

2022-04

# Analyse comparative des systèmes de production d'eau potable par pompage solaire : cas du projet Bishisha-Gasenyei en commune Busoni/ province Kirundo

NDAYIKENGURUKIYE, Bertrand

UB

---

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/468>

*Téléchargé depuis le dépôt institutionnel officiel de l'Université du Burundi*

UNIVERSITE DU BURUNDI  
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



« ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU  
POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA-  
GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO. »

Par

**NDAYIKENGURUKIYE Bertrand**

Mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme de Master en Sciences de  
l'Ingénieur

Option : « Génie Civil, Aménagement et Maîtrise des Projets »

**Composition du jury**

- |                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| ▪ Dr. Ir Joseph NZEYIMANA      | : Président            |
| ▪ Dr. Ir Nestor NIYONZIMA      | : Secrétaire           |
| ▪ Dr. Ir Henri NIYONGABO       | : Directeur de mémoire |
| ▪ Dr. Ir Jean Claude MVUYEKURE | : Membre               |

Bujumbura, Avril 2022.

## IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

---

- Dr. Ir Joseph NZEYIMANA : Président
- Dr. Ir Henri NIYONGABO : Directeur de mémoire
- Dr. Ir Nestor NIYONZIMA : Secrétaire
- Dr. Ir Jean Claude MVUYEKURE : membre

## DEDICACES

---

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents pour leur soutien et leurs conseils à mon égard,*

*Toute ma famille,*

*Tous les enseignants du département de Génie Civil de l'Université du Burundi,*

*Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.*

## REMERCIEMENTS

---

Avant tout, je remercie Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné la force et le courage pour accomplir ce travail.

Mes sincères et profonds remerciements s'adressent à Monsieur Dr. Ir Henri NIYONGABO, directeur de mémoire, pour sa disponibilité, ses conseils et ses orientations qui m'ont été très utiles pour la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier les professeurs de l'université du Burundi, en particulier ceux de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur, pour leur contribution durant ma formation.

Je remercie les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie également toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie mes parents Laurent NDAYIHAGAZEKO et Agnès MUSUKOYIRIWE, mes frères et sœurs, de m'avoir soutenu et encouragé pour terminer ce travail.

## RESUME

---

**La zone d'étude** est située en commune BUSONI de la province KIRUNDO, au nord du BURUNDI. Le projet dénommé « BISHISHA-GASENYI » est un projet d'alimentation en eau potable par forage et pompage solaire dont la ligne principale d'adduction longe la RN14, de KIGERI jusqu'au poste frontalier commun de GASENYI.

L'objectif principal du présent mémoire est de mener une étude comparative et de faire un choix bien réfléchi entre les deux options de pompage possible ; c'est-à-dire avec stockage énergétique (utilisation de batteries d'accumulation) ou avec stockage hydraulique ou pompage au fil du soleil.

Le travail est articulé autour de huit chapitres dont une introduction au **1<sup>er</sup> chapitre** et une conclusion à la fin du travail (**8<sup>ème</sup> chapitre**).

Au **2<sup>ème</sup> chapitre**, nous avons d'une part décrit le concept et l'utilisation de l'énergie solaire dans le monde et au BURUNDI et d'autre part posé les bases de dimensionnement des équipements spécifiques (électromécanique, bâches d'aspiration et de refoulement, conduites de refoulement) des deux options de pompage.

Le **troisième chapitre** est consacré à l'établissement d'une courbe de production à utiliser pour la zone de projet dans le cas d'un pompage au fil du soleil.

Les données de base appropriées à la zone de projet (localisation, besoins en eau, débits de dimensionnement des forages et système de pompage) sont présentées en détail au **4<sup>ème</sup> chapitre**.

Aux **5<sup>èmes</sup>** et le **6<sup>ème</sup> chapitre**, nous avons procédé aux calculs détaillés des ouvrages (bâches d'aspiration et de refoulement, conduites de refoulement) et des équipements électromécaniques (panneaux solaires, batteries, onduleurs, pompes) requis pour les deux options.

Une synthèse comparative permettant de choisir l'option la plus avantageuse est présentée au **7<sup>ème</sup> chapitre**. Il ressort de cette synthèse que pour le cas du projet « BISHISHA-GASENYI, l'option avec pompage au fil du soleil présente un avantage économique de **23%**.

**Mots clés : pompage solaire avec stockage énergétique, pompage au fil du soleil, bâche d'aspiration, réservoir de refoulement, circuit de refoulement.**

## ABSTRACT

---

The study area is located in BUSONI commune of KIRUNDO province, north of BURUNDI. The project called "BISHISHA-GASENYI" is a drinking water supply project by drilling and solar pumping, the main supply line runs along the National Road RN 14, from KIGERI to the common border post of GASENYI.

The main objective of this brief is to conduct a comparative study and to make a well-considered choice between the two possible pumping options: with energy storage (use of accumulation batteries) or with hydraulic storage or pumping over the sun.

The work is structured around eight chapters including an introduction to the 1st chapter and a conclusion at the end of the work (8th chapter).

In the 2nd chapter, we described on the one hand the concept and use of solar energy in the world and in BURUNDI and on the other hand, laid the basis for the sizing of specific equipment (electromechanical, suction and discharge, discharge lines) of the two pumping options.

The third chapter is devoted to establishing a production curve to be used for the project area in the case of pumping over the sun.

The basic data appropriate to the project area (location, water requirements, borehole sizing flow rates and pumping system) are presented in detail in the 4th chapter.

In the 5th and 6th chapter, we carried out the detailed calculations of the structures (suction and discharge tanks, discharge pipes) and electromechanical equipment (solar panels, batteries, inverters, pumps) required for the two options.

A comparative summary allowing to choose the most advantageous option is presented in the 7th chapter. It emerges from this summary that for the case of the "BISHISHA-GASENYI project, the option with pumping over the sun has an economic advantage of **23%**

**Keywords:** Solar pumping with energy storage, pumping over the sun, suction reservoir, delivery tank, delivery circuit.

## TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY .....	i
DEDICACES .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
RESUME .....	iv
ABSTRACT .....	v
TABLE DES MATIERES.....	vi
<i>LISTE DES FIGURES</i> .....	ix
<i>LISTE DES TABLEAUX</i> .....	x
SIGLES ET ABREVIATIONS .....	xi
Avant-Propos .....	xii
CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE .....	1
I.1. Problématique et justification de l'étude .....	1
I.2. Objectifs.....	2
I.2.1. Objectif général .....	2
I.2.2. Objectifs spécifiques.....	2
I.3. Méthodologie .....	2
CHAPITRE II. L'ENERGIE SOLAIRE DANS LE MONDE : CONCEPT ET UTILISATION .....	4
II.1. La source d'énergie : le soleil .....	4
II.2. Part de l'énergie solaire dans le monde.....	6
II.3. Les grands projets d'énergie solaire dans le monde .....	7
II.4. L'utilisation de l'énergie solaire au Burundi.....	8
II.5. Principe de fonctionnement et rythme de production d'un pompage solaire.....	11
II.5.1. Principe de fonctionnement .....	11
II.5.2. Rythme de production.....	13
II.5.2.1. Le pompage solaire avec stockage énergétique .....	13
II.5.2.2. Le pompage au fil du soleil .....	14
II.5.3. Etude énergétique sommaire .....	15
II.5.3.1. Le générateur photovoltaïque .....	15
II.5.3.2. Les batteries .....	16
II.5.3.3. La pompe .....	17
CHAPITRE III. COURBE DE PRODUCTION DE QUELQUES STATIONS DE POMPAGE SOLAIRE DU BURUNDI .....	19
III.1. Méthodologie suivie .....	19
III.2. Présentation des résultats.....	19

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**

III.2.1. Zone Nord.....	19
III.2.2. Zone sud .....	21
CHAPITRE IV. PRESENTATION DE LA ZONE DE PROJET .....	24
IV.1. Localisation et description.....	24
IV.2. Les besoins en eau.....	27
IV.3. La capacité hydraulique des forages.....	28
IV.3.1. Données principales.....	28
IV.3.2. Résultats des essais de pompage.....	28
IV.3.3. Interprétation des résultats .....	30
IV.4. Valeurs de dimensionnement .....	31
IV.4.1. Quantité à produire .....	31
IV.4.2. Débits de refoulement.....	31
IV.4.2.1. Pompage au fil du soleil .....	31
IV.4.2.2. Pompage avec stockage énergétique (batteries).....	32
CHAPITRE V. OPTION 1 - POMPAGE SOLAIRE AVEC STOCKAGE ENERGETIQUE .....	33
V.1. Bases de calcul .....	33
V.2. Les bâches d'aspiration .....	33
V.3. Les réservoirs de refoulement.....	34
V.3.1. Base de calcul .....	34
V.3.2. Résultats .....	35
V.4. Conduites de refoulement et puissances requises.....	36
V.4.1. Bases de calcul .....	36
V.4.2. Résultats .....	37
V.5. Panneaux, onduleurs et batteries.....	41
V.5.1. Données de base .....	41
V.5.2. Résultats .....	42
V.6. Diamètre économique.....	43
V.6.1. Synthèse des pompes, panneaux, batteries et onduleurs à installer .....	43
V.6.2. Prix unitaires de référence .....	44
V.6.3. Prix totaux .....	45
CHAPITRE VI. OPTION 2 - POMPAGE SOLAIRE DIRECT.....	46
VI.1. Bases de calcul .....	46
VI.2. Les bâches d'aspiration .....	46
VI.3. Les réservoirs de refoulement .....	47
VI.4. Conduites de refoulement et puissances requises .....	47
VI.5. Synthèse des diamètres et puissances requis .....	50
VI.6. Résultats de Calcul des panneaux.....	51
VI.7. Les prix totaux .....	52

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**

CHAPITRE VII. COMPARAISON ECONOMIQUE DES DEUX OPTIONS .....	53
VII.1. Schémas de fonctionnement.....	53
VII.1.1. Option 1.....	53
VII.1.2. Option 2.....	54
VII.2. Tableau comparatif des coûts.....	55
CHAPITRE VIII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	57
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	58
Ouvrages généraux .....	58
Travaux de fin d'études .....	58
Sites internet.....	58
ANNEXES .....	59
Annexe 1 : Dimensions standard des tuyaux en PVC.....	59
Annexe 2 : Spécifications techniques des pompes solaires LORENTZ.....	60
Modèle PSK2-15 .....	60
Modèle PSK2-21 .....	61
Modèle PSK2-40.....	62
Modèle PSK2-100.....	63

**LISTE DES FIGURES**


---

<i>Figure II.1 : Analyse spectrale d'un rayonnement solaire .....</i>	<i>5</i>
<i>Figure II.2: Centrale photovoltaïque au CHUK à Bujumbura .....</i>	<i>9</i>
<i>Figure II.3 : Centrale Photovoltaïque de MUBUGA .....</i>	<i>9</i>
<i>Figure II.4 : Photos de quelques stations de pompage au fil du Soleil opérationnelles au Burundi .....</i>	<i>10</i>
<i>Figure II.5 : Exemple d'une station de pompage solaire avec stockage énergétique (KIGOZI / KIRUNDO).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure II.6 : Schéma de fonctionnement d'un pompage solaire .....</i>	<i>13</i>
<i>Figure II.7 : Courbe de production d'un pompage avec stockage énergétique.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure II.8 : Courbe de production d'un pompage au fil du soleil.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure III.1 : Courbe de production d'une station de pompage au fil du soleil à KIRUNDO .....</i>	<i>20</i>
<i>Figure III.2 : Courbe de production d'une station de pompage au fil du soleil à KIGOZI.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure III.3: Courbe de production d'une station de pompage au fil du soleil à GITARA (1).....</i>	<i>22</i>
<i>Figure III.4: Courbe de production d'une station de pompage au fil du soleil à GITARA (2).....</i>	<i>23</i>
<i>Figure IV.1: Plan topographique de la zone d'étude.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure IV.2: Schéma de fonctionnement sommaire de la zone de forage .....</i>	<i>25</i>
<i>Figure IV.3: Schéma de fonctionnement sommaire (ligne d'adduction / distribution BISHISHA-GATETE).....</i>	<i>26</i>
<i>Figure IV.4 : Schéma de fonctionnement sommaire (circuit de refoulement GATETE-GASENYI) .....</i>	<i>27</i>
<i>Figure IV.5 : Représentation graphique des résultats des essais de pompage.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure IV.6 : Esquisse schématique des trois forages .....</i>	<i>29</i>
<i>Figure V.1 : Courbe de consommation typique du milieu rural burundais.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure V.2 : Plage de dimensionnement des pompes solaires LORENTZ – Modèle PSK2.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure V.3 : Plage de dimensionnement des pompes solaires SQF – GRUNDFOS.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure VII.1 : Schéma de fonctionnement (zone de forages et station de pompage principale – Option 1) .....</i>	<i>53</i>
<i>Figure VII.2: Schéma de fonctionnement (station de pompage secondaire – Option 1).....</i>	<i>53</i>
<i>Figure VII.3: Schéma de fonctionnement (zone de forages et station de pompage principale – Option 2) .....</i>	<i>54</i>
<i>Figure VII.4: Schéma de fonctionnement (station de pompage secondaire – Option 2).....</i>	<i>54</i>

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau II.1: Principaux pays producteurs d'électricité d'origine solaire photovoltaïque en 2018</i>	6
<i>Tableau II.2 : Répertoire des plus grandes centrales solaires dans le monde en 2019.....</i>	7
<i>Tableau III.1: Fiche de relevés d'index d'une Station de pompage au fil du soleil à KIRUNDO.</i>	19
<i>Tableau III.2: Fiche de relevés d'index d'une Station de pompage au fil du soleil à KIGOZI .....</i>	20
<i>Tableau III.3 : Fiche de relevés d'index d'une Station de pompage au fil du soleil à GITARA/MABANDA (1).....</i>	21
<i>Tableau III.4: Fiche de relevés d'index d'une Station de pompage au fil du soleil à GITARA/MABANDA (2).....</i>	22
<i>Tableau IV.1 : Evaluations des besoins en eau de la zone de projet .....</i>	27
<i>Tableau IV.2 : Résultats des essais de pompage pour les forages.....</i>	28
<i>Tableau IV.3: Débits de dimensionnement pour les forages et les stations de pompage de surface (option 2).....</i>	31
<i>Tableau 0.1: Débits de dimensionnement pour les forages et les stations de pompage de surface (option 1).....</i>	32
<i>Tableau V.1 : Fiche de dimensionnement du réservoir de refoulement pour la station de pompage principale .....</i>	35
<i>Tableau V.2 : Fiche de dimensionnement du réservoir de refoulement de la station de pompage secondaire .....</i>	36
<i>Tableau V.3 : Fiche des calculs hydrauliques des circuits de refoulement (Option 1) .....</i>	38
<i>Tableau V.4 : Synthèse des modèles et puissances des pompes adaptées (option 1).....</i>	39
<i>Tableau V.5 : Fiche de calcul de panneaux, onduleurs et batteries .....</i>	42
<i>Tableau V.6 : Synthèse des puissances et capacités requises pour les panneaux, onduleurs et batteries.....</i>	43
<i>Tableau V.7 : Bordereau des prix unitaires.....</i>	44
<i>Tableau V.8 : Cout estimatif des équipements spécifiques (option 1) .....</i>	45
<i>Tableau V.9 : Synthèse des diamètres économiques pour les différentes stations de pompage (option 1).....</i>	45
<i>Tableau VI.1 : Fiche de dimensionnement de la bache d'aspiration de la SP5 .....</i>	47
<i>Tableau VI.2 : Fiche de dimensionnement du réservoir de refoulement pour la SP4 (option 2) ..</i>	48
<i>Tableau VI.3 : Fiche de dimensionnement du réservoir de refoulement pour la SP5 (option2) ...</i>	48
<i>Tableau VI.4 : Fiche des calculs hydrauliques des circuits de refoulement (option 2).....</i>	49
<i>Tableau VI.5 : Synthèse des puissances requises en fonction de la tuyauterie de refoulement .....</i>	50
<i>Tableau VI.6 : Fiche de calcul des panneaux (Option 2) .....</i>	51
<i>Tableau VI.7 : Cout estimatif des équipements spécifiques (option 2) .....</i>	52
<i>Tableau VI.8 : Synthèse des diamètres économiques (Option 2).....</i>	52
<i>Tableau VII.1: Tableau comparatif des couts.....</i>	55

## SIGLES ET ABREVIATIONS

---

<i>A</i>	: <i>Ampère</i>
<i>Ah</i>	: <i>Ampère-heure</i>
<i>DE</i>	: <i>Diamètre extérieur</i>
<i>GW</i>	: <i>Gigawatt</i>
<i>KVA</i>	: <i>Kilovolt-ampère</i>
<i>kW</i>	: <i>Kilowatt</i>
<i>MWC</i>	: <i>Mégawatt crête</i>
<i>PN</i>	: <i>Pression nominale</i>
<i>PV</i>	: <i>Photovoltaïque</i>
<i>SP</i>	: <i>Station de Pompage</i>
<i>TWh</i>	: <i>Térawatt-heure</i>
<i>V</i>	: <i>Volt</i>
<i>W</i>	: <i>Watt</i>
<i>WC</i>	: <i>Watt crête</i>
<i>Wh</i>	: <i>Watt-heure</i>
<i>WRI</i>	: <i>World Research Institute</i>

## **Avant-Propos**

---

L'accès à l'eau potable constitue un défi majeur dans certaines zones du Burundi suite entre autres à une topographie défavorable ce qui occasionne la mise en place de mécanismes de détection, d'extraction, de traitement de celle-ci. En effet, ces mécanismes exigent certaines ressources comme l'énergie électrique, qui constitue à son tour un autre défi majeur à relever car son obtention est conditionnée par certains facteurs économiques et environnementaux.

Comme ingénieur, nous devons maîtriser les systèmes utilisés pour la production d'eau potable en tenant compte de ces mêmes aspects.

C'est ainsi dans cet optique, que nous nous sommes donnés deux modèles de comparaison qui reposent sur une analyse comparative des systèmes de production d'eau potable par Forage et Pompage solaire du cas concret de Bishisha – Gasenyi commune Busoni de la province Kirundo.

Le but de ce travail sera de fournir un modèle de travail à tenir en compte pour le choix des équipements de gestion d'énergie électrique pour les futurs projets de pompage solaire.

## CHAPITRE I. INTRODUCTION GENERALE

---

### I.1. Problématique et justification de l'étude

L'eau est source de vie et l'homme a besoin de cette denrée dans toutes ses activités. Cette ressource est cependant inégalement répartie sur la planète Terre et un quart de la population mondiale est en état de stress hydrique (WRI, 2019). L'UNICEF estime que 1400 enfants de moins de 5 ans dans le monde entier meurent chaque jour des maladies diarrhéiques liées au manque d'eau potable et au manque d'hygiène.

Au BURUNDI, malgré les efforts consentis par le Gouvernement et ses différents partenaires, le manque d'eau potable reste criant et les maladies d'origine hydrique restent préoccupantes.

Le manque d'eau potable dans certaines contrées du BURUNDI est surtout causé par la raréfaction des sources d'affleurement et d'émergence ainsi qu'une topographie souvent défavorable à la mise en place de réseaux entièrement gravitaires. C'est dans ce contexte que l'introduction des stations de pompage s'est avérée impérative mais cette technologie fait recours à l'énergie électrique qui fait souvent défaut dans les milieux ruraux des pays en voie de développement, dont le BURUNDI fait partie.

Avec la découverte de l'effet photovoltaïque en 1954 qui offre les potentialités de transformer le rayonnement solaire directement en énergie électrique, le défi a été plus ou moins maîtrisé. Au niveau des projets d'adduction d'eau, deux options sont utilisées : le pompage avec stockage énergétique (avec batteries) et le pompage au fil du soleil (sans batteries). Cependant, le choix de leur utilisation n'est pas assez défini notamment sur les plans économique et environnemental.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail qui consistera à faire une analyse comparative des systèmes de production d'eau potable par pompage solaire avec l'une ou l'autre des deux options.

Le présent travail est articulé autour de deux grandes parties :

- La première partie de ce travail explore l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans le monde et au Burundi et donne les bases théoriques appliquées au dimensionnement des systèmes de pompage solaire dans les projets d'adduction d'eau.
- La deuxième partie est une étude de cas où les deux options de pompage : Pompage avec stockage énergétique et Pompage au fil du soleil sont comparées en détail sur le plan écologique et surtout économique.

## **I.2. Objectifs**

### **I.2.1. Objectif général**

L'objectif général est de mener une étude comparative des deux options de pompage (avec ou sans utilisation de batteries d'accumulation) et de proposer aux concepteurs de projets l'option la plus avantageuse dans le contexte environnemental et surtout économique burundais.

### **I.2.2. Objectifs spécifiques**

Dans cette analyse comparative des systèmes de production d'eau potable, les objectifs spécifiques ont été subdivisés en quatre étapes :

- Etude d'un système de pompage au fil du soleil (stockage hydraulique);
- Etude d'un système de pompage avec batteries (stockage énergétique);
- Evaluation et comparaison des couts et autres aspects pour les deux systèmes de pompage;
- Faire un choix quant à l'option la plus recommandable.

