des régulateurs efficacement et rapidement. Après 6 mois de formation, elles ont eu un certificat leur permettant d'entretenir des équipements solaires dans leurs villages et elles peuvent donner à leur tour des formations.

Ces 7 femmes ont permis l'installation d'un système solaire individuel des foyers dans leurs villages respectifs, financée par le WWF. Les piles et les pétroles lampants de 13000 à 17000 Ariary payés par mois par foyer sont remplacés par des ampoules à basse consommation de 3000 à 10000 Ariary par mois. Les villageois ont aussi désigné un Comité

d'Electricité pour assurer la bonne gestion de l'électrification du village. Cette électrification a permis l'autonomie du village et a ainsi contribué au développement des activités des villageois.

2) Les premières installations éoliennes de Madagascar :

En 2007 dans un village à 30 km de Diego Suarez appelé Sahasifotra, 66 toits sont illuminés après un effort de 4 ans par le promoteur Mad'Eole avec le financement de ses partenaires techniques et financiers et le soutien de l'ADER et beaucoup des villageois. L'électricité a contribué au développement du village car à part l'activité de pêche qui est l'activité principale, de nouveaux métiers se sont apparus, des personnes ont commencé à réparer des appareils électroménagers, il y a l'apparition des forgerons qui réparent les matériels des paysans, la pêche de nuit s'est aussi favorisée .La lampe à basse consommation a aussi remplacé le pétrole lampant. Ainsi avec le développement des activités, l'exode rural s'est ralenti.

Après le village de Sahasifotra, 3 autres villages ont pu bénéficier du développement de cette énergie :

Tableau 5 : L'électrification des 4 villages

Village	Puissance installée	Nombre de toits	Forfait mensuel	Début électrification
Sahasifotra	15 kW	66	10000 Ar	2007
Ambolobozobe	30 kW	220	10000 Ar	2010
Ambolobolokely	20 kW	150	10000 Ar	2010
Ivovona	15 kW	120	10000 Ar	2010

Source : Mad'Eole

Section 2 : Analyse d'un cas spécifique : L'électrification par la biomasse

Dans cette section, l'analyse se base sur le projet BIOENERGELEC intitulé HAZAVANA Herin'Aratra Vita Amin'ny Zava-Maniry Fandrehitra - ERD par combustion de biomasse. C'est un projet qui va permettre l'électrification de certaines régions isolées à cause des voies de communication et topographies difficiles ainsi que l'amélioration du taux d'électrification de la population malgache, l'électrification stimulera aussi le développement des communautés et c'est l'une des motivations de la CIRAD et de ces partenaires. Ce projet est dû par l'initiative Facilité Energie 1 investie par l'Union Européenne en 2006 et cofinancée par l'ADER et le FED. Le projet aide à la réduction de la pauvreté par le développement de l'accès à l'électrification en priori par la biomasse vapeur. Le défi est d'améliorer les conditions de vie de 6 communes rurales venant de 4 régions : la commune rurale de Didy – District d'Ambatondrazaka, commune rurale d'Andaingo – District de Moramanga, commune rurale de Manerinerina – District d'Ambato-Boeny, commune rurale de Mahaditra – District de Vohibato, commune rurale de Befeta – District d'Ambohimahaso et commune rurale d'Ifarantsa. Voici les principes par lesquelles les interventions du projet se développent :

- « Madagascar dispose d'un important stock en biomasse ligneuse (plantations forestières ou forêts naturelles) dont l'utilisation comme combustible pour la production d'électricité par la mise en place de réseau d'ERD est possible ;
- L'électrification rurale décentralisée fondée sur la biomasse et en particulier sur le bois permet, outre un effet en termes de réduction de la pauvreté commun aux différents systèmes d'ERD, le développement d'une filière locale et d'une activité permanente pour assurer la gestion durable, l'exploitation et le transport de la biomasse jusqu'au site de production de l'électricité ;
- La conversion énergétique de la biomasse locale permet d'obtenir une électricité à un coût très compétitif comparativement aux autres sources d'énergie renouvelables et bien sûr fossiles. »³⁹

³⁹ MONTAGNE Pierre, *Le projet BIOENERGELEC. Objectifs et actions développées dans les 5 sites d'intervention*, op. cit. « HAZAVANA, Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse », Expérience des projets Gesforcom et Bioenergelec à Madagascar, de 2008 à 2015, p. 29

1) L'ERD par la biomasse :

a) Les ressources en biomasse abondante :

Madagascar connaît quelques atouts dans le milieu de la biomasse, les promoteurs et investisseurs peuvent jouir des ressources foncières abondantes, de la diversité des climats et des cultures, etc... Il existe alors 3 types de biomasse valorisables potentiellement :

- Les résidus agricoles de primaires et secondaires de culture issus des processus de transformation comme les balles de riz et les diverses coques, ces ressources peuvent être valorisées pour fournir de l'électricité, de la chaleur domestique ou artisanale.
- La biomasse forestière représentée par des forêts naturelles gérées durablement ou de plantations forestières à but énergétique, son développement passe par une gestion durable des ressources et par de nouvelles plantations, ces plantations sont estimées à 300000 ha⁴⁰ dont 50% de pins et 50% d'Eucalyptus. La biomasse forestière est prise en compte en tant qu'utilisation domestique dans les politiques énergétiques actuelles.
- Les résidus de scierie et des charbonnières des copeaux de bois, de scierie de bois brut et des déchets de carbonisation de charbon conditionnés en forêts.

b) Les coûts de production sont théoriquement faibles :

