

Changement Climatique Et Transition Énergétique : Quel Avenir Pour Madagascar ?

Mamy N. R. RANDRIANARIVELO^{1,2}, Rijalalaina RAKOTOSAONA³, Edouard R⁴. ANDRIANARISON

¹ Ecole Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation, Université d'Antananarivo, Madagascar

² Faculté des sciences, Université de Liège, Belgique

³ Laboratoire de Chimie Physique de l'ESPA, Université d'Antananarivo, Madagascar

⁴ Département de Génie des Procédés Chimiques et Industriels de l'ESPA, Madagascar



Résumé – Madagascar dispose d'un climat favorable à l'exploitation des énergies renouvelables. À ce sujet, les informations climatiques sur le régime du vent, l'ensoleillement et la pluviométrie y existant amènent à privilégier les énergies renouvelables dans la nouvelle politique nationale de l'énergie de Madagascar qui ambitionne un mix énergétique profitant des énergies renouvelables pour 2015-2030. Toutefois, le bilan national du secteur de l'énergie en 2017 montre une lenteur démesurée dans la transition énergétique au niveau du pays. Par ailleurs, les tendances climatiques observées démontrent la réalité du changement climatique à Madagascar : l'intensification des phénomènes extrêmes, l'augmentation de la température moyenne, l'irrégularité des pluies sont démontrées par les banques de données de la Direction Générale de la Météorologie. Les énergies renouvelables sont certes, abondantes à Madagascar, mais demeurent intermittentes, délocalisées et climato-sensibles. Cet article consiste en une revue de la littérature récente qui traite la variabilité, le changement climatique et leurs impacts sur le système énergétique, celle liée aux ressources énergétiques potentielles à Madagascar dans l'optique d'apporter une lumière sur la question : changement climatique et transition énergétique ; quel avenir pour Madagascar ? Les perspectives montrent que pour l'efficacité d'une transition énergétique vers les sources d'énergies renouvelables, propres et non polluantes pour substituer les énergies fossiles, il est indispensable d'approfondir les impacts de la variabilité et du changement climatique sur le système énergétique, car tout système contenant des ressources renouvelables sera impacté par la variabilité et le changement climatique.

Mots Clés – Transition Énergétique, Changement Climatique, Énergies Renouvelables, Madagascar.

Abstract – Madagascar has a favorable climate for the exploitation of renewable energies. On this subject, the climatic information on the wind regime, the sunshine and the existing rainfall lead to favoring renewable energies in the new national energy policy of Madagascar which aims for an energy mix taking advantage of renewable energies for 2015- 2030. However, the national balance sheet of the energy sector in 2017 shows disproportionate slowness in the energy transition at the country level. Moreover, the climatic trends observed demonstrate the reality of climate change in Madagascar: the intensification of extreme phenomena, the increase in the average temperature, the irregularity of the rains are demonstrated by the databases of the General Directorate of Meteorology. Renewable energies are certainly abundant in Madagascar, but remain intermittent, relocated and climate-sensitive. This article consists of a review of recent literature that deals with variability, climate change and their impacts on the energy system, that related to potential energy resources in Madagascar with a view to shedding light on the issue: climate change and energetic transition; what future for Madagascar? The perspectives show that for the effectiveness of an energy transition towards renewable, clean and non-polluting energy sources to replace fossil fuels, it is essential to deepen the impacts of variability and climate change on the energy system, as any system containing renewable resources will be impacted by climate variability and change.

Keywords – Energy Transition, Climate Change, Renewable Energies, Madagascar.

I. INTRODUCTION

La corrélation entre changement climatique et système énergétique est complexe. L'énergie joue un rôle fondamental dans le développement de l'économie à tous les niveaux [1] [2] [3] [4] [5]. Cependant, de par la croissance de la population mondiale, le recours perpétuel aux ressources fossiles, notamment dans le secteur de l'énergie, constitue un énorme danger pour la planète et renforce le réchauffement climatique. La population mondiale a connu une croissance de 1,8 à 7,7 milliards entre 1920 et 2019 d'après le rapport de l'Organisation des Nations Unies. La concentration de Gaz à effet de Serre (GES) émise dans l'atmosphère durant cette même période a connu une augmentation considérable de douze fois par rapport à la période préindustrielle [6]. En termes de prévision démographique, la population atteindrait 9,7 milliards en 2050, avec un doublement des habitants de l'Afrique subsaharienne, et grimperait à 11,2 milliards [7] en 2100. En conséquence, si la consommation d'énergie fossile n'est pas maîtrisée et ne connaîtrait pas une baisse significative, le réchauffement planétaire pourrait dépasser les 2°C et ainsi entraîner des effets irréversibles [8]. Un rapport spécial (SR15) du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) recommande de limiter le réchauffement de la planète à 1,5°C, en réduisant largement les émissions de GES à 45% en 2030, à 100% en 2050. Remplacer les sources d'énergie conventionnelles par les sources renouvelables constitue une des solutions recommandées [9].

La demande en énergie, les sources renouvelables, les technologies utilisées sont vulnérables à la variabilité et au changement climatique. Les technologies telles les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les barrages hydroélectriques pourraient bien être affectés par les paramètres hydrométéorologiques et climatiques. Ces impacts se distinguent selon les régions et les technologies utilisées. La hausse de la température, le régime pluviométrique, le rayonnement solaire, la fonte des glaciers, les phénomènes météorologiques et climatologiques extrêmes tels les cyclones, les inondations, les sécheresses, sont des facteurs déterminants. A titre d'exemple, la demande en électricité est affectée par les changements de températures : le confort thermique dans les habitats y est étroitement corrélé ; le recours à la climatisation, au chauffage est principalement tributaire du changement de la température moyenne. En général, cette demande est asservie en grande partie, au niveau mondial, par l'utilisation des énergies conventionnelles, garantissant ainsi une forte émission de GES [10]. La vulnérabilité du système énergétique par rapport à la variabilité et au changement climatique est une évidence. Les impacts de ces derniers sur le système énergétique seront sûrement ressentis au niveau de l'économie globale : la performance des secteurs économiques qui dépendent des électricités fournies par les barrages hydroélectriques est remise en question à cause du changement dans le régime pluviométrique [11]. La disponibilité du vent, à cause du changement climatique pourrait affecter la performance des turbines éoliennes [12] [13].