## **I.3. Méthodologie**

L'étude a commencé par une exploration de l'importance qu'occupe l'énergie solaire dans le monde et son utilisation au BURUNDI, en particulier au niveau des stations de pompage d'eau potable.

Dans le but d'établir une courbe-type de production de référence dans le cas du pompage continu au fil du soleil, nous avons procédé à un monitoring de trois stations de pompage dont deux sont situées au Nord du pays en commune KIRUNDO et la troisième au sud en commune MABANDA. Les relevés d'index (valeurs cumulées) ont permis de déduire les débits partiels horaires et les proportions par rapport à la production journalière.

La courbe de production établie permettra de calculer les débits de pointe qui servent de base de dimensionnement des stations de pompage.

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**

Pour les stations de pompage avec stockage énergétique, le débit de référence sera le rapport entre la quantité journalière à produire et le temps de pompage fixé. Ce débit déterminera par la suite les puissances requises pour les pompes, l'onduleur et le champ solaire ainsi que la capacité totale des batteries.

Les bases théoriques en rapport avec les deux options de pompage seront appliquées à une zone d'étude située en commune BUSONI de la province KIRUNDO. Les ouvrages spécifiques requis seront dimensionnés pour chaque option et un devis estimatif sera établi ; ce qui permettra de dresser un tableau comparatif des deux options et de dégager laquelle est la plus avantageuse.

Comme outils utilisés, nous pouvons citer :

- Le GPS pour l'identification des altitudes;
- Le Mètre ruban pour la mesure des longueurs;
- Les logiciels d'illustration de dessin (Autocad, ArchiCAD, QGIS), de traitements des données (Excel).

## CHAPITRE II. L'ENERGIE SOLAIRE DANS LE MONDE : CONCEPT ET UTILISATION

---

### II.1. La source d'énergie : le soleil

Le soleil est un réacteur à fusion nucléaire qui transforme l'hydrogène en Hélium en émettant d'énormes quantités d'énergie dans l'espace. Sa puissance est estimée à 63 500 KW/m<sup>2</sup>. Après avoir parcouru une longue distance d'environ 150 millions de kilomètre, l'irradiation qui parvient à la terre est estimée à 1367W/m<sup>2</sup> ; c'est ce qu'on appelle « Constante Solaire ».

L'Energie Solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse. Le rayonnement Solaire se présente comme une émission des particules appelées photons atteignant la terre avec une énergie :

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (II.1)$$

Où :

$h$  : Constante de Planck;

$E$  : Energie en J;

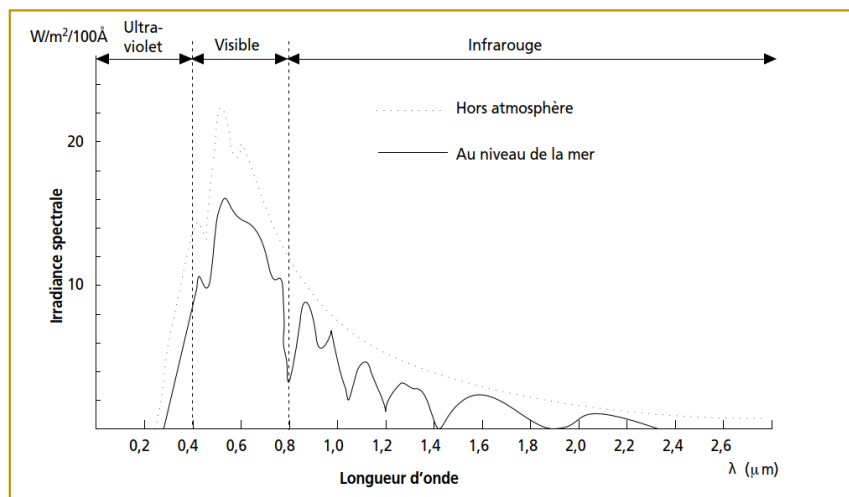
$c$  : Vitesse de la lumière en m/s;

$\lambda$  : Longueur d'onde en m.

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0.22 à 10 micromètres ( $\mu\text{m}$ ). L'énergie associée à ce rayonnement se décompose approximativement comme suit (**figure II. 1**) :

- 9% dans la bande des ultraviolets (<0.4 $\mu\text{m}$ );
- 47% dans la bande visible (0.4 à 0.8 $\mu\text{m}$ );
- 44% dans la bande des infrarouges (>0.8 $\mu\text{m}$ ).

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**



*Figure II.1 : Analyse spectrale d'un rayonnement solaire<sup>1</sup>*

Deux grandes technologies sont actuellement utilisées pour en tirer le meilleur profit :

1. Le solaire thermique qui capte la chaleur du soleil : La chaleur collectée est utilisée comme telle ou bien transformée en énergie mécanique, puis en électricité. Dans ce dernier cas, on parle de solaire thermodynamique.
2. L'effet photovoltaïque (**PV**) est la transformation directe de la lumière du soleil en électricité au sein d'un matériau semi-conducteur capable de libérer leurs électrons sous l'influence de l'énergie extérieure. Il a été découvert pour la première fois par un physicien Français Edmond Becquerel 1939. Ce n'est cependant qu'en 1950 que les chercheurs américains fabriquent la première photopile. En 1970, des cellules photovoltaïques ont été multipliées en termes des millions à moindre cout suite à l'amélioration de la technologie de fabrication.

<sup>1</sup> [https://WWW.researchgate.net/figure/spectre-solaire-a-la-surface-de-la-terre-d'apres13\\_fig5\\_325643615](https://WWW.researchgate.net/figure/spectre-solaire-a-la-surface-de-la-terre-d'apres13_fig5_325643615)

## II.2. Part de l'énergie solaire dans le monde

En 2019, près de 115 GW de panneaux photovoltaïques ont été installés dans le monde. Cela représente une croissance de 12 % par rapport à 2018. La puissance installée mondiale en matière de solaire photovoltaïque s'élevait en 2019 à 627 GW<sup>2</sup>.

En 2018, la production d'électricité à partir du solaire photovoltaïque représente 2,1 % de la production mondiale d'électricité. En Europe, l'Italie ou l'Allemagne ont une production d'électricité à partir du solaire photovoltaïque qui correspond à plus de 7 % de la consommation d'électricité nationale.

En 2018, trois pays disposent de plus de 50% de la production mondiale :

- La Chine est le premier producteur d'électricité à partir du solaire photovoltaïque avec 176,9 TWh (32 % de la production mondiale) ;
- Les États-Unis occupent la deuxième place (81,2 TWh soit 15 %) et
- Le Japon, la troisième place (62,6 TWh soit 11 %).

Tableau II.1: Principaux pays producteurs d'électricité d'origine solaire photovoltaïque en 2018<sup>3</sup>

Pays	Production	% national
Chine	176,9 TWh	2%
Etats-Unis	81,2 TWh	2%
Japon	62,6 TWh	6%
Allemagne	45,8 TWh	7%
Inde	39,7 TWh	2%
Italie	22,6 TWh	8%
Australie	14,8 TWh	6%
Corée du Sud	13,0 TWh	2%
Royaume-Uni	12,8 TWh	4%
France	10,5 TWh	2%

<sup>2</sup> Le solaire photovoltaïque en chiffres (www. EDF.fr)

<sup>3</sup> Source: International Energy Agency (IEA)

### II.3. Les grands projets d'énergie solaire dans le monde

Au niveau de la taille, on distingue deux types d'installations<sup>4</sup> :

- Les équipements individualisés, s'adressant aux particuliers ou à de petites collectivités. Des panneaux photovoltaïques permettent d'alimenter des équipements électriques tandis que des capteurs thermiques chauffent la maison ou l'eau chaude sanitaire ;
- Les grandes unités, dites « centrales solaires », photovoltaïques ou thermodynamiques sont déployées sur des centaines d'hectares et produisent à grande échelle de l'électricité intégrable sur les réseaux électriques. C'est grande flexibilité, cette puissance de grandes centrales solaires alimentant villes et industries, et en même temps cette capacité d'autonomie dans les zones rurales les plus isolées, qui font l'attractivité du solaire au sein des énergies renouvelables

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des plus grandes centrales solaires existantes dans le monde<sup>5</sup> :

Tableau II.2 : Répertoire des plus grandes centrales solaires dans le monde en 2019

Puissance (MWc)	Dénomination / Localisation	Pays	Surface	Mise en service
1177	Noor Abu Dhabi	<u>ÉMIRATS ARABES UNIS</u>	8 km <sup>2</sup>	2019
1000	Quaid-e-Azam Solar Power Park (QASP), Cholistan, PENDING	<u>PAKISTAN</u>	2630 ha	2015
648	<u>Kamuthi</u> , TAMIL NADU	<u>INDE</u>	1 000 ha	2016
579	<u>Solar Star</u> , CALIFORNIE	<u>ÉTATS-UNIS</u>	1 300 ha	2015
550	<u>Topaz Solar Farm</u> , comté de San Luis Obispo, CALIFORNIE	<u>ÉTATS-UNIS</u>	2 500 ha	2014
550	<u>Desert Sunlight</u> , CALIFORNIE	<u>ÉTATS-UNIS</u>	1 540 ha	2015
320	Longyangxia Solar-hydro, province de <u>QINGHAI</u>	<u>CHINE</u>	916 ha	2013
317	<u>Parc solaire de GOLMUD</u>	<u>CHINE</u>	564 ha	2014
300	<u>Centrale solaire de CESTAS</u>	<u>FRANCE</u>	260 ha	2015

<sup>4</sup> Le solaire photovoltaïque en chiffres (www.EDF.fr)

<sup>5</sup> Source : WIKIPEDIA

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

Puissance (MWc)	Dénomination / Localisation	Pays	Surface	Mise en service
290	<u>Agua Caliente, ARIZONA</u>	<u>ÉTATS-UNIS</u>	971 ha	2014
274	<u>Charanka, district de Patan, dans le complexe solaire de GUJARAT</u>	<u>INDE</u>	2 000 ha	2014
250	<u>California Valley, CALIFORNIE</u>	<u>ÉTATS-UNIS</u>	796 ha	2013
206	<u>Mount Signal, Imperial Valley, CALIFORNIE</u>	<u>ÉTATS-UNIS</u>	800 ha	2014
200	<u>Gonghe industrial park, Xian de Gonghe, province de QINGHAI</u>	<u>CHINE</u>		2013
200	<u>Imperial Valley, Imperial Valley, CALIFORNIE</u>	<u>ÉTATS-UNIS</u>		2013
170	<u>Centinela, El Centro, Comté d'Imperial, CALIFORNIE</u>	<u>ÉTATS-UNIS</u>	836 ha	2013
168	<u>Senftenberg/Schipkau (Meuro), BRANDEBOURG</u>	<u>ALLEMAGNE</u>	353 ha	2011
150	<u>Copper Mountain , NEVADA</u>	<u>ÉTATS-UNIS</u>	445 ha	2013

#### II.4. L'utilisation de l'énergie solaire au Burundi

Au BURUNDI, deux petites centrales solaires sont actuellement opérationnelles :

Centrale photovoltaïque	Puissance installée (MWc)
La centrale du centre hospitalo-Universitaire de Kamenge (CHUK)	1,8
La centrale de MUBUGA	7,0

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**



*Figure II.2: Centrale photovoltaïque au CHUK à Bujumbura*



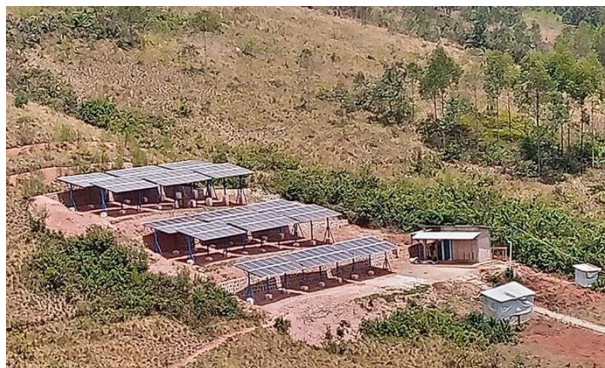
*Figure II.3 : Centrale Photovoltaïque de MUBUGA*

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**

L'énergie photovoltaïque est aussi utilisée au Burundi à usage restreint pour d'autres fins et connaît plusieurs applications notamment l'éclairage des ménages et le pompage d'eau potable.



**NYAMISAGARA/ KIRUNDO**



**MUSASA /KIREMBA**



**GITARA / MABANDA**



**GACAMIHIGO / BUSONI**



**RUBENGA / GITERANYI**



**KIGERI / BUSONI**

*Figure II.4 : Photos de quelques stations de pompage au fil du Soleil opérationnelles au Burundi*

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**



**Panneaux solaires**



**Batteries**



**Onduleur**



**Contrôleur**

*Figure II.5 : Exemple d'une station de pompage solaire avec stockage énergétique (KIGOZI / KIRUNDO)*

## **II.5. Principe de fonctionnement et rythme de production d'un pompage solaire**

### **II.5.1. Principe de fonctionnement**

Le pompage solaire est un système de production d'eau grâce à une énergie solaire captée via les cellules photovoltaïques. Il est l'une des applications les plus pertinentes pour l'énergie solaire photovoltaïque. Ce système de production d'eau fait intervenir deux paramètres :

- Le Soleil
- L'effet photovoltaïque

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**

Les panneaux solaires convertissent l'énergie solaire en énergie électrique. L'électricité produite est un courant continu d'une intensité de quelques ampères, sous une certaine tension, fournissant une puissance crête selon les modèles. Cette énergie s'accumule dans les batteries pour permettre un fonctionnement continu, ou transmise directement à l'appareil électrique.

En outre, le convertisseur permet l'alimentation en courant alternatif de la pompe à partir du courant continu fournit par les panneaux solaires.

Le rendement des panneaux est fonction de l'ensoleillement et de l'angle d'exposition d'une part et de la température des cellules d'autre part qui dépendent de la latitude et des caractéristiques climatologique et géographiques de la zone d'implantation<sup>6</sup>.

Il existe deux systèmes de pompage solaire :

1. Le pompage solaire avec stockage énergétique (avec batteries) et
2. Le pompage direct au fil du soleil (avec stockage hydraulique).

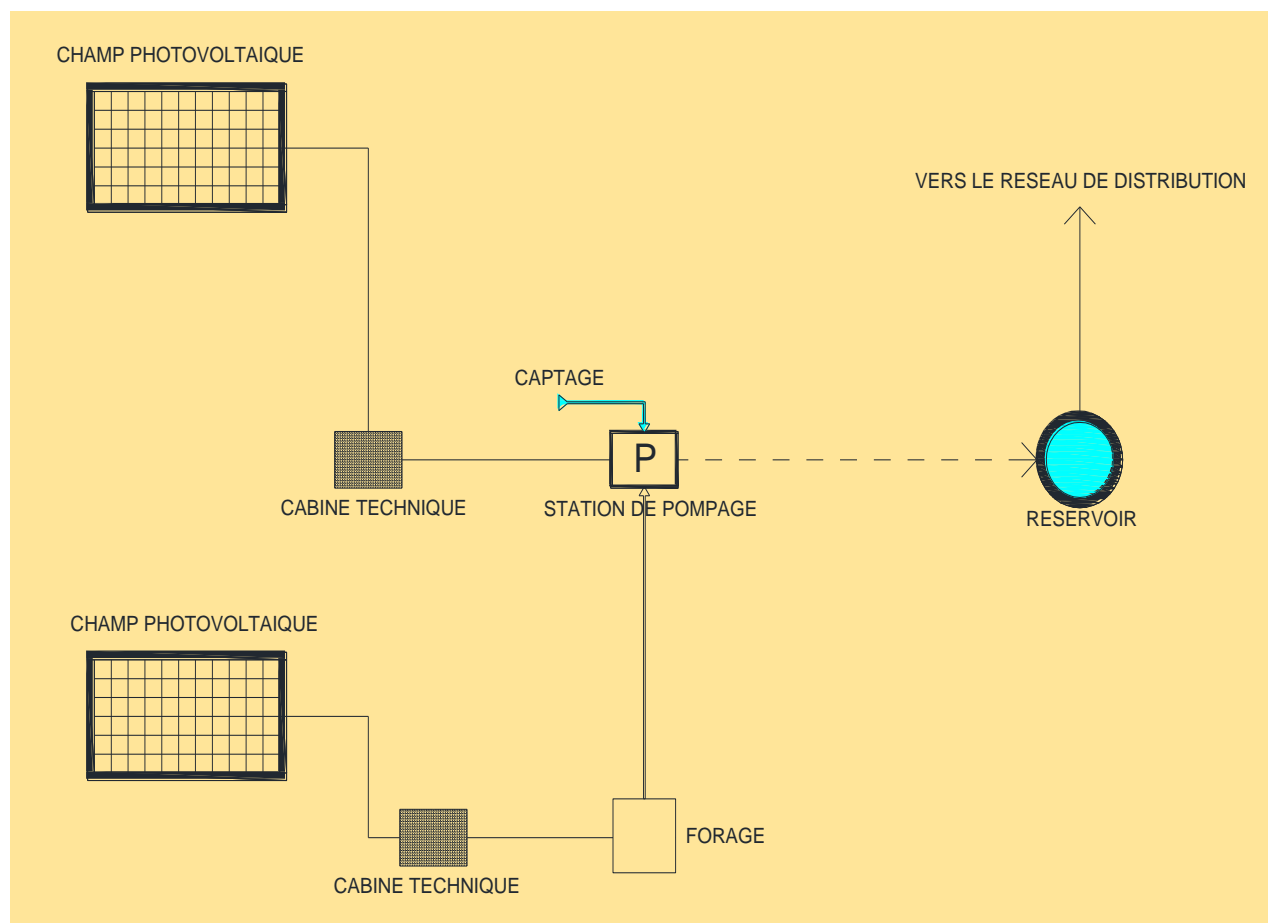
Un système de pompage solaire (figure 7) possède cinq principales parties :

- ✓ Un générateur photovoltaïque;
- ✓ Un circuit de refoulement ;
- ✓ L'électronique de commande ;
- ✓ Le groupe électropompe ;
- ✓ Stockage :énergétique ou hydraulique.

---

<sup>6</sup> <https://uthgroupe.ma/energie-solaire> pompage-solaire

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**



*Figure II.6 : Schéma de fonctionnement d'un pompage solaire*

## **II.5.2. Rythme de production**

### **II.5.2.1. Le pompage solaire avec stockage énergétique**

Le pompage solaire avec stockage énergétique utilise des batteries d'accumulation pour stocker l'énergie provenant des cellules photovoltaïques afin d'être restituée pour pomper l'eau en temps voulu même pendant la nuit et cela permettra de vaincre la variation des aléas climatiques. Le débit pompé est constant durant les heures de pompage (figure II.7).

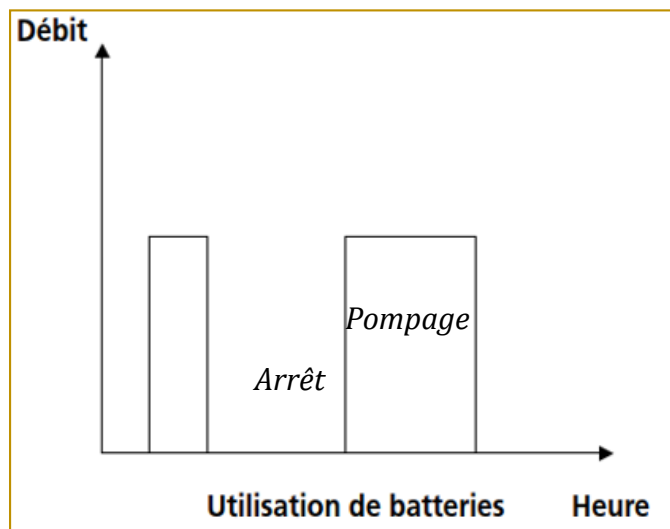


Figure II.7 : Courbe de production d'un pompage avec stockage énergétique

Ce système de pompage présente les avantages suivants :

- ✓ Possibilité de pomper l'eau n'importe quel moment de la journée d'où pompage en continu ;
- ✓ Pompage d'un débit régulier et avec pression fixe ;
- ✓ Possibilité de pomper à l'absence ou à un très faible ensoleillement.

Les inconvénients pouvant être relevés sont généralement en rapport avec les batteries :

- ✓ Cout élevé ;
- ✓ Entretien régulier et rigoureux ;
- ✓ Faible durabilité ;
- ✓ Fragilité ;
- ✓ Conservation difficile après leur usage.

### II.5.2.2. Le pompage au fil du soleil

Le pompage au fil du soleil est un système de production qui dépend de l'ensoleillement. En effet, plus l'ensoleillement est fort, plus la quantité d'eau pompée est importante et réciproquement. Le débit pompé varie en fonction de l'intensité d'ensoleillement suivant l'allure illustrée à la figure II.8.

**Les avantages de ce système de pompage sont entre autres :**

- ✓ Entretien quasi nul du réservoir ;
- ✓ Cout à priori bas (absence de batteries) ;
- ✓ Système écologique ;
- ✓ Système simple et efficace.