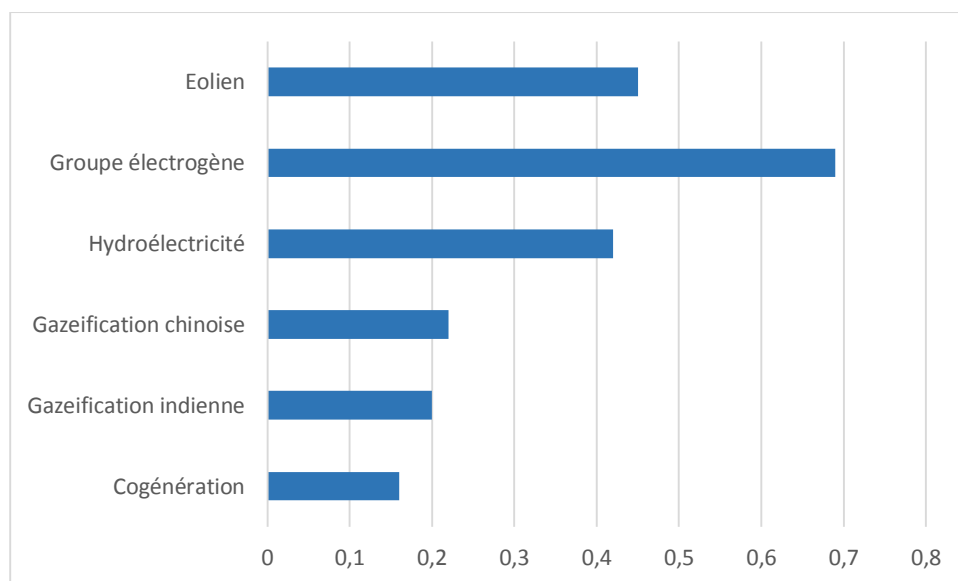
Il y a 2 grands types de technologie biomasse :

- Les centrales à biomasse cycle vapeur associées à une chaudière et un moteur à vapeur
- Les centrales électriques à biomasse à gazéification couplées à un moteur dual fuel

Ces 2 technologies produisent de l'électricité à des coûts inférieurs par rapport aux autres technologies disponibles à Madagascar, surtout par rapport aux centrales groupes électrogènes fonctionnant au gasoil selon les calculs de l'ADER (même si les coûts d'investissement sont 2 à 3 fois plus chers). Les installations peuvent être aussi installées au cœur des villages, les centrales hydroélectriques nécessitent une infrastructure de transport de l'énergie générant un coût d'investissement supplémentaire.

⁴⁰ Source : IEFN

Figure 8 : Coût de production prévisionnel des installations biomasse en USD/kWh en comparaison des autres technologies disponibles :



Source : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

c) Les forces des installations ERD à biomasse :

Les installations ERD à biomasse ont des caractéristiques avantageuses vis à vis de la communauté et par rapport aux autres installations.

- Les installations sont des « solutions » de remplacement aux énergies fossiles afin de sortir de leur dépendance car elles dominent beaucoup le marché, le diesel est largement le plus utilisé (à 68%⁴¹), « la valorisation des ressources renouvelables permet de (1) substituer jusqu'à 62% les besoins en gasoil d'une centrale thermique utilisant un gazogène en mode dual fuel, et (2) d'économiser plus de 10000 litres de gasoil par an dans le cas d'une centrale à vapeur. »⁴².
- Elles permettent le développement des chaînes de valeurs locales. Les installations ERD biomasse vont produire de l'électricité, l'électricité stimulera le développement et va enrichir la communauté et la région, et les installations nécessitent la mise en place d'une filière d'approvisionnement de biomasse bois qui est source de richesse en

⁴¹ Source : ADER, 2012

⁴² MONTAGNE Pierre, *Le projet BIOENERGELEC. Objectifs et actions développées dans les 5 sites d'intervention*, op. cit. « HAZAVANA, Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse », Expérience des projets Gesforcom et Bioenergelec à Madagascar, de 2008 à 2015, p. 38

amont car des activités sont créées et établies pour sa mise en place. Ce double facteur de richesse est propre à l'ERD biomasse et non chez les ERD des autres EnR⁴³.

- Leur durée de vie est souple car elles durent entre 10 à 20 ans pour un fonctionnement normal.
- Les combustibles sont à moindre coûts, les combustibles renouvelables tels que la biomasse ont des coûts minimes. Les combustibles coutent environ entre 7 à 50 Ar/kWh pour le gazogène à moteur dual fuel et 91 Ar/kWh pour la chaudière à bois avec moteur à vapeur contre 369 à 499 Ar/kWh pour le gasoil. Ces coûts minimes sont dus à la disposition de l'approvisionnement.
- Les coûts de revient théoriques du kWh sont moins chers que ceux des générateurs diesels, les coûts de revient prévisionnels du kWh dans les conditions du fonctionnement des centrales sont estimés à 800 Ar/kWh et 1200 Ar/kWh respectivement pour le gazogène et la chaudière. Les coûts prévisionnels de la centrale thermique diesel en zone rural sont entre 1495 à 1955 Ar/kWh⁴⁴.

d) Les problèmes rencontrés :

Des problèmes se posent lors de la mise en place des installations et pendant leurs exploitations

- Le coût d'investissement des EnR est élevé, pour l'installation de l'ERD biomasse, les coûts s'élèvent à 1000 €/kW environ pour le gazogène et 2000 €/kW pour la centrale à vapeur. Cette hausse est expliquée par le fait que les équipements et matériels nécessaires aux installations sont importés, les coûts sont alors 2 à 3 fois supérieurs que ceux d'une centrale thermique diesel, les opérateurs locaux auront alors besoin d'aide publique afin d'investir correctement.
- En plus des importations des matériels, les technologies ne sont pas maîtrisées localement. Il n'y a pas de représentants locaux des fabricants de pièces pour apprendre à maîtriser les machines, il existe des pièces détachées fabriquées localement et réparent les matériels mais peu fiables et à une durée de vie courte.