Dans les pays en voie de développement, notamment, en Afrique, les besoins énergétiques sont assurés par le bois énergie. Cette consommation de bois combustible dans la cuisson et le chauffage est fortement tributaire du changement de la température moyenne. Le bois énergie constitue la principale source d'énergie à Madagascar. En effet, l'offre énergétique de la Grande Ile est dominée par le Bois Énergie (83% en 2017) et les Produits Pétroliers (7%) alors que Madagascar dispose de différentes ressources énergétiques renouvelables qui pourraient satisfaire largement les besoins énergétiques du pays, à condition de mettre en œuvre une gestion cohérente qui permettrait de mieux les valoriser. La part des énergies renouvelables reste encore marginale car elle constitue moins de 1% de cette offre. L'énergie hydroélectrique constitue la source d'énergie renouvelable la plus exploitée. Les centrales hydroélectriques fournissent 40% de l'énergie électrique du pays en 2017 [14]. Le pays dispose d'un potentiel hydraulique parmi les plus importants d'Afrique mais qui est insuffisamment exploité. 1500 sites répartis sur toute la Grande Ile ont été identifiés pour un potentiel total de près de 8000MW. Cependant, les aménagements actuels ne totalisent que 160MW [15]. Les délestages perdurent à cause de l'irrégularité du régime pluviométrique, couplé avec la vétusté des infrastructures et les prix exorbitants des produits pétroliers nécessaires pour faire tourner les centrales thermiques. En 2018, la puissance installée est de 844MW au niveau national, dont 77, 52% issue des énergies conventionnelles (fioul et gasoil), 20,03% d'origine hydraulique, 2,37% d'origine solaire ; la puissance disponible étant de 544MW. L'utilisation du charbon de bois par la majorité des ménages, la carbonisation, accélère la déforestation, et contribuent à accroître considérablement l'émission de GES [16]. Ainsi, examiner le mix énergétique et la performance économique s'avère être d'une nécessité afin d'adapter le système énergétique futur aux nouveaux enjeux environnemental, climatique, et socio-économique.

Cet article consiste en une revue de la littérature récente qui traite la variabilité, le changement climatique et leurs impacts sur le système énergétique, celle liée aux ressources énergétiques potentielles à Madagascar dans l'optique d'apporter une lumière sur la question : changement climatique et transition énergétique ; quel avenir à Madagascar ?

II. CHANGEMENT CLIMATIQUE À MADAGASCAR

A. Climat

La position géographique, l'étonnante diversité de son relief, l'environnement maritime et enfin le facteur non moins important qu'est le régime des vents constituent la cause du climat très diversifié que rencontre la Grande Ile [17]. À Madagascar, deux saisons peuvent être généralement perçues : une saison sèche et une saison humide qui s'étendent respectivement de Mai à Octobre, et de Novembre à Avril. Deux courtes intersaisons les séparent et durent chacune environ un mois. Pendant la période comprise entre le mois de Mai à Octobre, l'anticyclone au niveau de l'Océan Indien conditionne le climat du fait que ce centre d'action amène sur Madagascar un régime de vent d'alizé du Sud-est. En raison de l'irrégularité de la forme du relief, deux grandes zones climatiques se forment : la partie Est de l'île jouit d'un climat humide au vent tandis que la partie Ouest de Madagascar subit la sécheresse d'un climat sous le vent. On parle alors de saison sèche ou de saison fraîche selon l'altitude de l'endroit.

Durant la saison humide, c'est surtout la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) qui influe le Climat de la Grande Ile : la totalité des régions subit des instabilités orageuses presque tous les jours ; l'anticyclone de l'Océan Indien s'affaiblit et le régime d'alizé devient moins régulier mais la partie Est de Madagascar reste toujours sous son influence. Par conséquent, la Grande Ile se distingue par quatre principales zones climatiques [18] : la côte Est humide, les Hautes Terres centrales, le Nord-Ouest, et le Sud-Ouest semi-aride. Madagascar possède 40 zones topo climatiques, ainsi que plusieurs microclimats, ce qui fait que le pays offre une vue panoramique des climats existants dans le monde.

1) Précipitations - températures

Le climat de Madagascar est entre autres caractérisé par le régime des précipitations et de la température.

La partie Est de l'Ile est la plus arrosée avec plus de 3000 mm de pluie par an, tandis que la partie Sud-ouest est la plus aride avec moins de 400 mm de pluie annuelle. Sur la côte Est, les précipitations sont particulièrement abondantes de Janvier à Avril. Elle est généralement arrosée durant la saison fraîche et sèche mais, les précipitations sont relativement faibles durant les mois de Septembre et Octobre. Sur les régions des Hautes-Terres, la période propice aux précipitations s'étend d'Octobre à Avril. Une zone large de 50 km à 100 km en bordure de la forêt de l'Est compte 30 à 40 jours de bruine (crachin) au cours de la saison fraîche. Sur la côte Ouest, le maximum de précipitations est observé en Janvier. La saison sèche est particulièrement bien marquée et s'étend de Mai à Octobre. Pour l'Extrême Sud, la répartition des précipitations est très irrégulière. On distingue une petite saison de pluies commençant en Octobre ou en Janvier. Des périodes de sécheresse s'étendant sur plusieurs mois consécutifs peuvent se produire.

Pendant la saison chaude, sur le littoral Est, la température moyenne mensuelle décroît de l'Extrême Nord vers le Sud de 27°C à 22°C. La côte Ouest est plus chaude que la côte Est. Sur les régions des Hautes-Terres, la température moyenne mensuelle atteint son maximum en Janvier et Février. À Madagascar, la température hivernale varie de 9°C à 31°C. Le minimum de 9°C est souvent observé au mois de Juillet sur les régions des Hautes Terres, et le maximum de 31°C sur la côte Ouest où la température est toujours élevée (> à 25°C), tandis que sur la côte Est, la moyenne des températures est de 23°C. Le maximum de température est atteint pour la plupart des régions en Janvier et Février mais, au mois de Novembre sur les hauts plateaux et le Nord-Ouest.

2) Les cyclones tropicaux

Le cyclone tropical peut se définir comme un système fermé de basse pression dont le diamètre varie de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres. La position géographique de Madagascar la rend vulnérable aux menaces régulières des cyclones tropicaux ; l'île se dresse exactement sur la trajectoire privilégiée de ces catastrophes naturelles. Ces dépressions circulaires entraînent des vents et des pluies extrêmement violents, il en résulte de nombreux dégâts aussi en termes de vies humaines que sur l'économie nationale. Chaque année, le pays est malencontreusement un champ de bataille des cyclones se formant dans le bassin du Sud-Ouest de l'Océan Indien. En effet, les cyclones qui touchent la Grande Ile prennent naissance soit dans l'Océan Indien, soit dans le Canal de Mozambique. En moyenne, 3 ou 4 sur la dizaine de cyclones qui s'y forment, touchent le pays au cours de la saison cyclonique englobant les mois de Novembre en Avril de l'année ; les plus intenses atteignent Madagascar aux mois de Janvier et Février.

3) Tendances climatiques

L'analyse de la tendance pour la période comprise entre 1961 et 2017 indique une diminution de la précipitation pour la totalité des stations à Madagascar. Cette tendance à la baisse est surtout marquée dans les parties centrale et sud des côtes Est humide. Les précipitations durant l'été affichent une légère baisse par rapport à celle de la saison hivernale. Les écart-types de la précipitation annuelle pour les quatre principales zones climatiques sont donnés par la figure suivante : les écarts – types sont élevés pour les quatre zones, avec une tendance négative, c'est-à-dire, une tendance à la baisse des précipitations pour la période 1961-2017. Les températures présentent une tendance à la hausse sur tout Madagascar. Le maximum et le minimum connaissent tous une croissance respectivement comprise entre 0,04°C/an et 0,05°C/an. Les valeurs des tendances calculées sont significatives. L'analyse effectuée par Randriamarolaza et al. en 2021 sur les indices de température et de précipitations journalières à Madagascar, basée sur le contrôle qualité des données homogénéisées de 1950-2018 montrent que les changements de température avaient un degré de cohérence spatiale plus élevé que les changements de précipitations. Les tendances pour les indices de température étaient pour la plupart significatives et compatibles avec un réchauffement [19].