**Les principaux inconvénients sont :**

- ✓ L'irrégularité de l'ensoleillement ;
- ✓ La perte de l'énergie au début et à la fin de la journée ;
- ✓ Le rabattement pouvant être élevé pendant certaines périodes de la journée pour le cas d'un forage si le système n'est pas bien adapté.

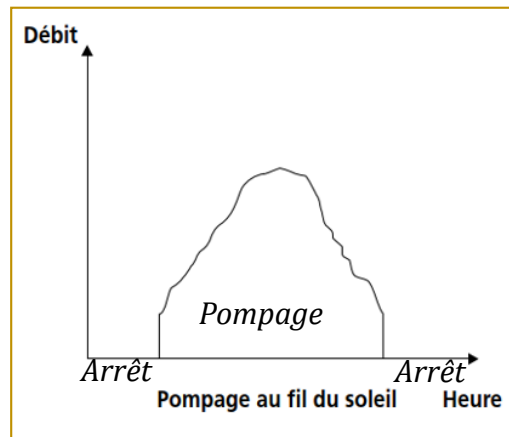


Figure II.8 : Courbe de production d'un pompage au fil du soleil

### II.5.3. Etude énergétique sommaire

#### II.5.3.1. Le générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ou plusieurs modules photovoltaïques appelés à produire de l'énergie électrique à partir d'un rayonnement solaire.

- L'énergie électrique requise pour refouler un débit  $Q$  à une hauteur manométrique  $H_{MT}$  est donnée par la formule suivante :

$$E_{el} = \frac{c_H Q H_{MT}}{\eta_P} \quad (II.2)$$

Avec :

- $E_{el}$  : Energie électrique requise (Wh/j)
- $C_H$  : Constante hydraulique
- $Q$  : Débit refoulé ( $m^3/j$ )
- $H_{MT}$  : Hauteur manométrique totale (m)
- $\eta_P$  : Rendement de la pompe (%)

- La puissance du générateur solaire dépend de la puissance lumineuse parvenant au sol lors de leur pose ainsi que le rendement des panneaux solaire. La puissance du générateur Solaire est calculée par la formule suivante :

$$W_{GS} = \frac{E_{el}}{R_S \eta_S} \quad (II.3)$$

Avec :

- $E_{el}$  : Energie électrique journalière (Wh/j)
- $W_{GS}$  : Puissance du générateur solaire (Wc)
- $R_S$  : Irradiation journalière ( $kW/m^2.j$ )
- $\eta_S$  : Rendement du système (%)

Le nombre de panneaux requis est donné par :

$$N = \frac{W_{GS}}{W_u} \quad (II.4)$$

Où :

- $N$  : Nombre de panneaux
- $W_u$  : Puissance d'un panneau (Wc)

### II.5.3.2. Les batteries

- Une partie de l'énergie produite par les panneaux solaires qui n'est pas consommée immédiatement est stockée dans les batteries. Les batteries remplissent trois rôles principaux :
  - a. **Autonomie** : La batterie fournit la charge en tout temps, même la nuit ;
  - b. **Courant de surcharge** : La batterie permet de fournir un courant plus élevé que celui que peut fournir les panneaux solaires ;

- c. **Stabilité de la tension** : Les batteries permettent de fournir une tension constante, ce qui fait que les appareils fonctionnent avec une tension optimale.
- La capacité des batteries est la quantité d'énergie stockée destinée à délivrer une certaine intensité de courant pendant un certain temps. La capacité minimale des batteries est donnée par :

$$C = \frac{100 W_j N_j}{U * C_m} \quad (II.5)$$

Avec :

- $C$  : Capacité des batteries (Ah)  
 $W_j$  : Consommation électrique totale par jour (Wh)  
 $N_j$  : Nombre de jours d'autonomie  
 $U$  : Tension d'utilisation de la batterie (V)  
 $C_m$  : Profondeur de décharge (%)

### II.5.3.3. La pompe

Une pompe est une machine hydraulique permettant d'aspirer et de refouler un liquide dans une conduite à une certaine hauteur. Donc, elle transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique.

La puissance requise est donnée par :

$$W = \frac{\rho g Q H_{MT}}{\eta} \quad (II.6)$$

- $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) : Masse volumique du fluide  
 $g$  (m/s<sup>2</sup>) : Accélération de la pesanteur  
 $Q$  (m<sup>3</sup>/s) : Débit refoulé  
 $H_{MT}$ (m) : Hauteur manométrique totale  
 $\eta$  : Rendement global du système

La hauteur manométrique totale est donnée par :

$$H_{MT} = \Delta Z + \Delta H \quad (II.7)$$

Où  $\Delta Z$  représente la dénivellation totale et  $\Delta H$  les pertes de charge (linéaires et singulières) données par :

$$\Delta H = \Delta H_L + \Delta H_S \quad (II.8)$$

Les pertes de charge linéaires sont données par la formule de DARCY et WEISBACH qui s'écrit :

$$\Delta H_L = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (II. 9)$$

Les pertes de charge singulières sont données par :

$$\Delta H_s = \sum \xi_i \frac{v_i^2}{2g} \quad (II. 10)$$

Le coefficient des pertes de charge linéaires sera calculé (solution numérique) en utilisant la formule universelle de WHITE et COLEBROOK qui s'écrit :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{e}{3,71D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (II. 11)$$

La vitesse d'écoulement dans la conduite est liée au débit refoulé par la relation :

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (II. 12)$$

$\lambda$  : Coefficient des pertes de charge linéaires

$L(m)$  : Longueur du tronçon

$D(m)$  : Diamètre (intérieur) de la conduite

$e(m)$  : Rugosité absolue de la conduite

$v(m)$  : Vitesse d'écoulement

$\xi_i$  : Coefficient des pertes de charges singulières

## CHAPITRE III. COURBE DE PRODUCTION DE QUELQUES STATIONS DE POMPAGE SOLAIRE DU BURUNDI

### III.1. Méthodologie suivie

L'analyse des performances de stations de pompage étudiées s'est faite à partir des relevés d'index sur les compteurs installés au départ des circuits de refoulement. Ces relevés permettent d'établir une courbe cumulative de laquelle on déduit la courbe de production, c'est-à-dire les débits horaires refoulés sur une journée de production :

- Pour le pompage au fil du soleil, les débits horaires dépendent de l'ensoleillement et sont maximaux entre midi et quatorze heure et presque nuls au lever et au coucher du soleil.
- Dans le cas d'un système avec stockage énergétique, les débits refoulés devraient rester constants pendant toute la durée du pompage.

### III.2. Présentation des résultats

Sur les quatre zones considérées, l'enregistrement des débits a été fait dans un intervalle d'une heure sur une journée de production. Le débit correspondant sera la différence entre la lecture précédente sur l'index. La production (%) sera donnée par la hauteur du débit obtenu et du débit total sur toute la journée.

#### III.2.1. Zone Nord

Tableau III.1: Fiche de relevés d'index d'une Station de pompage au fil du soleil à KIRUNDO

Heure de la journée	Index	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Production (%)	Climat
6H	111326,156			
7H	111326,156	0,000	0,00	Très nuageux
8H	111326,156	0,000	0,00	Très nuageux
9H	111326,659	0,503	7,03	Nuageux
10H	111327,558	0,899	12,57	Faiblement ensoleillé
11H	111328,554	0,996	13,93	Faiblement ensoleillé
12H	111329,559	1,005	14,06	Faiblement ensoleillé
13H	111330,574	1,015	14,20	Faiblement ensoleillé
14H	111331,613	1,039	14,53	Faiblement ensoleillé
15H	111332,518	0,905	12,66	Faiblement ensoleillé
16H	111333,306	0,788	11,02	Nuageux
17H	111333,306	0,000	0,00	Très nuageux
18H	111333,306	0,000	0,00	Très nuageux
<b>Total</b>		<b>7,150</b>	<b>100</b>	

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

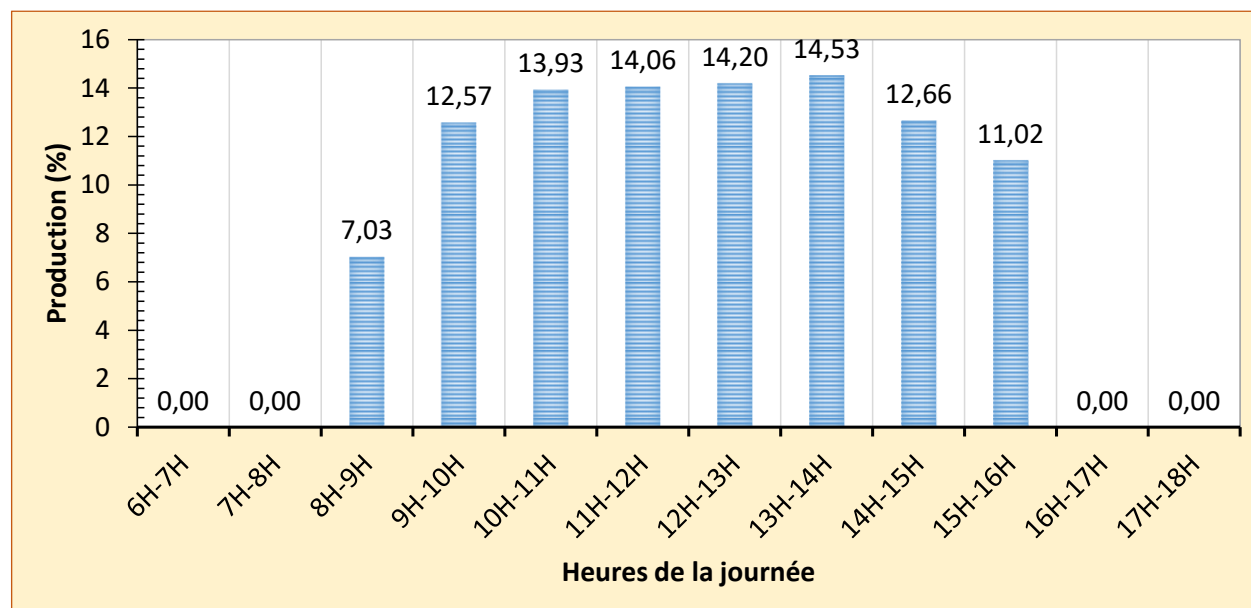


Figure III.1 : Courbe de production d'une station de pompage au fil du soleil à KIRUNDO

Tableau III.2: Fiche de relevés d'index d'une Station de pompage au fil du soleil à KIGOZI

Temps	Index (m <sup>3</sup> )	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Production (%)	Climat
6H	78874,603	0,000	0,00	
7H	78877,129	2,526	2,28	
8H	78884,836	7,707	6,95	Ensoleillé
9H	78895,389	10,553	9,52	Ensoleillé
10H	78906,627	11,238	10,14	Ensoleillé
11H	78918,414	11,787	10,63	Ensoleillé
12H	78932,729	14,315	12,91	Ensoleillé
13H	78947,633	14,904	13,44	Ensoleillé
14H	78962,315	14,682	13,24	Ensoleillé
15H	78972,527	10,212	9,21	Ensoleillé
16H	78978,408	5,881	5,31	Ensoleillé
17H	78983,322	4,914	4,43	Ensoleillé
18H	78985,455	2,133	1,92	Ensoleillé
<b>TOTAL</b>		<b>110,852</b>	<b>100,00</b>	

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

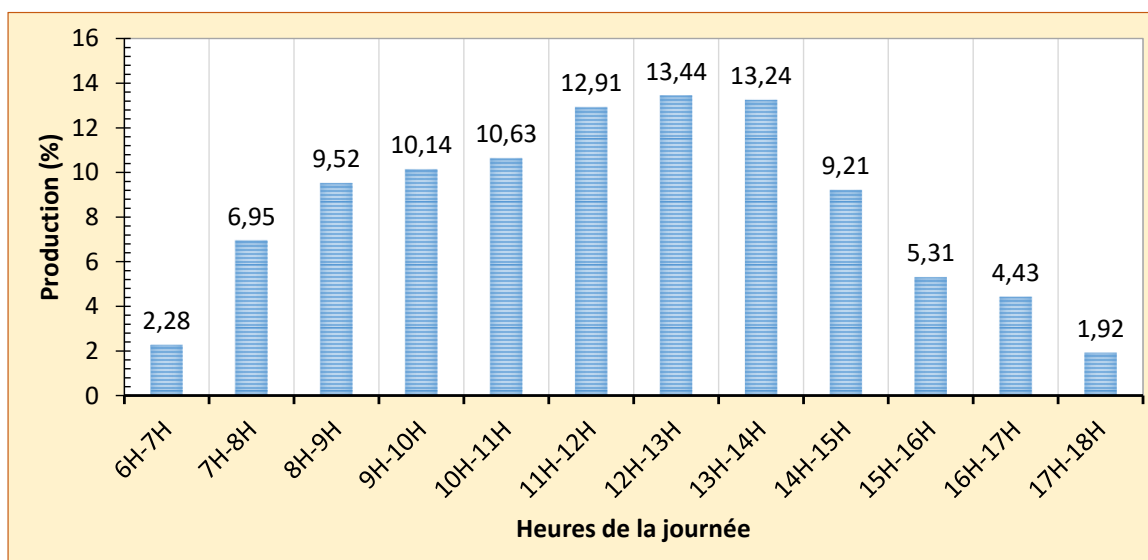


Figure III.2 : Courbe de production d'une station de pompage au fil du soleil à KIGOZI

### III.2.2. Zone sud

Tableau III.3 : Fiche de relevés d'index d'une Station de pompage au fil du soleil à GITARA/MABANDA (1)

Temps	Index (m <sup>3</sup> )	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Production (%)	Climat
6H	2026,99			
7H	2027,82	0,83	0,53	Ensoleillé
8H	2035,02	7,20	4,55	Ensoleillé
9H	2047,12	12,10	7,65	Ensoleillé
10H	2062,32	15,20	9,61	Ensoleillé
11H	2079,55	17,23	10,90	Ensoleillé
12H	2097,20	17,65	11,16	Ensoleillé
13H	2116,09	18,89	11,95	Ensoleillé
14H	2135,29	19,20	12,14	Ensoleillé
15H	2154,07	18,78	11,88	Ensoleillé
16H	2168,18	14,11	8,93	Ensoleillé
17H	2178,21	10,03	6,34	Ensoleillé
18H	2185,08	6,87	4,35	Ensoleillé
<b>TOTAL</b>		<b>158,09</b>	<b>100,00</b>	

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

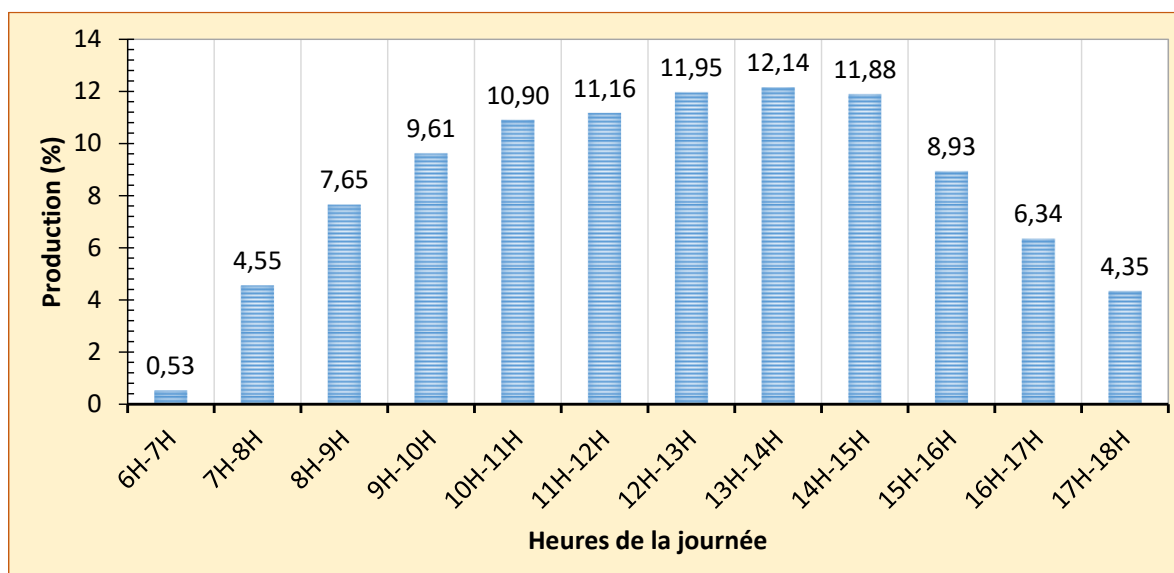


Figure III.3: Courbe de production d'une station de pompage au fil du soleil à GITARA (1)

Tableau III.4: Fiche de relevés d'index d'une Station de pompage au fil du soleil à GITARA/MABANDA (2)

Temps	Index (m <sup>3</sup> )	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Production (%)	Climat
6H	2413,22			
7H	2414,09	0,87	0,63	Nuageux
8H	2419,24	5,15	3,71	Ensoleillé
9H	2431,31	12,07	8,69	Ensoleillé
10H	2445,09	13,78	9,92	Ensoleillé
11H	2460,62	15,53	11,18	Ensoleillé
12H	2476,84	16,22	11,67	Ensoleillé
13H	2493,61	16,77	12,07	Ensoleillé
14H	2511,09	17,48	12,58	Ensoleillé
15H	2526,06	14,97	10,77	Faiblement Ensoleillé
16H	2539,11	13,05	9,39	Nuageux
17H	2550,03	10,92	7,86	Nuageux
18H	2552,17	2,14	1,54	Nuageux
<b>TOTAL</b>		<b>138,95</b>	<b>100,00</b>	

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

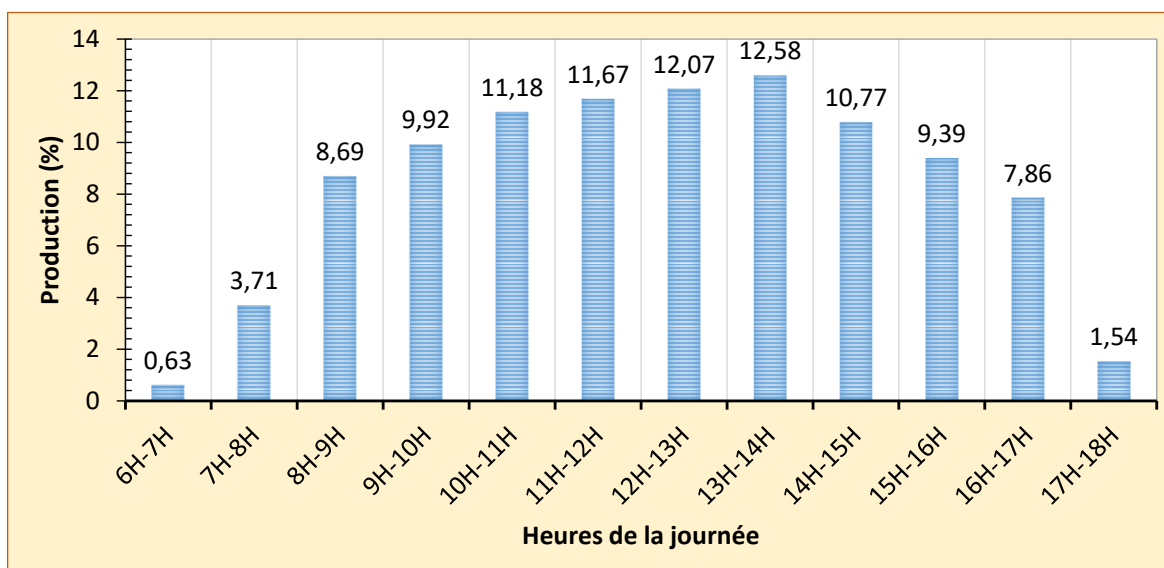


Figure III.4: Courbe de production d'une station de pompage au fil du soleil à GITARA (2)

## CHAPITRE IV. PRESENTATION DE LA ZONE DE PROJET

### IV.1. Localisation et description

La zone d'étude est située en commune BUSONI de la province KIRUNDO, au Nord du BURUNDI. Le projet s'inscrit dans le cadre du **Programme de Développement Local des communes GITERANYI et BUSONI « LADP BURUNDI »** ; qui est un projet connexe au grand projet de barrage hydro-électrique de RUSUMO (**REGIONAL RUSUMO FALLS HYDROPOWER PROJECT**).

La zone de desserte s'étend de la sous-colline KIGERI (zone des forages) au poste frontalier de GASENYI en passant par les localités de MUHUZU, BISHISHA et RUGANDO.