⁴³ GESFORCOM, 2012

⁴⁴ ADER, 2012

- Il y a une inadéquation entre le service et la demande des consommateurs sur la distribution d'électricité qui entraîne de vive tension entre opérateurs et consommateurs et fait hésiter les clients potentiels à s'abonner.
- En pratique, les ressources sont parfois peu disponibles, les gazogènes en service sont alimentées par des balles de riz, la disposition des balles de riz sont en fonction des saisons. Pour la centrale à vapeur, elle est alimentée par du bois de plantation d'Eucalyptus et de résidus de scierie. L'approvisionnement peut être petit à cause de la concurrence avec le marché de bois de chauffe et du charbon de bois, il ne peut se faire alors que par des plantations ou des zones de gestion forestière certifiées durables par l'administration forestière.
- Avec les problèmes d'approvisionnement, les problèmes de pièces détachées et la lourdeur des investissements, les coûts de revient de l'exploitation s'élèvent donc se répercutent sur les coûts de production et de vente d'électricité.

2) Le développement des communes cibles et le choix de l'ERD :

a) Le choix des communes cibles :

Ces communes ont été choisies pour divers critères liés à l'abondance des intrants tels que l'eau et la biomasse et des perspectives de développement économiques et des activités artisanales.

- Dans ces zones ciblées, l'approvisionnement pour la biomasse est disponible, les balles de riz sont abondantes, il y a des végétations naturelles en gestion durable, la disponibilité annuelle de la quantité nécessaire et la distance de transport est non longue.
- Il existe surtout une demande solvable potentielle en énergie électrique surtout une demande artisanale, les artisans ont besoin d'électricité pour le décorticage des paddy, pour le sciage du bois d'œuvre et menuiserie,...
- L'installation d'une unité de cogénération est possible, les zones sont accessibles (bonne état des routes) donc le transport des matériels ne sera pas compliqué, elles sont près des réseaux de distribution et les sites en une disponibilité en eau.

Certaines des régions ont une disponibilité en Eucalyptus (sous forme de surface de plusieurs hectares de plaine rizicole, de grand massif forestier), riches en *Ziziphus mauritiana* ou *mokonazy*, qui peut assurer l'approvisionnement des ERD biomasse.

b) La biomasse comme agent de développement :

Le but du projet n'est pas seulement de fournir de l'électricité aux ménages ou d'apporter de l'électricité pour éclairer les villages mais aussi permettre aux ménages de leur donner une possibilité de créer un grand nombre d'activité génératrice de revenu qui peut arrêter les problèmes que rencontrent les communes tels que l'exode rural, la manque de commerçants et des petites services, les ateliers mécaniques,

Le fait d'offrir une fourniture d'électricité adaptée aux besoins des acteurs économiques renforce le développement des activités économiques locales, pour un développement local par la mise en place d'un ERD, l'énergie électrique est fournie toute la journée et à un coût abordable pour chaque type de consommateur mais aussi en quantité suffisante pour répondre au mieux les besoins de la population incluant les acteurs économiques locaux. Les centrales électriques utilisant le diesel ne fonctionnent que de 17 à 21 heures, cette durée de fonctionnement est expliquée par le coût élevé du diesel, son prix en 2014 est de 1300 à 1800 Ar/kWh, il y aussi la variation de charge sur le réseau, la puissance électrique appelée avant 17 heures et après 21 heures 30 est inférieure à la puissance appelée à l'heure de pointe, cette faible consommation à ces horaires fait augmenter le coût de production car la production s'accompagne d'une augmentation de consommation spécifique en diesel, c'est pourquoi les centrales ne fonctionnent pas. Donc la centrale à combustion biomasse produit de l'électricité à un coût inférieur, il existe un gisement de biomasse disponible à bas coût de production et à bas coût de mobilisation comparée au coût du gasoil dans les communes.

Tableau 6: Comparaison entre centrale électrique à partir de diesel et centrale électrique à partir de biomasse

ELEMENTS	CENTRALE ELECTRIQUE A PARTIR DE DIESEL	CENTRALE ELECTRIQUE A PARTIR DE BIOMASSE
CAPACITE DE PRODUCTION ELECTRIQUE (KWE)	20	70
PERIODE FONCTIONNEMENT PAR JOUR	17h30 - 21h30	6h – 23h
TYPES DE SERVICES ENERGETIQUES	Alimentation discontinue pour : - Eclairage public - Electricité domestique pour les ménages raccordés - Commerçants et restaurants pour la réfrigération des boissons - Activités sociales, religieuses et culturelles - Entreprise de service de rechargement de batteries électriques	Alimentation quasi continue pour : - Eclairage public - Electricité domestique pour les ménages raccordés - Commerçants et restaurants pour la réfrigération des boissons - Activités sociales, religieuses et culturelles - Entreprise de service de rechargement de batteries électriques - Production de force mécanique par entraînement de moteurs électriques des ateliers de transformation des produits - Unités de décortilage de paddy, atelier de sciage et de séchage de bois d'œuvre, des menuiseries, ateliers mécaniques,...

Source : Bertrand A., CHAIX G., PINTA F.

