

LISTE DES ABREVIATIONS

ADER	: Agence pour le Développement de l'Électrification Rurale
CR	: Commune Rurale
DEP	: Direction d'Étude et de Planification
EnR	: Énergie Renouvelable
GdM	: Gouvernement de Madagascar
HMT	: Hauteur Manométrique Total
JIRAMA	: JIro sy RAno MAIagasy
MESSAGE	: Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental impacts
NPE	: Nouvelle Politique Énergétique
PGES	: Plan de gestion environnementale et sociale
PDR	: Plan du Développement et de Recherche
PEPSE	: Poverty Eradication and Planning of Stainable Energy
PV	: Photovoltaïque
SRN	: Service de la Réglementation et de la Normalisation
SEP	: Services d'Études et Programmation

NOMENCLATURES

Symboles	Définition	Unités
B_j	Besoin journalier	Wh/j ou Ah/j
C_b	Capacité de la batterie	Ah
E	Énergie	Wh
E_{élec}	Énergie électrique	Wh
H	hauteur	m
HTM	Hauteur Manométrique Totale	m
I	Intensité	A
I_b	Intensité de courant	A
P	Puissance	W
D	Diamètre	mm
P_c	Puissance crête	W _c
Q	Débit	m ³ /h ou L/s
Q_{max}	Débit maximal	L/h ou m ³ /h
t	temps	h ou s
U	Tension	V

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Région Androy	8
Figure 2: Exemple des capteurs solaires installés dans un terrain.....	16
Figure 3: Schéma d'une installation PV hybride.....	18
Figure 4: Exemple d'un site isolé sur un terrain	19
Figure 5 Choix d'une pompe selon la HMT et le débit demandé	28
Figure 6: Interrupteurs flotteur électrique	30
Figure 7: Schémas d'une pompe centrifuge	30
Figure 8: Pompe solaire avec ses différents éléments	32
Figure 9: Schémas complet de l'installation	33
Figure 10: Exemple de pompe à eau solaire villageoise	38

LISTE DES SCHEMAS

Schéma 1: situation de l'énergie Madagascar	8
Schéma 2: Centrale de dimensionnement.....	18
Schéma 3: Schémas de fonctionnement	31
Schéma 4: Dimensionnement d'un pompage	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Irradiation solaire à ANDROY	5
Tableau 2: Listes des projets et des centrales solaires dans la région à Androy.....	9
Tableau 3: Taux d'électrification de la région Androy en 2016	10
Tableau 4: Estimation du besoin journalier	11
Tableau 5: Dimensionnement d'une centrale à CEG Ambondro.....	19
Tableau 6: Quelques problèmes et propositions de solution.....	21
Tableau 7: Avantages et inconvénients.....	22
Tableau 8: Caractéristiques de la dynamo	29
Tableau 9: Caractéristique de cette pompe	32
Tableau 10: Caractéristique de la batterie	36

TABLE DE MATIERES

<i>DEDICACE</i>	<i>i</i>
<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>ii</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i>	<i>iii</i>
<i>NOMENCLATURES</i>	<i>iv</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>v</i>
<i>LISTE DES SCHEMAS</i>	<i>v</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>v</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
Partie 1 : Étude d'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification à Madagascar : « Cas dans la région Androy »	
1 Introduction	3
1.1 Contexte	4
1.1.1 Potentiel solaire à Madagascar	4
1.1.2 Gisement solaire	5
1.2 Problématiques	5
2 Hypothèses de travail et/ou Objectifs du travail	6
2.1 Objectifs du travail	6
2.2 Questions de recherche.....	7
2.3 Hypothèse de travail.....	7
3 Revue de la littérature	7
3.1 Situation de l'énergie à Madagascar	7
3.2 Zone d'étude.....	8
3.2.1 Sources des énergies utilisées dans la région Androy	9
3.3 Énergie solaire à Madagascar	9
3.4 Technologie solaire à Madagascar	10
4 Matériel et méthodes	10

4.1	Électrification	10
4.2	Méthode.....	10
4.2.1	Méthode de dimensionnement	11
4.3	Analyse des impacts de l'intégration de l'énergie solaire	14
4.3.1	Social.....	14
4.3.2	Économiques	15
4.3.3	Environnementaux	15
4.3.4	Effet sur le sol et sous-sol	17
4.3.5	Faune et flore.....	17
4.3.6	Effet de risques naturels	17
5	Résultats	18
6	Discussion.....	20
6.1	Solutions à mettre en place pour éviter des effets négatifs	20
6.2	Quelles solutions/innovations techniques et économiques pour assurer cette intégration ?	21
6.3	Avantages et inconvénients.....	22
7	Conclusion.....	24
<i>Partie II : Conception et réalisation d'une pompe à eau solaire</i>		
1	Introduction.....	26
1.1	Généralité sur la caractéristique de la pompe.....	27
1.1.1	La pompe volumétrique	27
1.1.2	La pompe centrifuge.....	28
2	Matériel et méthode.....	29
2.1	Matériel	29
2.1.1	Le générateur photovoltaïque :.....	29
2.2	Méthode.....	30
2.2.1	Principe de fonctionnement de pompe centrifuge.....	30

2.2.2	Fonctionnement et constitution :	30
2.2.3	Utilisations	33
2.2.4	Dimensionnement de la pompe solaire	34
2.2.4.1	Principe de dimensionnement	34
2.2.4.2	Calcul de la puissance crête Pc des Panneaux solaires de cette pompe	34
2.2.4.3	Calculs du nombre et de la capacité de la batterie	35
2.2.4.4	Calcul de la Hauteur Limite (ΔH_{limite})	37
3	Résultats	38
4	Discussion.....	38
4.1	Interprétation	39
4.2	Avantages	39
4.3	Inconvénients	39
5	Conclusion.....	40
	Conclusion générale.....	41
	REFERENCES CYBEROGRAPHIQUES	42
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	42

Introduction générale

Pour lutter contre le changement climatique, divers pays commencent à mener des politiques en engageant des moyens financiers pour la recherche de l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables. À cet égard plusieurs actions ont été mises en œuvre afin d'encourager les particuliers et les collectivités à recourir aux énergies de demain, dont l'énergie solaire. De telles actions permettent de réduire la consommation en énergie « non renouvelable » telle que le pétrole, le gaz naturel et aussi le nucléaire qui prouve de jour en jour sa dangerosité sur l'environnement voire sur les êtres humains compte-tenu de son exposition aux éventuelles catastrophes naturelles comme les tremblements des terres et aux accidents causés par l'homme lui-même. [1].

Tout le monde quel qu'il soit où il vit même dans les zones les plus enclavées, a le droit d'accès aux développements lui assurant un niveau de vie décent. « Les individus constituent une véritable richesse de la nation. Le développement doit être un processus qui conduit à l'élargissement des possibilités offertes à chacun... ». Actuellement, nul n'ignore l'importance de l'électricité et l'eau, c'est l'un des vecteurs de développement. Pour les zones près de la ville, le transport de l'énergie électrique ne pose pas beaucoup de problème. Par contre, pour les zones éloignées de la ville, ceci reste quasiment impossible vu les coûts des installations et du transport.

L'insuffisance des infrastructures économiques de base nuit à l'amélioration des performances en matière de croissance économique et de réduction de la pauvreté. Pour pallier à cette insuffisance, particulièrement dans le domaine de l'énergie, le gouvernement, par le biais de l'ADER (agence de développement de l'électrification rurale), encourage l'électrification à Madagascar. Pour la protection de l'environnement au niveau mondial, il faut réussir impérativement à concilier la poursuite d'une politique énergétique soutenue et la réduction de ses impacts négatifs sur l'environnement et la santé. De ce fait, l'effort est orienté vers la promotion des solutions immédiatement profitables à tous et pour nos futures générations.

L'électricité d'origine renouvelable peut être une solution efficace. Un système photovoltaïque qui recharge automatiquement des accumulateurs dès que le soleil brille est alors une solution bien plus avantageuse que d'avoir un groupe thermique pour alimenter une commune [1].

Dans cette perspective, mon projet d'étude est orienté vers l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau dans un puits vers un réservoir. Ce projet qui est pour l'instant à l'état de prototype peut être amélioré afin d'augmenter sa fiabilité et pour être réellement exploitable pour une famille ou une communauté villageoise.

Le plan de ce travail se divise en deux grandes parties. Nous commençons par l'étude de l'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification à Madagascar. Dans la deuxième partie, je présenterai mon projet personnel intitulé « Conception et réalisation d'une pompe à eau solaire ». Une conclusion générale est enfin proposée à la fin du manuscrit reprenant les principaux résultats et émettant quelques perspectives et pistes d'études complémentaires à nos travaux.

*Partie 1 : Étude d'intégration de
l'énergie solaire pour l'électrification à
Madagascar : « Cas dans la région
Androy »*

1 Introduction

L'Énergie joue un rôle important dans la vie quotidienne des hommes. Elle est impérative à chaque stade du processus de production et presque à chaque moment de notre vie quotidienne, surtout à cette époque où la technologie prend une place de plus en plus dominante [1,2].

À Madagascar, le secteur de l'Énergie a été longtemps marginalisé ; ce n'est que depuis quelques décennies que l'on a pris conscience de son importance. Depuis les années 1990 alors, le secteur a été libéralisé petit à petit. Des réformes ont été entreprises mais peinent à montrer les résultats escomptés [2].

Les Malagasy ont pour objectif de couvrir plus de 5 % de leurs besoins électriques avec l'énergie solaire d'ici 2020 et 15 % d'ici 2030 (NPE). L'opérateur du réseau électrique local a commandé une étude sur l'absorption du réseau afin de déterminer les limites techniques à l'atteinte de ces objectifs. L'étude s'est concentrée sur l'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification à Madagascar. Et nous choisissons dans partie sud de Madagascar la région Androy comme milieu d'étude. Il en est ressorti que l'obstacle principal était le maintien des réserves de production de secours pour compenser une diminution rapide de la production d'énergie PV.

Cette partie du mémoire est dédiée à l'étude de l'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification à Madagascar et plus particulièrement au cas de la région d'Androy. Le mémoire commence par le contexte, la problématique, ensuite l'hypothèse de travail et/ou objectifs du travail, la revue de la littérature. Ensuite nous présentons le matériel et la méthode, puis nous continuons avec les résultats de cette recherche et enfin, nous terminons par la discussion et la conclusion.