B. Projections climatiques à Madagascar

Les scénarios modérés RCP4.5 et élevé, RCP8.5 du GIEC ont été retenus dans l'élaboration des futurs changements climatiques à Madagascar ; pour une raison de simplicité et de concision, ces deux scénarios permettent d'avoir une plage représentative de projections climatiques sur le XXI^e siècle, le scénario RCP2.6 étant jugé trop « optimiste ». Ainsi, une représentation des futurs changements sur les précipitations annuelles et mensuelles et sur les températures maximales et minimales annuelles pour les horizons 2020 – 2049, 2050 – 2079, 2080 - 2100 ont été dégagées. Les modèles climatiques globaux indiquent que les précipitations tendent à décroître sur tous les horizons, notamment, durant la saison hivernale (de juillet à octobre). Les GCM s'accordent à afficher une tendance à la hausse des températures minimales et maximales. La valeur la plus élevée est observée en Avril pour RCP 4.5 et en Juillet pour RCP 8.5. Pour toutes les périodes, les deux scénarios indiquent une augmentation nette de la température maximale en juillet. Comparé aux conditions actuelles, Tmax est projetée de s'accroître de 2,9°C dans les années 2080 pour le scénario RCP 8.5, et de 1,6°C pour le RCP 4.5. Un changement modéré de la température est observé pour toutes les périodes dans la plupart des mois sous les deux scénarios. La température minimale connaît une hausse d'après l'ensemble des modèles GCM, pour les deux scénarios. Cependant, une augmentation exceptionnelle est observée pour le mois de Mars, Août et Septembre des années 2030. D'après les données observées, la valeur maximale de T_{\min} se trouve en mois de juillet. La hausse de la température sera énorme vers la fin du XXI^e siècle. En résumé, à l'échelle nationale :

- Les précipitations diminuent pendant les périodes comprises entre 2030-2050. En particulier, les précipitations pendant l'hiver connaîtraient un large déficit ;
- Les températures maximales et minimales augmentent ;
- La température de la surface de la mer (SST) croît dans le bassin du Sud-Ouest de l'Océan Indien, et engendrera des effets sur l'eau de mer autour de Madagascar ;
- Le niveau de la mer continue de monter, et pourra atteindre un maximum de 48 cm ;
- La fréquence des cyclones tropicaux baissera, mais leurs intensités associées de pluies torrentielles pourront augmenter.

Au niveau des quatre principales zones climatiques :

- Les précipitations connaîtront une diminution dans les côtes Est, la partie centrale et Nord-Ouest pendant les périodes 2010-2039, 2040-2079, 2080- 2100. Les pluies au Nord-Ouest connaîtront une baisse considérable comparées aux autres zones. La zone aride du Sud-Ouest expérimentera la même situation.
- Les températures minimales et maximales seront à la hausse pour chaque zone climatique et pour toutes les périodes. Le Sud-Ouest expérimentera la température la plus chaude, suivi respectivement par la partie centrale, du Nord-Ouest, et des côtes Est.

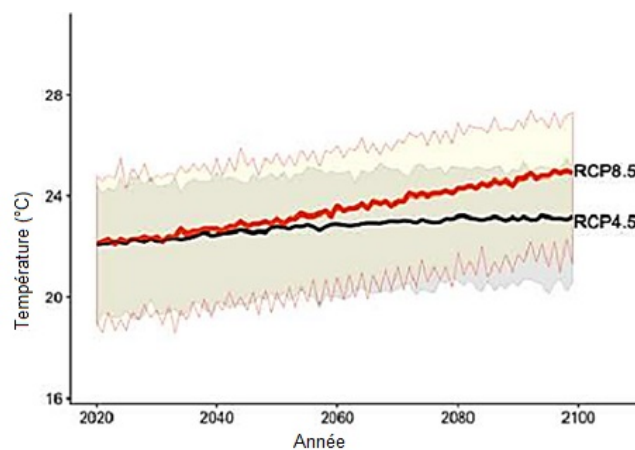


Figure 1: Projections climatiques des moyennes annuelles de la température minimale (°C), en considérant les scénarios RCP 4.5 (enveloppe de 18 modèles en gris) et RCP 8.5 (enveloppe de 18 modèles en jaune) (source : DGM)

C. Impacts d'un réchauffement global de 1,5°C et de 2°C pour Madagascar

Dans le sixième rapport d'évaluation du GIEC sorti en Août 2021, si le monde continue son rythme actuel d'émission, la limite de 1,5°C va être franchie durant la décennie à venir. À cause des activités humaines, un réchauffement de 1,1 °C depuis 1850-1900 est constaté. Au cours des 20 prochaines années, les changements climatiques augmenteront dans toutes les régions. Le changement climatique n'est pas seulement une question de température : de multiples changements sont attendus dans différentes régions dans le monde. Il s'agit notamment des modifications de divers paramètres climatiques : l'humidité, la sécheresse, les précipitations extrêmes, le vent, la neige, la glace, les zones côtières, les océans [21]. Pour Madagascar, les principaux changements concernent l'augmentation prévue de la vitesse moyenne des vents des cyclones tropicaux ; l'augmentation des fortes précipitations et de la proportion de cyclones tropicaux de catégorie 4 à 5 ; l'augmentation observée de l'aridité ; l'augmentation notable prévue pour les sécheresses météorologiques, à partir de 1,5 °C ; l'augmentation de l'agriculture et l'écologie types de sécheresse en particulier, due à des niveaux de réchauffement plus élevés, l'augmentations prévues des fortes précipitations et des inondations pluviales.

D'une part, un réchauffement global de 1,5°C-2°C induit, d'une part, une augmentation de la température moyenne annuelle de Madagascar de 0,9 C à 1,2 C (1,3 C–1,8 C) selon les projections effectuées par R Barimalala et al. en 2021. Les parties ouest et sud-ouest de l'île affichent la plus forte augmentation de la température. D'autre part, l'évolution des précipitations dépend de l'emplacement, des mois, et de la saison pluvieuse. Au début de l'été, les régions de l'ouest et du sud-ouest présentent une augmentation des précipitations totales accompagnée de jours plus humides et de quantités excessives de précipitations extrêmes. En revanche, l'est et le nord se caractérisent par un déficit pluviométrique : tandis que le nombre maximum de périodes sèches augmente, le nombre de jours de pluies diminue. Les changements sont plus prononcés pour un réchauffement de 2°C. De janvier à avril, une augmentation globale des précipitations totales et extrêmes est projetée sur l'île. Les deux niveaux de réchauffement s'accordent sur le retard du début des précipitations et le raccourcissement de la saison pluvieuse [22].

III. RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES POTENTIELLES À MADAGASCAR

Madagascar dispose de multiples ressources énergétiques renouvelables lui permettant de devenir une nation prospère à condition d'une bonne gestion et maîtrise de leur déploiement : le vent, le soleil, les rivières, les marées, la géothermie, la biomasse [23] [24] [25] [26] [27]. Cependant, son mix énergétique, dominé à 83% par le bois énergie en 2017, met en péril l'écosystème forestier à cause de la déforestation massive y afférent. Par ailleurs, le mix électrique de la Grande île dépend à 59% des importations des énergies conventionnelles (gasoil, fioul lourd), la part des Énergies Renouvelables étant de 41%. Selon le dernier rapport officiel sur le bilan énergétique national, en 2017, la production énergétique arbore les 6501 ktep avec une valeur de 1183 ktep d'importations. L'approvisionnement énergétique net est de 7673 ktep dont les entrées pour transformation incluent les combustibles, les bois énergies, l'électricité et le charbon de bois. La consommation finale nationale s'élevant à 5524 ktep représente la somme de la consommation des industries, des transports, du secteur résidentiel, et d'autres secteurs.

Environ 62 % de la consommation d'énergie est attribuée au secteur résidentiel, 27 % dans le secteur tertiaire et 8,9 % pour le transport. Le secteur primaire n'en consomme que seulement 0,7 %. Entre 2017 et 2018, les enquêtes ont montré que 62,8% du total de l'énergie a été consommée dans les ménages [28]. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Kameni et al., concernant les ressources potentielles et l'efficacité énergétique des bâtiments au Cameroun [29].

D. Electricité

Globalement, l'accès à l'énergie électrique reste faible à Madagascar [16]. Cet accès très limité entrave le développement [30] [31]. La population desservie en électricité reste quasiment statique depuis 2010. En 2018, elle représente 4 137 063 personnes, soit 15,6% de la population. À Madagascar, la demande en Electricité provient principalement des abonnés résidentiels, qui sont constitués principalement par les ménages [16]. La région Analamanga se distingue de toutes les régions avec un taux d'accès constant à l'électricité de plus de 50%. La puissance installée a presque doublé de 2010 à 2018, affichant un total respectif de 429MW et de 844MW. La puissance disponible étant de 560MW en 2018. La production électrique brute est de 1970,5GWh en 2017 (la production brute de la JIRAMA est de 1701,6GWh ; les auto-producteurs raccordés aux réseaux ou non, sont pris en compte). Elle est dominée par le thermique diesel (53%) et l'hydroélectricité (40%). En 2017 la part des Énergies Renouvelables dans le mix électrique est de 41% et la production dépend à 59% des importations.

E. Produits pétroliers

La source d'énergie primaire la plus répandue dans le monde reste le pétrole et ses dérivés. En effet, le pétrole a placé l'humain là où il est maintenant [32] : à ne citer que l'industrie du transport, l'électricité, et d'autres secteurs clés de l'économie mondiale. Cependant, les combustibles fossiles ont eu un effet dévastateur sur l'environnement et impactent énormément sur le Climat, sur la destruction et l'appauvrissement de la couche d'ozone [33] [34]. La lutte contre le réchauffement climatique constitue un sujet principal de débat au niveau planétaire. Afin de préserver la planète, le déploiement des énergies renouvelables constitue une des solutions les plus recommandés et développés par les chercheurs.

1) Approvisionnement

Pour Madagascar, l'importation des produits énergétiques a connu une hausse de 13,1% entre 2016 et 2017. Cette hausse est tirée essentiellement par trois produits : le fioul lourd dont l'importation a doublé (à plus de 101%) pour répondre à la demande du secteur électrique qui a mis en service de nouvelles centrales thermiques ; le charbon minéral qui présente un taux d'accroissement des importations élevé (42,4%) pour répondre à la demande des cimenteries et des industries minières ; l'essence affiche également un taux de variation non négligeable (7%). L'état du parc de véhicules essence et le trafic jouent un rôle dans la progression observée. L'évolution indique une hausse de production pour le bois énergie et les autres biomasses entre 2016 à 2017 en raison de l'augmentation de la demande. En 2017, une chute de 11% de production hydroélectrique a été signalée par rapport à 2016. En dépit d'une hydraulité satisfaisante sur l'année, les centrales hydroélectriques ont fait face à un étiage hors norme et ont réduit leur part dans l'offre électrique. L'évolution de la production d'énergie éolienne et solaire est encourageante, la production est multipliée par 6 entre 2016 et 2017 (malgré une modeste contribution au bilan national). La production nationale est constituée par des produits énergétiques primaires. Comme dans la majeure partie des pays d'Afrique subsaharienne, le bois énergie domine à 83% (6433 ktep en 2017). L'éolien et le solaire sont marginaux dans la production en 2017 (0,06 ktep en 2017) [14]. Une baisse de l'importation du pétrole lampant a été observée (14%), cette diminution s'explique par la substitution progressive des lampes à pétrole en milieu rural par des ampoules électriques utilisant une source d'énergie alternative comme les kits solaires photovoltaïques individuels. Les importations de gaz de pétrole liquéfié et de gasoil diminuent respectivement de 12 % et 8% (40 ktep).

2) Transformation et consommation d'énergie

La consommation de produits énergétiques pour la transformation en 2016 et 2017 croît de 6% entre 2016 (2649 ktep) et 2017 (2826 ktep). En 2017, la demande en fioul lourd a plus que doublé par suite de la mise en service de nouvelles centrales thermiques au fioul lourd qui produisent pour le réseau interconnecté d'Antananarivo. La progression du fioul lourd est de 134% (54 Ktep en 2016 contre 126 Ktep en 2017 [14]. En contrepartie, le gasoil baisse de 19% (123 ktep en 2016 contre 100 ktep en 2017), l'incidence des Turbines à Combustion (TAC) sur le mix des combustibles est modérée. La hausse du charbon (39%) traduit la reprise en 2017 de l'activité Ambatovy pour l'extraction de Nickel et de Cobalt en 2016, le taux de croissance de cette

branche d'activité a diminué de 9% par rapport à 2015. Depuis, la production de Nickel a repris (52000 tonnes en 2017 contre 42105 tonnes en 2016).

La consommation finale d'énergie en 2017 est de 5524 ktep. La consommation est dominée par le bois énergie (69% en bois de chauffe et 10% en charbon de bois) suivi des hydrocarbures (11%), du charbon fossile (6%) et enfin de l'électricité (3%).

F. Energies renouvelables

Jusqu'à présent, les énergies renouvelables demeurent un concept innovant à Madagascar. Le coût de l'énergie est encore trop élevé pour les citoyens malgaches afin de contribuer efficacement au développement socio-économique du pays. Heureusement, les sources d'énergie renouvelable sont nombreuses et peuvent amener des effets bénéfiques significatifs sur la production et la consommation nationale [35].

