

Études De Potentialité De L'électrification Rurale Du District De Soavinandriana

RAKOTOMALALA Jean François¹, RAVONINJATOVO Achille^{1,2}, ANDRIANAIVO Lala¹

¹Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Equipe d'Accueil Exergie et Géoingénierie,

BP 1500 Antananarivo 101, Madagascar

²Département Énergétique, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT),

BP 6294 Antananarivo 101 Madagascar



Résumé – Une des difficultés qui freinent le développement des zones rurales à Madagascar est le défaut de source d'énergie appropriée. Madagascar possède un énorme potentiel en énergie solaire plus de 2800 h/an. Le district de Soavinandriana a été choisi comme le champ d'études à travers l'électrification de ses cinq communes prometteuses à savoir : Mahavelona, Tamponala, Ambatoasana, Ambohidanerana et Amberomanga. Ce travail a pour objectif de démontrer la potentialité de la demande et l'offre en électrification des zones rurales à Madagascar d'une part et d'autre part pour mettre en évidence que la couverture totale en électricité d'un district est faisable dans le pays. Pour disposer des données fiable et précise, l'approche adoptée est à la fois quantitative et qualitative. Sa concrétisation en terme nécessite a priori par le passage à l'ordre chronologique de ces activités, recherche bibliographique, descente auprès des communes cibles, réaliser des enquêtes auprès de la population locale permettant de connaître non seulement une fourchette de puissance électrique d'une commune à une autre, mais aussi de disposer leur capacité à payer respective. Les résultats issus de cette étude ont montré que la demande de puissance en électricité varie de l'une à l'autre commune selon la taille, soit de 40 kW à 65 kW. La capacité à payer des futurs usagers pour atteindre la couverture maximale des bénéficiaires se situe entre 0,41 à 0,48 \$ en 2021, qui aboutit un temps de retour sur investissement de 19 ans. La puissance totale à installer est 668 kWc, 609,2 kWh en stockage, avec 700 kW d'onduleur. Le montant d'investissement total s'élève à 3 505 802 \$. Il y aura plus de 2400 usagers bénéficiaires directs, 18 240 de population comme bénéficiaire indirect. L'électrification de ces communes va faire tourner plus de 90 petites et moyennes entreprises, et générer plus de 250 emplois.

Mots clés – Solaire photovoltaïque, électrification rurale, investissement, Kobotoobox, capacité à payer, Lithium ion, Soavinandriana

Abstract – One of the difficulties that hinder the growth of rural areas in Madagascar is the lack of an appropriate source of energy. Madagascar has an enormous in solar energy of more than 2800 h/year. The district of Soavinandriana, was chosen as the field of study through the electrification of its five municipalities promising, namely: Mahavelona, Tamponala, Ambatoasana, Ambohidanerana and Amberomanga. The objective of this work is to demonstrate the potential demand and supply in electrification of rural areas in Madagascar on the one hand and on the other hand to show that the total coverage in electricity of a district is feasible in the country. To have reliable and precise datas, the approach adopted is both quantitative and qualitative. Its materialization in time requires a priori by passing through the chronological order of these activities: bibliographic research, descent to the target rural area, carrying out surveys of the local population making it possible to know not only a range of electrical power of one municipality to another, but also to dispose of their respective ability to pay. The results of this study showed that the demand for electricity power varies from one municipality to another depending on the size, from 40 kW to 65 kW. The ability to pay of future users to reach the maximum coverage of beneficiaries is between 0,41 to 0,48 \$ in 2022, which results in a return on investment time of 19 years. The total power to be installed is 668 kWp 609.2 kWh of storage, with 700 kW of inverter. The total investment amount is \$3,505,802.39. There will be more than 2 400 direct beneficiary users, 18 240 of the population as indirect beneficiaries. The electrification of these municipalities will run more than 90 small and medium-sized enterprises and generate more than 250 jobs..

Keywords – Solar photovoltaic, rural electrification, investment, Kobotoobox, ability to pay, Lithium ion , Soavinandriana.

I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, très peu de Malgaches ont accès à l'énergie moderne qui freine le développement du pays. Les ménages qui n'y ont pas accès à l'électricité utilisent des sources d'énergie de moins bonne qualité, inefficace, et non-respect de l'environnement. Il y a une forte dépendance vis-à-vis des énergies fossiles et du bois énergie. Au niveau national, la consommation énergétique des ménages représente aujourd'hui, 62% de la consommation totale. Ce taux élevé est attribué à la consommation de bois et de charbon. 77,7% des ménages malgaches, surtout ruraux, s'approvisionnaient en bois ramassé destiné à la cuisson. Au niveau national, seuls 12% des ménages ont accès à l'électricité dont 4,8% se situent en milieu rural