1.1 Contexte

Au cours des années 70, le prix du pétrole a augmenté d'une façon spectaculaire. Au début de l'année 1980, comme alternative aux énergies fossiles, l'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification a progressé régulièrement avec l'utilisation des systèmes de quelques watts, en site isolés et en milieu urbain [3]. Le Gouvernement via le Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures a mis en place, en 2015, la Nouvelle Politique de l'Énergie (NPE). Cette dernière vise à redynamiser le secteur d'ici l'horizon 2030 [2].

Les taux d'accès au service de l'électricité de la population dans la région Androy est parmi les plus faibles et 95% de la capacité de production d'électricité existante sont d'origine thermique : le diesel [4].

1.1.1 Potentiel solaire à Madagascar

Le soleil est un astre incandescent (sa température superficielle est estimée à 5750°C) qui émet un rayonnement électromagnétique sous forme de lumière et de chaleur, ses rayons sont indispensables aux réactions biochimiques de la vie végétale et animale existantes à la surface de la terre [1].

Les systèmes basés sur la conversion de l'énergie solaire par effet photovoltaïque connaissent actuellement une forte croissance au niveau mondial et devraient représenter une part importante du futur mix énergétique à l'horizon de quelques décennies. L'électricité solaire devient une réalité économique dans de nombreux pays, les coûts de production de cette électricité devenant équivalents à ceux de l'électricité achetée sur le réseau pour les tarifs "résidentiels" (tous les tarifs privés ou professionnels non industriels).

Le capteur solaire a une fonction précise, celle de transformer le rayonnement solaire en énergie :

- Sous forme de chaleur pour produire de l'eau chaude sanitaire ou chauffer des locaux.
- Sous forme d'électricité pour l'autoconsommation ou la vente sur le réseau.

La présence d'un capteur solaire sur un bâtiment se justifie par une nécessité fonctionnelle, répondant à certaines contraintes techniques, et devra nécessairement faire l'objet d'un traitement esthétique, tout comme la fenêtre ou la porte du bâtiment, il doit être considéré comme un élément de composition architecturale [1].

1.1.2 Gisement solaire

Pour le gisement solaire, presque toutes les régions du pays ont plus de 2.800h d'ensoleillement annuel, soit l'équivalent de 1500 à 2400 kWh/m²/an. L'exploitation de cette forme d'énergie serait une option capable de relever le défi pour la réduction de la pauvreté en milieu rural [5].

Madagascar est parmi les pays riches en potentiel d'énergie solaire. Cette énergie est exploitée actuellement pour la cuisson, le chauffage, le séchage et la génération d'électricité pour les télécommunications, l'éclairage, la conservation des médicaments, la climatisation [6].

Selon la Banque mondiale, le malgache recèle le plus grand potentiel solaire. Bien que le climat du Madagascar varie considérablement du nord au sud, les moyennes nationales sont de 2800 heures de soleil par an avec une moyenne de rayonnement solaire de 5,05 à 6,5 kWh/m² par jour [7].

Le tableau suivant présente effectivement l'irradiation solaire dans la région d'Androy.

Tableau 1: Irradiation solaire à ANDROY

Irradiation solaire à ANDROY (kWh/m ² /j)											
JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
5.13	5.56	6.17	6.34	6.14	5.72	5.65	5.79	6.38	6.22	5.55	5.05

Source : PVGIS-CWSAF(2016) (Latitude : 24°45'39'S, longitude : 46°15'40'E)

1.2 Problématiques

La problématique principale abordée ici concerne l'analyse de l'impact de l'intégration de petites unités de production à énergie renouvelable (PV/Stockage) à un réseau de distribution fragile. Cette analyse a nécessité, en plus d'adapter les modèles des sous-systèmes développés au cours des travaux antérieurs précités, d'élaborer des méthodes de dimensionnement et des stratégies de gestion adaptées au contexte d'étude d'un réseau de distribution fragile.

Un Plan Directeur de la Recherche est élaboré pour répondre à des problématiques actuelles du secteur énergétique à Madagascar, dans une optique de recherche et développement. C'est un document de référence pour le développement de la recherche malgache. Les analyses mettent

en exergue plusieurs problèmes pour le développement de l'énergie à Madagascar et pour lesquels la recherche pourra apporter des réponses.

2 Hypothèses de travail et/ou Objectifs du travail

2.1 Objectifs du travail

L'objectif de cette étude est d'aider le Gouvernement de Madagascar (GdM), représenté par le Ministère chargé de l'Énergie, avec l'Agence de Développement de l'Électrification Rurale (ADER), dans la mise en œuvre de la Nouvelle Politique de l'Énergie (NPE) qui permettra d'atteindre le taux d'accès à l'électricité en milieu rural de 10% en 2020 et de 70% en 2030 au niveau national à travers l'utilisation de sources d'énergie plus efficaces. Le défi de cette étude est de :

- Augmenter le taux d'accès à l'électricité par la mise en place de l'intégration de l'énergie solaire.
- Améliorer l'accès aux services d'électricité des pôles de développement au niveau des Régions comme moyen de moderniser les conditions de vie ;
- Promouvoir les sources énergétiques alternatives viables économiquement au niveau des ménages et des petites et moyennes entreprises.

L'objectif principal consiste à dispenser une formation couvrant les secteurs d'activités en énergie électrique et énergie solaire

- La production et la conversion de l'énergie électrique à base de l'énergie solaires
- La maîtrise, la gestion et l'exploitation des ressources d'énergies
- La conception et le développement des systèmes adaptés aux systèmes à énergies
- L'intégration des énergies solaires pour l'électrification dans le réseau électrique,

Cette formation permet de donner aux candidats des compétences suffisantes pour mieux répondre aux domaines d'actualités en rapport avec les énergies renouvelables et l'efficacité d'énergie électrique.

2.2 Questions de recherche

« Intégration des énergies solaire variables dans les systèmes électriques : comment s'y prendre » ? Met en évidence les enseignements tirés, identifie les facteurs critiques de réussite et proposer des solutions pratiques pour réussir cette intégration». Quelles sera les impacts sur la croissance et l'amélioration au niveau de vie de la population ? Quelles sont ses avantages et ses inconvénients ?

2.3 Hypothèse de travail

L'hypothèse de cette travaille de recherche sont d'alimenter en énergies solaires les régions d'ANDROY, renforcez la production d'électricité de chaque région, développement des infrastructures d'origine renouvelables, électrification rurale et urbaine par système solaires domestiques, augmenter l'accès à l'électrifier en milieu urbain et rurale à partir de l'énergie solaire.

3 Revue de la littérature

3.1 Situation de l'énergie à Madagascar

À Madagascar, l'énergie est obtenue soit par production soit par importation. On parle plus de production dans le cas des énergies primaires ; les énergies secondaires sont obtenus après transformation des énergies primaires. [8]

Toutefois, il est pertinent de savoir que l'offre d'énergie primaire à Madagascar est dominée par le bois énergie. Ce n'est qu'au début des années 2010 que l'offre en charbon minéral commence à prendre de l'ampleur. [8]

Les hypothèses utilisées concernant le mix de production électrique pour les réseaux sont les suivantes :

- 41% Thermiques
- 59% Énergie renouvelable
 - Hydroélectriques,
 - Solaires,
 - Éoliennes,
 - Biomasse

Dont 5% de de ce production pour l'énergie solaire. (Source : Donnée JIRAMA)

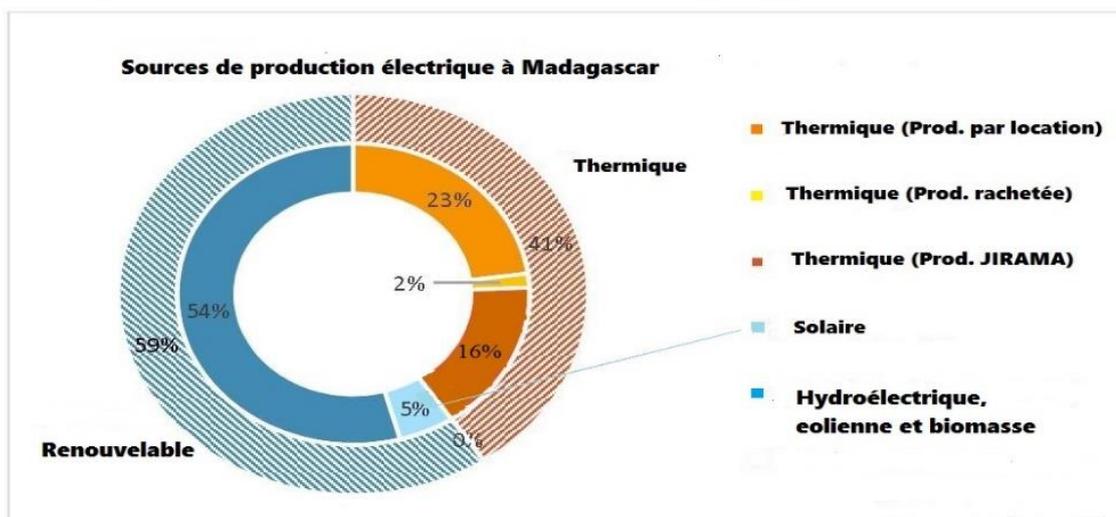


Schéma 1: situation de l'énergie Madagascar [données JIRAMA]

3.2 Zone d'étude

L'étude se situe dans la zone sud de Madagascar, dans la province de Toliara : région Androy. Cette région est constituée de 4 districts : BEKILY, BELOHA, AMBOVOMBE ANDROY et TSIHOMBE. Avec une superficie 18 373 km² et habitée par 553 238 habitants. La région d'Androy est classée dernière quant aux électrifications avec un taux d'électrification de 8% en général et 1% pour la rurale [4].

. La **figure 1** ci-dessous montre notre zone d'étude.