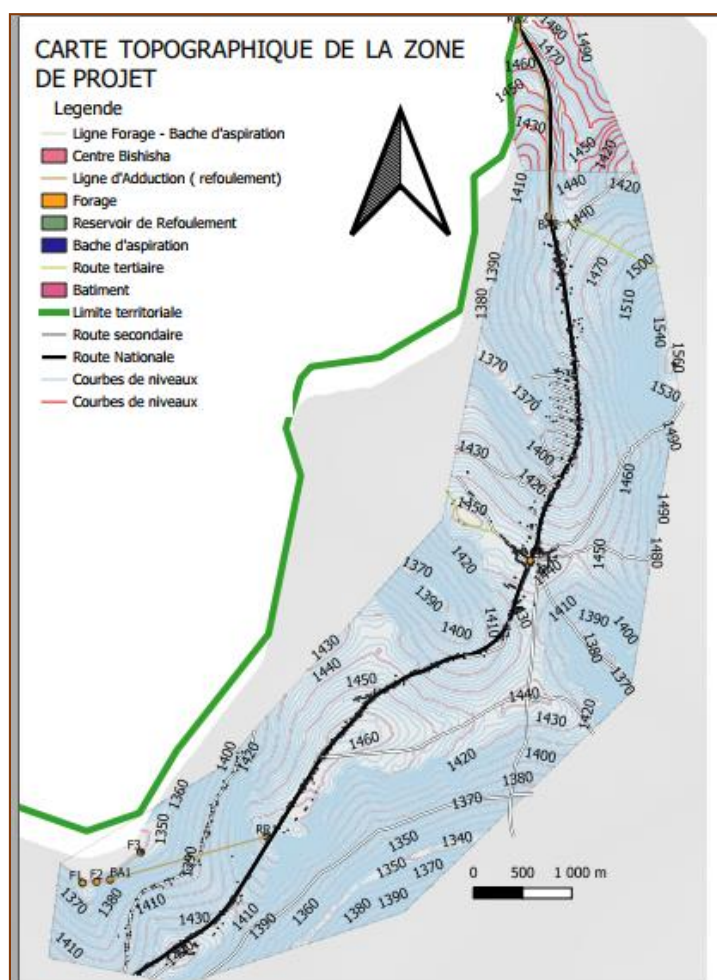


Figure IV.1: Plan topographique de la zone d'étude

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**

L'alimentation principale se fait à partir de trois forages débitant vers une bache collectrice en béton armé. A partir de cette bache, une station de pompage principale refoule l'eau vers un réservoir haut duquel part un réseau gravitaire de 8,8km.

Une cinquième station de pompage refoule l'eau vers le poste frontalier à partir d'une bache d'aspiration implantée dans la localité de GATETE.

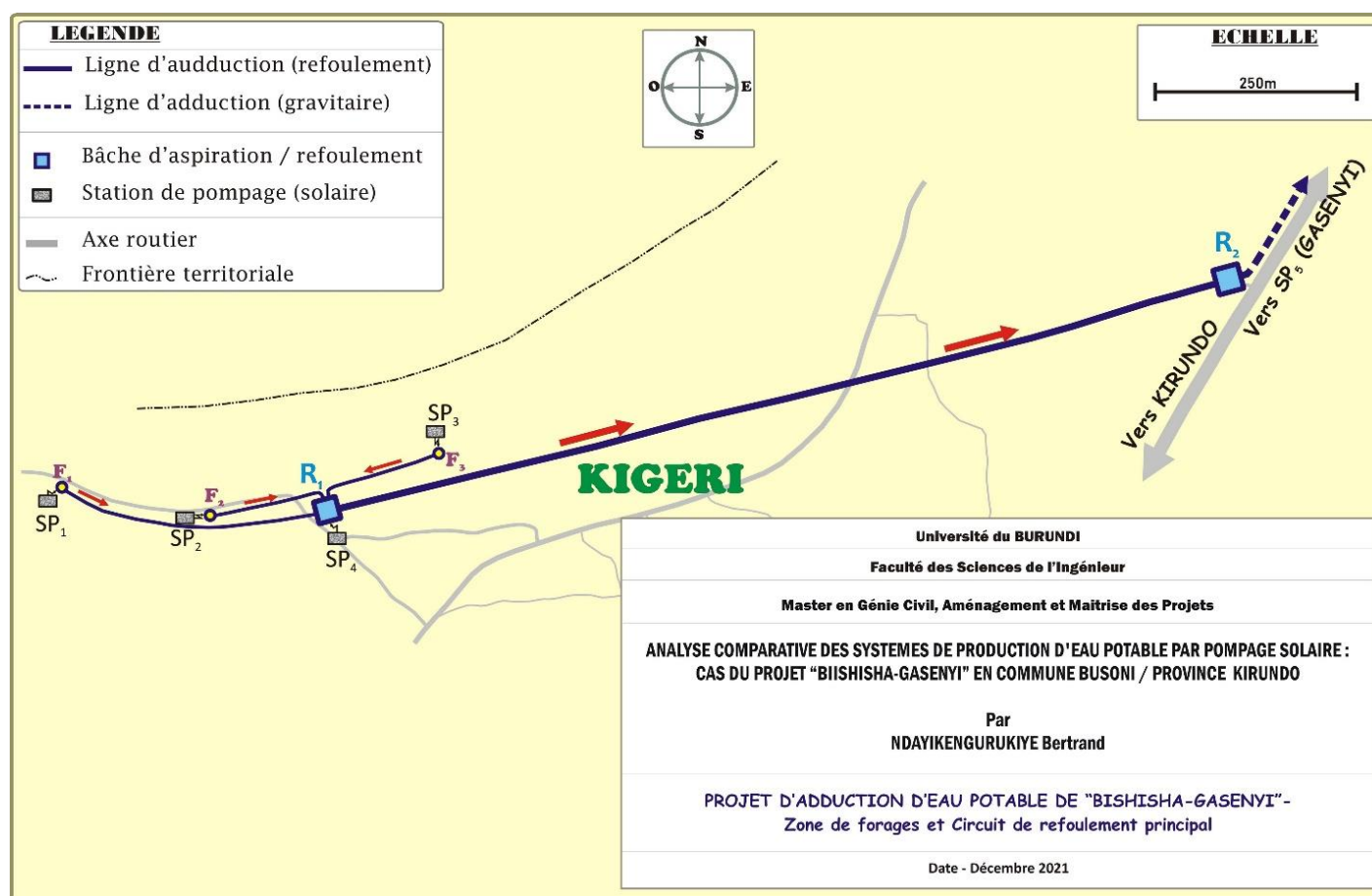


Figure IV.2: Schéma de fonctionnement sommaire de la zone de forage

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**

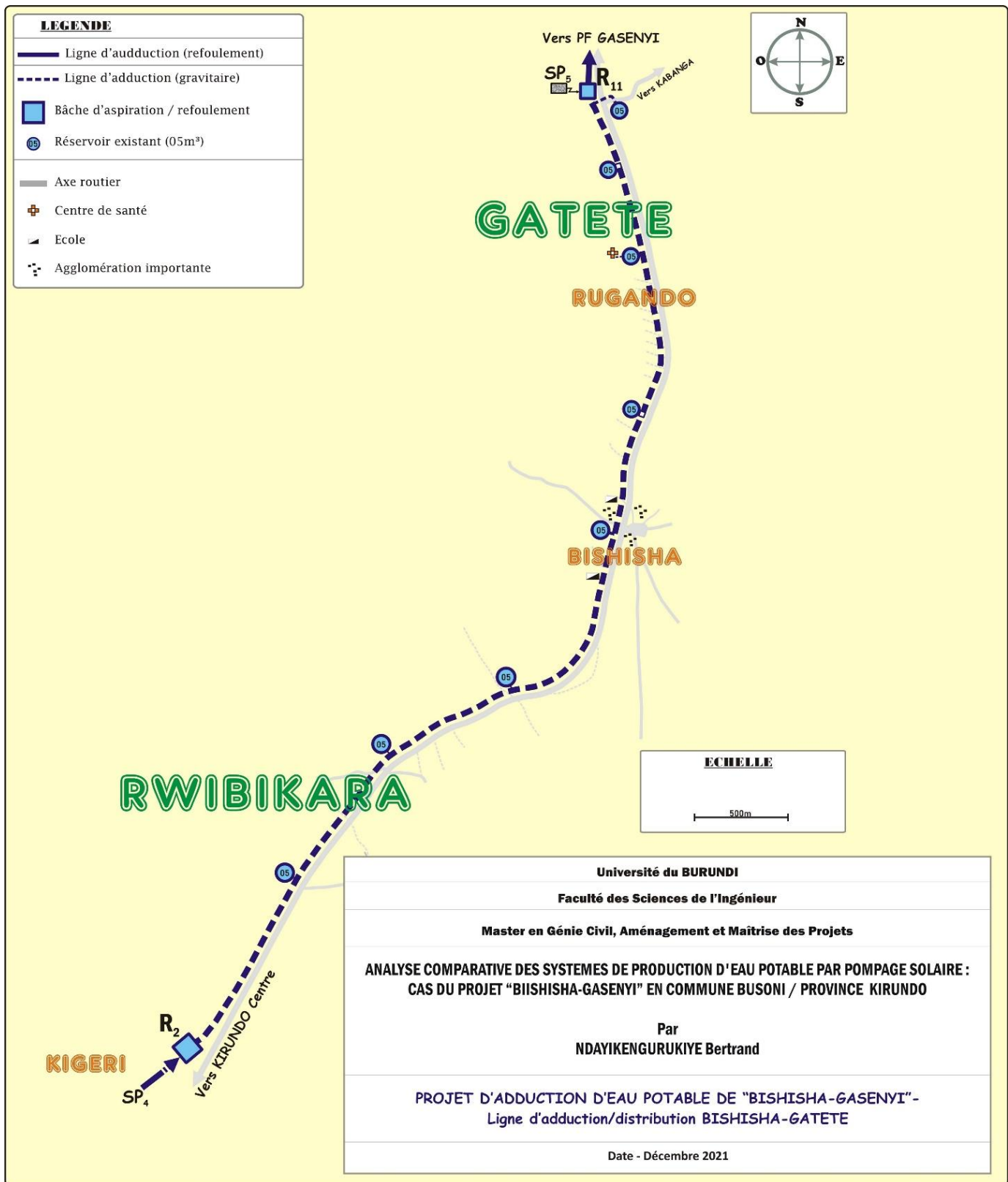


Figure IV.3: Schéma de fonctionnement sommaire (ligne d'adduction / distribution BISHISHA-GATETE)

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

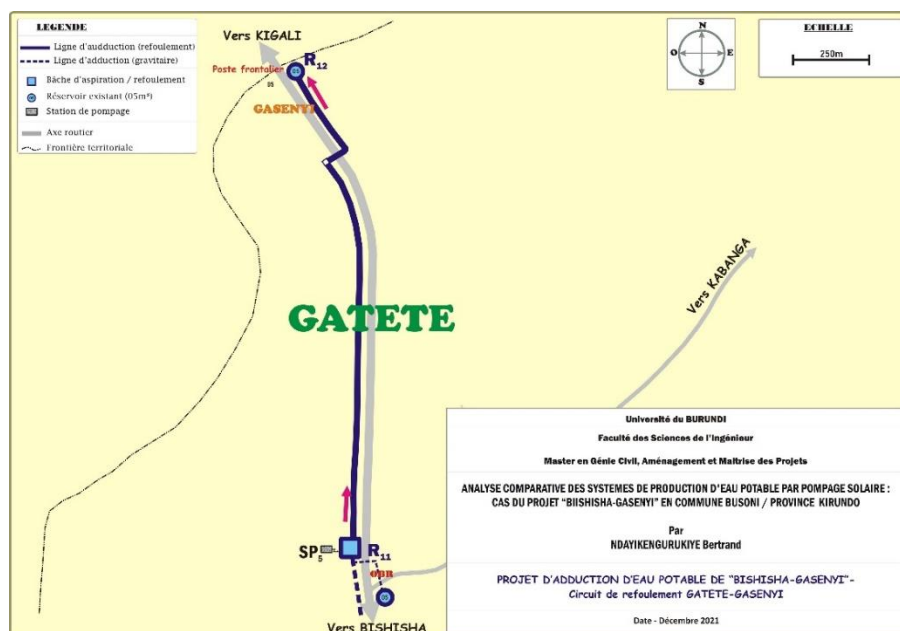


Figure IV.4 : Schéma de fonctionnement sommaire (circuit de refolement GATETE-GASENYI)

## IV.2. Les besoins en eau

Les besoins en eau sont estimés à partir des statistiques démographiques avec une allocation spécifique conforme aux prescriptions de l'Agence de l'Hydraulique et de l'Assainissement en Milieu Rural (AHAMR) qui est l'organe national en charge de la gestion des ouvrages d'alimentation en eau potable et d'assainissement en milieu rural burundais.

Tableau IV.1 : Evaluations des besoins en eau de la zone de projet

Bénéficiaires	Indentification	Effectif	Dotation en eau (l/j/individu)	Besoins en eau (m <sup>3</sup> /j)
Colline RWIBIKARA	Habitants	5 839	20	116.78
GATETE	Habitants	6 761	20	135.22
MAREMBO	Habitants	4 874	20	97.48
ECOFO MUHUZU	Elèves	468	5	2.34
ECOFO RWIBIKARA	Elèves	521	5	2.605
Lycée BISHISHA	Elèves	396	5	1.98
<b>S/Total 1</b>				<b>356,4</b>
<b>Poste transfrontalier</b>				
Entrée - sortie	Personnes	1 500	5	7,5
Fonctionnaires	Personnes	60	20	1,20
Autres activités	Personnes	180	20	3,6
Toilettes	Usagers	15	20	0,30
<b>S/Total 2</b>				<b>12,6</b>
<b>TOTAL (2021)</b>				<b>369,00</b>

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

### IV.3. La capacité hydraulique des forages

#### IV.3.1. Données principales

	<i>Paramètres</i>	<i>Notation</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
1	<i>Diamètre du forage</i>	<i>D</i>	<i>mm</i>	<i>203,00</i>
2	<i>Profondeur forée</i>	<i>H<sub>0</sub></i>	<i>m</i>	<i>90,00</i>
3	<i>Débit d'essai</i>	<i>Q<sub>0</sub></i>	<i>m<sup>3</sup>/h</i>	<i>30,00</i>

#### IV.3.2. Résultats des essais de pompage

Tableau IV.2 : Résultats des essais de pompage pour les forages

<b>Mesures de terrain</b>		<b>Valeurs déduites</b>	
Temps (min)	Niveau d'eau	Rabatement	h
0	1,50	0,00	88,50
5	4,63	3,13	85,37
10	7,83	6,33	82,17
20	13,52	12,02	76,48
25	15,73	14,23	74,27
30	18,00	16,50	72,00
35	19,67	18,17	70,33
40	21,26	19,76	68,74
45	22,67	21,17	67,33
50	24,00	22,50	66,00
55	24,98	23,48	65,02
60	26,20	24,70	63,80
70	28,02	26,52	61,98
80	29,94	28,44	60,06
90	31,38	29,88	58,62
100	32,83	31,33	57,17
110	34,05	32,55	55,95
120	35,21	33,71	54,79
150	37,75	36,25	52,25
180	39,15	37,65	50,85
210	39,60	38,10	50,40
240	39,95	38,45	50,05
300	40,00	38,50	50,00
330	40,04	38,54	49,96
360	40,04	38,54	49,96

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

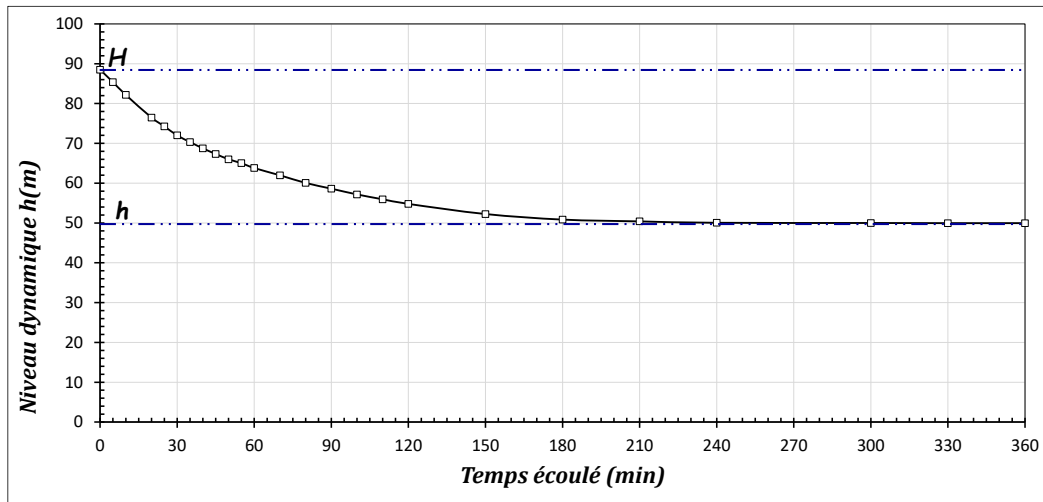


Figure IV.5 : Représentation graphique des résultats des essais de pompage

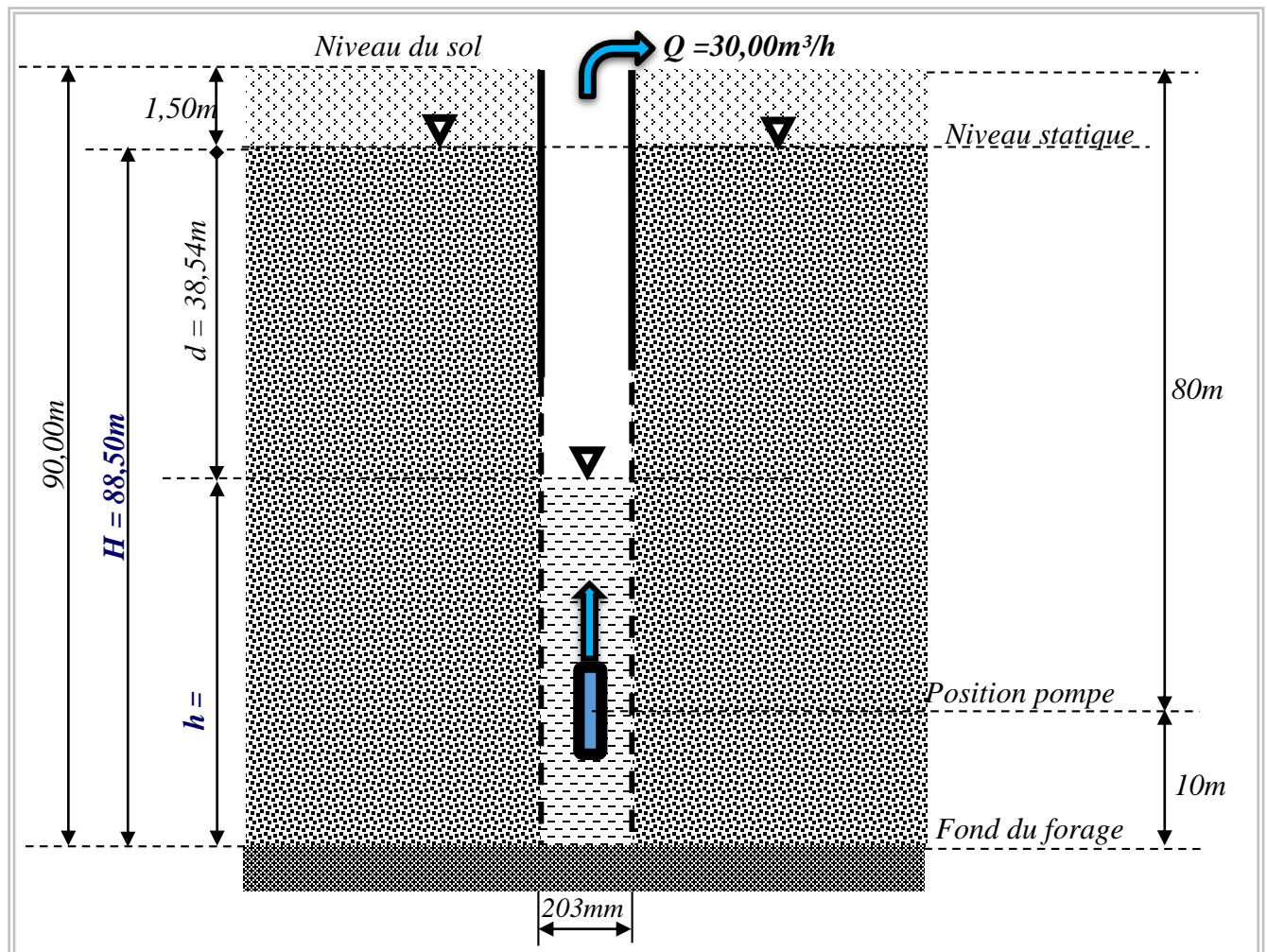


Figure IV.6 : Esquisse schématique des trois forages

### IV.3.3. Interprétation des résultats

	<i>Paramètres</i>	<i>Notation</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
1	<i>Niveau statique (par rapport au fond du forage)</i>	<i>H</i>	<i>m</i>	88,50
2	<i>Niveau dynamique (par rapport au fond du forage)</i>	<i>h</i>	<i>m</i>	49,96
3	<i>Rabatement maximal observé (régime uniforme)</i>	<i>d<sub>max</sub></i>	<i>m</i>	38,54

Les résultats des essais de pompage montrent que le système fonctionne en régime permanent après les six heures de pompage. Dans ce cas, le débit extrait du forage est théoriquement donné par :

$$Q = \frac{\pi k(H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{2R}{D}\right)} \quad (IV.1)$$

*k* : Conductivité hydraulique  
*r* : rayon du forage  
*R* : Rayon d'influence

Le rayon d'influence est souvent approximé par la formule de SICHARDT qui s'écrit :

$$R = 3000(H - h)\sqrt{k} \quad (IV.2)$$

Les deux équations permettent de déterminer, par calcul numérique, la conductivité hydraulique globale du système.