[1], [2]. En termes de source d'énergie, 84,2 % sont issues du bois énergies, 6,6% de produits pétroliers, 7 % celle de l'électricité et 2,2% proviennent des énergies renouvelables [3]. La dépendance de Madagascar vis-à-vis des importations est préoccupante, car les prix du pétrole demeurent sujets aux fluctuations. Ce système d'approvisionnement et de production fragilise énormément le pays dans la mesure où elle mine le climat social global, et elle porte préjudice à l'économie du pays. En outre, 45% de l'électricité à Madagascar sont produites à partir de centrales thermiques alimentées par du gasoil ou fuel oil importé. Bref, il est bien à noter que le bois est la principale source d'énergie quotidienne utilisée par la majorité des ménages à Madagascar, ce qui favorise la déforestation. En outre, les feux de brousse, l'application excessive de la méthode agricole traditionnelle, la coupe excessive des bois à fin industrielle et l'utilisation d'énergie fossile sont tous des facteurs au problème climatique de Madagascar. Par conséquent, cela défavorise le développement économique du pays, marqué par le déséquilibre saisonnier, manque de précipitation, diminution du rendement agricole [4]. Encore, le manque d'électricité dans les zones rurales constitue l'un des obstacles les plus importants à notre croissance économique. L'augmentation de taux d'accès de la population en électricité par solaire photovoltaïque autonome est une bonne voie pour le développement durable de Madagascar. Nous avons choisi le district de Soavinandriana, région Itasy, pays Madagascar comme zone d'étude pour cet ouvrage. Qui est le fruit de collaboration avec l'université d'Itasy et des entreprises privées. L'objectif est de déterminer la potentialité en offre et demande en termes d'électrification dans cette zone. L'exploitation l'énergie solaire a été choisie comme source d'énergie à utiliser dans cette étude car son exploitation est avantageuse par rapport aux autres ressources d'énergies, pour l'étude préalable, ne demande pas beaucoup de temps comme le cas d'hydroélectricité deux à cinq ans, facile à installer pendant une durée bien déterminée, mois d'entretien et moins de risque pour l'infrastructure. En plus Madagascar possède un énorme potentiel à cette source d'énergie renouvelable plus de 2800 heures /an[5][6], partout dans l'île. Beaucoup des littératures ont montré l'avantage et l'efficacité des batteries lithium par rapport aux gel et liquide. Ce travail va déterminer la capacité en puissance et stockage à installer pour chaque chef-lieu de la commune, la volonté à raccorder et à payer pour les futurs usagers, la projection de la demande ainsi que le montant de l'investissement à faire et la rentabilité du projet.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Notre stratégie de ciblage des localités se base sur les zones rurales peuplées et l'absence de concession pour une exploitation d'un réseau électrique de distribution tout en ayant un potentiel de développement économique. Dans l'optique d'une sécurisation de l'investissement, l'approche pour la réalisation de projet sera proposée en deux phases. La première phase consiste à la mise en œuvre d'une installation de production et de distribution prévue pour satisfaire la demande de la localité sur les cinq premières années d'exploitation. La seconde phase sera une phase d'extension en puissance lorsque la demande évolue. Cette seconde phase est prévue à partir de la cinquième année de l'exploitation. La procédure à suivre se fait en deux étapes d'abord une étude préliminaire, après validation et autorisation de l'autorité concédante qui est l'ADER (Agence de Développement de l'Électrification Rurale) on poursuit à l'étude avant-projet détaillé.

2.1. Étude socio- économique

L'objectif principal de l'étude socio-économique est de s'imprégner de l'état des lieux en général, les activités économiques du village, les pratiques sociales dans le village. De ce fait, l'étude socio-économique permet ensuite un diagnostic en vue de l'élaboration et d'organiser la mise en œuvre du projet en connaissance des atouts et des différentes contraintes liées au projet. Le taux de change en devise référence utilisé pour ce travail est celui de la banque centrale de Madagascar le 26/09/2022, 1 \$ = 4140 MGA.

2.2. Collection et analyse des données

Nous avons utilisé un outil digitalisé pour faire les enquêtes, il s'agit de l'application sur smartphone KoBoCollect qui est une application open source collect de get ODK et est utilisée pour la collecte de données primaires selon les informations dans un formulaire préétabli sur un compte de Kobotoolbox qui est l'outil de compilation de toutes les données collectées via l'application. L'intérêt de cette application est la possibilité d'acquérir rapidement l'aperçu et le résumé des grandes lignes de l'enquête établie, des courbes de classement et aussi de repérer la position la position des clients enquêtés que l'on peut exporter sur carte telle que Google maps et Google earth. Il est important de faire un cadrage sur les différentes activités d'investigation pour les collectes des données, notamment [7]

- Identifier la clientèle cible (Ménages, PME (petites et moyennes entreprises), Institution publique ou privée...)
- Localiser et pointer de la position pour chaque client souhaitant être raccordé aux réseaux
- Identifier et enregistrer le pouvoir d'achat et le niveau de vie de chaque client
- Identifier les principales activités génératrices de revenus de la commune
- Recueillir les informations sur l'état des lieux, infrastructure, route, pratique culturelle et état de fonctionnalité administrative de la commune
- Identifier et étudier les impacts réels du projet sur le quotidien des bénéficiaires

Le tableau 1 suivant donne aperçu des types et des nombres d'appareils qui peuvent être utilisés pour chaque catégorie de clients. Ce tableau est la base utilisée pour le dimensionnement de la centrale. Dépendamment du besoin de chaque client, la puissance attribuée est gérée pour chaque catégorie. Les appareils utilisés par les ménages sont de classe économique selon la technologie existante sur le marché local, telles que la télévision LED et la lampe à basse consommation (LBC). Les communes étant des communes à forte activité rizicole, le besoin du village se caractérise par deux saisons bien distinctes. Ceci s'explique par l'utilisation des décortiqueuses qui sont les charges les plus énergivores qui déterminent le profil journalier de l'appel des charges. En effet, en période de récolte (avril – mai – juin), les décortiqueuses ont un temps d'utilisation moyenne de 4h à 5h par jour. En période de soudure, hors récolte rizicole, le temps d'utilisation moyenne des décortiqueuses est réduit à environ 2h par jour.