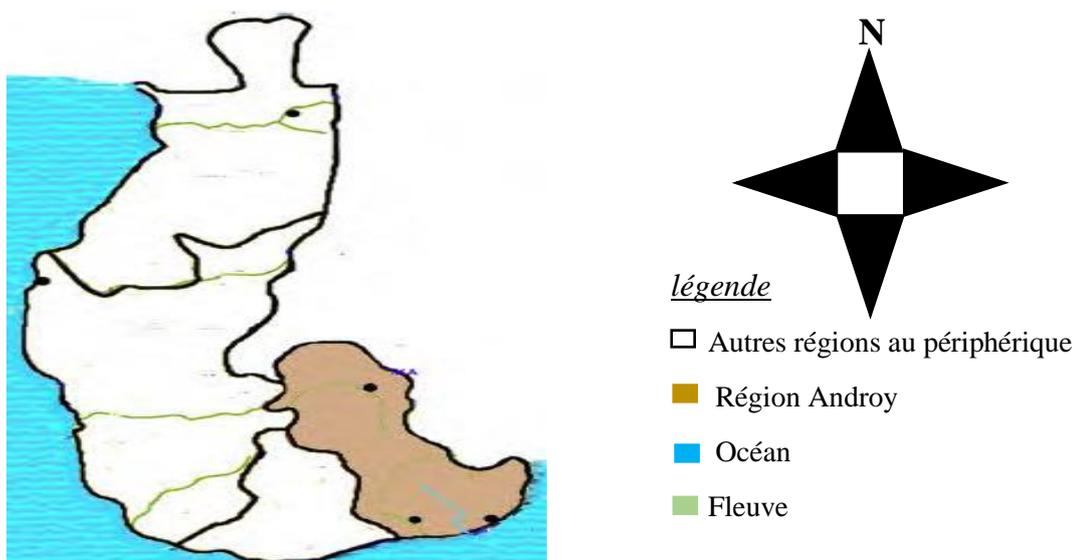


Figure 1: Région Androy [9]

L'étude d'intégration de l'énergie solaire dans la région d'Androy a pour objectif de réduire sa dépendance vis à vis des énergies fossiles.

3.2.1 Sources des énergies utilisées dans la région Androy

Les bois ramassés sont les combustibles les plus utilisés dans la Région Androy avec une proportion de 90,3% en 2005 et 90,2% en 2010 et la consommation d'électricité est très faible dans la Région, avec un taux de 1,7 % en 2012. Le pétrole lampant constitue encore la principale source d'éclairage (81,8%). [7]

Tableau 2: Listes des projets et des centrales solaires dans la région à Androy (ADER-[4])

Intitule	Sites/Villages	Région	Technologie	Puissance installée
Projet SOLAIRES SUD (AP2)	107	Androy	Mini réseau solaire	5840kW
Système hybride Éolien / Solaire	1	ANDROY (Ambondro - Association Angovo Soan'Androy)	Éolien / Solaire	12 kW (éolien) 2,28kWc (solaire)
Systèmes solaire à usage familial	178	Androy ANALAPATSY	solaire	20Wc-240Wc

3.3 Énergie solaire à Madagascar

Généralement, la production d'énergie à Madagascar est liée à ses ressources naturelles et aux productions agricoles.

D'après le schéma 1, c'est 5% seulement de la production d'électricité qu'on a utilisé à Madagascar

Tableau 3: Taux d'électrification de la région Androy en 2016 [4]

<i>Régions cibles</i>	<i>Nombre de communes</i>	<i>Nombre de communes électrifiées</i>	<i>Taux d'électrification générale</i>	<i>Taux d'électrification rurale</i>
Androy	62	4	8%	1%

Le taux d'accès à l'électricité passe de 5.21% en fin 2014 à plus de 10% en 2020

3.4 Technologie solaire à Madagascar

Grâce à une diminution considérable des coûts liés aux systèmes photovoltaïques (PV) et à la réduction des coûts accessoires (coûts qui ne sont pas liés à l'équipement, coûts liés à la réglementation et aux frais d'administration), la production d'énergie photovoltaïque s'approche graduellement de la parité avec le réseau d'électricité. La plupart des gouvernements provinciaux et territoriaux ont adopté des politiques visant à simplifier le cadre de réglementation pour les clients qui souhaitent investir dans leur propre système de microproduction d'énergie renouvelable, parmi d'autres mesures générales d'économie d'énergie, et réduire leurs coûts en électricité.

4 Matériel et méthodes

4.1 Électrification

Afin d'intégrer l'énergie solaire dans une région dans le cadre de l'électrification à Madagascar, nous devons faire au préalable des dimensionnements des besoins en électricité.

4.2 Méthode

Dans le cas de l'action combinée du PV et de la batterie, nous devons déterminer un certain nombre de variables : [8]

- la puissance à assurer par le système pour limiter les chutes de tension ;
- le bilan énergétique de la batterie.
- la puissance de sortie de l'onduleur ;

Le bilan énergétique de la batterie indique le mode de fonctionnement du système. S'il est positif la batterie est en charge. Dans le cas contraire la batterie débute son cycle de décharge. Par hypothèse, nous considérerons que le système ne tombe jamais en panne [8].

Le tableau suivant montre une étude réalisée dans une école rurale. Il s'agit des besoins journaliers pour le collège d'enseignement général dans la commune Ambondro Androy, en 2018.

Tableau 4: Estimation du besoin journalier

	Type d'équipements	Nbre	P.unitaire (W)	P.totale (W)	Utilisation (h/jour)	Energie (Wh)
SALLES DE CLASSE	Lampes néon	20	20	400	6	2400
	ordinateur	13	40	520	8	4120
	Téléviseur	1	85	85	4	340
	Radio	1	35	35	2	70
LOGEMENTS	Lampes néon	16	20	320	6	1920
	Ordinateur	6	40	240	12	2880
	Téléviseur	1	85	85	7	595
	Radio	2	35	70	4	280
					total	12605Wh /j

Le total des besoins énergétiques quotidiens B_j est estimé à 12605Wh/j.

4.2.1 Méthode de dimensionnement

- **Estimation de la puissance totale à installer:**

Avant de faire l'estimation de la puissance totale des modules solaires, il fallait procéder préalablement au choix de l'ensemble des équipements solaires autres que les panneaux à installer de façon à pouvoir déterminer le rendement de ces derniers. Après avoir fait un tour d'horizon des équipements solaires disponibles sur le marché local, nous nous sommes rendu compte qu'il fallait que nous commandions l'ensemble des matériels à l'étranger.

Pour déterminer la puissance à installer, on utilise la formule suivante (Guide Pratique du solaire photovoltaïque, Jean-Paul Louineau, 2005):

$$P = \frac{B_j}{I_r * \eta_{batt} * \eta_r} \quad (1)$$

Avec :

- P = puissance des modules solaires à installer en Watt crête (Wc)
- B_j= estimation des besoins journalier en Watt heure par jour (Wh/j)
- I_r= rayonnement solaire global moyen annuel calculé sur une période de 10 ans en kilowattheure par mètre carré et par jour (kWh/m²/J)
- η_{batt}= rendement des batteries
- η_r = rendement de régulateur

Le rayonnement solaire global moyen annuel pour le site considéré n'ayant pas été mesuré, nous prendrons les valeurs du rayonnement du **tableau 1** Nous prendrons la valeur du mois de juillet **I_r = 5.65 kWh/m²/j**. Pour le rendement des batteries, on considère le chiffre donné par les constructeurs, nous prendrons ici pour ce modèle la valeur de 90%. Pour le régulateur, nous prendrons pour ce modèle la valeur de 80% : η = 0,8.

L'application donne les résultats suivants :

$$P = \frac{12605}{5.65 * 0.9 * 0.7}$$

$$P = 3541.23Wc$$

• **Estimation de la capacité totale des batteries :**

La capacité des batteries est déterminée avec la formule suivante :

$$C_b = \frac{B_j * N_{ja}}{U * D_d * \eta_{batt}} \quad (2)$$

Avec :

C_b : capacité des batteries en Ampères-heures (Ah)

N_{ja} : Nombre de jour d'autonomie souhaitée pour les batteries.

U : Tension de la batterie en volts courant continue (Vcc)

Dd : Degré de décharge imposée pour les batteries.

η_{batt} : rendement de la batterie

Nous avons estimé que le système solaire que nous allons mettre en place fonctionnera en 12Vcc.

Pour l'autonomie des batteries, on tiendra compte des caractéristiques climatiques de la zone qui sont les suivantes :

- Durée d'insolation moyenne annuelle : 2800 heures soit 8h/jour
- Nombre de jours d'autonomie est de 2 jours afin de limiter la taille du stockage
- Degré (ou taux) de décharge des batteries : Dd = 0,7 soit 70%

L'application de la formule donne les résultats suivants

$$C_b = \frac{12605 \cdot 2}{12 \cdot 0.7 \cdot 0.9}$$

$$C_b = 3334.66 \text{Ah}$$

- **Choix du nombre de batteries :**

Étant donné que la tension du système est de 12 Vcc, le nombre de batteries solaires à installer sera fonction de la capacité unitaire de ces dernières. Nous avons choisi des batteries à électrolyte gel et étanches de 200 Ah/12V de marque Su-Kam. Le nombre de batteries (Nb) à installer est le suivant :

$$N_b = 3334.66/200 = \mathbf{16.67}$$

Le fait de surdimensionner légèrement est également conseillé pour tenir compte des pertes éventuelles dans le circuit.

$$N_b = \mathbf{18}$$

- **Choix du nombre de modules solaires:**

Pour les modules solaires, nous avons pris délibérément des modules de 150 Wc/12V en raison d'une promotion qui nous a été proposée pour ce modèle. Le nombre de modules solaires (**N_m**) nécessaire est le suivant :

$$N_m = 3541.237/150 = 23.60$$

Nous avons donc fait le choix de prendre **25 modules solaires de 150 Wc/12V** en raison de la tension préalablement fixée pour le système (12V).

$$N_m = 25$$

- **Dimensionnement du régulateur de charge:**

Le dimensionnement du régulateur est fait en tenant compte de deux contraintes :