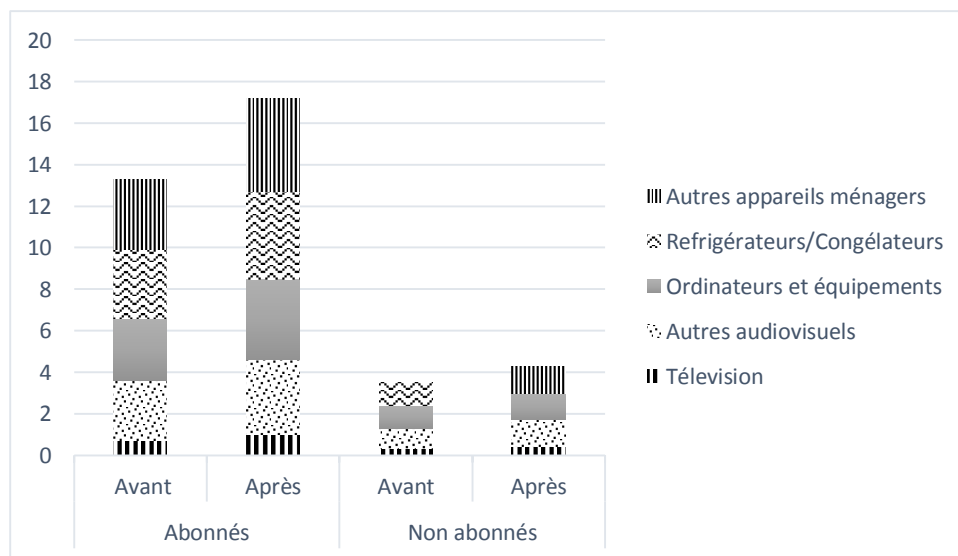
3) Les effets de l'ERD biomasse vapeur sur les ménages de la commune rurale d'Andaingo :

Le projet GESFORCOM a permis l'installation d'une centrale thermoélectrique à biomasse dans la commune rurale d'Andaingo (non loin de la commune de Didy), l'objectif du projet est aussi de réduire la pauvreté en fournissant de l'électricité. Il est à noter que les données qui vont être présentées sont toutes tirées de l'ouvrage « *HAZAVANA, Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse* », Expérience des projets Gesforcom et Bioenergelec à Madagascar. Les résultats ont été eus par la comparaison entre les ménages qui sont abonnés au réseau d'électricité et ceux qui ne le sont pas.

a) Les changements dans les ménages électrifiés :

Le plus grand changement constaté au niveau des ménages est l'amélioration du confort et des loisirs car la plupart des ménages a acquis de nouveaux équipements et leur utilisation fréquente est possible.

Figure 9 : Nombre moyen d'appareils électriques par ménage avant et après l'électrification



Source : ANDRIAMIARILANTO L. H. H., 2015

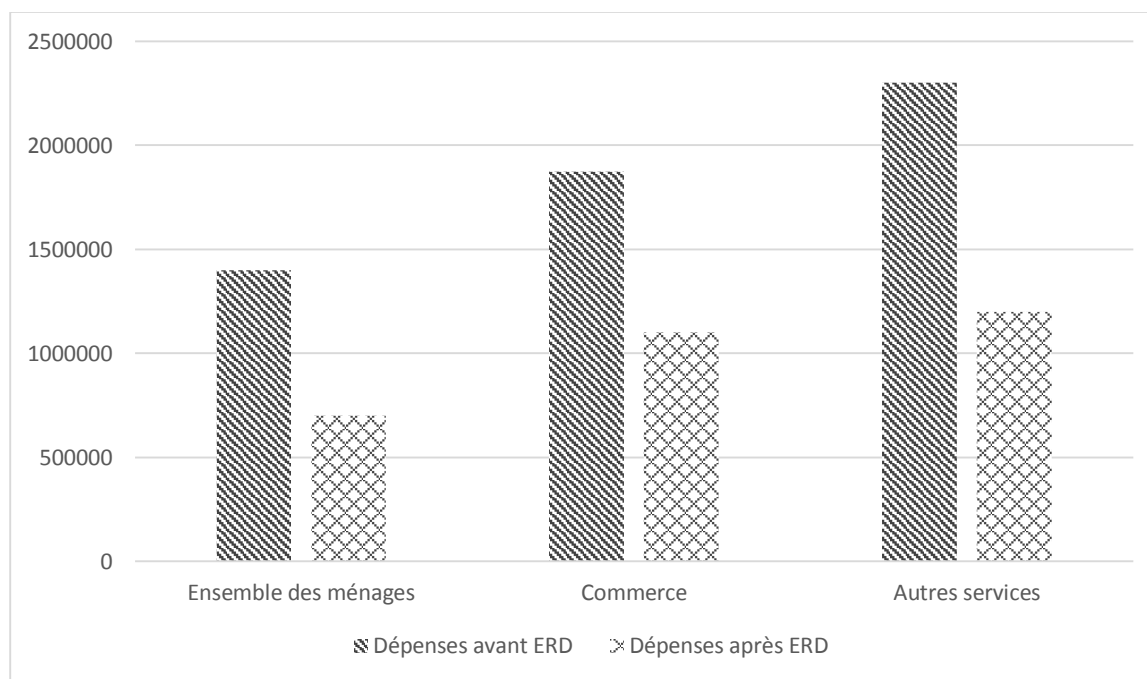
- 19% des ménages ont fait des économies en dépense d'énergie grâce à cette ERD biomasse.

- 16% des ménages ont amélioré leurs activités génératrices de revenu, la qualité de l'éclairage diminue les dépenses en énergie et permet d'attirer les clients pour le bonheur des épiceries et des restaurants.
- 8% des ménages affirment que l'électricité favorise les travaux scolaires des enfants pendant la soirée (amélioration du rendement scolaire)
- 5% des ménages ont développé d'autres activités comme la coiffure, la vente de glace,...