1) Potentiel solaire

Madagascar possède un important potentiel en Energie solaire avec une Energie incidente de l'ordre de 2 000 kWh/m²/an en 2018, ce qui classe le pays parmi ceux qui sont riches en énergie solaire [36]. Presque toutes les régions du pays ont plus de 2 800 heures d'ensoleillement annuel. Les régions les plus intéressantes disposant d'un niveau de rayonnement supérieur à 5500 W/m² sont Diana, Sava, Sofia, Boeny, Melaky, Menabe, Haute Matsiatra, Amoron'i Mania, Anosy, Androy, Atsimo Andrefana, Vakinankaratra, Bongolava, Atsimo Atsinanana. [16] [37] [38] [29]. Deux centrales photovoltaïques d'une capacité de production de 7 et 8 MW sont en cours de construction et financées par la Fédération Suisse.

2) Potentiel hydroélectrique

Le régime pluviométrique de Madagascar lui permet d'avoir une ressource hydraulique importante évaluée officiellement à environ 8000 MW alors que seulement 160 MW, ce qui représente environ 1,3% sont exploités [25].

3) Potentiel éolien

Il existe à Madagascar trois sortes de vents qui peuvent être exploitées : les vents des côtes, les vents locaux et les vents provenant de l'océan dont les alizés. Grâce aux alizés qui soufflent en permanence sur Madagascar, notamment dans les extrêmes Nord et Sud de l'Ile, [39] la vitesse du vent se situe entre 7,5 à 9m/s à 50m de hauteur dans le nord Nosy Be, Vohémar, Cap Diégo, Sambava, Antsirabe Nord, Marambato ; elle est entre 6 à 9m/s à 50m de hauteur dans le Sud : Taolagnaro, Tsihombe, Itampolo, Androka, Vohimena, Tanjona ; 6,5m/s du Nord au Sud longeant la côte Est [40]. Le potentiel éolien est conséquent, il est estimé à 2 000MW, avec une vitesse de vent moyenne de 6 à 9m/s à 50m de hauteur. Certaines régions comme le Nord de Madagascar ont commencé à s'investir sur cette source d'énergie [41]. Seul 0,1% de la consommation énergétique malgache provient du vent [31].

4) Potentiel en biomasse

Madagascar dispose d'un énorme potentiel de biomasse qui représente environ 90% des ressources énergétiques primaires utilisé dans le pays [35]. Le secteur de la bioénergie est très actif. Nous pouvons citer notamment le bioéthanol obtenu à partir de la canne à sucre et huile végétale qui pourrait remplacer l'essence utilisée dans les moteurs, ou pour la cuisson dans les cuisines domestiques [29]. Malheureusement, Madagascar est victime de la dégradation des ressources forestières. Malgré l'intensification des problèmes forestiers, l'administration forestière n'a pas changé de manière significative ses démarches et modalités de gestion. La filière bois énergie représente 93% du mix énergétiques de la Grande Ile [42] [43]. Les fournisseurs sont composés de milliers de petits producteurs [44]. L'augmentation de la consommation de charbon de bois par les ménages dans les villes et les banlieues est le principal facteur de pression sur les ressources forestières. La consommation annuelle totale de bois était de 18,3 millions de m³ (environ 12,7 millions de tonnes) en 2015, répartis entre 56 % (10,3 millions de m³ par an) de bois de chauffage et 44 % (8,0 millions de m³) transformés en charbon de bois [45]. Les forêts naturelles qui alimentent les grands centres de consommation sont les plus à risque en termes d'épuisement des ressources. Plus de 715 000 ménages urbains et périurbains composent les gros consommateurs de charbon [14]. En 2016, la couverture forestière malgache est de plus de 21 % le territoire, c'est-à-dire, plus de 124 000 km² [25].

5) Potentiel géothermique

Les ressources géothermiques de Madagascar ne sont pas vraiment développées par rapport à d'autres pays d'Afrique comme le Kenya et l'Afrique du Sud [46]. Toutefois, selon le rapport du Gouvernement malagasy, les sites géothermiques identifiés sont utiles dans la production directe d'énergie thermique pour le chauffage, le séchage des produits agricoles, ou encore la pêche et la climatisation, etc [47].

IV. VULNERABILITES DES SYSTEMES ENERGETIQUES FONCTIONNANT AVEC LES ENERGIES RENOUVELABLES FACE AUX IMPACTS DE LA VARIABILITE ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Plusieurs études montrent la vulnérabilité des centrales hydroélectriques aux impacts de la variabilité et du changement climatique. En effet, un changement du régime pluviométrique à travers le monde est prévu. Plusieurs projections montrent une augmentation de la production d'hydroélectricité durant les mois d'hiver et une réduction de celle-ci en été. Cette diminution est provoquée par des facteurs climatiques comme l'absence de pluie et/ou la hausse de la température qui entraîne une forte évapotranspiration [48]. Dans d'autres régions, la perte potentielle en hydroélectricité pendant les mois d'été peut être comblée par l'augmentation de la précipitation durant les périodes hivernales [49]. Le tarissement des fleuves constitue un impact potentiel de la variabilité et du changement climatique et rend vulnérable les infrastructures hydroélectriques. Par conséquent, une réduction considérable de la production d'énergie y afférent est prévue [50]. La performance des secteurs économiques qui dépendent des électricités fournies par les barrages hydroélectriques est remise en question à cause du changement dans le régime pluviométrique [11]. La construction ou l'expansion des barrages hydroélectriques peut être une menace à l'écosystème aquatique existant, et ne pas être acceptée au niveau des communautés. La promotion de l'électricité d'origine renouvelable, bien que bénéfique sur le long terme, entrainera un conflit dans la protection de l'écosystème présent localement sur le court-terme [51].

La disponibilité du vent, à cause du changement climatique pourrait affecter la performance des turbines éoliennes [12] [13]. En conséquence, une baisse de la production, des revenus des opérateurs dans le secteur de l'électricité sont prévues.

Les centrales thermiques font aussi face à d'autres challenges reliés étroitement avec les impacts du changement climatique : les conditions climatiques qui s'empirent d'après les scénarios du GIEC impactent sur le coût de l'exploitation, de la distribution et de la consommation y afférent [52].

Le changement de température affecte l'efficacité des cellules des panneaux photovoltaïques, et induit une baisse de la production [53]. Toutefois, avec un impact de la variabilité et du changement climatique évalué à moins de 3% sur les panneaux photovoltaïques, cette technologie n'est pas menacée, et pourrait occuper une place importante dans le système énergétique actuel et futur. Les PV sont donc plus résilients [53].

À part les technologies d'énergie renouvelables, le système de Captage et de Stockage de CO₂ (CSC) pour les centrales thermiques constitue une autre option afin d'une réduction de l'émission de GES. Cependant, son utilisation a soulevé plusieurs questions en raison de son coût exorbitant comparé à celui des énergies renouvelables. Quelques études défendent l'opinion que les technologies CSC constituent des solutions dépassées, et ne sont pas nécessairement utiles dans la mise en place de système énergétique soutenable [54] [55] [56]. Le Captage et Utilisation de CO₂ (CUC) constitue une meilleure option, qui ne consiste pas uniquement de capturer le CO₂, mais d'utiliser celui-ci dans le processus de fabrication (exemple : construction des routes) [56]. Toutefois, l'évolution de cette technologie dans les prochaines années n'est pas encore claire dans la littérature, et mérite des investigations approfondies.