1. Il doit supporter l'intensité maximale de court-circuit (I_{scm}) générée par les modules photovoltaïques :
2. Il doit supporter l'intensité nominale de la totalité des récepteurs à courant continue (I_{nm}) qu'il alimente directement :

$$\blacksquare \quad I_{scm} = I_{sc} \times N_m$$

Avec : - I_{sc} : l'intensité de court-circuit de chaque module

- N_m : le nombre de modules installé

4.3 Analyse des impacts de l'intégration de l'énergie solaire

4.3.1 Social

L'intégration de l'énergie solaire contribuera à réduire les inégalités sociales liées à l'accès des populations à l'électricité. Les effets majeurs attendus sont :

- l'amélioration de la qualité de vie des ménages à travers un éclairage décent, une meilleure conservation des produits alimentaires, l'utilisation d'équipements électroménagers et d'appareils électroniques permettant de mieux s'informer, communiquer et se distraire ;
- le renforcement de la sécurité des personnes et des biens avec l'éclairage public ;

- le regain des activités commerciales et artisanales avec une meilleure productivité des économies locales ;
- la création de nouvelles activités jusque-là difficiles à mener par le manque d'électricité permanente (ateliers de soudures, de maintenance et de menuiserie), ce qui constitue une opportunité de création d'emplois et contribuera à ralentir l'exode des jeunes ruraux vers les centres urbains.
- Les conditions d'études dans la zone intégrée par l'énergie solaire seront améliorées ainsi que le fonctionnement des centres de santé qui disposeront d'une meilleure conservation des produits pharmaceutiques et une bonne utilisation de leurs équipements.
- L'accès à l'eau potable sera accru avec la substitution du pompage électrique au détriment du pompage manuel au niveau des forages.
- L'impact le plus grand sera sur les populations rurales qui auront accès à des services modernes d'électricité et de téléphone (et possiblement d'autres).

Cet impact peut être mesuré en termes d'améliorations des conditions de vie, de santé et d'hygiène, d'éducation, la sécurité et le fait que les gens sont mieux informés sur ce qui se passe dans le reste de Madagascar et, bien sûr, du monde. Les différences importantes entre les malagasy urbains et ruraux seront réduites [4-8].

4.3.2 Économiques

A partir des données d'ensoleillement, des deux profils de charge déterminés et sur la base d'une approche globale du système, le comportement de l'énergie du système est simulé. Nous avons pu déterminer l'ensemble des couples (surface de capteur, stockage d'énergie) conduisant au confort de l'utilisateur [9].

4.3.3 Environnementaux

Les impacts positifs sur l'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification :

- pendant les travaux : la création d'emplois temporaires, l'augmentation des revenus des populations riveraines notamment les femmes vendeuses de repas sur les chantiers ;
- pendant l'exploitation des ouvrages : l'amélioration des conditions de vie des populations avec l'accès à une électricité pérenne, peu polluante et à un coût abordable, l'amélioration des conditions d'études grâce à l'éclairage domestique et public, un meilleur fonctionnement des services sociaux (santé, écoles), la réduction des nuisances sonores

produits par les groupes électrogènes individuels très répandus dans la zone du projet, le développement du commerce et des petits métiers.

- L'électricité qui sera fournie à partir du panneau solaire aux populations bénéficiaires sera d'un mix énergétique moins polluant (hydroélectricité et gaz). La substitution de l'éclairage électrique au détriment de l'éclairage à base de bougies, pétrole lampant et biomasse aura un impact écologique positif.

L'énergie solaire ne sera véritablement durable que lorsque le cycle de vie des modules photovoltaïques aura été bouclé [3]. L'intégration de l'énergie solaire ont des impacts sur les environnements.

L'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification à Madagascar entraîne de déplacement de populations et perturbe très peu le milieu naturel. Les risques de destruction des arbres et autres éléments de l'écosystème sont limités avec le choix des tracés. Les principaux impacts négatifs sont les dommages aux cultures et aux sols, qui seront engendrés par le passage des véhicules et les engins pendant les travaux et les pertes de terres liées à l'implantation des poteaux électriques dans des champs.

L'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification à Madagascar a besoin de grand terrain en cas d'une grande centrale photovoltaïque comme la montre la figure ci-dessous.



Figure 2: Exemple des capteurs solaires installés dans un terrain [13]

Les mesures proposées pour atténuer ces impacts négatifs consistent en une indemnisation conséquente des personnes affectées et la réalisation de plantations de compensation.

4.3.4 Effet sur le sol et sous-sol

L'imperméabilisation du site, par la pose des fondations et l'implantation des locaux techniques, reste faible. Aucune érosion du sol par l'écoulement des eaux pluviales n'est à prévoir pour les raisons suivantes : [14]

- Répartition des points d'écoulement sur les surfaces enherbées,
- Relief de la parcelle très peu marqué à l'état final,
- Pas de modification des surfaces bétonnées/bitumées sur lesquelles seront implantées certains panneaux,
 - Hauteur minimale des modules à 70 cm par rapport au sol permettant le développement spontané de la végétation.

4.3.5 Faune et flore

Concernant la phase d'exploitation, le site ne représentera pas un obstacle à la libre circulation de la faune, en particulier de la petite faune. Cela est vrai au niveau du site d'implantation, les panneaux photovoltaïques étant espacés et surélevés, permettent une circulation sous et entre ces derniers. Il convient toutefois de veiller à ce que la clôture qui sera disposée en limite du site soit perméable à la petite faune, à travers :

- une légère surélévation du grillage (passage sous la clôture) ;
- ou un maillage grossier permettant un franchissement par la petite faune.

4.3.6 Effet de risques naturels

L'intégration de l'énergie solaire dans la région d'ANDROY pour l'électrification n'est pas susceptible d'entraîner une augmentation des risques naturels, ni de leurs conséquences, et ne présente pas de sensibilité particulière vis-à-vis de ces risques. Le site de projet ne se trouve pas dans une zone à risque d'inondation.

5 Résultats

Prenons l'exemple de l'étude de dimensionnement dans le collège d'enseignement général (CEG) dans la commune Ambondro Androy, en 2018 avec une puissance installée de 1.3kw.

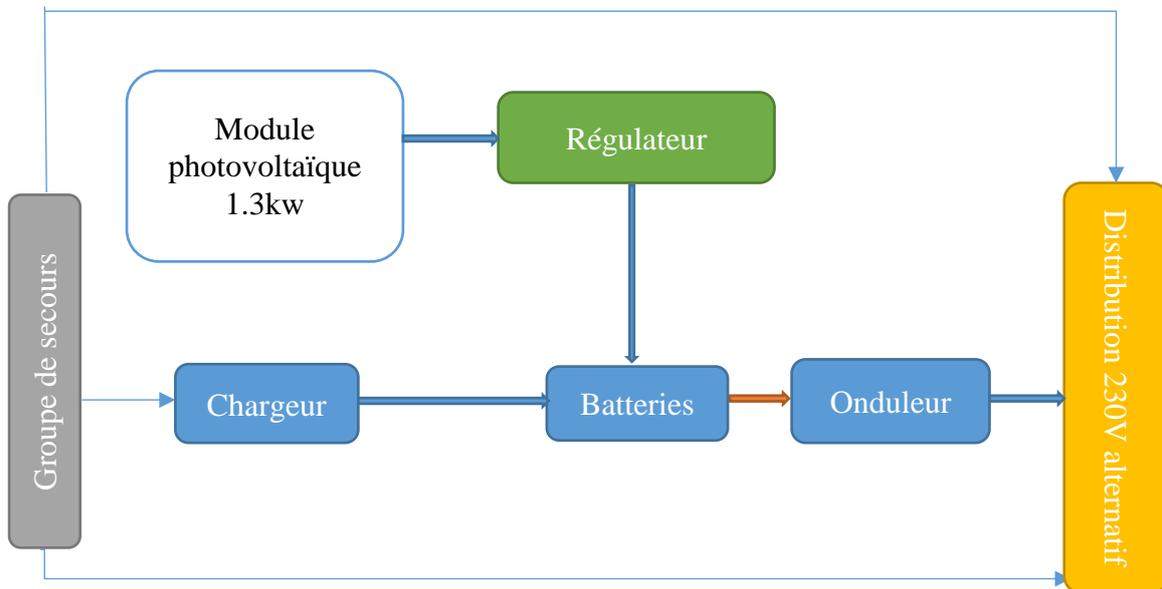


Schéma 2: Centrale de dimensionnement

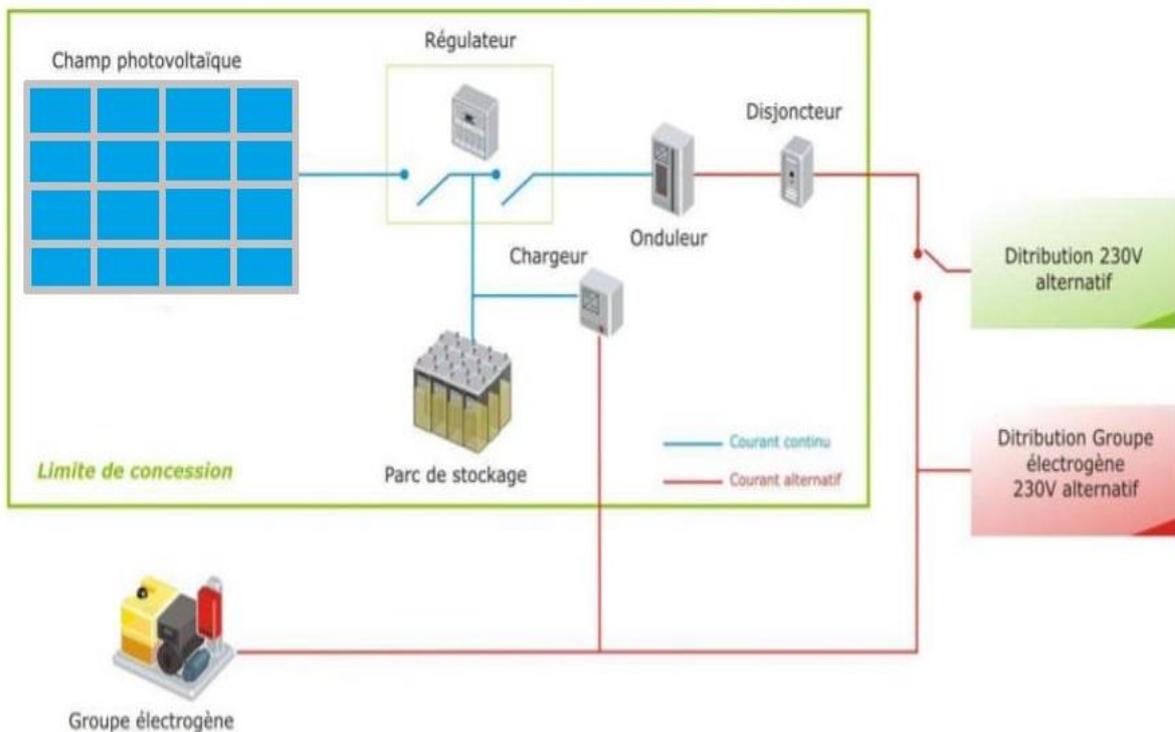


Figure 3: Schéma d'une installation PV hybride [15]

Tableau 5: Dimensionnement d'une centrale à CEG Ambondro [4]

Nombre de panneau	batterie	onduleur	Chargeur	Groupe de secours	Régulateur
25\150Wc monocristalline	18batterie/12v \150Ah	1 de type Sunny Island 5043	1	1 avec une puissance de 2kVA	1 (60A) de type MPPT

Une telle installation nécessite (24x9) m² de superficie sur un terrain.