Les ménages qui se sont abonnés au réseau possèdent en moyenne 3 appareils électroniques contre 1 pour les ménages qui ne se sont pas abonnés. Tous ces ménages ont maintenant une télévision, certains ont pu se procurer d'ordinateur, de réfrigérateur, les ménages non abonnés n'ont pas évolué de leur côté. L'électrification a provoqué un changement de comportement au sein des ménages, leurs habitudes quotidiennes changent. Avant, 38% des ménages seulement regardaient la télévision tous les jours et un grand nombre en regarde une à 2 fois par jour, après l'installation ERD biomasse, en 2015, 80% des ménages abonnés ayant une télévision l'utilisent tous les jours.

b) Les impacts sur les dépenses énergétiques :

Figure 10 : Evolution des dépenses énergétiques des ménages électrifiés selon l'activité principale du chef de ménage



Source : ANDRIAMIARILANTO L. H. H., 2015

Pour les ménages abonnés au réseau ERD biomasse, les dépenses moyennes en énergie sont estimées à 1366000 Ar avant l'ERD, après il y a une baisse totale de 47%, les dépenses sont de 720000 Ar. L'accès à l'électricité a, soit disant, permis une diminution du coût du service énergétique, les coûts faibles des sources d'énergie comparés aux ceux d'auparavant expliquent le phénomène.

Les ménages qui font les plus grandes économies sont les gros consommateurs, il s'agit des ménages qui gèrent le commerce comme les épiciers, les restaurateurs, et les activités de multiservices comme la projection de vidéo, la photocopie. Avant ils faisaient des achats de carburant, leurs dépenses moyennes en énergie étaient de 2 millions d'Ar environ, et après l'ERD ils ont fait des économies de 49 à 53% (soit une baisse d'1 million d'Ar environ).

4) Recommandation sur l'ERD biomasse vapeur :

6 communes ont été ciblées par le projet d'ERD biomasse mais seulement 3 seulement ont pu être équipées des installations (Andaingo, Manerinerina, Didy), les autres communes ont rencontré des problèmes d'approvisionnement et des défaillances de fournisseurs des matériels.

Il faut bien souligner le contexte de maintenance des installations qui est souvent le problème des installations à Madagascar surtout lorsque les équipements et pièces sont importés, il y a des opérateurs d'ERD ayant des ingénieurs électromécaniciens qui ont reçu une formation au Brésil sur la maintenance des machines (vu que les fournisseurs sont des brésiliens). Il y a aussi des groupes de gestionnaires privés qui assurent la maintenance des machines et les relations avec les réseaux des fournisseurs de pièces, ils partagent aussi des expériences. Ces ingénieurs provenant des opérateurs d'ERD ou les privés doivent partager et répandre le plus loin possible leurs formations pour que, dans chacune des communes rurales, il y aura un ou plusieurs ingénieurs.

Ces gestionnaires privées doivent aussi prendre en main la maintenance des installations car ils ont les connaissances nécessaires pour leurs gestions, et d'assurer l'approvisionnement en pièces et d'autres besoins des machines des futures installations.

Le projet de BIOENERGELEC à Andaingo a montré réellement les impacts d'ERD par la biomasse sur la communauté, l'ADER et les opérateurs doivent continuer sur cette lignée, miser sur la biomasse pour offrir de l'électricité dans les communes rurales et partager l'information sur les possibilités qu'offrent les installations d'ERD biomasse.

Les installations sont rentables, elles renforcent la viabilité financière du système. Comme le coût de production de l'électricité est raisonnable, l'ERD biomasse peut attirer beaucoup de clients surtout les artisans pour l'amélioration de leurs activités. Et comme le nombre de client augmente, les recettes le sont aussi, alors « *il faut donc inciter les gestionnaires à créer des unités productives ou à vendre l'énergie à des artisans de la place.* »⁴⁵.

Ainsi, l'ERD par la biomasse apporte aussi beaucoup de chose pour les ménages, à part l'électricité, des activités connexes avec l'ERD vont apparaître pour assurer le bon fonctionnement du réseau. Malgré les couts d'investissement élevés, les installations ont des couts de production bas par rapport à celles des énergies fossiles et les ménages abonnés feront des économies.

⁴⁵ MONTAGNE P. et al *L'ERD biomasse vapeur : Quelles conclusions et recommandations ?*, op. cit.
« HAZAVANA, Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse », Expérience des projets Gesforcom et Bioenergelec à Madagascar, de 2008 à 2015, p. 143

CONCLUSION

La production énergétique via les sources d'énergie primaires dites fossiles accélère l'effet de serre de la planète, cette accélération dégrade la situation écologique et cause le changement climatique, ce changement se traduit par un réchauffement global et des variations météorologiques entraînant des catastrophes qui entraînent aussi des dégâts. L'adoption des EnR est une option dans la substitution avec les énergies fossiles polluantes et devenues imposantes, sa contribution ne se résume qu'à 20% de la production donc ce contexte peut être un facteur de leur développement, des pays développés en partie responsable de la majorité des émissions ont commencé leurs transitions énergétiques en incluant de plus en plus les EnR dans leurs mix énergétiques. Ce contexte écologique n'est pas encore la préoccupation de Madagascar même si le charbon et le pétrole lampant tiennent encore une place dominante, le pays tente d'augmenter son taux d'électrification qui se limite à 12% par le fait de fournir de l'électricité à la population surtout dans les zones rurales enclavées ; par rapport aux EnR, Madagascar connaît un énorme potentiel ; fournir de l'électricité est une des priorités de l'Etat pour le développement national car l'électricité améliore les activités des ménages .