D'autres champs de recherches importants incluent l'analyse des impacts des phénomènes météorologiques et climatologiques extrêmes, tels les cyclones, les inondations, les sécheresses, les vagues de chaleurs, sur les futures infrastructures énergétiques ; les impacts au niveau des secteurs interconnectés, les impacts sur les centrales thermiques et renouvelables en considérant une vue holistique des variations inter-saisonnières.

V. SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES COMPATIBLES AVEC UN RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE DE 1,5 °C

Tout est question de transition systémique. Les trajectoires qui limitent le réchauffement planétaire à 1,5 °C sans dépassement ou avec un dépassement minime exigent des transitions rapides et radicales dans plusieurs domaines, tels dans l'aménagement des terres, de l'urbanisme, des infrastructures (y compris transports et bâtiments) et des systèmes industriels (degré de confiance élevé), et de l'énergie particulièrement. Ces transitions systémiques sont sans précédent du point de vue de

leur ampleur, mais pas nécessairement de leur rythme, et supposent des réductions considérables des émissions dans tous les secteurs, un large éventail d'options en matière d'atténuation et une hausse nette des investissements dans ces options (degré de confiance moyen). La réduction des émissions nettes à court terme et la mise en œuvre de mesures visant à diminuer la consommation d'énergie et l'utilisation des terres peuvent limiter l'élimination du CO₂ à quelques centaines de GtCO₂ sans avoir recours à la bioénergie avec captage et stockage du CO₂ (degré de confiance élevé). La recommandation du GIEC dans SR15 consiste à limiter le réchauffement de la planète à 1,5°C, en réduisant significativement les émissions de GES à 45% en 2030, à 100% en 2050 [9]. Dans les trajectoires axées sur l'objectif de 1,5 °C sans dépassement ou avec un dépassement minime :les énergies renouvelables représentent, selon les projections, 70 à 85% de la production d'électricité en 2050 ;le recours au captage et au stockage du CO₂ permettrait de faire en sorte qu'en 2050, environ 8% de l'électricité mondiale soit produite grâce au gaz, alors que la consommation de charbon présente une nette baisse dans toutes les trajectoires et serait réduite à près de 0 % de la production d'électricité. Compte tenu des enjeux, ainsi que des différences entre les options et les conjonctures nationales, la faisabilité politique, économique, sociale et technique, les technologies fondées sur l'énergie solaire, l'énergie éolienne et le stockage de l'électricité ont nettement augmenté ces dernières années, ce qui semble indiquer une transition systémique potentielle dans le domaine de la production d'électricité.

Dans les trajectoires qui limitent le réchauffement à 1,5 °C, par opposition à ceux qui ne résultent pas de politiques climatiques autres que celles qui existent aujourd'hui, les investissements supplémentaires dans le domaine de l'énergie, pour la période 2016-2050, sont estimés, en moyenne annuelle, à environ 830 milliards de dollars. Les investissements totaux liés à l'énergie augmentent d'environ 12% (de 3% à 24%) dans les trajectoires d'émissions axées sur l'objectif de 1,5°C par rapport aux trajectoires d'émissions axées sur l'objectif de 2°C. Les investissements annuels dans les technologies à faibles émissions de carbone et dans l'efficacité énergétique seront multipliés approximativement par six (facteurs de 4 à 10) à l'horizon 2050 par rapport à 2015 (degré de confiance moyen). Les investissements totaux liés à l'énergie augmentent d'environ 12 % (de 3 % à 24 %) dans les trajectoires d'émissions axées sur l'objectif de 1,5 °C par rapport aux trajectoires d'émissions axées sur l'objectif de 2 °C. Les investissements annuels dans les technologies à faibles émissions de carbone et dans l'efficacité énergétique seront multipliés approximativement par six (facteurs de 4 à 10) à l'horizon 2050 par rapport à 2015 (degré de confiance moyen).

Les options en matière d'atténuation mises en œuvre dans chaque secteur peuvent être associées, avec effets positifs (synergies) ou négatifs (compromis) potentiels, aux objectifs de développement durable (ODD). Le degré de concrétisation de ce potentiel est fonction de l'éventail des options choisies en matière d'atténuation, du type de politiques d'atténuation, des spécificités locales et du contexte. Dans le secteur de la demande en matière d'énergie, en particulier, les synergies potentielles sont supérieures aux compromis potentiels. Les barres regroupent les options évaluées séparément par degré de confiance et tiennent compte de la force relative des relations entre les options d'atténuation évaluées et les ODD. La limitation du réchauffement planétaire à 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels exige de réduire sensiblement les émissions de GES dans tous les domaines. Il est possible toutefois que les changements apportés dans un secteur aient des effets dans un autre secteur qui lui est relié. C'est le cas du secteur de l'énergie. La transition énergétique est indispensable afin de limiter le réchauffement planétaire à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels, et est en cours dans de nombreux secteurs et de nombreuses régions du monde (éléments probants moyens, degré de cohérence élevé). La faisabilité politique, économique, sociale et technique des procédés fondés sur l'énergie solaire, l'énergie éolienne et le stockage de l'électricité a énormément progressé ces dernières années. Parmi les mesures propres à réduire les émissions figurent l'abandon progressif du charbon dans le secteur de l'énergie, le recours accru aux sources d'énergie renouvelables, l'électrification des transports et la diminution de l'« empreinte carbone » de la nourriture que l'Homme consomme. Une faible demande d'énergie apporte plus de souplesse dans la structuration du système énergétique. Une forte demande d'énergie oblige à mettre en œuvre beaucoup plus d'options d'approvisionnement énergétique sobres en carbone.

VI. CONCLUSION

La limitation du réchauffement planétaire à 1,5°C est possible, mais il faudra, pour la réaliser, des transitions sans précédent à tous les niveaux de la société. Il faut limiter le réchauffement planétaire et réduire en conséquence les émissions de CO₂ anthropiques. Le secteur de l'énergie est au cœur des efforts de lutte contre le changement climatique. Comme 66% des émissions mondiales de GES viennent du secteur de l'énergie et 85% de la production mondiale d'électricité viennent de sources fossiles, la transition énergétique constitue une urgence mondiale. Basculer vers l'utilisation des sources d'énergies renouvelables, propres et non polluantes pour substituer les énergies fossiles nécessite l'approfondissement des impacts de la variabilité et du changement climatique sur le système énergétique, car tout système contenant des ressources renouvelables sera impacté par la variabilité et le changement climatique.