<i>Paramètre</i>	<i>Notation</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
<i>Diamètre du forage</i>	<i>D</i>	<i>m</i>	0,203
<i>Niveau statique</i>	<i>H</i>	<i>m</i>	88,50
<i>Débit d'essai</i>	<i>Q</i>	<i>m<sup>3</sup>/h</i>	30,00
<i>Niveau dynamique</i>	<i>h</i>	<i>m</i>	49,96
<i>Conductivité hydraulique</i>	<i>K</i>	<i>m/s</i>	3,83E-06
<i>Rayon d'influence</i>	<i>R</i>	<i>m</i>	226,36
<i>Débit maximum admissible</i>	<i>Q<sub>max,adm</sub></i>	<i>m<sup>3</sup>/h</i>	14,97

A cette hauteur dynamique, le débit maximum pouvant être extrait du forage est donné par :

$$Q_{max} = \pi \frac{\sqrt{K}}{15} D h \quad (IV.3)$$

La capacité hydraulique des forages est donc de **15m<sup>3</sup>/h**

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

#### IV.4. Valeurs de dimensionnement

##### IV.4.1. Quantité à produire

Pour prendre en compte les jours de faible ensoleillement, les besoins en eau calculés ci-haut sont majorés de 20%. Avec un horizon de planification de 10ans (correspondant à la durée de vie des pompes) et un taux de croissance annuel de 3%, les quantités à produire s'élèveront, pour les deux stations de pompage surface à :

Zone de desserte	Quantité à produire (m <sup>3</sup> /j)	
	2021	2031
KIGERI, MUHUZU, BISHISHA, RUGANDO, GATETE (SP <sub>4</sub> )	356,40	478,972
GASENYI - Poste frontalier (SP <sub>5</sub> )	12,60	16,933
<b>TOTAL (SP<sub>4</sub>)</b>	<b>369,00</b>	<b>495,905</b>

##### IV.4.2. Débits de refoulement

##### IV.4.2.1. Pompage au fil du soleil

Tableau IV.3: Débits de dimensionnement pour les forages et les stations de pompage de surface (option 2)

Temps (Heures)	Production (%)	Débits (m <sup>3</sup> /h)		
		Forages	SP <sub>4</sub>	SP <sub>5</sub>
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	2,26	2,552	11,189	0,382
8	6,95	7,860	34,463	1,177
9	9,48	10,718	46,995	1,605
10	10,20	11,535	50,575	1,727
11	10,65	12,045	52,813	1,803
12	11,10	12,555	55,051	1,880
13	12,55	14,189	62,212	2,124
<b>14</b>	<b>13,27</b>	<b>15,005</b>	<b>65,792</b>	<b>2,247</b>
15	10,11	11,432	50,128	1,712
16	7,13	8,064	35,358	1,207
17	4,42	5,002	21,931	0,749
18	1,90	2,144	9,399	0,321
19	0	-	-	-
20	0	-	-	-
21	0	-	-	-
22	0	-	-	-
23	0	-	-	-
24	0	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>113,100</b> (m <sup>3</sup> /j)	<b>495,905</b> (m <sup>3</sup> /j)	<b>16,933</b> (m <sup>3</sup> /j)

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

**Remarque :**

La capacité hydraulique des forages étant limitée à 15m<sup>3</sup>/h, la productivité à prendre en compte sera de 113,1m<sup>3</sup>/j au lieu des 360m<sup>3</sup>/j théoriquement possibles ; ce qui nécessitera d'implanter cinq (05) forages à l'horizon de planification.

**IV.4.2.2. Pompage avec stockage énergétique (batteries)**

*Tableau IV.4: Débits de dimensionnement pour les forages et les stations de pompage de surface (option 1)*

Temps de pompage (h/j)	8	10	12	14	16	18	20	22	24
<b>Débits (m<sup>3</sup>/h)</b>									
<b>Forages</b>	20,663	16,530	13,775	11,807	10,331	9,183	8,265	7,514	6,888
<b>SP<sub>4</sub></b>	61,988	49,591	41,325	35,422	30,994	27,550	24,795	22,541	20,663
<b>SP<sub>5</sub></b>	2,117	1,693	1,411	1,210	1,058	0,941	0,847	0,770	0,706

**Remarque :**

- Le débit d'un forage est obtenu sur base de trois forages fonctionnant pour produire le débit requis à l'horizon de planification.
- La capacité hydraulique des forages étant limitée à 15m<sup>3</sup>/h, le temps de pompage minimal requis sera de onze (11) heures par jour.

## CHAPITRE V. OPTION 1 - POMPAGE SOLAIRE AVEC STOCKAGE ENERGETIQUE

---

### V.1. Bases de calcul

Le système de pompage solaire avec stockage énergétique consiste à stocker l'énergie solaire dans des batteries, ce qui permet de faire fonctionner les pompes à n'importe quel moment de la journée à condition que l'énergie requise soit disponible dans les batteries.

Comme mentionné plus haut, les débits de référence, qui déterminent les dimensions des autres éléments du projet dépendront du temps de pompage adopté. Ces éléments à calculer sont entre autres :

- ❖ Le volume des bâches d'aspiration (1) et réservoirs de refoulement (2)
- ❖ Le diamètre des conduites de refoulement (3)
- ❖ La puissance des pompes (4) et des champs photovoltaïques (5)
- ❖ La capacité de stockage des batteries (6)

Nous présentons ci-dessous les calculs détaillés réalisés sur base d'un pompage nocturne de 18H00 à 6H00 du matin, les heures de la journée étant consacrées à la recharge des batteries.

### V.2. Les bâches d'aspiration

Une bache d'aspiration récupère l'eau provenant d'un captage (source, forage, usine de production) et sert de réservoir d'aspiration pour une station de pompage. Dans le cas où les débits entrants et sortants sont constants, le volume théorique requis serait donné par :

$$V_{th} = |Q_S - Q_E| \text{Max}(t) \quad (V.1)$$

Avec :

$V_{th}$  : Volume théorique requis en  $m^3$

$Q_S$  : Débit refoulé (sortant) en  $m^3/h$

$Q_E$  : Débit entrant en  $m^3/h$

$Max(t)$  : Temps de fonctionnement (continu) maximal

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

Le volume minimal requis est obtenu en faisant coïncider les heures de pompage au niveau des forages (entrée) et de la station de pompage de surface (sortie). Etant donné que les débits entrant et sortant sont en tout temps les mêmes, le volume utile requis pour ces réservoirs serait nul. Nous donnerons à ces derniers un volume forfaitaire de 10m<sup>3</sup>, juste suffisant pour une installation sécurisée des pompes immergées.

### V.3. Les réservoirs de refoulement

#### V.3.1. Base de calcul

Les réservoirs de refoulement fonctionneront en même temps comme réservoirs d'équilibre. Ils seront dimensionnés sur base de la courbe de consommation de la figure 1, valable pour le milieu rural burundais. Le volume utile sera calculé numériquement avec une fiche de calcul (tableau 1 et 2) qui met en jeu le bilan des débits entrants et sortants et permet de déceler les valeurs extrêmes (vidanges et remplissages) qui déterminent le volume minimal requis.

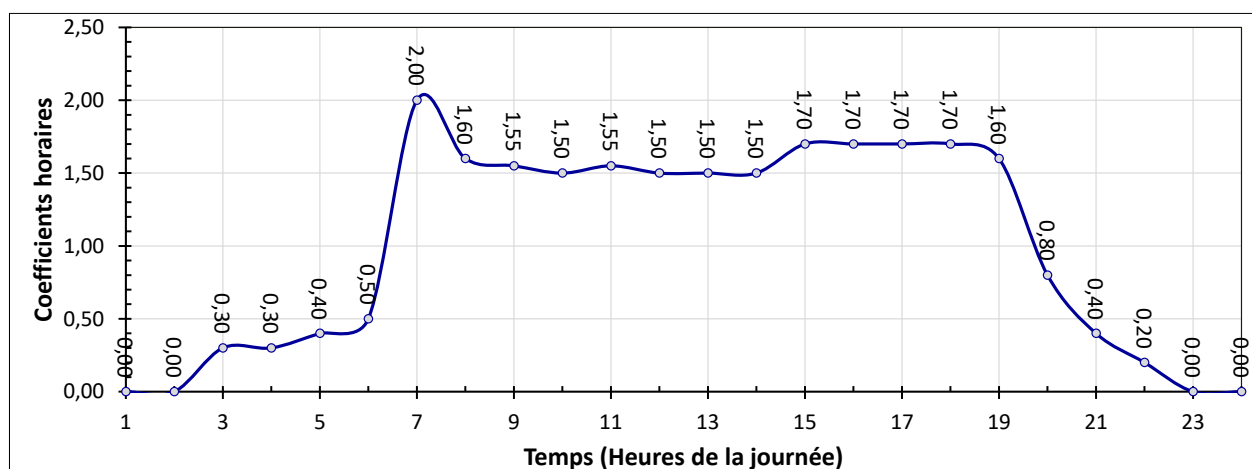


Figure V.1 : Courbe de consommation typique du milieu rural burundais

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

### V.3.2. Résultats

Tableau V.1 : Fiche de dimensionnement du réservoir de refoulement pour la station de pompage principale

Temps	$C_h$	$Q_e(\text{m}^3/\text{h})$	$V_{ec}(\text{m}^3)$	$Q_s(\text{m}^3/\text{h})$	$V_{sc}(\text{m}^3)$	$V_e - V_s$	Se remplit de :	Se vide de :
1	0,00	41,325	41,33	0,000	0,000	41,33	41,325	
2	0,00	41,325	82,65	0,000	0,000	82,65	41,325	
3	0,30	41,325	123,98	6,199	6,199	117,78	35,127	
4	0,30	41,325	165,30	6,199	12,398	152,90	35,127	
5	0,40	41,325	206,63	8,265	20,663	185,96	33,060	
6	0,50	41,325	247,95	10,331	30,994	<b>216,96</b>	30,994	
7	2,00	0,000	247,95	41,325	72,319	175,63		41,325
8	1,60	0,000	247,95	33,060	105,380	142,57		33,060
9	1,55	0,000	247,95	32,027	137,407	110,55		32,027
10	1,50	0,000	247,95	30,994	168,401	79,55		30,994
11	1,55	0,000	247,95	32,027	200,428	47,52		32,027
12	1,50	0,000	247,95	30,994	231,422	16,53		30,994
13	1,50	0,000	247,95	30,994	262,416	-14,46		30,994
14	1,50	0,000	247,95	30,994	293,410	-45,46		30,994
15	1,70	0,000	247,95	35,127	328,537	-80,58		35,127
16	1,70	0,000	247,95	35,127	363,664	-115,71		35,127
17	1,70	0,000	247,95	35,127	398,790	-150,84		35,127
18	1,70	0,000	247,95	35,127	433,917	<b>-185,96</b>		35,127
19	1,60	41,325	289,28	33,060	466,977	-177,70	8,265	
20	0,80	41,325	330,60	16,530	483,507	-152,90	24,795	
21	0,40	41,325	371,93	8,265	491,772	-119,84	33,060	
22	0,20	41,325	413,25	4,133	495,905	-82,65	37,193	
23	0,00	41,325	454,58	0,000	495,905	-41,33	41,325	
24	0,00	41,325	495,91	0,000	495,905	0,00	41,325	
<b>Total</b>	<b>24,00</b>	<b>495,905</b>		<b>495,905</b>	<b>V utile</b>	<b>402,923</b>	<b>402,923</b>	<b>402,923</b>
					<b>V adopté</b>	<b>450</b>		

$C_h$  : Coefficient horaire

$Q_e$  : Débit entrant (refoulé) partiel ou production par tranche horaire

$V_{ec}$  : Volume entrant cumulé

$Q_s$  : Débit sortant (consommation) partiel ou par tranche horaire

$V_{sc}$  : Débit sortant (consommation) cumulé

Le volume adopté tient compte d'un volume mort (aération en surface, vidange) estimé à 10% du volume utile.

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

Tableau V.2 : Fiche de dimensionnement du réservoir de refoulement de la station de pompage secondaire

Temps	C <sub>h</sub>	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>ec</sub> (m <sup>3</sup> )	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>sc</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>e</sub> -V <sub>s</sub>	Se remplit de :	Se vide de :
1	0,00	1,411	1,41	0,000	0,000	1,41	1,411	
2	0,00	1,411	2,82	0,000	0,000	2,82	1,411	
3	0,30	1,411	4,23	0,212	0,212	4,02	1,199	
4	0,30	1,411	5,64	0,212	0,423	5,22	1,199	
5	0,40	1,411	7,06	0,282	0,706	6,35	1,129	
6	0,50	1,411	8,47	0,353	1,058	<b>7,41</b>	1,058	
7	2,00	0,000	8,47	1,411	2,469	6,00		1,411
8	1,60	0,000	8,47	1,129	3,598	4,87		1,129
9	1,55	0,000	8,47	1,094	4,692	3,77		1,094
10	1,50	0,000	8,47	1,058	5,750	2,72		1,058
11	1,55	0,000	8,47	1,094	6,844	1,62		1,094
12	1,50	0,000	8,47	1,058	7,902	0,56		1,058
13	1,50	0,000	8,47	1,058	8,960	-0,49		1,058
14	1,50	0,000	8,47	1,058	10,019	-1,55		1,058
15	1,70	0,000	8,47	1,199	11,218	-2,75		1,199
16	1,70	0,000	8,47	1,199	12,418	-3,95		1,199
17	1,70	0,000	8,47	1,199	13,617	-5,15		1,199
18	1,70	0,000	8,47	1,199	14,816	<b>-6,35</b>		1,199
19	1,60	1,411	9,88	1,129	15,945	-6,07	0,282	
20	0,80	1,411	11,29	0,564	16,510	-5,22	0,847	
21	0,40	1,411	12,70	0,282	16,792	-4,09	1,129	
22	0,20	1,411	14,11	0,141	16,933	-2,82	1,270	
23	0,00	1,411	15,52	0,000	16,933	-1,41	1,411	
24	0,00	1,411	16,93	0,000	16,933	0,00	1,411	
	<b>24,00</b>	<b>16,933</b>		<b>16,933</b>	<b>V utile</b>	<b>13,758</b>	<b>13,758</b>	<b>13,758</b>
<b>V adopté</b>						<b>20,00</b>		

#### V.4. Conduites de refoulement et puissances requises

##### V.4.1. Bases de calcul

Le diamètre des conduites de refoulement joue un rôle très important dans système de pompage puisqu'il sert de transport du liquide. Le diamètre utilisé sera très déterminant au niveau des pertes de charge, de la hauteur manométrique totale et partant de la puissance requise pour la station de pompage à installer. Les équations de bases données en détail au chapitre II permettent de calculer numériquement la puissance requise en fonction du diamètre de la conduite de refoulement.

**V.4.2. Résultats**

Les fiches de calcul ci-dessous donnent les résultats obtenus au niveau des puissances requises en fonction des diamètres utilisés. Pour une étude économique plus objective, nous utiliserons des tuyaux en PVC pour des pressions nominales allant de 16 à 25 bars et des tuyaux en fonte ductile pour des pressions supérieures.

**Données de base :**

<i>Désignation</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
▪ <i>Viscosité dynamique de l'eau (<math>\mu</math>)</i>	<i>Ns/m<sup>2</sup></i>	<i>0,001</i>
▪ <i>Masse volumique de l'eau (<math>\rho</math>)</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>1000</i>
▪ <i>Rugosité absolue des tuyaux en PVC (<math>\varepsilon</math>)</i>	<i>mm</i>	<i>0,10</i>
▪ <i>Rugosité absolue des tuyaux en FD (<math>\varepsilon</math>)</i>	<i>mm</i>	<i>0,25</i>
▪ <i>Somme des coefficients de pertes de charge singulières (<math>\Sigma\xi_i</math>)</i>		<i>5,00</i>
▪ <i>Rendement global des stations de pompage (<math>\eta</math>)</i>	<i>%</i>	<i>60,00</i>

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

Tableau V.3 : Fiche des calculs hydrauliques des circuits de refoulement (Option 1)

Conduite						Ecoulement							Terrain		Pompe				
L (m)	ε(mm)	DE	PN	D	e/D	Q(m³/h)	Q(m³/s)	v(m/s)	Re	λ	ΔH <sub>f</sub> (m)	Σξ	ΔH <sub>s</sub> (m)	ΔH <sub>T</sub> (m)	ΔZ(m)	H <sub>MT</sub> (m)	W <sub>nette</sub> (kW)	η	W <sub>brute</sub>
<b>SP<sub>1</sub></b>																			
1250	0,10	63	25	0,0498	0,0020	13,7750	0,00383	1,964	9,78E+04	0,0251	124,15	5	0,983	125,139	97	222,14	8,34	0,6	13,90
		75	16	0,0640	0,0016			1,189	7,61E+04	0,0244	34,402		0,361	34,762		131,76	4,95		8,24
		90	16	0,0768	0,0013			0,826	6,34E+04	0,0241	13,666		0,174	13,840		110,84	4,16		6,93
		110	16	0,0968	0,0010			0,520	5,03E+04	0,0241	4,285		0,069	4,354		101,35	3,80		6,34
		125	16	0,1102	0,0009			0,401	4,42E+04	0,0242	2,251		0,041	2,292		99,29	3,73		6,21
		140	16	0,1234	0,0008			0,320	3,95E+04	0,0244	1,287		0,026	1,313		98,31	3,69		6,15
<b>SP<sub>2</sub></b>																			
325	0,10	63	16	0,0536	0,0019	13,7750	0,00383	1,696	9,09E+04	0,0249	22,126	5	0,733	22,859	95	117,86	4,42	0,6	7,37
		75	16	0,0640	0,0016			1,189	7,61E+04	0,0244	8,944		0,361	9,305		104,30	3,92		6,53
		90	16	0,0768	0,0013			0,826	6,34E+04	0,0241	3,553		0,174	3,727		98,73	3,71		6,18
		110	16	0,0968	0,0010			0,520	5,03E+04	0,0241	1,114		0,069	1,183		96,18	3,61		6,02
		125	16	0,1102	0,0009			0,401	4,42E+04	0,0242	0,585		0,041	0,626		95,63	3,59		5,98
		140	16	0,1234	0,0008			0,320	3,95E+04	0,0244	0,335		0,026	0,361		95,36	3,58		5,97
<b>SP<sub>3</sub></b>																			
450	0,10	63	16	0,0536	0,0019	13,7750	0,00383	1,696	9,09E+04	0,0249	30,636	5	0,733	31,369	98	129,37	4,86	0,6	8,09
		75	16	0,0640	0,0016			1,189	7,61E+04	0,0244	12,385		0,361	12,745		110,75	4,16		6,93
		90	16	0,0768	0,0013			0,826	6,34E+04	0,0241	4,920		0,174	5,094		103,09	3,87		6,45
		110	16	0,0968	0,0010			0,520	5,03E+04	0,0241	1,543		0,069	1,611		99,61	3,74		6,23
		125	16	0,1102	0,0009			0,401	4,42E+04	0,0242	0,810		0,041	0,851		98,85	3,71		6,18
		140	16	0,1234	0,0008			0,320	3,95E+04	0,0244	0,463		0,026	0,490		98,49	3,70		6,16
<b>SP<sub>4</sub></b>																			
1700	0,10	110	25	0,0936	0,0011	41,3250	0,01148	1,668	1,56E+05	0,0216	55,691	5	0,709	56,401	120	176,40	19,86	0,6	33,11
		125	16	0,1102	0,0009			1,204	1,33E+05	0,0213	24,247		0,369	24,616		144,62	16,29		27,14
		140	16	0,1234	0,0008			0,960	1,18E+05	0,0211	13,677		0,235	13,912		133,91	15,08		25,13
		160	16	0,1410	0,0007			0,735	1,04E+05	0,0211	6,992		0,138	7,130		127,13	14,32		23,86
		200	16	0,1762	0,0006			0,471	8,29E+04	0,0211	2,300		0,056	2,356		122,36	13,78		22,96
		225	16	0,1982	0,0005			0,372	7,37E+04	0,0212	1,284		0,035	1,320		121,32	13,66		22,77
		250	16	0,2204	0,0005			0,301	6,63E+04	0,0214	0,761		0,023	0,784		120,78	13,60		22,67
		280	16	0,2468	0,0004			0,240	5,92E+04	0,0216	0,437		0,015	0,452		120,45	13,56		22,61
		315	16	0,2776	0,0004			0,190	5,27E+04	0,0219	0,246		0,009	0,255		120,26	13,54		22,57
		<b>SP<sub>5</sub></b>																	
2200	0,10	32	16	0,0272	0,0037	1,4110	0,00039	0,675	1,83E+04	0,0329	61,645	5	0,116	61,761	54	115,76	0,45	0,6	0,74
		40	16	0,0340	0,0029			0,432	1,47E+04	0,0328	20,167		0,047	20,215		74,21	0,29		0,48
		50	16	0,0426	0,0023			0,275	1,17E+04	0,0332	6,615		0,019	6,634		60,63	0,23		0,39

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

## Synthèse

Tableau V.4 : Synthèse des modèles et puissances des pompes adaptées (option 1)

Désignation	Tuyauterie		Pompe	$H_{MT}(m)$	$W_{calc}(kW)$	Modèle	$W_{réelle}(kW)$
	DE(mm)	PN (bars)	Q(m <sup>3</sup> /h)				
SP <sub>1</sub>	63	25	13,775	222,14	13,90	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	75	16		131,76	8,24	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	90	16		110,84	6,93	PSK2-15 C-SJ17-18	21,0
	110	16		101,35	6,34	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	125	16		99,29	6,21	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	140	16		98,31	6,15	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
SP <sub>2</sub>	63	25	13,775	117,86	7,37	PSK2- 21 C-SJ17-26	21,0
	75	16		104,30	6,53	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	90	16		98,73	6,18	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	110	16		96,18	6,02	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	125	16		95,63	5,98	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	140	16		95,36	5,97	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
SP <sub>3</sub>	63	25	13,775	129,37	8,09	PSK2-21 C-SJ17-26	21,0
	75	16		110,75	6,93	PSK2-21 C-SJ17-26	21,0
	90	16		103,09	6,45	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	110	16		99,61	6,23	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	125	16		98,85	6,18	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
	140	16		98,49	6,16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0
SP <sub>4</sub>	110	25	41,325	176,40	33,11	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	125	16		144,62	27,14	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	140	16		133,91	25,13	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	160	16		127,13	23,86	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	200	16		122,36	22,96	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	225	16		121,32	22,77	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	250	16		120,78	22,67	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	280	16		120,45	22,61	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
	315	16		120,26	22,57	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0
SP <sub>5</sub>	32	25	1,411	115,76	0,74	SQF-1.2-3	1,4
	40	16		74,21	0,48	SQF-1.2-3	1,4
	50	16		60,63	0,39	SQF-1.2-3	1,4

**ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO**

**Remarque :**

1. Deux marques de pompes solaires fiables les plus utilisées au BURUNDI sont proposées :
  - Les pompes PSK2 (figure V.2) de la marque LORENTZ pour les grandes puissances. Les fiches techniques plus détaillées sont données en annexes.
  - Les pompes SQF (figure V.3) de la marque GRUNDFOS pour les faibles puissances.
  