L'exploitation des EnR conduit à plusieurs enjeux : sur l'environnement, elles réduisent la pollution dues au transport et à l'utilisation du pétrole ; sur la société, l'électrification offre des meilleures conditions de vie aux ménages, que ce soit au niveau de l'éducation, au niveau de la sécurité, au niveau de la santé et facilite l'accès à l'information ; sur l'économie, l'électrification par les EnR développe de nouvelles activités avec la présence continue de l'électricité, elle peut créer d'autres emplois liés à l'entretien et à la bonne gestion des installations et surtout, elle réduit la facture énergétique car le coût de l'électricité d'origine renouvelable est inférieur à celui fourni par les installations alimentées par des carburants. Le développement des EnR peut être avantageux pour les pays comme Madagascar qui jouissent des avantages climatiques et naturels, les régions du Nord au Sud, de l'Est à l'Ouest ont tous le potentiel en EnR mais leur développement est limité par leur coût d'exploitation élevé. Les opérateurs doivent être soutenus financièrement car c'est ce qui les empêche toujours d'investir, l'Etat malgache doit s'organiser pour attirer les coopérations afin d'accorder au pays des conventions qui vont financer les projets sur les EnR, une des conventions notable est celle du Fonds d'Energies Durables pour l'Afrique qui a permis une subvention d'un million de dollars US pour soutenir le montage d'un projet d'EnR sur l'île de

Nosy Be, l'Etat peut aussi recourir au mécanisme de développement propre (MDP), comme Madagascar a ratifié le protocole de Kyoto, il va attirer les soutiens des pays industrialisés qui vont poursuivre leurs obligations de réduire les émissions de gaz à effet de serre en soutenant les pays en développement ayant pas d'objectifs quantitatifs de réduction. L'Etat doit aussi diminuer les droits de douanes sur les produits et les matériels liés à l'exploitation des EnR car malgré le prix des équipements qui est élevé (accompagné du contexte où les équipements sont importés et que les opérateurs locaux doivent investir en monnaie étrangère), les exonérations le sont aussi et vont alourdir le coût d'exploitation.

A part le faible taux d'électrification, la distribution d'électricité suscite encore des questionnements au niveau national, pourquoi les coupures d'électricité subsistent elles toujours et pourquoi la compagnie et les responsables ne trouvent pas de solution durable à ce problème. Ces coupures sont souvent liées à l'insuffisance du carburant pour alimenter les centrales thermiques. Les EnR pourraient être une solution pour résoudre en premier lieu la dépendance en carburant importé et supprimer le fameux « délestage », en second lieu cette alternative montrerait si les coupures sont vraiment causées par l'insuffisance de carburant ou existe-t-il un blanchiment sur les sites, il est alors nécessaire de se poser si, à elles seules les EnR permettraient d'offrir de l'électricité à toute la population?

Bibliographie

➤ Ouvrage :

- CHEVALIER J.-M., (2009), « Les 100 mots de l'énergie », Que sais-je ?, PUF, 120 pages
- CLEMENT D. et PAPON P., (2010), « Vers une énergie durable ? », Edition Le Pommier, 366 pages
- MONTAGNE P. et al, (2009), « HAZAVANA, Electrification Rurale Décentralisée par Combustion de Biomasse », Expérience des projets Gesforcom et Bioenergelec à Madagascar, de 2008 à 2015, 146 pages
- PERTHUIS C., (2006), « Le changement climatique », Idées Reçues, Le Cavalier Bleu, 127 pages
- VERNIER J., (2009) « Les énergies renouvelables », PUF, 128 pages

➤ Article :

- *Perception des tournants énergétiques allemands dans les pays émergents*, Konrad Adenauer Stiftung, 2013
- CHAPPOZ L., (2014), *La transition énergétique est en marche aux Etats Unis : Zoom sur l'Etat de New York*, Les cahiers de Global Chance N°35
- RANDRIANARISOA Amédée Mamy Tiana, (2003), *Energies durables pour tous*, Friedrich Ebert Stiftung,
- SACKO Issa, *Analyse des liens entre croissance économique et consommation d'énergie au Mali*, CERFOD - FSJE - Université du MALI
- VONINIRINA Amélie et ANDRIAMBELOSOA Saminirina, (2014), *Etude sur l'énergie à Madagascar*, Centre de Recherche, d'Etudes et d'Appui à l'Analyse économique à Madagascar

➤ Documents et rapport :

- *De l'électricité verte pour un million de ruraux à Madagascar*, Fondation Energie pour le Monde, Madagascar Action Plan 2007-2012
- *L'offre et la demande d'énergie : tendances et perspectives*, Les forêts. et l'énergie, 2007

- Plan directeur de la recherche sur les énergies renouvelables 2014-2018, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique :
- Rapport Sur Le Statut Mondial Des Energies Renouvelables 2015, REN 21, 2015, 32 pages

➤ Webographie :

- engie.com/innovation-transition-energetique/comprendre-transition-energetique/
- ideas4development.org/chine-une-transition-energetique-sobre-en-carbone/, 30 avril 2015
- killmybill.be/fr/comprendre-transition-energetique/

Annexes

Annexe 1: Tableau de comparaison entre énergie renouvelable et groupe électrogène

	Centrale solaire	Groupe électrogène
Puissance installée	10 kWc	12 kVA
Coût d'investissement (hors réseau)	80000 €	5000 €
Coût d'entretien/maintenance (hors coûts de personnel, comparable pour les 2 types de systèmes et hors coût de renouvellement des composants)	600 €/an	5000 €/an