Les données de la littérature prévoient, pour les périodes 2020-2030, 2030-2060, 2070-2099, un accroissement de la demande énergétique par l'augmentation de la température moyenne globale et l'irrégularité des précipitations. Les technologies renouvelables d'approvisionnement et de production d'énergie, notamment hydrauliques seront caduques : le changement du régime pluviométrique influera sur la performance des secteurs économiques nécessitant des énergies électriques fournies par les barrages hydroélectriques. La disponibilité du vent, à cause du changement climatique, pourra affecter la performance des turbines éoliennes. Le changement de température affecte l'efficacité des cellules des panneaux photovoltaïques et induit une baisse de la production. Toutefois, avec un impact de la variabilité et du changement climatiques évalué à moins de 3% sur les panneaux photovoltaïques, cette technologie n'est pas menacée, et pourra occuper une place importante dans le système énergétique actuel et futur. En outre, la dégradation des conditions climatiques impactera sur le coût de l'exploitation, de la distribution et de la consommation d'énergie. D'autres champs de recherches importants incluent les impacts des phénomènes météorologiques et climatologiques extrêmes, tels les cyclones, les inondations, les sécheresses, les vagues de chaleurs, sur les futures infrastructures énergétiques. Une vue holistique des variations inter-saisonniers permet de prévoir des impacts au niveau des secteurs interconnectés, sur les centrales thermiques et renouvelables. La période 2030-2060 tend à présenter le plus d'impacts.

Madagascar dispose d'un climat favorable à l'exploitation des énergies renouvelables. À ce sujet, les informations climatiques sur le régime du vent, l'ensoleillement et la pluviométrie y existant amènent à privilégier les énergies renouvelables dans la nouvelle politique nationale de l'énergie de Madagascar qui ambitionne un mix énergétique profitant des énergies renouvelables pour 2015-2030. Toutefois, le bilan national du secteur de l'énergie en 2017 montre une lenteur démesurée dans la transition énergétique au niveau du pays. D'autre part, les tendances climatiques observées démontrent la réalité du changement climatique à Madagascar : l'intensification des phénomènes extrêmes, l'augmentation de la température moyenne, l'irrégularité des pluies sont démontrées par les banques de données de la Direction Générale de la Météorologie. En l'occurrence, la revue de la littérature existante effectuée ici montre la vulnérabilité des sources renouvelables, notamment de l'hydroélectricité à Madagascar : l'étiage hors-norme en 2017 a obligé la JIRAMA à combler le déficit saisonnier par des lâchés d'eau des barrages - réservoirs en recourant aux centrales thermiques à fioul. Cette initiative a permis à la JIRAMA de rattraper une partie du déficit de capacité du Réseau Interconnecté d'Antananarivo, de diminuer l'énergie non livrée et de limiter les délestages pendant la demande de pointe. Cependant, l'électricité d'origine thermique devient prépondérante devant l'hydroélectricité, une démarche incohérente avec la politique nationale de l'énergie vulgarisée en 2015.

Les énergies renouvelables sont certes, abondantes à Madagascar, mais demeurent intermittentes, délocalisées et climatologiques. Tout système énergétique qui marche avec des énergies renouvelables démontre une certaine vulnérabilité face aux impacts de la variabilité et du changement climatique. Par conséquent, afin d'assurer l'efficacité d'une transition énergétique vers les énergies renouvelables, l'intégration du changement climatique dans la planification au niveau des secteurs de l'énergie, est capitale.

RÉFÉRENCES

- [1] C. & ZHOU, C. WANG, "The relationship between economic growth, energy consumption, and CO₂ emissions: empirical evidence from China," *Science of The Total Environment*, vol. , no. 542, pp. 360-371, 2016.
- [2] TURSOY, T. & ERCANTAN, O. FAISAL, "The relationship between energy consumption and economic growth: evidence from non-Granger causality test.," *Procedia Computer Science*, no. 120, pp. 671-675., 2017.
- [3] N YASAR, "The relationship between energy consumption and economic growth: Evidence from different income country groups. ," *International Journal of Energy Economics and Policy*, no. 7, pp. 86-97, 2017.
- [4] B. POLAT, "The impact of renewable and nonrenewable energy consumption on economic growth: a dynamic panel data approach.," *Asia-Pacific Journal of Accounting & Economics*, pp. 1-12, 2018.
- [5] SENEVIRATNA, D. & LONG, W. RATHNAYAKA, "The dynamic relationship between energy consumption and economic growth in China," *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, no. 13, pp. 264-268. , 2018.
- [6] AMERICAN, *Does Population Growth Impact Climate Change? [Online]. Scientific American.* <https://www.scientificamerican.com/article/population-growth-climate-change/>, 2009.
- [7] . UNDESA, *World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100 [Online]United Nation Department of Economics and Social Affairs..* Available: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html> [Accès en 10/01 2020]., 2017.
- [8] K. J. JONES, "The 21st century population-energy-climate nexus," *Energy Policy*, vol. 93, pp. 206-212., 2016.
- [9] IPCC, *Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways.* Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization., 2018.
- [10] M., KIRSHEN, P. & HORWITZ, J. AMATO, "Regional Energy Demand Responses To Climate Change: Methodology And Application To The Commonwealth Of Massachusetts.," *Climatic Change*, vol. 71, pp. 175-201., 2005.
- [11] MCDONALD, K. & STEINER, MISHRA, "An integrated assessment approach for estimating the economic impacts of climate change on River systems: An application to hydropower and fisheries in a Himalayan River, Trishuli.," *Environmental Science and Policy*, vol. 87, no. 102-111, 2018.
- [12] J WITTHAUT, D. WOHLAND, "More homogeneous wind conditions under strong climate change decrease the potential for inter-state balancing of electricity in Europe.," *Earth System Dynamics*, vol. 8, pp. 1047-1060., 2017.
- [13] J. D. FRANÇOIS, "Effects of increased wind power generation on mid-norway's energy balance under climate change: A market based approach.," *Energies*, p. 10, 2017.
- [14] Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbure, "Bilan énergétique national 2017," 2019.
- [15] Ministère de l'Énergie et de l'Hydrocarbure, *Lettre de Politique de l'Énergie de Madagascar 2015-2030.*, Septembre 2015.
- [16] WWF, *DIAGNOSTIC DU SECTEUR ENERGIE A MADAGASCAR.*, 2012.
- [17] Luc Yannick Andréas RANDRIAMAROLAZA, Marie Louise RAKOTONDRAFARA, Mark TADROSS, Zheng Ki Yip. Direction Générale de la Météorologie. Zoaharimalala RABEFITIA, *Le changement climatique à Madagascar.*, Mars 2008.
- [18] CPGU, Banque Mondiale et RIMES, MTTM/Direction Générale de la Météorologie, *Les tendances climatiques et les futurs changements climatiques à Madagascar - 2019.*, 2019.