TABLE I. CATEGORIE DE CONSOMMATION

Catégorie- (Utilisations) - Puissance maximale assignée	Puissance nominale [W]	Nombre d'appareils	Durée d'utilisation [h/j]
C ₁ – Ménages – 50W			
Éclairage LED	5	3	5
Chargeur téléphone	5	1	8
Radio	10	1	8
C ₂ – Ménages – 90W			
Éclairage LED	5	3	5
Chargeur téléphone	5	1	8
Radio	10	1	8
TV & Lecteur	45	1	6
C ₃ – Ménages – 180W			
Éclairage LED	5	3	5

Catégorie- (Utilisations) - Puissance maximale assignée	Puissance nominale [W]	Nombre d'appareils	Durée d'utilisation [h/j]
Chargeur téléphone	5	1	8
Radio	10	1	8
TV et Lecteur	45	1	6
Réfrigérateur	80	1	10
C ₄ – Institutions publiques – 1000W			
Éclairage LED	5	14	5
Chargeur téléphone	5	2	8
Ordinateur portable et imprimante	150	1	4
Vidéo Projecteur	100	1	1
Réfrigérateur	80	1	10
Sonorisation	200	1	1
C ₅ – PME (Commerciale) – 650W			
Éclairages LED	5	5	5
Chargeur téléphone	5	2	8
TV & Lecteur	45	1	6
Ordinateur portable et imprimante	150	1	4
Réfrigérateur	80	1	10
Sonorisation	200	1	1
C ₅ Industrie (Professionnelle triphasée) – 15000W			
Décortiqueuse ou broyeur ou machine à scier ouvrage en bois	15000	1	5
C ₅ Industrie (soudures) - (professionnelle monophasée) – 5000W			
Poste de Soudure	5000	1	5

2.3. Dimension de la centrale

Pour le calcul de la dimension de la centrale, nous avons utilisé comme données les besoins à la cinquième année. Ces données ont été introduites dans Sunny design qui est un simulateur de conception des installations photovoltaïques sur mesure prend en compte toutes les réglementations techniques applicables aux différents composants appropriés à la technologie SMA, et est développée par SMA, car la technologie à utiliser pour la centrale seront de technologie SMA. [8]. Ces résultats ont été comparés avec PVsyst [9]. La technologie de la batterie à utiliser est celle de lithium ion, qui est la plus performante actuellement en qualité et durabilité [10], [11]. Le calcul prend en compte également l'ensoleillement le plus défavorable pour satisfaire la demande pendant toute l'année.

2.4. Zone d'étude :

La zone d'étude est dans les cinq communes rurales situées dans le district de Soavinandriana région Itasy, pays Madagascar. La détermination de cette zone est le fruit de collaboration avec l'Université de l'Itasy, et ces sites seront des sites d'imprégnations pour les étudiants dans les domaines concernés (Énergie renouvelable, économie, environnement...)

TABLE II. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

	Mahavelona	Antamponala	Ambatoasana	Ambohidanerana	Amberomanga
Latitude	-19°10'14.15"	-19°18'16.0"	-19°11'31.32"	- 19° 20'' 66''	- 19°14'23.9"
Longitude	46°31'20.81"	46°24'26.7"	46°23'40.07"	46° 78'' 63''	46°37'00.3"

La répartition géographique de ces sites est représentée dans la figure 1 suivante.