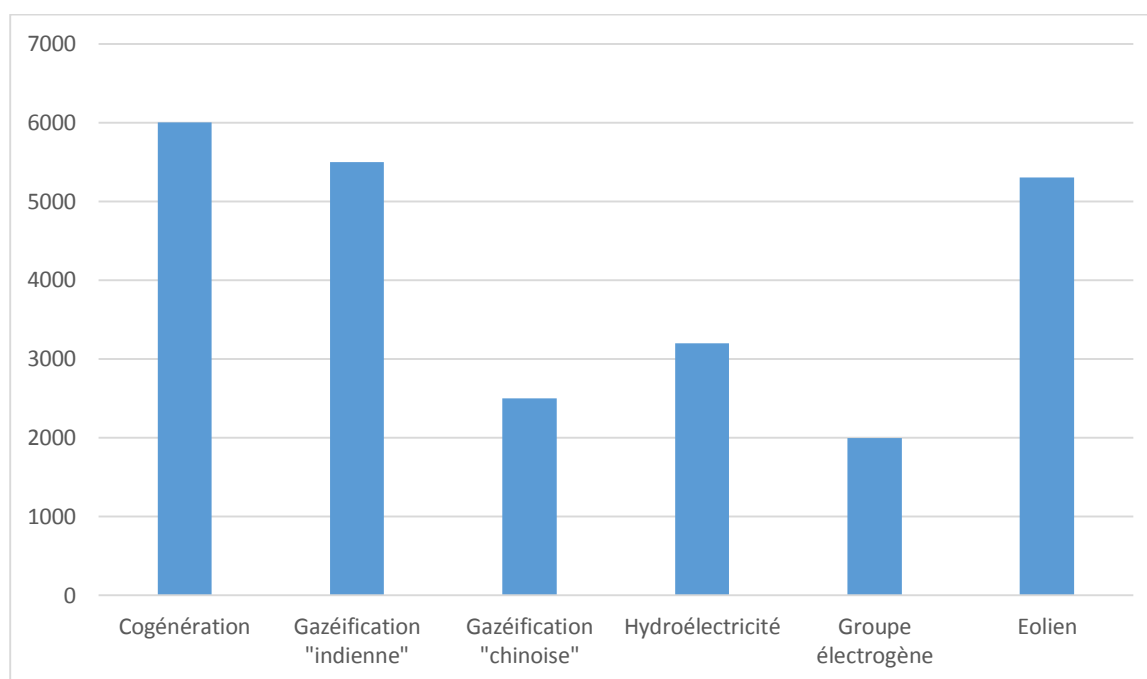
Source : Fondation énergie pour le monde, 2008

Annexe 2 : Tableau sur la consommation d'énergie par secteur de Madagascar entre 2004

	Moyenne 1994 - 2004
Ménages	62,8%
Secteur primaire	0,1%
Secteur secondaire	8,6%
Secteur tertiaire (dont électricité)	28,6% (10,7%)
Total	100%

Source : Bilans énergétiques/ Direction générale de l'Energie

Annexe 3 : Graphe sur le coût d'investissement prévisionnel des installations « biomasse » (en USD/kW installé HT) en comparaison des autres technologies disponibles



Source : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

Annexe 4 : Tableau sur la puissance installée pour l'électrification rurale (Réalisation de 2004 à 2012)

Mode de production	Puissance installée en kW	%
Groupe électrogène	3159	75,2
Hydroélectricité	788	18,8
Eolienne	145	3,5
Biomasse, bagasse	94	2,2
Solaire	14	0,3
Total	4200	100

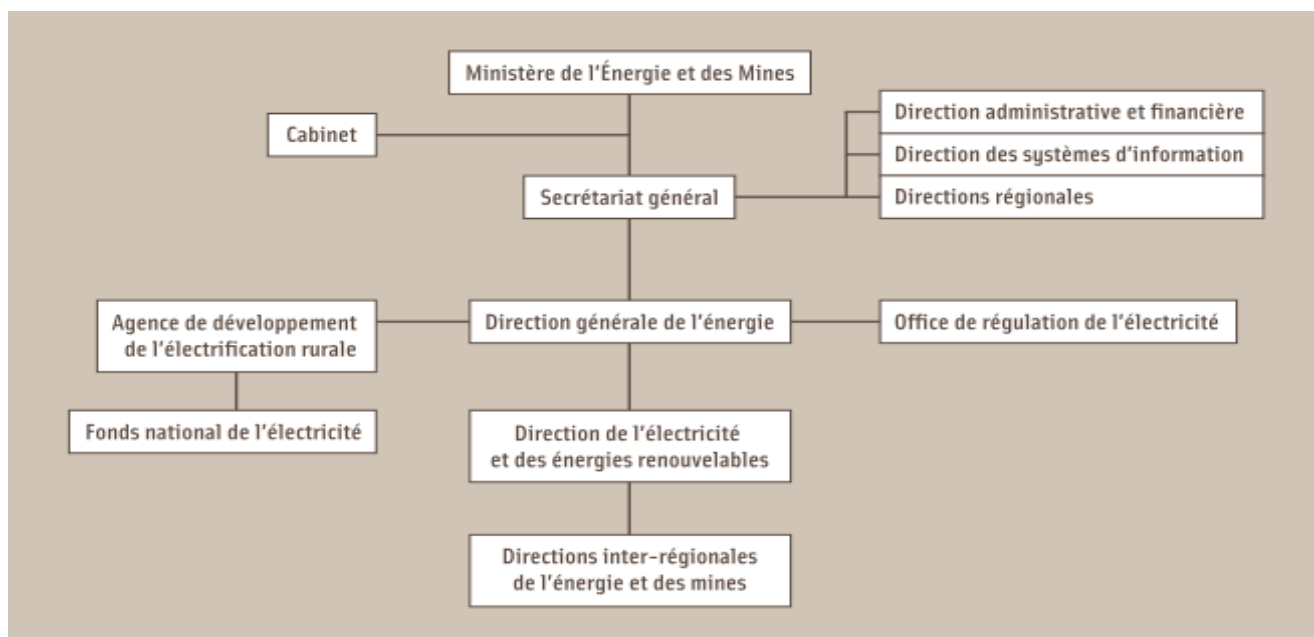
Source : ADER

Annexe 5 : Tableau sur les coûts de production des différents types d'installation