- [19] Randriamarolaza et al., "Indices for daily temperature and precipitation in Madagascar, based on quality-controlled and homogenized data, 1950–2018," *International Journal of Climatology*, no. <https://doi.org/10.1002/joc.7243>, pp. 1-24, 2021.
- [20] Fitchett JM, "A 66-year tropical cyclone record for south-east Africa: temporal trends in a global context," *International Journal of Climatology*, vol. 34, pp. 3604-3615, 2014.
- [21] Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, "6th Assessment Report. Climate Change 2021: The Physical Science Basis," Août 2021.
- [22] R. Barimalala, "Potential impacts of 1.5 °C, 2 °C global warming levels on temperature and rainfall over Madagascar," *Environmental research letters*, no. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb34>, pp. 1-12, Mars 2021.
- [23] Office Nationale de l'Environnement à Madagascar (ONE), *Etude pour la reformulation d'une politique de l'énergie écologiquement durable à Madagascar.*, 1995.
- [24] Ambassade de France à Madagascar, Service Economique Anne GEORGELIN, *Le secteur de l'énergie à Madagascar. enjeux et opportunité d'affaires.*, Août 2016.
- [25] Ministère de l'Energie et des Hydrocarbure, *Lettre de Politique de l'Energie de Madagascar 2015-2030.*, 2015.
- [26] Economic Development Board of Madagascar (EDBM), *Annuaire 2019 Acteurs du secteur des énergies renouvelables et du sous-secteur électricité.*, 2019.
- [27] Friedrich Ebert Stiftung Ketakandriana RAFITOSON, *La lente marche vers la transition énergétique à Madagascar: état des lieux et perspectives.*, Décembre 2017.
- [28] Yvon Andrianaharison, Jean Roy Sambatra Eric, Ralijaona Christian Guy, Mamiharijaona Ramaroson, Razafinjaka Jean Nirinarison, Tefy Raovelivololona Modeste Kameni Nematchoua, "A review on energy consumption in the residential and commercial buildings located in tropical regions of Indian Ocean: a case of Madagascar Island," *Journal of Energy storage*, vol. 24, no. 100748, 2019.
- [29] B. Mempoou, Chrysostome Raminosoa, Ramaroson Mamiharijaona Modeste Kameni Nematchoua, "Resource potential and energy efficiency in the buildings of Cameroon: a Review.," *Renewable and sustainable energy review*, vol. 50, pp. 835-846, 2015.
- [30] Cabinet AIDES, "Rapport de Diagnostic du secteur Energie à Madagascar," 45, 2019.
- [31] Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures, "Document de stratégie de redressement de la JIRAMA," 2019.
- [32] US Energy Information Administration, "Updated capital cost estimates for utility scale electricity generating plants," 22, 2013.
- [33] Safe Fuel and Energy, "Cooking against Climate change: UN Judges Rwanda Projects a Success," 33, 2015.
- [34] Stockholm Environment Institute, "Assessing the Climate Impact of Cookstove Projects: Issues in Emissions Accounting," 29, 2013.
- [35] Randrianarisoa, "Energie Durable pour Tous, les ménages, les collectivités et les entreprises.," Friedrich Ebert Stiftung, 2013.
- [36] N. Nandrasana M. Lalaina, "La place des énergies renouvelables à Madagascar: quelle option de développement pour le pays?," Université d'Antananarivo, Mémoire de maîtrise es-sciences économiques 85, 2014.
- [37] ONUDI, "The potential for renewable energies in rural areas of Madagascar," Mars 2009.

- [38] Ministère de l'environnement, des eaux et forêts, "Etudes sur la capitalisation des acquis relative à l'utilisation de l'énergie alternative," octobre 2007.
- [39] RANDRIANARIVELO Mamy Nirina Rolland, RARIVOARILIVA Bienvenu Charlie. Contribution à l'évaluation du potentiel éolien de Madagascar en utilisant le modèle méso-échelle WRF ARW. 2012.
- [40] Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, "Plan Directeur de la recherche sur les énergies renouvelables 2014-2018," 2015.
- [41] Gérald DONQUE, *Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar.*, 1975.
- [42] Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier, "Proposition des mesures pour l'état de préparation (R-PP) MADAGASCAR," 2010.
- [43] WWF, "Reglementation de la filière bois énergie dans la région Atsimo Andrefana. Acquis et leçons apprises 2008," 2011.
- [44] R. Rutt, Nair, "Creating forestry jobs to boost the economy and build a green future," FAO, 2009.
- [45] EUEI., "Document d'Etude de la politique et stratégie de l'énergie, Phase 2 et 3," 2015.
- [46] T. Ranja, S. Karekezi, "Renewable Energy Technologies in Africa," *ZED Books and AFREPREN*, no. 12, Oxford UK 1997.
- [47] Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures, "Présentation sur le mode de calcul de l'accès à l'électricité pour le Ministère de l'Economie et de la Planification," 29, 2019.
- [48] METCALFE, R. A. & FUTTER, , "Dynamic modelling of the impact of climate change and power flow management options using STELLA: Application to the Steephill Falls reservoir, Ontario, Canada," *Canadian Water Resources Journal*, vol. 37, pp. 125-148, 2012.
- [49] WHITEHEAD, , "The potential impacts of climate change on hydropower generation in Mid Wales," *Hydrology Research*, vol. 44, pp. 495-505, 2013.
- [50] BRANDIMARTE, L. & PEVIANI, M. POPESCU, "Effects of climate change over energy production in La Plata Basin.," *International Journal of River Basin Management*, , vol. 12, pp. 319-327, 2014.
- [51] VOLONTERIO & GAUDARD, "Climate change impacts on hydropower in an alpine catchment.," *Environmental Science and Policy*, vol. 43, pp. 15-25, 2014.
- [52] Schaeffer, (de Lucena, "Least -cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian electric power system. ," *Global Environmental Change*, vol. 20, pp. 342-350, 2010.
- [53] SKOPLAKI, "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. ," *Solar energy*, vol. 83, pp. 614-624, 2009.
- [54] VAINIKKA, P. BREYER, "Solar photovoltaics demand for the global energy transition in the power sector. ," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, , vol. 26, pp. 505- 523, 2018.
- [55] KOLJONEN, T. PURSIHEIMO, "Inter-sectoral effects of high renewable energy ," *share in global energy system.* , p. Renewable Energy., 2018.
- [56] NAEGLER, T. TESKE, "High renewable energy penetration scenarios and their implications for urban energy and transport systems," *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 30, pp. 89-102, 2018.
- [57] IPCC, *Climate change 2014: Mitigation of climate change*, Cambridge University Press., 2015.

- [58] Formayer, H. Totschnig, "Climate change impact and resilience in the electricity sector: The example of Austria and Germany. ," *Energy Policy*, vol. 103, pp. 238-248. , 2017.
- [59] CLARKE, L. ZHOU, "The effect of global climate change, population distribution, and climate mitigation on building energy use in the US and China.," *Climatic Change*, vol. 119, pp. 979-992., 2013.
- [60] Clarke, L. E. Scott, "Evaluating sub-national building-energy efficiency policy options under uncertainty: Efficient sensitivity testing of alternative climate, technological, and socioeconomic futures in a regional integrated-assessment model. ," *Energy Economics*, vol. 43, pp. 22-33. , 2014.
- [61] JOUTZ, F. CHEN, "Impacts of climate change on power sector NOx emissions: A long-run analysis of the US mid-atlantic region.," *Energy Policy*, vol. 84, pp. 11-21, 2015.
- [62] SPANDAGOS, "Equivalent full-load hours for assessing climate change impact on building cooling and heating energy consumption in large Asian cities.," *Applied Energy*, vol. 189, pp. 352-368., 2017.