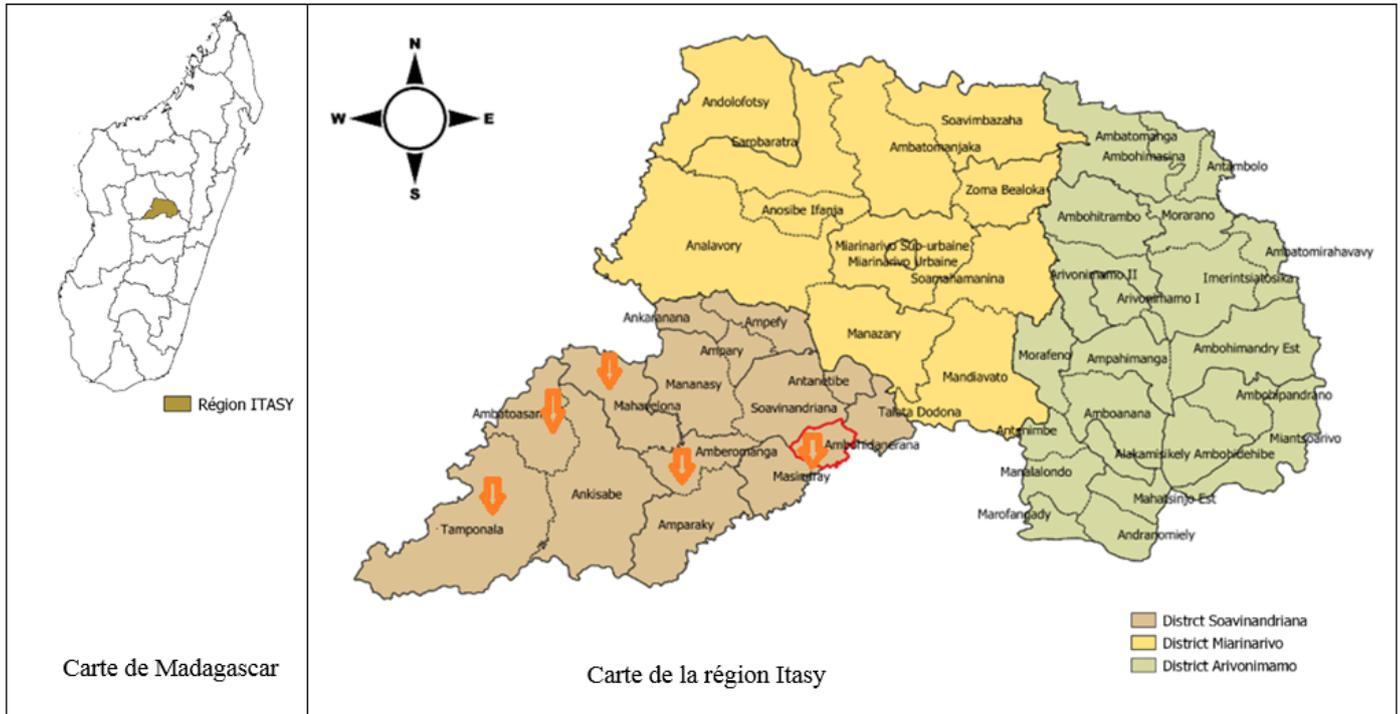


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

Le district de soavinadriana est coloré en marron, et notre zone d'étude est dans la partie colorée en marron, dans la partie sud-ouest.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Recensement et segmentation des ménages

Selon les enquêtes faites, le taux de croissance pour chaque village varie de 2 % à 2.5% par an. La commune est peuplée par une population jeune en général. En effet, plus de 50% de la population sont des jeunes de moins de 18 ans. La population active représente plus de 40% de la population totale.

3.2. Courbe des charges

La courbe de charge à l'année 5 est la base utilisée pour le dimensionnement de la centrale en première phase. Cette courbe est représentée dans la figure 2 suivante. Le pic de charge jour sont respectivement 52,9 kW pour Mahavelona, entre 28,1 et 30,1 pour les trois villages Tamponala, Ambatoasana, Ambohiidanerana et 9,1 kW pour Amberomanga. Ces pics des charges sont dus à l'utilisation des décortiqueuses et des ouvrages métalliques qui comprise entre 10h 30 et 15 h. Le pic charge nuit varie de 25 kW à 11,6 kW pour les trois grands villages Tamponala, Ambatoasana, Mahavelona et 6,3 à 4,5 kW pour Ambohidanerana et Amberomanga. La demande de puissance maximale en nuit se situe entre 18h et 19 h.

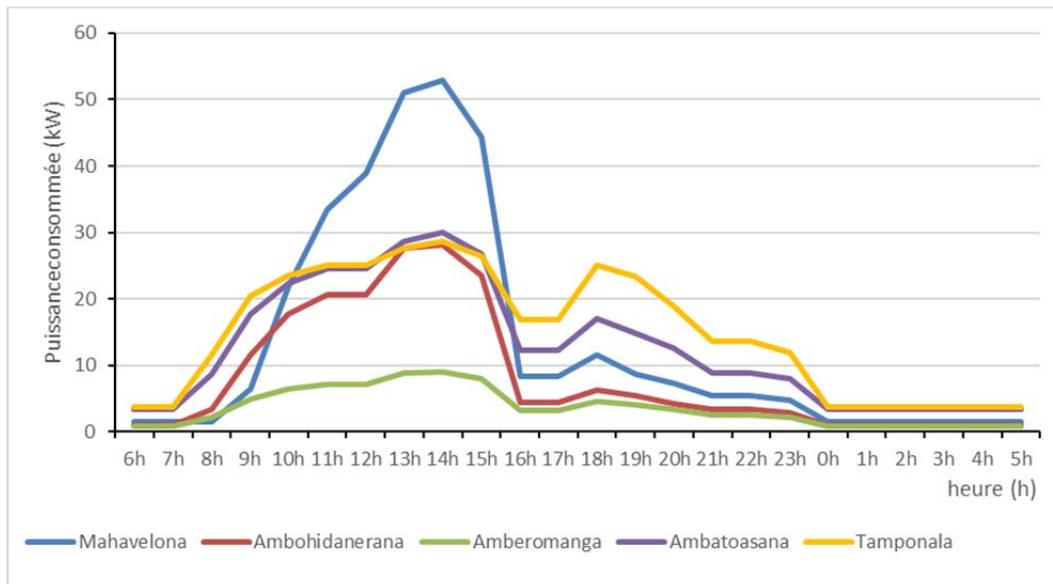


Fig. 2. Courbe des charges année 5

Après projection en considérant le taux de croissance annuel à 2%, la projection de profil des charges à la fin de l'horizon de projet en année 25 est représentée dans la figure 3. Cette courbe restera constante à partir de la 16^{ème} année d'exploitation.