La **figure 4** suivante montre un exemple de parc solaire dans le district d'Ambovombe Androy, pour alimenter une commune rurale. 1000 abonnés auront ainsi accès aux services de l'électricité sans avoir recours aux hydrocarbures et pour un coût inférieur à leurs dépenses actuelles (bougies, piles, lampes à pétrole). Environ 112 000 personnes auront accès à des services sociaux de qualité. [11]



Figure 4: Exemple d'un site isolé sur un terrain [16]

L'intégration de l'énergie solaire dans la région Androy permettra de faire passer le taux d'électrification rural de moins de 1 % à 15 % dans la Région Androy. [11]

6 Discussion

6.1 Solutions à mettre en place pour éviter des effets négatifs

Le Plan de gestion environnementale et sociale (PGES) décrit les mesures d'atténuation, de suivi, de bonification et de consultation requises pour prévenir, minimiser, atténuer ou compenser les impacts environnementaux et sociaux négatifs.

- Optimisation de la conception de l'aménagement ;
- Plan de prévention des risques majeurs ;
- Programme de protection (reboisement, prévention érosion) ;
- Appui à la conservation de la faune et de la flore ;
- Programme de relocalisation (transfert des personnes et des biens) ;
- Soutien aux moyens de subsistance ;
- Plan santé-sécurité-environnement.

Pour cela, nous devons prendre notre responsabilité en nous engageant à mettre en place un programme volontaire de reprise et de recyclage des déchets des modules photovoltaïques en fin de sa vie. Cela permettra la réutilisation après recyclage des matières nécessaires afin de respecter l'environnement.

6.2 Quelles solutions/innovations techniques et économiques pour assurer cette intégration ?

Tableau 6: Quelques problèmes et propositions de solution

Problèmes identifiés	Proposition de solution
La variabilité (intermittence) affecte l'ajustement à court et long terme de la production et la consommation	REDUIRE LA VARIABILITE Une gestion planifiée de la ressource solaire sous contrainte de minimiser la variabilité sur les systèmes
L'énergie solaire affecte la gestion des réseaux de transport et de distribution de l'électricité	RENDRE LE RESEAU PRO-ACTIF Donner les moyens au gestionnaire de réseau de gérer activement les flux électriques
Les mécanismes de soutien créent des distorsions économiques sur les marchés électriques par une allocation non efficiente des risques opérationnels et financiers	REALLOUER LES RISQUE OPERATIONNELS ET FINANCIERS Responsabiliser les producteurs solaires et repenser l'architecture des marchés

À partir de ce modèle, il a été possible de tester l'intégration de l'énergie solaire grâce à différentes architectures. L'analyse des effets à court et à long terme de l'intermittence a montré que l'intermittence modifiait les capacités d'ajustement à court et à long terme de la consommation à la production. Ces effets sont particulièrement importants lorsque les investissements en capacités solaires et la production électrique ne sont pas gérés de manière centralisée mais selon une logique d'investisseur dont l'objectif est la maximisation du profit. [13].

Régule la gestion des déchets et propose un recyclage pour évaluer la faisabilité d'une synergie.

6.3 Avantages et inconvénients.

Les systèmes photovoltaïques présentent un grand nombre d'avantages et d'inconvénients comme la comparaison dans le **tableau 7** suivante qui sont : [18]

Tableau 7: Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<p>❖ <u>Social</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Meilleur accès à l'information (en général) • Promotion des activités génératrices de revenus • Augmentation du taux de scolarisation des enfants, notamment les filles, et meilleurs résultats scolaires. • Électrifier un foyer ou un village permet de lutter contre la pauvreté. • Contribution à la diminution de la dispersion de l'habitat et tendance au regroupement. • Ainsi beaucoup d'opportunités ont été offertes aux populations de la CR grâce à l'électrification. 	<p>❖ <u>Social</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Déplacement des foyers lors de la construction d'une centrale solaire
<p>❖ <u>Santé</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Effet positif sur la santé publique: conservation des médicaments et vaccins 	<p>❖ <u>Santé</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Aucune inconvénient
<p>❖ <u>Environnement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la pression sur les ressources forestières (bois de chauffe et charbon de bois). • Dans des écosystèmes fragiles, l'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification remplace les énergies fossiles permet de réduire les pollutions 	<p>❖ <u>Environnement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ils sont tributaires des conditions météorologiques.

<p>❖ <u>Sécurité</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Amélioration la lutte contre l'insécurité et de la sécurité individuelle et collective éclairage domestique et public. 	<p>❖ <u>Sécurité</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sans inconvénient
<p>❖ <u>Ensoleillement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Madagascar est parmi les pays riches en potentiel d'énergie solaire. 	<p>❖ <u>Ensoleillement</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • L'inconvénient majeur d'énergie d'origine photovoltaïque est le cas d'absence de l'ensoleillement, ciel couvert ou pendant la nuit, ce qui exige un stockage d'énergie produite par le système durant les jours ensoleillés sous forme chimique dans des accumulateurs,
<p>❖ <u>Technologie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • À la maison, un meilleur éclairage permet aux enfants de faire leurs devoirs dans de bonnes conditions. • le développement du commerce et des petits métiers. • L'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification peut donner la mécanisation du pompage améliore la qualité de l'eau. 	<p>❖ <u>Technologie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • L'énergie issue du générateur photovoltaïque est continu et de faible voltage (< à 30 V) donc il doit être transformé par l'intermédiaire d'un onduleur. • Beaucoup d'appareils vendus sur le marché fonctionnent avec du 230 V alternatif • La fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie, ce qui rend le coût très élevé.

7 Conclusion

À travers cette étude, il ressort la nécessité de connaître l'évolution et l'introduction des matérielles technologies modernes comme énergie solaire donne beaucoup dans l'amélioration, la production et le rendement dans le domaine de l'électrification.

Ainsi, l'intégration des énergies solaire dans le monde rural peut mener à une amélioration des conditions et du niveau de vie des populations dans le cadre du développement durable.

Le développement de ce modèle a permis d'apprendre beaucoup sur le dimensionnement des réseaux et leur fonctionnement, ainsi que les choix à effectuer pour y intégrer du solaire. Il ne semble pas y avoir aujourd'hui de frein technologique à l'intégration du solaire dans les réseaux Malagasy, Il serait intéressant de compléter cette étude et d'utiliser les résultats obtenus pour réaliser une analyse financière de ces systèmes et définir des seuils de rentabilité. Il faudrait prendre en compte le contexte politique et économique de Madagascar. L'évolution du prix des énergies et du terrain par exemple, ou encore la politique d'incitation menée au niveau national.

Partie II : Conception et réalisation d'une pompe à eau solaire

1 Introduction

L'évolution de la vie a été possible grâce à la présence de l'eau. Cependant, bien qu'existant en quantité abondante, seule une petite portion de cette eau est réellement disponible pour la consommation humaine ou animale. Les eaux salées des mers et des océans représentent près de 97% du volume total d'eau de notre planète, et une grande partie des 3% restants se trouve bloquée sous forme de neige, de glaciers ou d'eaux souterraines profondes.[19]

La source primaire d'eau douce provient des précipitations. Pour être amenées en surface, les eaux souterraines ont besoin d'être pompées. Par conséquent, la nécessité d'une pompe et donc d'une source fiable d'énergie s'impose. Les profondeurs de pompage peuvent être tout à fait variables (de quelques mètres à 100 mètres). Il peut aussi y avoir des limitations de la quantité d'eau à extraire de la nappe. Cela est fonction des caractéristiques de la nappe qui doivent être déterminées en effectuant un test de pompage adéquat [19]. Le recours à l'énergie solaire est l'objet de questionnements récurrents, notamment de la part des autorités locales et nationales des pays du Sud, comme des acteurs Malgache de coopération. Les préoccupations dictées par les enjeux de développement durable, et le souci de maîtriser les coûts d'exploitation dans un contexte de renchérissement du prix du gasoil incitent en effet à étudier de près l'option « solaire » pour le pompage des eaux destinées à l'approvisionnement en eau de boisson, mais aussi pour le développement des activités maraichères qui procurent sécurité alimentaire et revenus.

2.1.1. Objectif

L'eau est une ressource essentielle et il faut pouvoir extraire l'eau quel que soit l'endroit de la planète. L'organe essentiel pour l'extraction de l'eau est la pompe. Selon la source d'énergie disponible (solaire, éolienne, groupe,...) et selon l'utilisation (zone urbaine, zone rurale) l'architecture de la chaîne d'énergie et le choix des pompes sera différent mais dans ce prototype de projet on utilise le solaire comme source d'énergie. Cette ressource a pour objectif de :

- Classer les différentes solutions d'extraction de l'eau,
- Donner les solutions qui permettent de transformer l'énergie électrique en énergie hydraulique,

- Donner les éléments de conception du réseau hydraulique pour un système d'extraction de l'eau pour l'utilisation collective,
- Donner l'architecture et le rendement des différents composants pour extraire l'eau destinée à un usage individuel ou villageois.