2. Les prix unitaires utilisés pour les tuyaux et les panneaux solaires correspondent aux prix du marché pour les pièces de meilleure qualité.

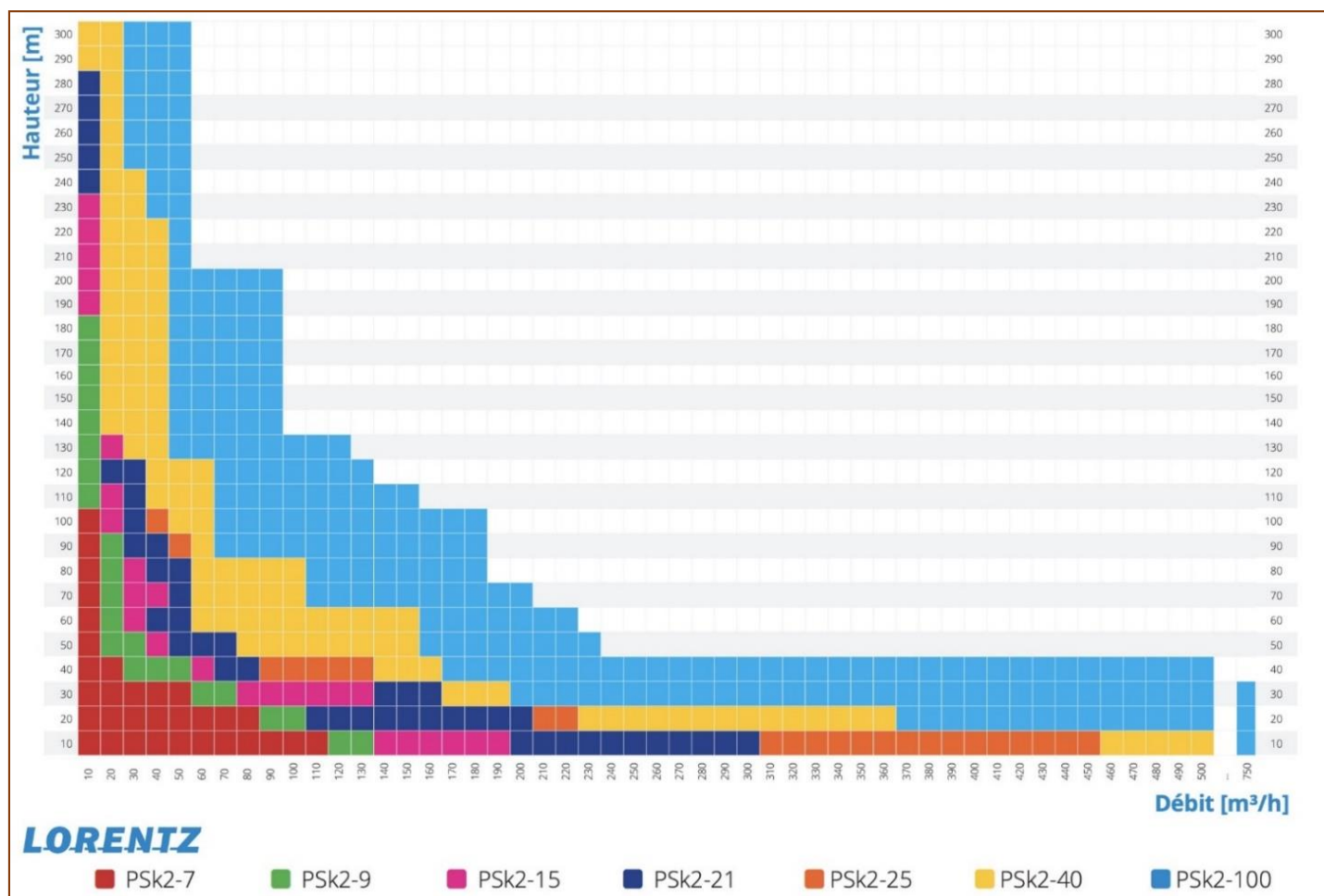


Figure V.2 : Plage de dimensionnement des pompes solaires LORENTZ – Modèle PSK2

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

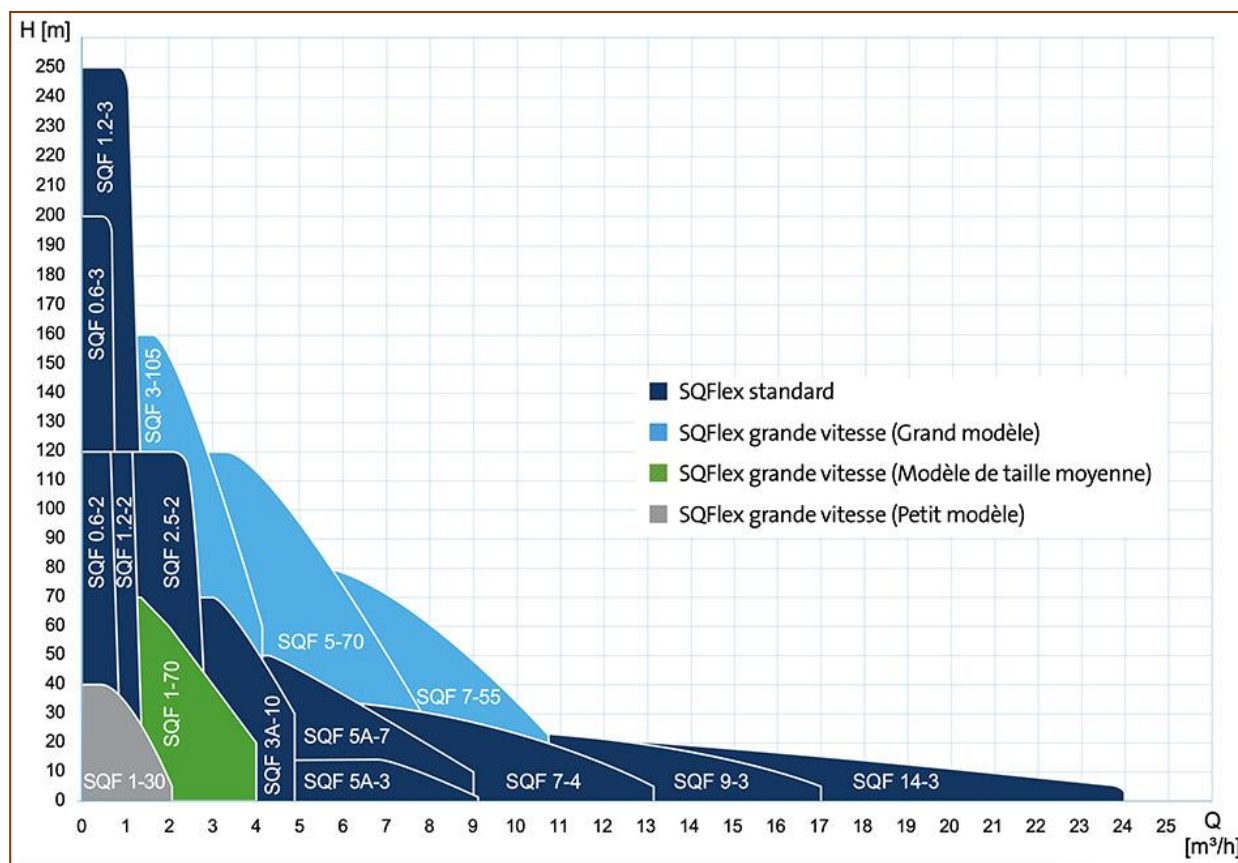


Figure V.3 : Plage de dimensionnement des pompes solaires SQF – GRUNDFOS

## V.5. Panneaux, onduleurs et batteries

### V.5.1. Données de base

<i>Désignation</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeur</i>
<i>Puissance d'un panneau</i>	<i>WC</i>	<i>300,00</i>
<i>Irradiation journalière moyenne (Région Nord du Burundi)</i>	<i>Wh/m².j</i>	<i>5.8</i>
<i>Rendement des panneaux</i>	<i>%</i>	<i>70,00</i>
<i>Rendement global des stations de pompage (<math>\eta</math>)</i>	<i>%</i>	<i>60,00</i>
<i>Autonomie des batteries</i>	<i>j</i>	<i>1</i>
<i>Type de batteries GEL 220Ah-12V</i>	<i>kWh-V</i>	<i>(220-12)</i>
<i>Capacité des batteries</i>	<i>Ah</i>	<i>220</i>
<i>Profondeur de décharge des batteries</i>	<i>%</i>	<i>65</i>

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

### V.5.2. Résultats

Tableau V.5 : Fiche de calcul de panneaux, onduleurs et batteries

Désignation	Tuyauterie		Pompe	Panneaux			Onduleurs			Batteries	
	DE(mm)	PN(bars)	W(kW)	E (Wh/j)	W (WC)	Nombre	Fp	W. calc. (KVA)	W. adoptée (KVA)	Capacité requise (Ah)	Nombre
SP1	63	25	37	444.000.	109.359,61	365	0.9	41,11	45	56.923,08	259
	75	16	37	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
	90	16	21,0	252.000	62.068,97	207		23,33	25	32.307,69	147
	110	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	125	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	140	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
SP2	63	25	21,0	252.000	62068,97	207	0.9	23,33	25	32.307,69	147
	75	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	90	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	110	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	125	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	140	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
SP3	63	25	21,0	252.000	62.068,97	207	0.9	23,33	25	32.307,69	147
	75	16	21,0	252.000	62.068,97	207		23,33	25	32.307,69	147
	90	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	110	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	125	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
	140	16	15,0	180.000	44.334,98	148		16,66	20	23.076,92	105
SP4	110	16	37,0	444.000	109.359,61	365	0.9	41,11	45	56923,08	259
	125	16	37,0	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
	140	16	37,0	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
	160	16	37,0	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
	200	16	37,0	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
	225	16	37,0	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
	250	16	37,0	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
	280	16	37,0	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
	315	16	37,0	444.000	109.359,61	365		41,11	45	56.923,08	259
SP5	32	25	1,4	16.800	4.137,93	14	1	1,4	1.5	2.153,85	10
	40	16	1,4	16.800	4.137,93	14		1,4	1.5	2.153,85	10
	50	16	1,4	16.800	4.137,93	14		1,4	1.5	2.153,85	10

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

## V.6. Diamètre économique

### V.6.1. Synthèse des pompes, panneaux, batteries et onduleurs à installer

Tableau V.6 : Synthèse des puissances et capacités requises pour les panneaux, onduleurs et batteries

Désignation	Tuyauterie		Pompes		Onduleur	Batteries	Panneaux
	DE(mm)	PN(bars)	Modèle	W (kW)	W (kVA)	(Nombre)	(Nombre)
SP <sub>1</sub>	63	25	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	75	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	90	16	PSK2-21 C-SJ17-26	21,0	25	147	207
	110	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	125	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	140	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
SP <sub>2</sub>	63	25	PSK2-21 C-SJ17-26	21,0	25	147	207
	75	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	90	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	110	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	125	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	140	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
SP <sub>3</sub>	63	25	PSK2-21 C-SJ17-26	21,0	25	147	207
	75	16	PSK2-21 C-SJ17-26	21,0	25	147	207
	90	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	110	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	125	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
	140	16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	20	105	148
SP <sub>4</sub>	110	25	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	125	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	140	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	160	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	200	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	225	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	250	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	280	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
	315	16	PSK2-40 C-SJ42-19	37,0	45	259	365
SP <sub>5</sub>	32	25	SQF-1.2-3	1,4	1.5	10	14
	40	16	SQF-1.2-3	1,4	1.5	10	14
	50	16	SQF-1.2-3	1,4	1.5	10	14

#### **Remarque :**

Nous avons opté pour :

- des panneaux de 300Wc, 8.8A
- des batteries de 12V, 220Ah

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

## V.6.2. Prix unitaires de référence

Tableau V.7 : Bordereau des prix unitaires

Désignation	Unités	Prix unitaires (BIF)
<b>Tuyaux PVC /PN16</b>		
▪ DE32	ml	3.670
▪ DE40	ml	5.850
▪ DE50	ml	8.350
▪ DE63	ml	13.350
▪ DE75	ml	18.400
▪ DE90	ml	26.700
▪ DE110	ml	39.200
▪ DE125	ml	52.500
▪ DE140	ml	57.800
▪ DE160	ml	61.000
▪ DE200	ml	64.250
▪ DE225	ml	66.900
▪ DE250	ml	69.300
▪ DE280	ml	71.500
▪ DE315	ml	74.600
<b>Tuyaux PVC/PN25</b>		
▪ DE32	ml	5.250
▪ DE63	ml	25.000
▪ DE110	ml	53.500
<b>Pompes solaires (et divers accessoires)</b>		
▪ SQF-1.2-3	Pièce	6.102.000
▪ PSK2-15	Pièce	33.900.000
▪ PSK2-21	Pièce	41.697.000
▪ PSK2-25	Pièce	44.849.700
▪ PSK2-40	Pièce	55.257.000
▪ PSK2-100	Pièce	72.885.000
<b>Batteries solaires</b>		
▪ GEL 220Ah-12V	Pièce	2.165.000
<b>Panneaux solaires</b>		
▪ Panneaux 300Wp - 8.83A	Pièce	1.000.000
<b>Onduleurs solaires</b>		
▪ 0,5kVA	Pièce	3.390.000
▪ 1,0kVA	Pièce	5.085.000
▪ 1,5kVA	Pièce	6.780.000
▪ 20kVA	Pièce	22.035.000
▪ 25kVA	Pièce	23.730.000
▪ 30kVA	Pièce	25.425.000
▪ 35kVA	Pièce	27.120.000
▪ 40kVA	Pièce	30.510.000
▪ 45kVA	Pièce	37.290.000
▪ 50kVA	Pièce	40.680.000
<b>Forages</b>		
▪ Aménagement complet d'un forage	U	100.000.000

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

### V.6.3. Prix totaux

Tableau V.8 : Cout estimatif des équipements spécifiques (option 1)

Désignation	Option (DE/PN)	S/TOTAL						TOTAL (BIF)
		Forages	Pompes	Tuyaux	Batteries	Panneaux	Onduleurs	
SP <sub>1</sub>	63/25	100.000.000	110.514.000	31.250.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.094.275.000
	75/16	100.000.000	110.514.000	23.000.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.086.025.000
	90/16	100.000.000	83.394.000	33.375.000	318.255.000	207.000.000	23.730.000	765.754.000
	110/16	100.000.000	67.800.000	49.000.000	227.325.000	148.000.000	22.035.000	614.160.000
	125/16	100.000.000	67.800.000	65.625.000	227.325.000	148.000.000	22.035.000	630.785.000
	140/16	100.000.000	67.800.000	72.250.000	227.325.000	148.000.000	22.035.000	637.410.000
SP <sub>2</sub>	63/16	100.000.000	83.394.000	4.338.750	318.255.000	207.000.000	23.730.000	736.717.750
	75/16	100.000.000	67.800.000	5.980.000	318.255.000	148.000.000	22.035.000	662.070.000
	90/16	100.000.000	67.800.000	8.677.500	318.255.000	148.000.000	22.035.000	664.767.500
	110/16	100.000.000	67.800.000	12.740.000	318.255.000	148.000.000	22.035.000	668.830.000
	125/16	100.000.000	67.800.000	17.062.500	318.255.000	148.000.000	22.035.000	673.152.500
	140/16	100.000.000	67.800.000	72.250.000	318.255.000	148.000.000	22.035.000	728.340.000
SP <sub>3</sub>	63/16	100.000.000	83.394.000	6.007.500	318.255.000	207.000.000	23.730.000	738.386.500
	75/16	100.000.000	83.394.000	8.280.000	318.255.000	207.000.000	23.730.000	740.659.000
	90/16	100.000.000	67.800.000	12.015.000	227.325.000	148.000.000	22.035.000	577.175.000
	110/16	100.000.000	67.800.000	17.640.000	227.325.000	148.000.000	22.035.000	582.800.000
	125/16	100.000.000	67.800.000	23.625.000	227.325.000	148.000.000	22.035.000	588.785.000
	140/16	100.000.000	67.800.000	26.010.000	227.325.000	148.000.000	22.035.000	591.170.000
SP <sub>4</sub>	110/25	-	110.514.000	90.950.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.164.489.000
	125/16	-	110.514.000	89.250.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.162.789.000
	140/16	-	110.514.000	98.260.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.171.799.000
	160/16	-	110.514.000	103.700.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.177.239.000
	200/16	-	110.514.000	109.225.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.182.764.000
	225/16	-	110.514.000	113.730.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.187.269.000
	250/16	-	110.514.000	117.810.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.191.349.000
	280/16	-	110.514.000	121.550.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.195.089.000
	315/16	-	110.514.000	126.820.000	560.735.000	365.000.000	37.290.000	1.200.359.000
SP <sub>5</sub>	32/25	-	12.204.000	11.550.000	21.650.000	14.000.000	6.780.000	66.184.000
	40/16	-	12.204.000	12.870.000	21.650.000	14.000.000	6.780.000	67.504.000
	50/16	-	12.204.000	18.370.000	21.650.000	14.000.000	6.780.000	73.004.000

Tableau V.9 : Synthèse des diamètres économiques pour les différentes stations de pompage (option 1)

Identification de la station de pompage	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	SP <sub>3</sub>	SP <sub>4</sub>	SP <sub>5</sub>
Diamètre économique	DE110/PN16	DE75/PN16	DE90/PN16	DE125/PN16	DE32/PN25
Linéaire (m)	1250	325	450	1700	2200
Modèle pompe	PSK2-15 C-SJ17-18	PSK2-15 C-SJ17-18	PSK2-15 C-SJ17-18	PSK2-40 C-SJ42-19	SQF-1.2-3

## CHAPITRE VI. OPTION 2 - POMPAGE SOLAIRE DIRECT

---

### VI.1. Bases de calcul

Comme l'indique le titre, le pompage au fil du soleil est un système où le rythme de production suit la courbe de l'ensoleillement. Plus l'ensoleillement est fort, plus la quantité d'eau pompée est importante et lorsque l'ensoleillement fait défaut, la quantité d'eau produite sera moindre .

Le dimensionnement des ouvrages spécifiques requis sera basé sur cette courbe d'ensoleillement, et bien évidemment en tenant compte des besoins en eau de la zone de projet.