Le pic de charge est 40 kW pour Amberomanga et est compris entre 58,8 et 66 kW pour les quatre autres villages. Ces pics sont toujours dans la journée de 11h à 15 h ceux-ci s'expliquent par l'utilisation des décortiqueuses et des petites industries comme ouvrage métalliques.

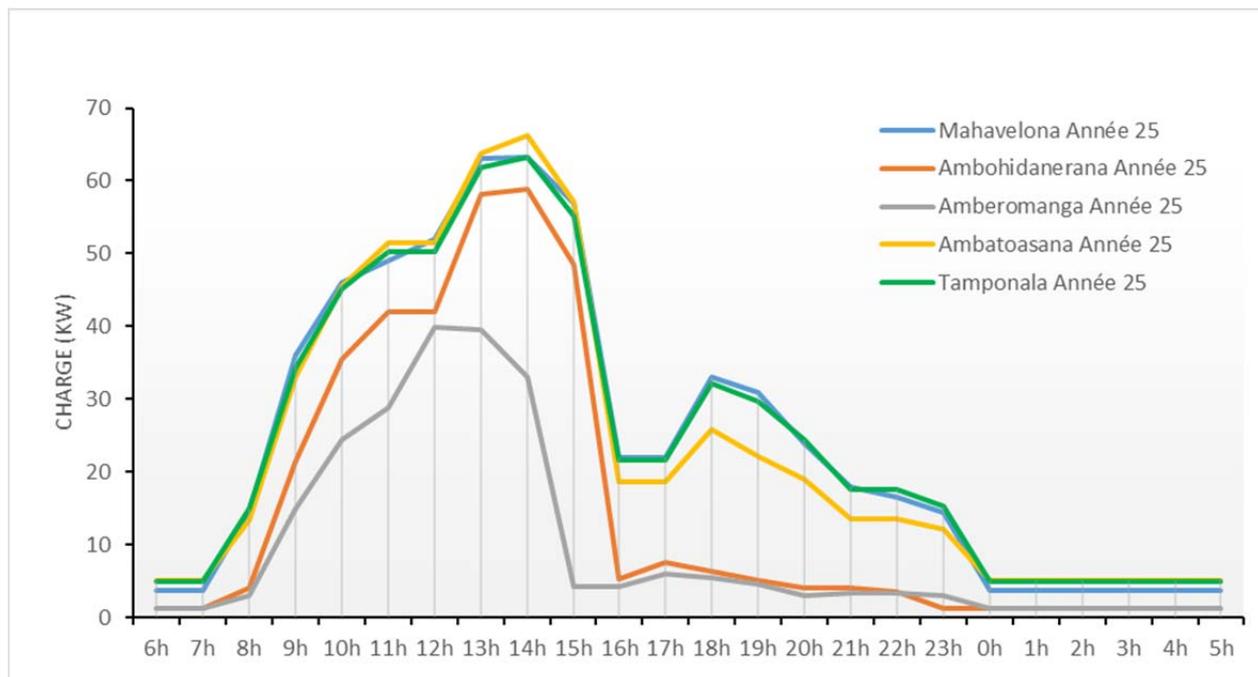


Fig. 3. Courbe des charges année 25

3.3. Projection de la demande et abonnés

3.3.1. Nombre d'abonnés par villages

Avec le taux de croissance 2.5% pour le cas de Mahavelona et 2% pour les autres communes, il y a une augmentation de nombre de raccordement jusqu'à la 16^{ème} année d'exploitation. Après cette période, le nombre d'abonnés sera quasi constant.