1.1 Généralité sur la caractéristique de la pompe

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement, soit de type volumétrique ou centrifuge. Outre ces deux classifications que nous décrirons plus loin, on distingue également deux autres types de pompes en fonction de l'emplacement physique de la pompe par rapport à l'eau pompée : la pompe à aspiration et la pompe à refoulement. La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9,8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres. [20]

Les pompes à aspiration sont donc toujours installées à une hauteur inférieure à celle-ci. Ces pompes doivent également être amorcées, c'est-à-dire que la section en amont de la pompe doit être remplie d'eau pour amorcer l'aspiration d'eau.

Les pompes à refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur. [21]

1.1.1 La pompe volumétrique

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

Les pompes volumétriques incluent les pompes à vis, les pompes à palettes, les pompes à piston et les pompes à diaphragme. Les deux derniers types sont utilisés dans les puits ou les forages profonds (plus de 100 mètres). Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur. [21-22]

Le rendement est souvent voisin de 90 %.

1.1.2 La pompe centrifuge

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et est poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. La puissance consommée, proportionnelle à $Q \times \text{HMT}$, variera donc dans le rapport du cube de la vitesse. On utilisera habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres) [20-21-22].

Le rendement est de l'ordre de 60 à 70 % : il est inférieur à celui des pompes volumétriques.

Le type de pompe utilisé pour une installation familiale ou villageoise est la pompe centrifuge immergée. Pour une HMT moyenne, comprise entre 10 et 50 mètres, la pompe immergée centrifuge est généralement la plus efficace. Pour des débits plus élevés, l'emploi d'une pompe centrifuge est souvent le seul choix possible.

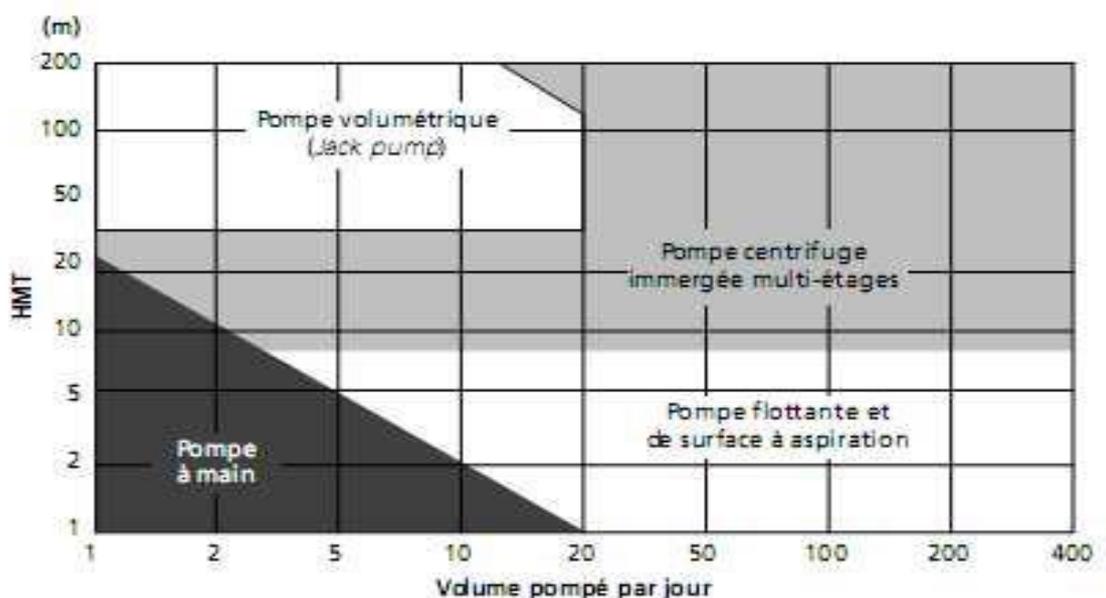


Figure 5 Choix d'une pompe selon la HMT et le débit demandé [20]

Mon prototype c'est une pompe à eau solaire centrifuge immergée

2 Matériel et méthode

2.1 Matériel

2.1.1 Le générateur photovoltaïque :

Généralement, un système solaire photovoltaïque comprend un panneau solaire photovoltaïque, une batterie d'accumulateurs stocke l'énergie électrique produite pour pouvoir la restituer à tout moment, un régulateur de charge-décharge protège la batterie contre les surcharges et décharges profondes [13].

- **Partie moteur :**

D'une façon générale, le moteur d'une pompe convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Pour mon projet, une dynamo de bicyclette fait office de moteur. Celle-ci est alimentée par une batterie de (12V, 10Ah) permettant ainsi de faire tourner une hélice. L'eau extraite de la nappe est ensuite envoyée dans un réservoir.

Tableau 8: Caractéristiques de la dynamo

Type	Continue
Tension	12V
Courant	0.15A
Vitesse de rotation	500tr/mn

- **Interrupteurs flottant électrique**

- ❖ **Interrupteur de manque d'eau**

Le système de protection « manque d'eau » élimine les risques de détérioration de la pompe en coupant automatiquement l'alimentation électrique, en cas de fonctionnement sans eau, placée dans le puit.

- ❖ **Interrupteur de trop-plein**

Assure la coupure de l'électricité lorsque le réservoir est plein



Figure 6: Interrupteurs flotteur électrique [19]

2.2 Méthode

2.2.1 Principe de fonctionnement de pompe centrifuge

Le fluide est aspiré axialement, sous l'effet de la rotation de l'impulseur, dans le corps de la pompe où il est accéléré radialement dans l'aube avant d'être refoulé. L'arbre est mis en mouvement grâce à un moteur électrique.

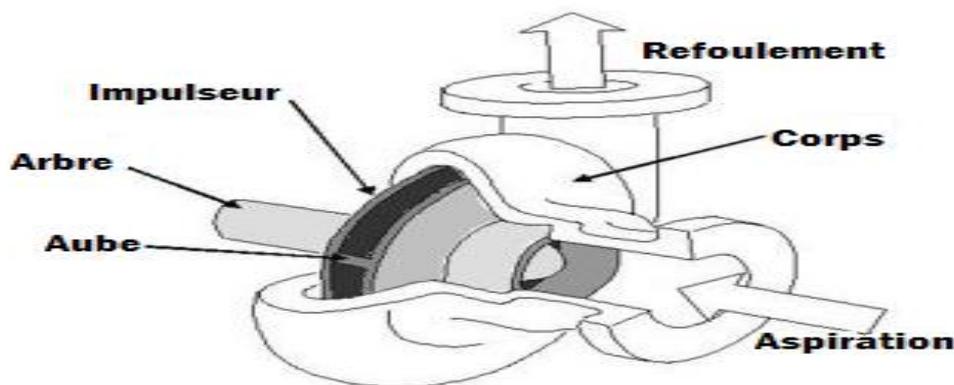


Figure 7: Schémas d'une pompe centrifuge [23]

2.2.2 Fonctionnement et constitution :

Généralement, lorsqu'on veut faire fonctionner un récepteur à tout moment, jour ou nuit, ensoleillement ou non, avec un système photovoltaïque, on utilise une batterie d'accumulateurs. Pour le pompage, c'est différent. En effet, il est plus facile et moins onéreux de stocker de l'eau que de l'énergie. De plus, on s'affranchit de la durée de vie de la batterie et de l'entretien

Les pompes permettent de déplacer un liquide d'un point à un autre. Pour déplacer ce liquide il faut lui communiquer de l'énergie. Les pompes remplissent cette fonction. Le moteur qui alimente les pompes transforme l'énergie électrique en énergie mécanique pour permettre le mouvement des organes des pompes. Cette énergie mécanique est retransmise au fluide. Cette énergie fluide se traduit sous forme de débit (énergie cinétique) et de pression (énergie potentielle). Ces énergies vont s'échanger et se consommer dans les circuits de l'installation. La

pompe que nous décrivons plus loin est une pompe à piston, elle est placée au fond du puits et elle refoule l'eau du forage vers le condenseur. A la sortie de celui-ci, elle est envoyée vers un réservoir où elle peut être utilisée par les usagers. [13]

Schémas complet

On montre ce schéma et cette figure ci-après pour mieux connaître l'architecture de cette pompe à eau solaire avec batterie,

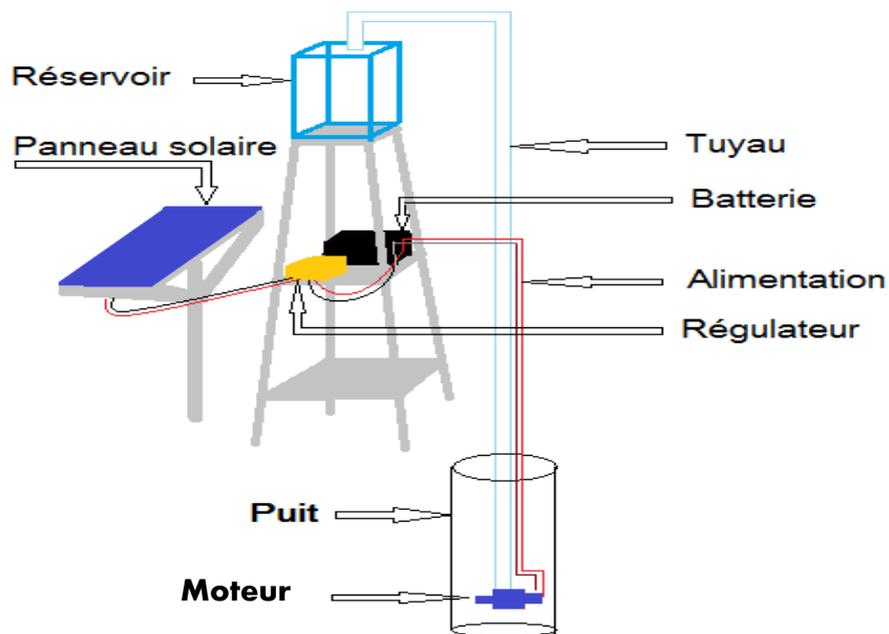


Schéma 3: Schémas de fonctionnement

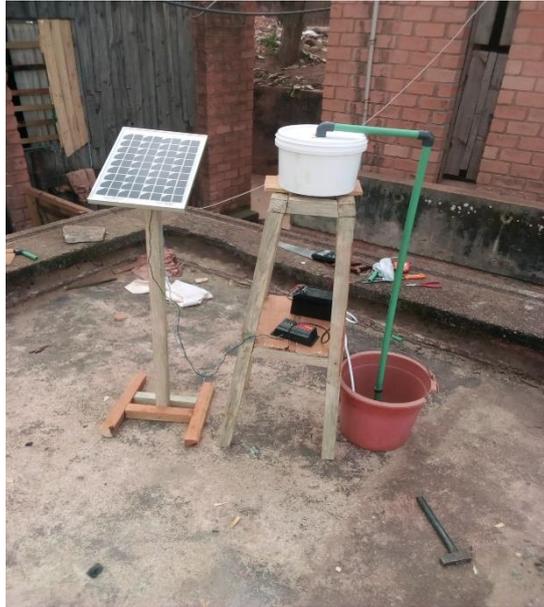


Figure 8: Pompe solaire avec ses différents éléments

Ce tableau suivant représente les caractéristiques de cette pompe

Tableau 9: Caractéristique de cette pompe

Technologie		Immergé
Hauteur de refoulement		1.00m
D	Aspiration	12mm
	Refoulement	12mm
Débit		1.65m ³ /h
Consommation		0.15A
Alimentation		12V
Descriptive		Basse pression
Type		Centrifuge

Schémas de principe

On montre sur cette figure l'architecture d'une installation complète d'une station de pompage solaire avec batterie.