Comme au chapitre précédent, les principaux éléments à calculer sont :

- ❖ Le Volume des bâches d'aspiration (1) et des réservoirs de refoulement (2)
- ❖ Les diamètres des conduites de refoulement (3)
- ❖ Les puissances des pompes (4) et des champs photovoltaïques (5) pour les cinq stations de pompage

### VI.2. Les bâches d'aspiration

- Comme dans l'option précédente, le volume de la bache d'aspiration de la SP4 sera pris forfaitairement égal à 10m<sup>3</sup> du fait que les débits qui y entrent et qui en sortent sont pratiquement les mêmes. Le débit entrant sera par ailleurs supérieur au débit sortant si on met en service les cinq forages théoriquement requis.
- Pour la SP5, on prendra en compte la courbe de consommation et un débit entrant égal à la moyenne journalière des besoins de la zone de projet.

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

Tableau VI.1 : Fiche de dimensionnement de la bache d'aspiration de la SP5

Temps	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> )	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>e</sub> -V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	Se remplit de (m <sup>3</sup> ) :	Se vide de (m <sup>3</sup> ) :
1	0,706	0,71	0,000	0,00	-0,706	0,706	
2	0,706	1,41	0,000	0,00	-1,411	0,706	
3	0,706	2,12	0,000	0,00	-2,117	0,706	
4	0,706	2,82	0,000	0,00	-2,822	0,706	
5	0,706	3,53	0,000	0,00	-3,528	0,706	
6	0,706	4,23	0,000	0,00	-4,233	0,706	
7	0,706	4,94	0,383	0,38	-4,556	0,323	
8	0,706	5,64	1,177	1,56	-4,085		0,471
9	0,706	6,35	1,605	3,16	-3,185		0,900
10	0,706	7,06	1,727	4,89	-2,163		1,022
11	0,706	7,76	1,803	6,70	-1,066		1,098
12	0,706	8,47	1,880	8,57	0,108		1,174
13	0,706	9,17	2,125	10,70	1,528		1,420
14	0,706	9,88	2,247	12,95	3,069		1,541
15	0,706	10,58	1,712	14,66	4,076		1,006
16	0,706	11,29	1,207	15,87	4,578		0,502
17	0,706	11,99	0,745	16,61	4,617		0,040
18	0,706	12,70	0,322	16,93	4,233	0,384	
19	0,706	13,41	0,000	16,93	3,528	0,706	
20	0,706	14,11	0,000	16,93	2,822	0,706	
21	0,706	14,82	0,000	16,93	2,117	0,706	
22	0,706	15,52	0,000	16,93	1,411	0,706	
23	0,706	16,23	0,000	16,93	0,706	0,706	
24	0,706	16,93	0,000	16,93	0,000	0,706	
	<b>16,933</b>		<b>16,933</b>		<b>9,173</b>	<b>9,173</b>	<b>9,173</b>
<b>V adopté</b>						<b>10,0</b>	

### VI.3. Les réservoirs de refoulement

- Les courbes de production des forages et des stations de pompage de surface sont données au chapitre 3, tableau 4
- Les courbes de consommation utilisées dans les calculs ci-dessous sont déduites des coefficients horaires utilisés dans la première option
- Les résultats obtenus sont donnés aux tableaux 2 et 3

### VI.4. Conduites de refoulement et puissances requises

Les débits de référence ont été calculés au chapitre 4 et synthétisés au tableau 3. Rappelons qu'une marge de sécurité de 20% (sur les débits à fournir) a été adoptée pour prendre en compte les jours de mauvais ensoleillement. Les résultats sont donnés en détail au tableau 4.

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

Tableau VI.2 : Fiche de dimensionnement du réservoir de refoulement pour la SP4 (option 2)

Temps	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>ec</sub> (m <sup>3</sup> )	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>sc</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>e</sub> -V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	Se remplit de (m <sup>3</sup> ) :	Se vide de (m <sup>3</sup> ) :
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	
3	0,000	0,000	6,199	6,199	6,20	6,199	
4	0,000	0,000	6,199	12,398	12,40	6,199	
5	0,000	0,000	8,265	20,663	20,66	8,265	
6	0,000	0,000	10,331	30,994	30,99	10,331	
7	11,207	11,207	41,325	72,319	61,11	30,118	
8	34,465	45,673	33,060	105,380	59,71		1,405
9	47,012	92,685	32,027	137,407	44,72		14,985
10	50,582	143,267	30,994	168,401	25,13		19,588
11	52,814	196,081	32,027	200,428	4,35		20,787
12	55,045	251,126	30,994	231,422	-19,70		24,051
13	62,236	313,362	30,994	262,416	-50,95		31,242
14	65,807	379,169	30,994	293,410	-85,76		34,813
15	50,136	429,305	35,127	328,537	-100,77		15,009
16	35,358	464,663	35,127	363,664	-101,00		0,231
17	21,820	486,483	35,127	398,790	-87,69	13,307	
18	9,422	495,905	35,127	433,917	-61,99	25,704	
19	0,000	495,905	33,060	466,977	-28,93	33,060	
20	0,000	495,905	16,530	483,507	-12,40	16,530	
21	0,000	495,905	8,265	491,772	-4,13	8,265	
22	0,000	495,905	4,133	495,905	0,00	4,133	
23	0,000	495,905	0,000	495,905	0,00	0,000	
24	0,000	495,905	0,000	495,905	0,00	0,000	
	<b>495,905</b>		<b>495,905</b>		<b>162,111</b>	<b>162,111</b>	<b>162,111</b>
<b>V adopté</b>					<b>180</b>		

Tableau VI.3 : Fiche de dimensionnement du réservoir de refoulement pour la SP5 (option2)

Temps	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>ec</sub> (m <sup>3</sup> )	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>sc</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>e</sub> -V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	Se remplit de (m <sup>3</sup> ) :	Se vide de (m <sup>3</sup> ) :
1	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000		0,000
2	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000		0,000
3	0,000	0,00	0,212	0,21	0,212		0,212
4	0,000	0,00	0,212	0,42	0,423		0,212
5	0,000	0,00	0,282	0,71	0,706		0,282
6	0,000	0,00	0,353	1,06	1,058		0,353
7	0,383	0,38	1,411	2,47	2,087		1,028
8	1,177	1,56	1,129	3,60	2,039	0,048	
9	1,605	3,16	1,094	4,69	1,527	0,512	
10	1,727	4,89	1,058	5,75	0,858	0,669	
11	1,803	6,70	1,094	6,84	0,148	0,710	
12	1,880	8,57	1,058	7,90	-0,673	0,821	
13	2,125	10,70	1,058	8,96	-1,740	1,067	
14	2,247	12,95	1,058	10,02	-2,928	1,189	
15	1,712	14,66	1,199	11,22	-3,441	0,513	
16	1,207	15,87	1,199	12,42	-3,449	0,008	
17	0,745	16,61	1,199	13,62	-2,994		0,454
18	0,322	16,93	1,199	14,82	-2,117		0,878
19	0,000	16,93	1,129	15,95	-0,988		1,129
20	0,000	16,93	0,564	16,51	-0,423		0,564
21	0,000	16,93	0,282	16,79	-0,141		0,282
22	0,000	16,93	0,141	16,93	0,000		0,141
23	0,000	16,93	0,000	16,93	0,000		0,000
24	0,000	16,93	0,000	16,93	0,000		0,000
<b>TOTAL</b>	<b>16,933</b>		<b>16,933</b>		<b>5,535</b>	<b>5,535</b>	<b>5,535</b>
<b>V adopté</b>					<b>10</b>		

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

Tableau VI.4 : Fiche des calculs hydrauliques des circuits de refoulement (option 2)

Conduite						Fluide		Ecoulement								Terrain	Pompe				
L (m)	e (mm)	DE (mm)	PN (Bars)	D (m)	e/D	$\mu$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	Re	$\lambda$	$\Delta H_L$ (m)	$\Sigma \xi$	$\Delta H_s$ (m)	$\Delta H_T$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$H_{MT}$ (m)	$W_{nette}$ (kW)	$\eta$	$W_{brute}$ (kW)
<b>SP1</b>																					
1250	0,10	63	25	0,0498	0,0020	0,001	1000	15,00	0,00417	2,140	1,07E+05	0,0250	146,634	5	1,167	147,801	97	244,80	10,01	0,6	16,69
		75	16	0,0640	0,0016					1,296	8,29E+04	0,0243	40,544		0,428	40,972		137,97	5,64	9,40	
		90	16	0,0768	0,0013					0,900	6,91E+04	0,0239	16,077		0,206	16,284		113,28	4,63	7,72	
		110	16	0,0968	0,0010					0,566	5,48E+04	0,0238	5,029		0,082	5,111		102,11	4,18	6,96	
		125	16	0,1102	0,0009					0,437	4,82E+04	0,0239	2,638		0,049	2,687		99,69	4,08	6,79	
		140	16	0,1234	0,0008					0,349	4,30E+04	0,0240	1,507		0,031	1,538		98,54	4,03	6,72	
<b>SP2</b>																					
325	0,10	63	16	0,0536	0,0019	0,001	1000	15,00	0,00417	1,848	9,90E+04	0,0248	26,117	5	0,870	26,987	95	121,99	4,99	0,6	8,32
		75	16	0,0640	0,0016					1,296	8,29E+04	0,0243	10,541		0,428	10,969		105,97	4,33	7,22	
		90	16	0,0768	0,0013					0,900	6,91E+04	0,0239	4,180		0,206	4,386		99,39	4,06	6,77	
		110	16	0,0968	0,0010					0,566	5,48E+04	0,0238	1,308		0,082	1,389		96,39	3,94	6,57	
		125	16	0,1102	0,0009					0,437	4,82E+04	0,0239	0,686		0,049	0,735		95,73	3,92	6,53	
		140	16	0,1234	0,0008					0,349	4,30E+04	0,0240	0,392		0,031	0,423		95,42	3,90	6,50	
<b>SP3</b>																					
450	0,10	63	16	0,0536	0,0019	0,001	1000	15,00	0,00417	1,848	9,90E+04	0,0248	36,162	5	0,870	37,032	98	135,03	5,52	0,6	9,20
		75	16	0,0640	0,0016					1,296	8,29E+04	0,0243	14,596		0,428	15,024		113,02	4,62	7,70	
		90	16	0,0768	0,0013					0,900	6,91E+04	0,0239	5,788		0,206	5,994		103,99	4,25	7,09	
		110	16	0,0968	0,0010					0,566	5,48E+04	0,0238	1,811		0,082	1,892		99,89	4,09	6,81	
		125	16	0,1102	0,0009					0,437	4,82E+04	0,0239	0,950		0,049	0,998		99,00	4,05	6,75	
		140	16	0,1234	0,0008					0,349	4,30E+04	0,0240	0,543		0,031	0,574		98,57	4,03	6,72	
<b>SP4</b>																					
1700	0,10	110	25	0,0936	0,0011	0,001	1000	65,81	0,01828	2,657	2,49E+05	0,0210	137,491	5	1,799	139,290	120	259,29	46,50	0,6	77,49
		125	16	0,1102	0,0009					1,917	2,11E+05	0,0206	59,452		0,936	60,388		180,39	32,35	53,91	
		140	16	0,1234	0,0008					1,528	1,89E+05	0,0203	33,359		0,595	33,955		153,95	27,61	46,01	
		160	16	0,1410	0,0007					1,171	1,65E+05	0,0201	16,942		0,349	17,292		137,29	24,62	41,03	
		200	16	0,1762	0,0006					0,750	1,32E+05	0,0200	5,527		0,143	5,670		125,67	22,54	37,56	
		225	16	0,1982	0,0005					0,592	1,17E+05	0,0200	3,069		0,089	3,159		123,16	22,09	36,81	
		250	16	0,2204	0,0005					0,479	1,06E+05	0,0200	1,805		0,059	1,864		121,86	21,85	36,42	
		280	16	0,2468	0,0004					0,382	9,43E+04	0,0201	1,030		0,037	1,067		121,07	21,71	36,18	
		315	16	0,2776	0,0004					0,302	8,38E+04	0,0203	0,577		0,023	0,600		120,60	21,63	36,04	
<b>SP5</b>																					
2200	0,10	32	16	0,0272	0,0037	0,001	1000	2,25	0,00062	1,074	2,92E+04	0,0312	148,428	5	0,294	148,722	54	202,72	1,24	0,6	2,07
		40	16	0,0340	0,0029					0,687	2,34E+04	0,0307	47,900		0,120	48,020		102,02	0,62	1,04	
		50	16	0,0426	0,0023					0,438	1,87E+04	0,0307	15,497		0,049	15,546		69,55	0,43	0,71	

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

### VI.5. Synthèse des diamètres et puissances requis

Tableau VI.5 : Synthèse des puissances requises en fonction de la tuyauterie de refoulement

Désignation	DE/PN (mm)	Q (m <sup>3</sup> /h)	H <sub>MTR</sub> (m)	W <sub>brute</sub> (kW)	Modèle de pompe
<b>SP<sub>1</sub></b>	63/25	15,00	244,80	16,69	PSK2-40 C-SJ30-35
	75/16		137,97	9,40	PSK2-40 C-SJ30-35
	90/16		113,28	7,72	PSK2-21 C-SJ17-26
	110/16		102,11	6,96	PSK2-15 C-SJ17-18
	125/16		99,69	6,79	PSK2-15 C-SJ17-18
	140/16		98,54	6,72	PSK2-15 C-SJ17-18
<b>SP<sub>2</sub></b>	63/16	15,00	121,99	8,32	PSK2-15 C-SJ17-18
	75/16		105,97	7,22	PSK2-15 C-SJ17-18
	90/16		99,39	6,77	PSK2-15 C-SJ17-18
	110/16		96,39	6,57	PSK2-15 C-SJ17-18
	125/16		95,73	6,53	PSK2-15 C-SJ17-18
	140/16		95,42	6,50	PSK2-15 C-SJ17-18
<b>SP<sub>3</sub></b>	63/16	15,00	135,03	9,20	PSK2-40 C-SJ30-35
	75/16		113,02	7,70	PSK2-21 C-SJ17-26
	90/16		103,99	7,09	PSK2-15 C-SJ17-18
	110/16		99,89	6,81	PSK2-15 C-SJ17-18
	125/16		99,00	6,75	PSK2-15 C-SJ17-18
	140/16		98,57	6,72	PSK2-15 C-SJ17-18
<b>SP<sub>4</sub></b>	110/25	65,81	259,29	77,49	PSK2-100 C-SJ95-17
	125/16		180,39	53,91	PSK2-100 C-SJ95-17
	140/16		153,95	46,01	PSK2-100 C-SJ95-17
	160/16		137,29	41,03	PSK2-100 C-SJ95-17
	200/16		125,67	37,56	PSK2-100 C-SJ95-17
	225/16		123,16	36,81	PSK2-100 C-SJ95-17
	250/16		121,86	36,42	PSK2-100 C-SJ95-17
	280/16		121,07	36,18	PSK2-100 C-SJ95-17
	315/16		120,60	36,04	PSK2-100 C-SJ95-17
<b>SP<sub>5</sub></b>	32/25	2,25	202,72	2,07	PSK2-15
	40/16		102,02	1,04	SQF2.5-2
	50/16		69,55	0,71	SQF2.5-2

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

## VI.6. Résultats de Calcul des panneaux

Tableau VI.6 : Fiche de calcul des panneaux (Option 2)

DE/PN	Pompes		Panneaux		
	Modèle	Puissance	Energie électrique (wh/j)	Puissance crête (w)	Quantité
<b>SP1</b>					
63/25	PSK2-40 C-SJ30-35	37,0	444.000	109.359,1	365
75/16	PSK2-40 C-SJ30-35	37,0	444.000	109.359,1	365
90/16	PSK2-21 C-SJ17-26	21,0	252.000	62.068,97	207
110/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
125/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
140/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
<b>SP2</b>					
63/25	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
75/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
90/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
110/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
125/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
140/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
<b>SP3</b>					
63/25	PSK2-40 C-SJ30-35	37,0	444.000	109.359,61	365
75/16	PSK2-21 C-SJ17-26	21,0	252.000	62.068,97	207
90/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
110/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180000	44.334,98	148
125/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
140/16	PSK2-15 C-SJ17-18	15,0	180.000	44.334,98	148
<b>SP4</b>					
110/25	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266.009,85	887
125/16	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266.009,85	887
140/16	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266.009,85	887
160/16	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266.009,85	887
200/16	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266.009,85	887
225/16	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266.009,85	887
250/16	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266009,85	887
280/16	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266009,85	887
315/16	PSK2-100 C-SJ95-17	90,0	1.080.000	266.009,85	887
<b>SP5</b>					
32/25	PSK2-15	15,0	180.000	44.334,98	148
40/16	SQF2.5-2	1,4	16.800	4.137,93	14
50/16	SQF2.5-2	1,4	16.800	4.137,93	14

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

### VI.7. Les prix totaux

Tableau VI.7 : Cout estimatif des équipements spécifiques (option 2)

Désignation	Option (DE/PN)	S/Total				TOTAL (BIF)
		Forages	Pompes	Tuyaux	Panneaux	
SP <sub>1</sub>	63/25	100.000.000	110.514.000	31.250.000	365.000.000	606.764.000
	75/16	100.000.000	110.514.000	23.000.000	365.000.000	598.514.000
	90/16	100.000.000	83.394.000	33.375.000	207.000.000	423.769.000
	<b>110/16</b>	100.000.000	67.800.000	49.000.000	148.000.000	<b>364.800.000</b>
	125/16	100.000.000	67.800.000	65.625.000	148.000.000	381.425.000
	140/16	100.000.000	67.800.000	72.250.000	148.000.000	388.050.000
SP <sub>2</sub>	<b>63/16</b>	100.000.000	67.800.000	4.338.750	148.000.000	<b>320.138.750</b>
	75/16	100.000.000	67.800.000	5.980.000	148.000.000	321.780.000
	90/16	100.000.000	67.800.000	8.677.500	148.000.000	324.477.500
	110/16	100.000.000	67.800.000	12.740.000	148.000.000	328.540.000
	125/16	100.000.000	67.800.000	17.062.500	148.000.000	332.862.500
	140/16	100.000.000	67.800.000	18.785.000	148.000.000	334.585.000
SP <sub>3</sub>	63/16	100.000.000	110.514.000	6.007.500	365.000.000	581.521.500
	75/16	100.000.000	83.394.000	8.280.000	207.000.000	398.674.000
	<b>90/16</b>	100.000.000	67.800.000	12.015.000	148.000.000	<b>327.815.000</b>
	110/16	100.000.000	67.800.000	17.640.000	148.000.000	333.440.000
	125/16	100.000.000	67.800.000	23.625.000	148.000.000	339.425.000
	140/16	100.000.000	67.800.000	26.010.000	148.000.000	341.810.000
SP <sub>4</sub>	110/25	-	145.770.000	90.950.000	887.000.000	1.123.720.000
	<b>125/16</b>	-	145.770.000	89.250.000	887.000.000	<b>1.122.020.000</b>
	140/16	-	145.770.000	98.260.000	887.000.000	1.131.030.000
	160/16	-	145.770.000	103.700.000	887.000.000	1.136.470.000
	200/16	-	145.770.000	109.225.000	887.000.000	1.124.995.000
	225/16	-	145.770.000	113.730.000	887.000.000	1.146.500.000
	250/16	-	145.770.000	117.810.000	887.000.000	1.150.580.000
	280/16	-	145.770.000	121.550.000	887.000.000	1.154.320.000
315/16	-	145.770.000	126.820.000	887.000.000	1.159.590.000	
SP <sub>5</sub>	32/25	-	67.800.000	11.550.000	148.000.000	227.350.500
	<b>40/16</b>	-	16.400.000	12.870.000	14.000.000	<b>43.270.000</b>
	50/16	-	16.400.000	18.370.000	14.000.000	48.770.000

Tableau VI.8 : Synthèse des diamètres économiques (Option 2)

Identification de la station de pompage	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	SP <sub>3</sub>	SP <sub>4</sub>	SP <sub>5</sub>
Diamètre économique	DE 110/PN16	DE63/PN16	DE90/PN16	DE125/16	DE40/PN16
Linéaire (m)	1250	325	450	1700	2200
Modèle de pompe	PSK2-15 C-SJ17-18	PSK2-15 C-SJ17-18	PSK2-15 C-SJ17-18	PSK2-100 C-SJ95-17	SQF2.5-2