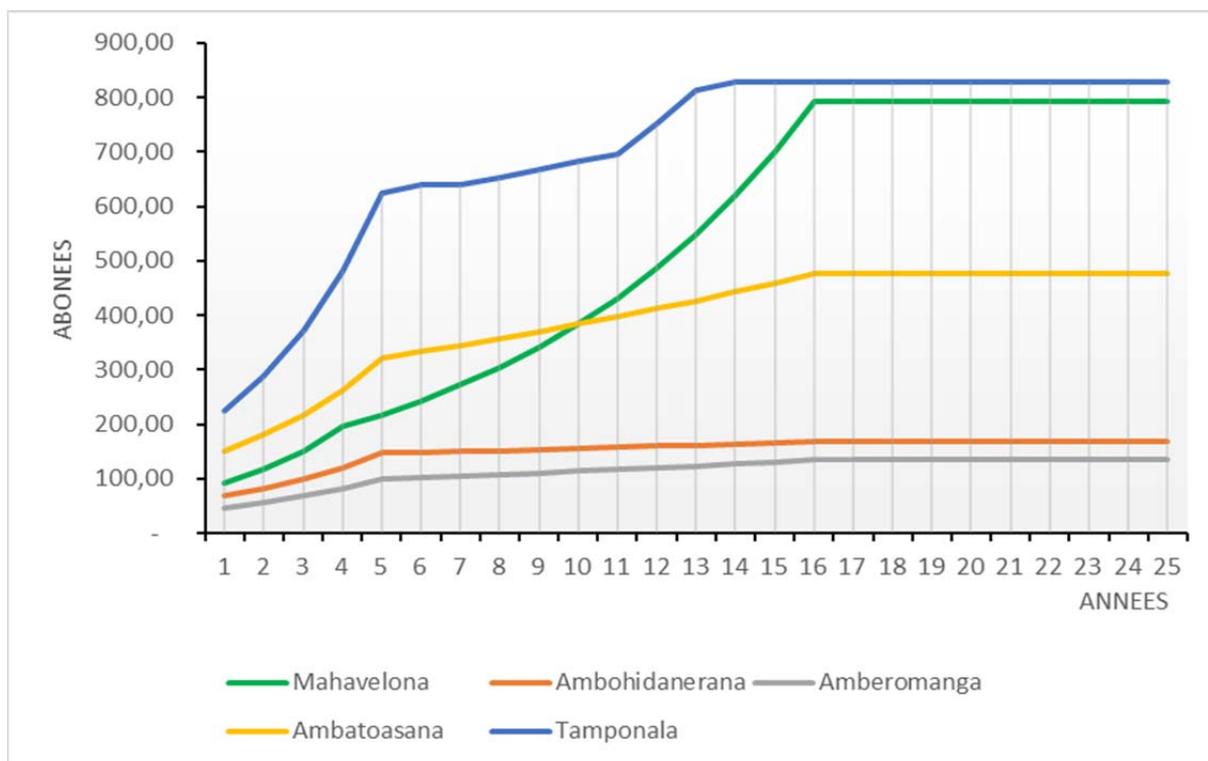


Fig. 4. Nombre abonné par communes sur 25 ans

Le nombre total d'abonnés en 25^{ème} année d'exploitation sera aux environs de 2400. En plus de ces bénéficiaires directs, il y aura environ 18 240 de population comme bénéficiaire indirect. Ambohidanerana et Amberomanga semblent moins d'abonnés, mais les populations locales ont la capacité à payer. L'électrification de ces communes va faire tourner plus de 90 petites et moyennes entreprises, et générer plus de 250 emplois.

3.3.2. Consommation énergétique par villages sur horizon de 25 ans

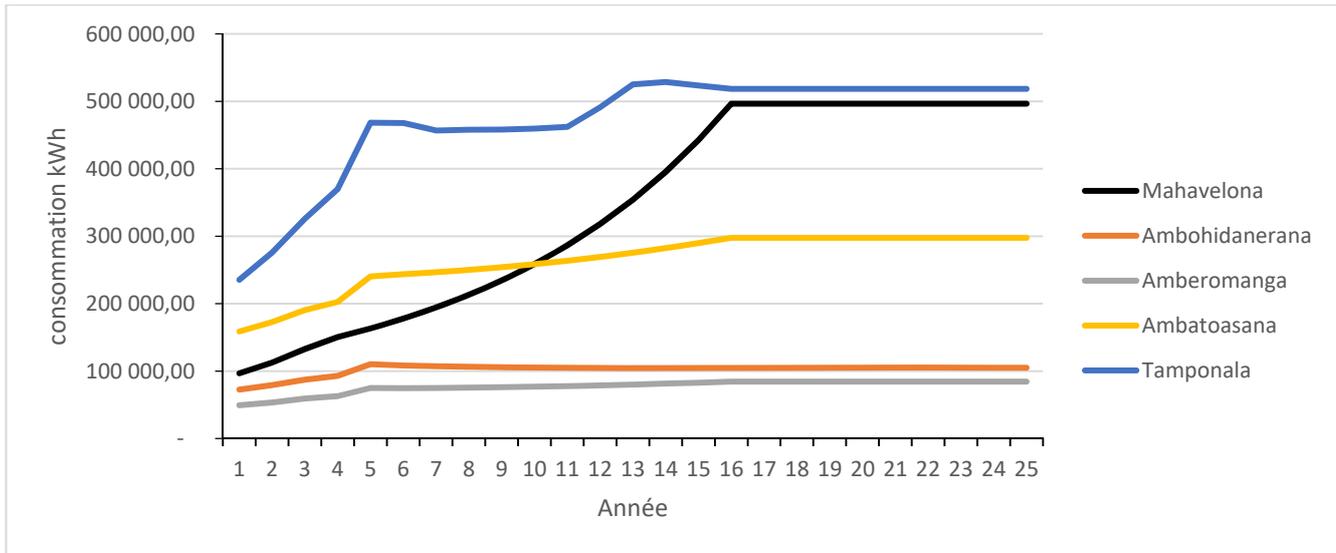


Fig. 5. Consommation énergétique par communes sur 25 ans

Il y a augmentation de la consommation jusqu'à l'année 15. La consommation annuelle totale des villages à partir de la 16^{ème} année d'exploitation reste stable à 1.502 GWh. Pendant l'horizon de projet 25 ans, la consommation totale prévisionnelle sera 31,239 GWh.

3.4. Dimension de la centrale

La base de calcul pour le besoin en puissance et stockage est basée sur la demande en énergie à la cinquième année. Après cette première phase, une deuxième phase d'ajout des puissances et stockage sera prévue. La capacité à installer pour chaque village est représentée par la figure 6.