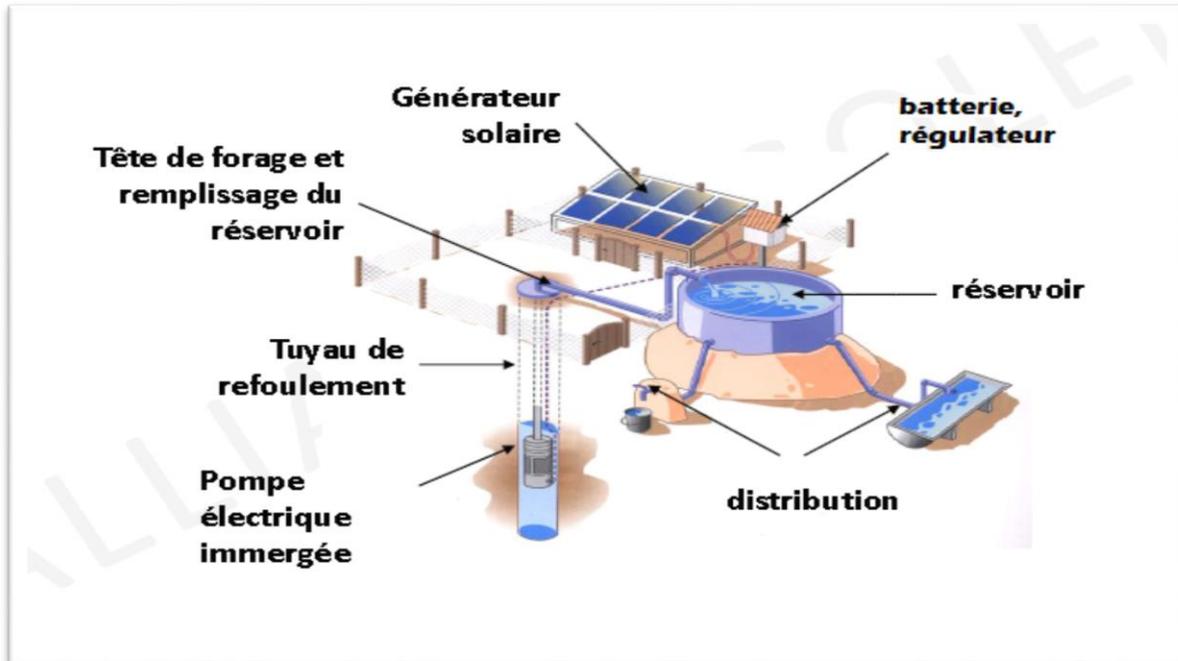


Figure 9: Schémas complet de l'installation [17]

2.2.3 Utilisations

Cette pompe solaire est conçue pour des fontaines et bassins d'intérieur ou d'extérieur. Elle est alimentée par un panneau solaire. Pour un rendement optimal, le panneau solaire nécessite d'être placé face au soleil.

Les performances de la pompe dépendent de la puissance d'entrée du panneau solaire et de l'intensité des rayons du soleil.

Les pompes à eau alimentées par l'énergie solaire sont utilisées principalement pour

- ✚ La gestion de réserves d'eau.
- ✚ L'irrigation des cultures (éventuellement via un dispositif de goutte-à-goutte),
- ✚ L'abreuvement de bétail,

2.2.4 Dimensionnement de la pompe solaire

2.2.4.1 Principe de dimensionnement

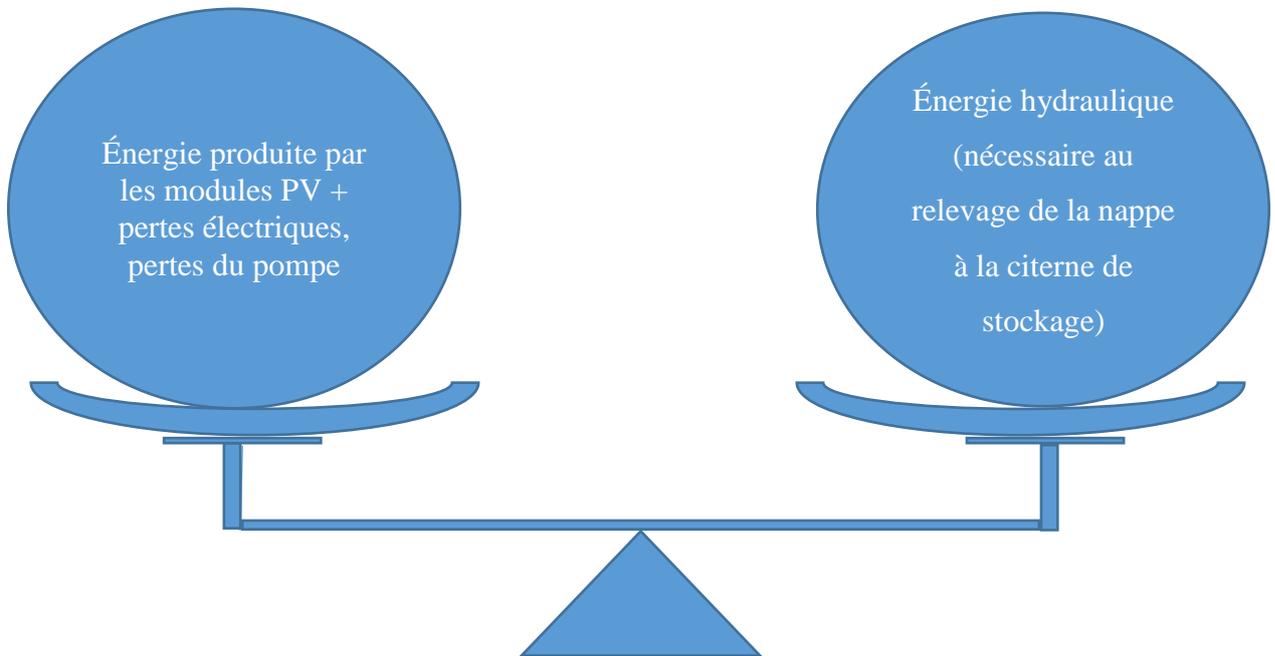


Schéma 4: Dimensionnement d'un pompage [17]

2.2.4.2 Calcul de la puissance crête P_c des Panneaux solaires de cette pompe

L'énergie fournie par les panneaux solaires en une journée doit être égale à l'énergie journalière consommée par la pompe. Pour un fonctionnement 12 h/j, déterminons le besoin et la consommation en électricité journaliers.

$$U=12V \text{ et } I= 0.15A \Rightarrow$$

$$P=U \cdot I = 1.8W \quad (3)$$

$$E=P \cdot t = 1.8 \cdot 12 = 21.6Wh \quad (4)$$

$$B_j = 21.6Wh/j \text{ soit } 1.8Ah/j$$

Puissance crête du panneau :

$$P_c = \frac{B_j}{\eta_{batt} * \eta_{rég} * E_{sol}} \quad (5)$$

Avec : B_j : Besoin journalière = 21.6Wh/j

η_{batt} : rendement de la batterie = 0.9

$\eta_{rég}$: Rendement du régulateur = 0.7

E_{sol} : Ensoleillement = 5.65kWh/m²/j (pour le mois de juillet dans la région Androy)

$$P_c = \frac{21.6}{0.9 * 0.7 * 5.65} = 6.17W_c$$

Donc un panneau de 10W\12V

2.2.4.3 Calculs du nombre et de la capacité de la batterie

$$C_b = \frac{B_j * N_{ja}}{U * D_d * \eta_{batt}} \quad (6)$$

Avec : C : capacité de la batterie

N_{ja} : Nombre de jour d'autonomie = 2jours

U : tension de la batterie = 12V

D_d : Degré pour décharge de la batterie

η_{batt} : rendement de la batterie

$$C_b = \frac{21.6 * 2}{12 * 0.5 * 0.9} = 8Ah$$

Soit une batterie de 10Ah\12V pour tenir compte des pertes éventuelles dans le circuit.