Coût de production	Andaingo	Anjiajia	Bejofo	Le Relais	Référence
Type d'installation	Chaudière + moteur à vapeur	Gazéificateur + moteur dual mode	Gazéificateur + moteur dual mode	Gazéificateur + moteur dual mode	Groupe électrogène diesel
Puissance installée (kW)	70	70	120	135	70
Coût d'investissement (Ar/kW)	6867359	3549439	3099857	n.c.	2000000
Production annuelle (kWh)	20068	80371	48930		
Coûts de production (Ar)	65388284	7884341	52160806		
Nombre d'abonnés actuels	83	217	100		
Coût de revient actuel du kWh	3258	981	1066	n.c.	1600
Production prévisionnelle (kWh)	113088	200312	679349		
Nombre d'abonnés prévisionnel	144	567	571		
Coût de revient prévisionnel du kWh (Ar/kWh)	1199	726	852	n.c.	1500

Source : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

Annexe 6 : Les instances administratives du secteur de l'électricité à Madagascar



Source : Ministère de l'énergie et des mines

Table des matières

SOMMAIRE	i
Liste des Abréviations	ii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Liste des annexes	vi
INTRODUCTION	1
Partie I : Cadrage théorique et la situation des énergies renouvelables (EnR) dans le monde ...	5
Chapitre I : Energies renouvelables : pourquoi ?	6
<i>Section 1 : Le changement climatique :</i>	6
<i>Section 2 : Le concept des énergies renouvelables</i>	9
1) Les énergies renouvelables :	9
2) L'énergie solaire:	9
a) <i>L'énergie passive</i>	10
b) <i>Centrales électriques thermiques solaires</i>	10
c) <i>L'énergie solaire photovoltaïque :</i>	11
3) L'énergie éolienne:	12
4) La houille blanche ou l'hydraulique :	13
a) <i>L'énergie des fleuves et des rivières :</i>	13
b) <i>L'énergie des océans :</i>	13
5) La houille verte ou la biomasse :	14
6) La géothermie ou l'énergie de la terre :	15
Chapitre II : Les énergies durables dans le monde	18
<i>Section 1 : La transition énergétique</i>	18
1) Le protocole de Kyoto :	18
2) Le concept de transition :	19
a) <i>La transition énergétique chinoise :</i>	19
b) <i>La transition énergétique américaine :</i>	20
c) <i>La transition énergétique belge</i>	21
<i>Section 2 : La production énergétique via les énergies mondiales</i>	22
Partie II : Les énergies renouvelables à Madagascar	26
Chapitre I : Etats des lieux	27
<i>Section 1 : Le contexte énergétique</i>	28
1) Les sources d'énergie :	28

2) L'électricité :	28
<i>Section 2 : Les potentiels en EnR</i>	31
1) L'énergie solaire :	33
2) L'énergie hydraulique :	35
3) La biomasse :	36
4) L'énergie éolienne :	37
Chapitre II : Les perspectives de développement	38
<i>Section 1 : Les projets et les programmes remarquables</i> :	38
1) Le projet « Barefoot College » du WWF 2013 :	38
2) Les premières installations éoliennes de Madagascar :	39
<i>Section 2 : Analyse d'un cas spécifique : L'électrification par la biomasse</i>	40
1) L'ERD par la biomasse :	41
a) Les ressources en biomasse abondante :	41
b) Les coûts de production sont théoriquement faibles :	41
c) Les forces des installations ERD à biomasse :	42
d) Les problèmes rencontrés :	43
2) Le développement des communes cibles et le choix de l'ERD :	44
a) Le choix des communes cibles :	44
b) La biomasse comme agent de développement :	45
3) Les effets de l'ERD biomasse vapeur sur les ménages de la commune rurale d'Andaingo : 47	
a) Les changements dans les ménages électrifiés :	47
b) Les impacts sur les dépenses énergétiques :	48
4) Recommandation sur l'ERD biomasse vapeur :	49
CONCLUSION	51
Bibliographie	I
Annexes	III
Table des matières	VII

Auteur : RAFAMATANANTSOA Temitra Fiaro

Titre : « Madagascar face aux énergies renouvelables »

Nombre de pages : 52

Tableaux : 6

Figures : 10

Annexes : 6

Contact : 0332977547

crackfiaro@gmail.com

Adresse de l'auteur : Logt 2065 bis 67 ha Nord-Est Antananarivo 101

Résumé

L'énergie est un facteur de progrès et un facteur qui a un lien avec la croissance économique. Les sources d'énergie primaires dites fossiles dominent la production d'énergie mondiale en ayant une part à plus de 65% de la production, elles sont épuisables, polluantes et dégradent l'atmosphère. La couche d'ozone s'amincit par l'effet de serre, ce qui entraîne et accentue davantage le réchauffement climatique. Les énergies renouvelables sont, au contraire, plus propres, écologiques, en quantité illimitée et rencontrées partout, et elles représentent plusieurs enjeux.

La lecture d'ouvrages et d'articles sur les EnR ou le fait d'avoir fait une enquête au niveau de la JIRAFI ont montré que l'exploitation des énergies renouvelables est une alternative pour la préservation de l'environnement mais aussi une assurance à la dépendance énergétique des pays vis-à-vis des combustibles qui tendent à s'enchérir. Comme le cas de Madagascar, les installations sont alimentées par des carburants importés assurant plus de 70% de la production d'électricité. Grâce à son caractère décentralisé, les EnR contribuent beaucoup au développement des zones rurales.

Le développement des énergies renouvelables nécessite une politique énergétique concrète et cohérente portant sur un partenariat privé-public car ce sont les opérateurs privés qui assurent en partie leurs promotions dans les zones rurales enclavées. Elles assurent le développement des localités en leur fournissant de l'électricité pour leurs activités quotidiennes.

Mots clés : Changement climatique, dépendance énergétique, développement rural

Encadreur : Pr. RAMIARAMANANA Jeannot