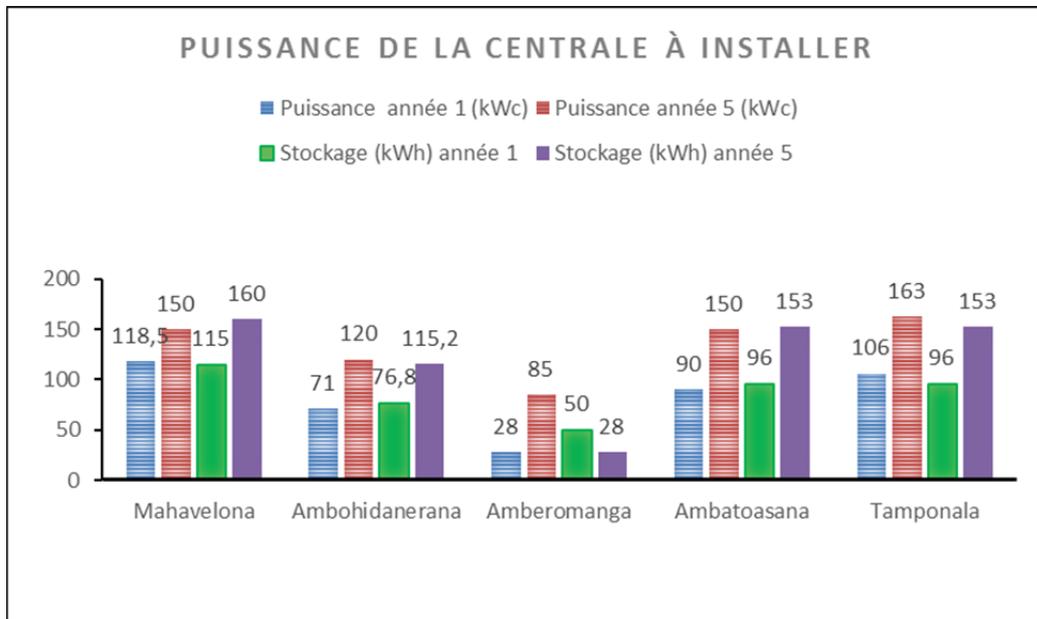


Fig. 6. Capacité de la centrale à installer

La capacité totale nécessaire à installer à la première année du projet est 413.5 kWc en solaire photovoltaïque et 433.8 kWh en stockage. En puissance de sortie centrale 425 kW, soit huit onduleurs de 50 kW chacun et une unité de 25 kW pour la

consommation jour et trente-sept unités d'onduleur bidirectionnel 8 kW chacun pour la consommation de nuit et les périodes d'ensoleillement défavorable. Pour la deuxième phase, on devait ajouter la puissance de la centrale de 26% à 70% par rapport à la puissance initiale, pour cela, la puissance totale des panneaux solaires sera 668 kWc, celle de stockage 609.2 kWh, avec 700 kW en puissance de sortie soit, treize onduleurs de puissance 50 kW et deux onduleurs 25 kW en plus des cinquante unités d'onduleur chargeur de puissance 8kW chacun pour la consommation de nuit.

3.5. . Aspect financier et capacité à payer

Pour couvrir le maximum des bénéficiaires en quantité et couverture géographique et pour développer le fonctionnement d'affaire du permissionnaire, le tarif interprété à partir de l'enquête faite pour la capacité et la volonté à payer des futurs usagers nous donne le prix de kWh entre 0.45 \$ et 0.41 \$.

TABLE III. ASPECTS FINANCIERS

	Mahavelona	Ambohidanerana	Amberomanga	Ambatoasana	Tamponala
Coût d'investissement total (\$)	922 411,92	566 577,55	389 588,06	726 961,18	900 263,68
Temps de retour sur investissement (ans)	18	19,00	19,00	18	18

Le total d'investissement à faire pour tous les villages pendant la durée d'exploitation qui est prévu 25 ans (le cas de Mahavelona est 25 ans) est 3 505 802,39 USD.