Tableau 10: Caractéristique de la batterie

Marque	Prolink
Tension	12V
Capacité	10Ah
Courant initiale	2.7 A

Note de calcul avec variation électronique de vitesse

Les trois facteurs principaux d'une courbe de pompe sont le débit, la pression ou hauteur manométrique totale et la puissance absorbée. En variation de vitesse ils suivent les règles d'évolutions suivantes :

- Le débit Q est proportionnel à la vitesse de rotation de la pompe.
- La hauteur manométrique totale HTM est proportionnelle au carré de la vitesse de rotation.
- La puissance absorbée P d'une pompe est la puissance mécanique absorbée, en kW ou en W, au niveau de l'arbre ou de l'accouplement de la pompe. Elle est proportionnelle au cube de la vitesse de rotation et est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$P = \frac{\rho * g * Q * H}{\eta} \quad (7)$$

P : puissance à l'arbre en watts = 1.8W

ρ : masse volumique de l'eau en $\text{kg/m}^3 = 1000\text{kg/m}^3$

g : accélération de la pesanteur = 10 m/s^2 ,

Q : débit refoulé, en m^3/s ,

H : hauteur manométrique totale, en m,

η : rendement, compris entre 0.6 et 0.7 (pompe centrifuge),

Dans ce prototype, on utilise 1m de tuyau de refoulement, donc à partir de ça, nous pouvons calculer son débit vers le réservoir.

$$Q = \frac{P * \eta}{\rho * g * H}$$

$$Q = \frac{1.8 * 0.65}{1000 * 10 * 1} = 117 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s} \text{ soit } 0.117 \text{L/s}$$

2.2.4.4 Calcul de la Hauteur Limite (ΔH_{limite})

ΔH_{limite} c'est la variation de la hauteur maximale atteint par cette pompe ou bien Hauteur Manométrique Total, et on peut calculer à partir de la formule suivante :

$$P_H = \frac{\text{Poids de l'eau pompée} * \Delta H}{\Delta t} \quad (8)$$

Avec : P_H : Puissance hydroélectrique = $P_{\text{élec}} * \eta$ (9)

Δt : Temps

Poids de l'eau pompée = $S * \Delta H * \rho * g$ (10)

S : surface de tuyau de sortie = $(D/2)^2 * \pi$ (11)

$$= \left(\frac{0.011}{2}\right)^2 * 3.14 = 9.5 \cdot 10^{-5} \text{m}^2$$

$$\Rightarrow \Delta H^2 = \frac{P_{\text{élec}} * \eta * \Delta t}{S * \rho * g}$$

$$\Delta H = \sqrt{\frac{P_{\text{élec}} * \eta * \Delta t}{S * \rho * g}}$$

Fixons le rendement de cette pompe à $\eta = 0.65$ (pompe centrifuge)

$$\Delta H = \sqrt{\frac{1.8 * 0.65 * 1}{9.5 \cdot 10^{-5} * 1000 * 10}}$$

$$\Delta H_{\text{limite}} = 1.11 \text{ m}$$

3 Résultats

À Ambondro, dans l'extrême sud de l'île, une pompe solaire améliore l'accès à l'eau potable. Depuis 1999, un comité villageois assure avec succès la gestion du point d'eau. Cette figure montre un exemple d'une pompe à eau solaire à Androy.



Figure 10: Exemple de pompe à eau solaire villageoise [15]

4 Discussion

La Fondation de cette pompe a été mise en place en 1997, dans la région Androy, à l'extrême sud du pays dans le cadre d'un projet s'appuyant sur le solaire photovoltaïque. Objectif de ce programme : remplacer l'approvisionnement en eau potable effectué par camion-citerne ou groupe électrogène de pompage par des pompes solaires dans douze villages fréquemment touchés par la sécheresse. Le programme s'est achevé en 2006, permettant à 17 000 personnes de bénéficier d'une eau de bonne qualité, pour un coût de fonctionnement inférieur à celui des solutions précédemment utilisées. La meilleure qualité de l'eau a eu un impact très fort sur la santé de la population, réduisant notamment le taux de mortalité infantile.

4.1 Interprétation

Mon projet est un prototype, qui a une puissance très faible, et peu faire monter l'eau vers le réservoir avec débit de $1.17\text{m}^3/\text{h}$ pour une hauteur de 1 m. Le rayon de l'hélice de cette pompe est de 3 cm.

Un homme a besoin de 50L/j, donc si nous augmentons le rayon de cette hélice et agrandissons aussi la puissance de cette moteur, nous avons pu d'augmenter sa fiabilité et pour être réellement exploitable pour une famille ou une communauté villageoise.

4.2 Avantages

En permettant de pomper pour accéder à une eau de qualité, l'électricité réduit, par exemple, le temps passé à aller en chercher, mais surtout la prévalence des maladies liées à une eau insalubre. Ces pompes fonctionnent grâce à une énergie renouvelable propre, abondante et gratuite, les frais d'entretien des panneaux solaires, d'une durée de vie d'au moins vingt ans, sont quasi nuls.

L'avantage principal est qu'il n'est pas nécessaire de consommer du carburant (diesel, gaz) pour faire fonctionner les pompes, ni de penser à s'approvisionner, un vrai casse-tête. Le rayonnement solaire, abondant à Madagascar, gratuit, est aujourd'hui une source suffisante pour puiser l'eau à plus de 450 mètres de profondeur.

4.3 Inconvénients

L'installation nécessite des études préalables précises et des spécialistes, lesquels sont encore peu nombreux. Enfin, le rendement de ces pompes varie en fonction de l'importance de l'ensoleillement, de l'angle d'exposition des panneaux et de la température. Les risques de vol sont importants. Une Société propose d'installer les panneaux sur des mâts à 6 m. Pour les pompes photovoltaïques avec batterie: Leurs batteries stockant l'énergie produite par la cellule lors des périodes d'ensoleillement afin de pouvoir restituer cette énergie pour pomper l'eau en temps voulu, sont coûteuses, peu durables, nécessitent beaucoup d'entretien et peuvent engendrer une baisse de rendement de l'ordre de 20 à 30%, ce qui limite fortement l'intérêt de cette solution.

5 Conclusion

Ce projet personnel pour la réalisation et la conception d'une pompe à eau solaire a admis plusieurs expériences, mis en œuvres nos compétences en travaux pratique et calcule des dimensionnement. Et ce prototype peut être amélioré afin d'augmenter sa fiabilité. On peut envisager dans le futur de construire une pompe réellement exploitable pour une famille ou une communauté villageoise.

Conclusion générale

Pour conclure, la réalisation de ce mémoire nous a permis à avoir beaucoup d'expérience et d'obtenir des connaissances enrichissantes ; d'une part dans l'étude pour l'intégration de l'énergie solaire pour l'électrification à Madagascar « cas de la région Androy » nous avons fait connaître les impacts sur la croissance et l'amélioration du niveau de vie de la population, et les solutions à mettre en place pour éviter des effets. D'autre part, sur la réalisation de ce projet personnel « pompe à eau solaire » nous a permis aussi de mettre en œuvre nos compétences en mécanique et étude pratique.

Ce projet a été bien mené au niveau de l'approche théorique et aussi au niveau de la réalisation pratique. La conception et la réalisation d'une pompe à eau solaire nous a permis de découvrir les dimensionnements et l'utilisation d'une pompe à eau solaire, leur mode de calcul, leur fonctionnement et les avantages apportées. En effet, nous avons pu faire des grandes centrales à pompe. Cette pompe met en évidence son utilisation dans des nombreuses régions à Madagascar.

La formation pour l'obtention du diplôme de master d'ingénierie en énergie renouvelable nous offre d'une première approche le monde ingénieur au cours d'un stage de fin d'études au sein de Ministère de l'Eau, de l'Énergie et des Hydrocarbures. Ces trois mois passés au sein de ce département se sont bien déroulés et nous ont permis de prendre connaissance des différentes situations auxquelles nous allons être confrontés.

Par contre, nous avons confrontés certaines difficultés lors de la formation et sensibilisation pendant le stage d'étude.

Bref, les connaissances acquises lors de la formation donnée à l'école et lors du stage nous ont permis de renforcer notre capacité dans le secteur de développement et d'avoir une réflexion critique sur notre travail.

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

[7] : <http://www.instat.mg> (<https://fr.instat.mg/wikipedia>)

[17] : www.alliancesoleil.com/page

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : M. BENAMRA Mostefa Lamine, (02/05/2013) Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale, 11-14pages

[2] : Situation de l'énergie à Madagascar : bilan, actualité et rétrospective

[3] : K. Hamouda (juin 2012), Analyse technique et économique de recyclage des modules photovoltaïques, 20-25pages

[4] : Projets d'électrification rurale à Madagascar à partir des énergies renouvelables (solaire, hydroélectricité, éolien, biomasse) Régions : Anosy – Androy – Atsimo andrefana (En Décembre 2015)

[5] : Rapport MESSAGE G1, (power pointe)

[6] : le secteur d'énergie à Madagascar, fév. 2014

[8] : VALERIE ACQUAVIVA (le 11 juillet 2009), Analyse de l'intégration des systèmes énergétiques à sources renouvelables dans les réseaux électriques insulaires, 200-2015pages

[9] : www.ORE.mg/page2

[10] : RANDRIANARISOA Amédée Mamy Tiana, Octobre 2013, Énergie durable pour tous les ménages, les collectivités et les entreprises. 57-60pages.

[11] : Programme PEPSE Androy, Électrification de 7 communes rurales par énergies renouvelables dans la région de ANDROY, 5-7pages

- [12] : Nicolas Hulot, Novembre 2015, solaire photovoltaïque (État de lieu et analyse)
- [13] : M. Mansour Niang (avril 2008), Dimensionnement d'une station de pompage en zone maraîcher. 202pages
- [14] : jean Monnet, (janvier 2016), Étude d'impact sur l'environnement de la centrale solaire photovoltaïque au sol, 100 -106pages
- [15] : Jacques BOCHIROL, INES Éducation (21Nov 2012), les photovoltaïques intégrées au bâtiment. 104-105pages
- [16] : De l'électricité verte pour un million de ruraux à Madagascar, 60-61pages
- [18] - M.F.Shraif « Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique ». Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier de Toulouse 2002
- [19] : Toumi Nabil "Étude d'une pompe à eau solaire pour alimenter un chantier pétrolière" ; (2012/2013) 19-21pages.
- [20]] Jimmy Royer; Thomas Djiako; Éric Schiller; Bocar Sada Sy "le pompage photovoltaïque manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens" Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage français (1998)
- [21_] Guide technique Systèmes de pompage "Les économies d'énergie électrique dans les Systèmes de pompage" Bibliothèque nationale Québec ISBN 2 – 550 – 27191 – 2 (1993).
- [22] B. Flèche - D. Délignes "Énergie solaire photovoltaïque.doc" (Juin 2007).
- [23] : électrification décentralisée dans le Sud de Madagascar par le projet RESOUTH