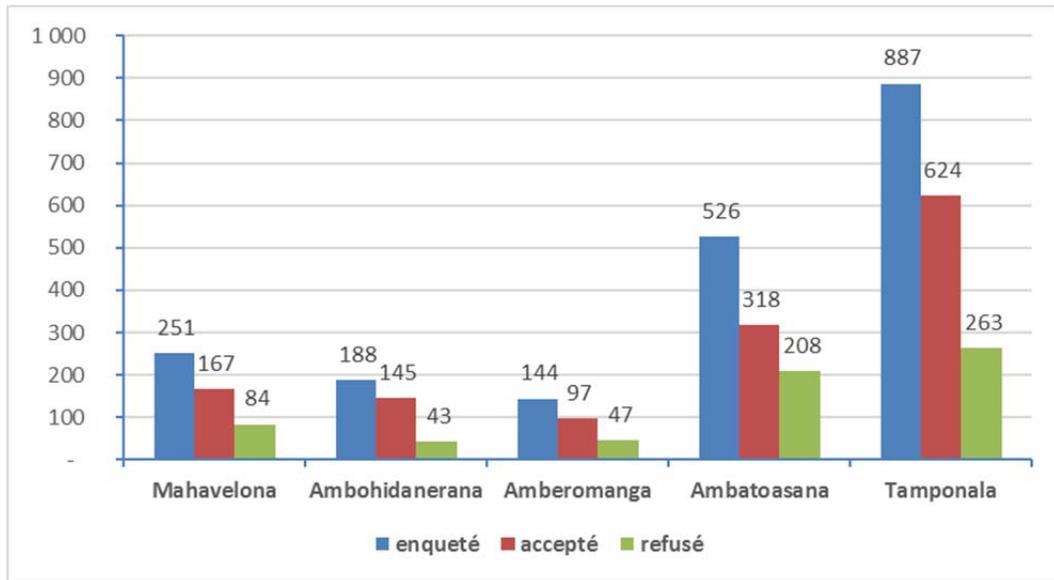


Fig. 7. Volonté à payer l'électricité et à raccorder au réseau

Parmi les 1996 enquêtés, 68% ont la volonté à payer les frais de raccordement, le prix de l'électricité et se raccorder au réseau électrique. Le 32% ont l'inquiétude. La cause de ce refus est généralement à faute de la promesse répétée faite par les politiciens lors de la campagne d'élection qui n'était pas réalisée lorsqu'ils sont élus. Comme le cas de Mahavelona, le 8% des clients raccordés actuellement sont ceux qui ont refusé lors de l'enquête durant la phase d'étude.

IV. CONCLUSION

Cet ouvrage à monter la potentialité en offre et demande de l'électrification rurale du district de Soavinandriana région Itasy, pays Madagascar, particulièrement les communes rurales de Mahavelona, Tamponala, Ambatoasana, Ambohisanerana et Amberomanga. Nous avons entrepris notre étude depuis juin 2020 pour le cas de Mahavelona projet pilote qui est actuellement en troisième mois d'exploitation, et en janvier 2021 pour les quatre communes. L'objectif dans la filière électrification rurale est de démontrer que la couverture totale en électricité d'un district est fort possible. Car pour le cas de district en question il n'y que quatre sur seize communes qui n'ont pas de projets d'électrification en cours. Le site fonctionne bien comme prévu avec un taux de raccordement de 137% par rapport à la prévision dans l'étude. Le taux de croissance de la population est 2,5% à 2% qui sont formés par des structures jeunes. La segmentation des usagers est divisée en six (ménages et industries PME) selon leur niveau de vie, leur besoin et leur capacité à payer. Le nombre d'abonnés passera de 583 en première année, 1411 en cinquième année et 2402 à la fin de l'horizon de contrat d'exploitation. La consommation totale pendant la durée de contrat d'exploitation sera 31,239 GWh. La puissance totale nécessaire pour satisfaire les besoins totaux et pour rentabiliser le projet est de 668 kWc des panneaux solaires, pour 609.2 kWh en batterie de stockage, avec 700 kW en puissance de sortie. Le coût total d'investissement pour ces cinq communes s'élève à 3 505 802 \$ soit 14 514 021 887 MGA avec un temps de retour sur investissement de 19 ans en prenant le cas pessimiste. Bref, toutes les communes étudiées sont prometteuses même si deux d'entre eux sont petits en taille. Cependant, Tamponala et Mahavelona sont les meilleures. Les 67% des futurs usagers interviewés sont prêts pour le paiement de raccordement et la facturation de l'électricité, mais en réalité après la présence de premier poteau pour le réseau cette situation a changé à 80%. La technologie proposée dans cette étude est celle de lithium ion qui donne un investissement assez élevé au démarrage, mais intéressant pour une durée de 25 ans par rapport aux autres types déjà existants.

REFERENCES

- [1] Ambassade de France à Madagascar, les solutions de l'expertise française aux problèmes énergétiques à Madagascar, rapport nov. 2017, 6p
- [2] GRET, contexte général de l'électrification rurale à Madagascar, 2006
- [3] Banque mondiale, small hydro resource mapping in Madagascar executive summary [french version] march 2017, p 12
- [4] Banque mondiale, Madagascar Systematic Country Diagnostic 99197, 25 Août 2015, p.21,100,101
- [5] Plan directeur de la recherche sur les énergies renouvelables 2014-2018, - mesupres, p 17, 2015
- [6] ADER, Etude de L'énergie à Madagascar enjeux et opportunités d'affaires, Mars 2018
- [7] Timothy John R Dizon, Nobuo Saito, Mark Donald C Reñosa, Thea Andrea P Bravo , Catherine J Silvestre, Vivienne F Endoma, Experiences in Using KoBo Collect and KoBo Toolbox in a Cross-Sectional Dog Population and Rabies Knowledge and Practices Household Survey in the Philippines; MEDINA 2021 (p1082-1083), DOI: 10.3233/SHTI220278 , in press
- [8] <https://www.sma.de/fr/produits/applications-mobiles-et-logiciels/sunny-design>
- [9] D. MAZILLE, V. BOITIER, Quels logiciels utiliser pour estimer la production d'une installation photovoltaïque ?, 10p
- [10] Naoki Nitta, Feixiang Wu, Jung Tae Lee, Gleb Yushin,, Li-ion battery materials: present and future, Materials Today, Volume 18, Issue 5, pages 252-264, ISSN 1369-7021, June 2015
- [11] Eftekhari, Ali, On the Theoretical Capacity/Energy of Lithium Batteries and Their Counterparts, ACS Sustainable Chemistry & Engineering 2019 7 (4), 3684-3687, DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b04330, 19 Mars 2018