## CHAPITRE VII. COMPARAISON ECONOMIQUE DES DEUX OPTIONS

### VII.1. Schémas de fonctionnement

#### VII.1.1.Option 1

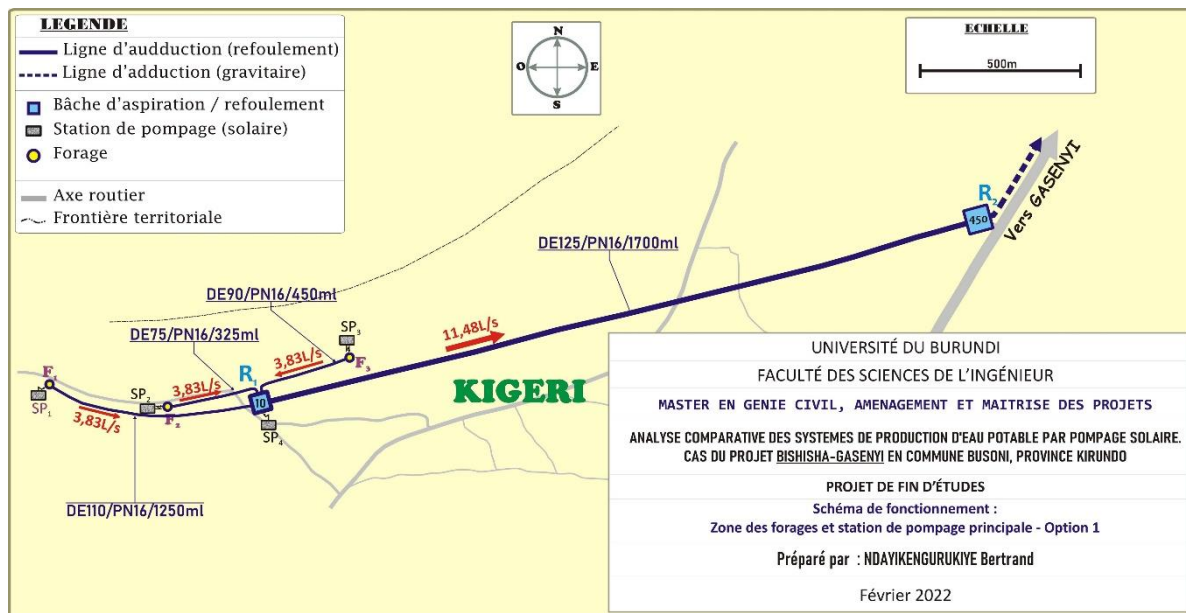


Figure VII.1 : Schéma de fonctionnement (zone de forages et station de pompage principale – Option 1)

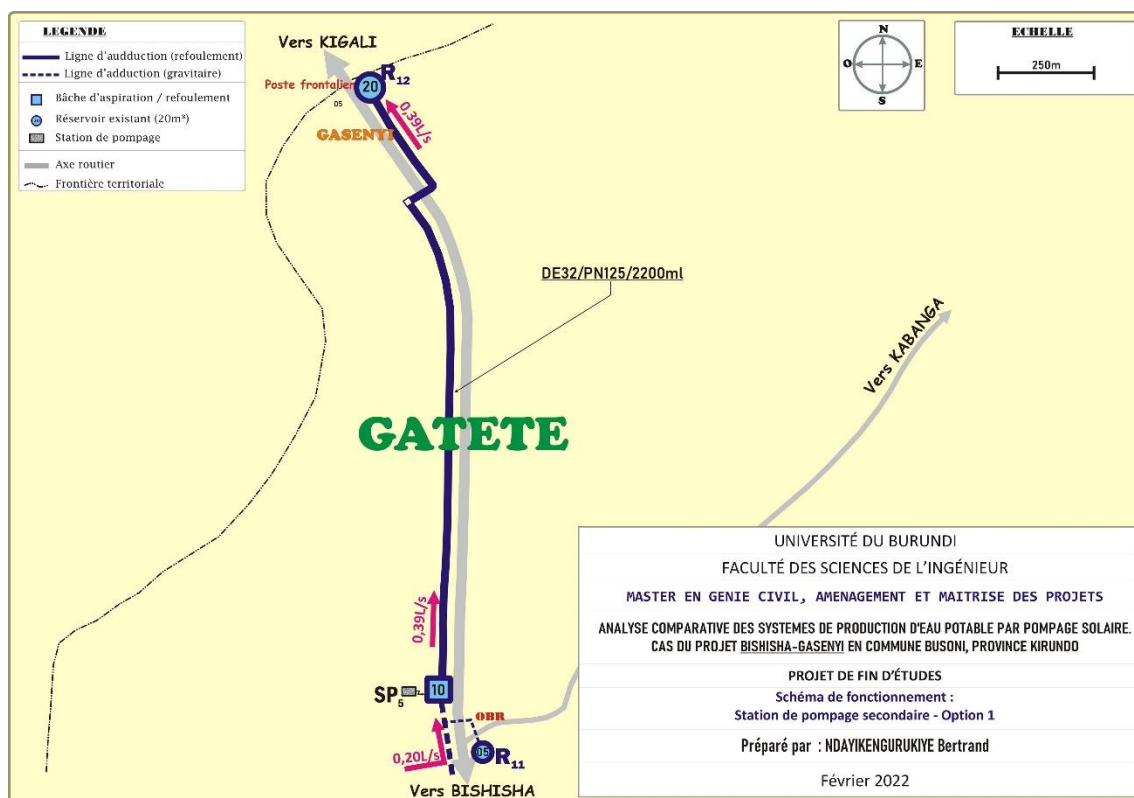


Figure VII.2: Schéma de fonctionnement (station de pompage secondaire – Option 1)

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

VII.1.2. Option 2

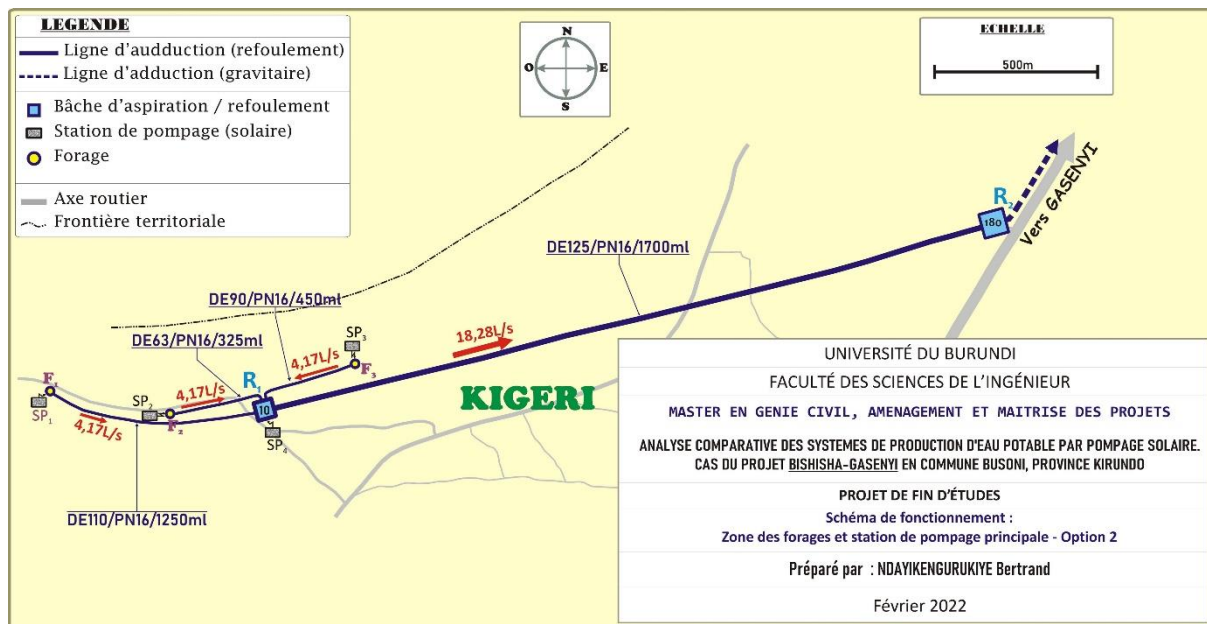


Figure VII.3: Schéma de fonctionnement (zone de forages et station de pompe principale – Option 2)

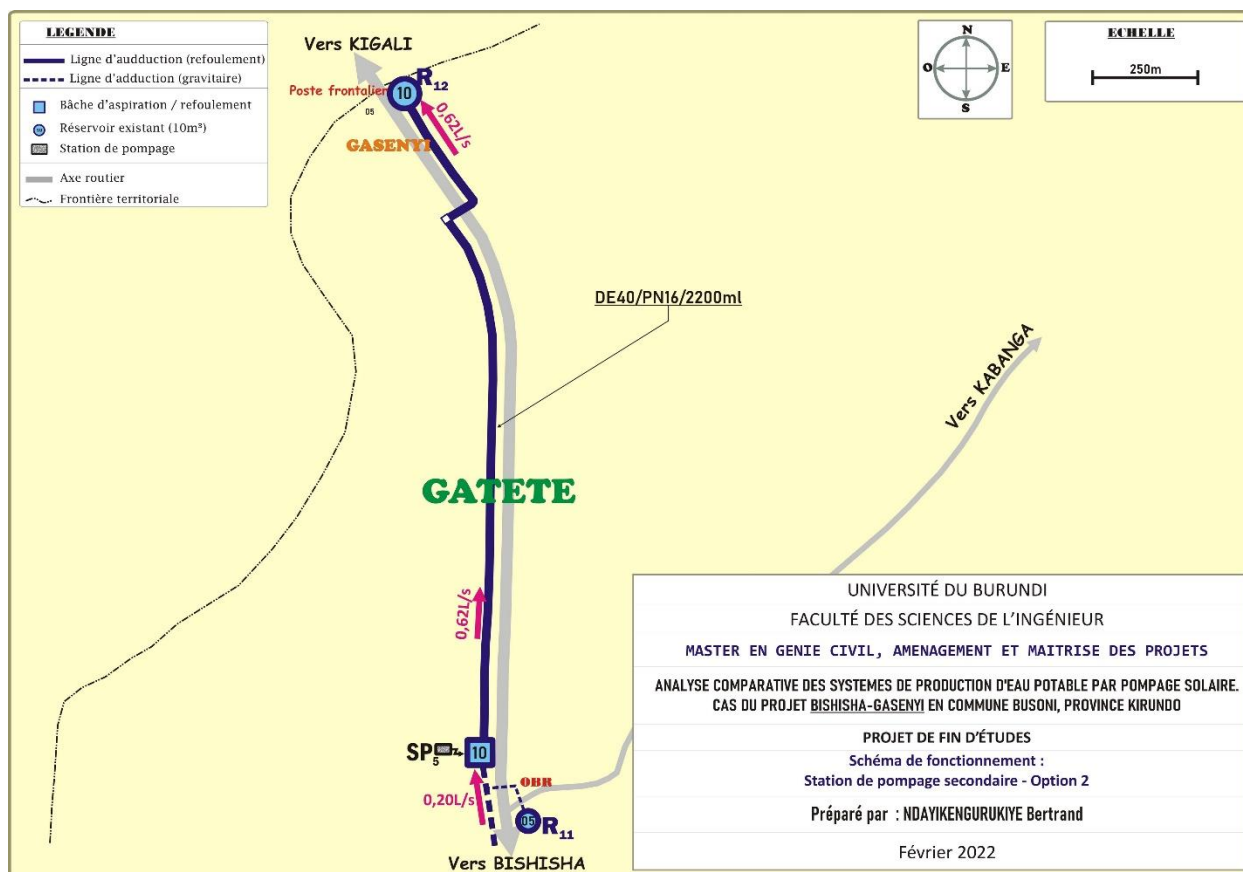


Figure VII.4: Schéma de fonctionnement (station de pompe secondaire – Option 2)

ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SOLAIRE : CAS DU  
PROJET BISHISHA- GASENYI EN COMMUNE BUSONI/ PROVINCE KIRUNDO

## VII.2. Tableau comparatif des coûts

Tableau VII.1: Tableau comparatif des couts

Désignation	Prix unitaires	Option 1 (Batteries)		Option 2 (Direct)	
		Quantité	S/Total	Quantité	S/Total
<b>I. Réservoirs</b>					
1. Bâche d'aspiration de 10m <sup>3</sup>	13.200.000	2	26.400.000	2	26.400.000
2. Réservoir de refoulement de 10m <sup>3</sup>	13.200.000	0	0	1	13.200.000
3. Réservoir de refoulement de 20m <sup>3</sup>	18.000.000	1	18.000.000	0	0
4. Réservoir de refoulement de 180m <sup>3</sup>	66.000.000	0	0	1	66.000.000
5. Réservoir de refoulement de 450m <sup>3</sup>	120.000.000	1	120.000.000	0	0
<b>S/TOTAL 1</b>			<b>164.400.000</b>		<b>105.600.000</b>
<b>II.1 Tuyauterie (PVC/PN16)</b>					
1. DE40	33.930	0	-	380	12.893.400
2. DE63	77.430	0	-	57	4.413.510
3. DE75	106.720	57	6.083.040	0	0
4. DE90	154.850	78	12.078.300	78	12.078.300
5. DE110	227.360	216	49.109.760	216	49.109.760
6. DE125	304.500	294	89.523.000		0
<b>II.2 Tuyauterie (PVC/PN25)</b>			-		0
7. DE32	30.450	380	11.571.000	0	0
<b>S/TOTAL 2</b>			<b>168.365.100</b>		<b>78.494.970</b>
<b>III. Pompes</b>					
1. SQF1-2-3	6.102.000	2	12.204.000	0	0
2. SQF2-5-2	8.200.000	0	-	2	16.400.000
3. PSK2-15	33.900.000	6	203.400.000	6	203.400.000
4. PSK2-40	55.257.000	2	110.514.000	0	0
5. PSK2-100	72.885.000	0	-	2	145.770.000
<b>S/TOTAL 3</b>			<b>326.118.000</b>		<b>365.570.000</b>
<b>IV. Panneaux solaires</b>					
1. Panneaux 300Wc	1.000.000	823	823.000.000	1.345	1.345.000.000
<b>S/TOTAL 4</b>			<b>823.000.000</b>		<b>1.345.000.000</b>
<b>V. Batteries</b>					
1. Batteries GEL 220Ah-12V	2.165.000	584	1.264.360.000	0	0
<b>S/TOTAL 5</b>			<b>1.264.360.000</b>	0	-
<b>VI. Onduleurs</b>					
1. 1.5KVA	6.780.000	1	6.780.000	0	0
2. 20KVA	22.035.000	3	66.105.000	0	0
3. 45KVA	37.290.000	1	37.290.000	0	0
<b>S/TOTAL 6</b>			<b>110.175.000</b>	0	-
<b>VII. Forages</b>					
1. Aménagement complet	100.000.000	3	300.000.000	3	300.000.000
<b>S/TOTAL 7</b>			<b>300.000.000</b>		<b>300.000.000</b>
<b>TOTAL 1 (Avec trois forages)</b>			<b>3.156.418.100</b>		<b>2.194.664.970</b>
<b>VIII. Supplément pour deux forages additionnels</b>			0		379.169.167
<b>S/TOTAL 8</b>			-		<b>379.169.167</b>
<b>TOTAL 2</b>			<b>3.156.418.100</b>		<b>2.573.834.137</b>

**Remarques**

- *Tous les réservoirs considérés sont en béton armé et leurs coûts sont estimés en se basant sur le coût du marché pour la fabrication et la mise en œuvre d'un m<sup>3</sup> béton armé.*

*Le supplément pour les forages additionnels inclut le coût de l'aménagement de deux forages (option 2), le prix de quatre pompes et celui des circuits de refoulement.*

- *Deux pompes sont prévues pour chaque station de pompage, dont une opérationnelle et une autre de réserve.*

## CHAPITRE VIII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

---

Le travail était consacré à une comparaison de deux systèmes de production d'eau potable par pompage solaire : avec stockage énergétique ou en pompage direct au fil du soleil. L'objectif ultime était de mener, pour une zone géographique définie, le BURUNDI, une étude comparative des deux systèmes dans l'optique de trouver l'option la plus recommandable sur le plan économique.

Pour y arriver, nous avons exploré le fonctionnement de quelques stations de pompage solaire opérationnelles au Burundi afin d'établir une courbe de production application pour la zone d'étude. En complément de cette étude diagnostique, une revue bibliographique des bases théoriques y relatives nous a permis de dimensionner les éléments spécifiques en rapport avec le génie civil et les équipements électromécaniques.

Il ressort d'une analyse faite à partir d'un cas concret que le pompage au fil du soleil est plus simple, écologique et surtout beaucoup plus économique que le pompage avec stockage énergétique qui n'a comme avantage que la stabilité du débit refoulé. La différence très significative du coût global est liée au nombre et au prix unitaire relativement élevés des batteries d'accumulation.

Cependant, au niveau de l'étude diagnostique, nous voudrions signaler que, faute de moyens financiers suffisants, la durée du monitoring et la zone de couverture ont été réduits. L'autre handicap que nous avons eu à faire face est la rareté de la documentation y relative.

Nous recommandons :

1. Aux prochains chercheurs :

- D'étendre la durée et la zone de couverture au niveau du monitoring des stations opérationnelles afin de dégager une courbe de production plus fiable.
- D'étudier l'influence de la courbe de consommation (milieu urbain par exemple) sur les dimensions des équipements requis en particulier les bâches de refoulement jouant en même temps le rôle de réservoir d'équilibre.
- D'analyser l'influence du timing de pompage pour l'option faisant recours au stockage énergétique.
- De mener une étude multicritère avec notamment la pondération des aspects écologiques et de durabilité.

2. Aux acteurs impliqués dans le domaine de l'eau potable, de privilégier l'option directe lorsque le pompage solaire s'impose.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### Ouvrages généraux

1. BILLERY J., (1986) : Maitrise de l'énergie et le développement : Le pompage photovoltaïque.
2. FOGELMAN T. (1982) : Systèmes photovoltaïques pour les pays en voie de développement.
3. FORKASIEWCS J. (1972) : Interprétation des données de pompages d'essai pour évaluation des paramètres des aquifères.
4. KRUSEMAN G.P, DE RIDDER N.A (1973) : Interprétation et discussion des pompages d'essais
5. SOGREA H (1991) : Les pompes et les petites stations de pompage.

### Travaux de fin d'études

1. MOHAMED L. L. (2008) : Etude techno-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site Ouargla. Université EL Hadj Lakhdar-Batna, ALGER, Mémoire de fin d'étude.
2. NIYONZIMA D. (2004) : Etude d'une réalisation d'une station de pompage solaire de NYAMITOTOMA alimentant le centre BUSIGA. Université du BURUNDI, Mémoire de fin d'étude.
3. SEOUSSOU DJIMET RMADOU (1993) : Comparaison techno-économique entre pompage solaire photovoltaïque et pompage thermique sur Maraichage. EIER, OUAGADOUGOU, Mémoire de fin d'Etude.

### Sites internet

1. <http://www.tutiempo.net/amp-fr/radiation-solaire/kirundo.html>.

## ANNEXES

## Annexe 1 : Dimensions standard des tuyaux en PVC

Diamètre Extérieur (mm)	Epaisseurs Nominales (mm)						
	PN <sup>(1)</sup>	PN6 NF/ISO	PN10			PN16 NF/ISO	PN25 NF
			NF <sup>(2)</sup>	DIN <sup>(3)</sup>	NF EN <sup>(4)</sup>		
20	1	-	-	-	-	1.5	2.3
25	1.2	-	1.5	1.5	-	1.9	2.8
32	-	-	1.8	1.8	1.6	2.4	3.6
40	-	-	2.4*	1.9	1.9	3.0	4.5
50	-	-	2.4	2.4	2.4	3.7	5.6
63	-	2.0	3.0	3.0	3.0	4.7	-
75	-	2.3	3.6	3.6	3.6	5.5	-
90	-	2.8	4.3	4.3	4.3	6.6	-
110	-	3.2/2.7	5.3	5.3	4.2	8.1/6.6	-
125	-	3.7/3.1	6.0	6.0	4.8	7.4	-
140	-	3.1	6.1	6.7	5.4	8.3	-
160	-	3.8	6.2	7.7	6.2	9.5	-
200	-	4.7	7.7	9.6	7.7	11.9	-
225	-	5.3	8.6	10.8	8.6	13.4	-
250	-	5.9	9.6	11.9	9.6	14.8	-
280	-	6.9	10.7	13.4	10.7	16.6	-
315	-	7.4	12.1	15.0	12.1	18.7	-
355	-	8.7	13.6	-	13.6	21.1	-
400	-	9.8	15.3	-	15.3	23.7	-
450	-	11.0	17.2	-	17.2	26.7	-
500	-	12.3	19.1	-	19.1	-	-
560	-	13.7	21.4	-	21.4	-	-
630	-	15.4	24.1	-	24.1	-	-

Veuillez nous consulter pour PN8, PN12.5 & PN20

\* Epaisseur pour une PN 12,5 bars

<sup>(1)</sup> Hors norme

<sup>(2)</sup> Selon la norme française NF T 54-016

<sup>(3)</sup> Selon la norme allemande DIN 8062

<sup>(4)</sup> Selon la nouvelle norme européenne NF EN ISO 1452-2 : 2010 en vigueur. Cette nouvelle norme européenne a le statut d'une norme française. Elle s'applique aux systèmes de canalisations pour l'alimentation en eau destinée à la consommation humaine, jusqu'à 45°C inclus.

## Annexe 2 : Spécifications techniques des pompes solaires LORENTZ

Modèle PSK2-15**LORENTZ** **PSk2-15 C-SJ17-18**

Système de pompe solaire immergée pour puits 6"

**Gamme de systèmes**

Chute	max. 180 m
Débit	max. 22 m <sup>3</sup> /h

**Données techniques****Contrôleur PSk2-15**

- High efficiency solar pump controller
- Hybrid power (solar / grid / generator) support with LORENTZ Smart3solution
- Inputs for water meter, pressure sensors, digital switches
- Simple configuration with LORENTZ PumpScanner Android™ App
- Onboard data logging and system monitoring
- Inbuilt applications for constant pressure, constant flow and daily amount
- Integrated Sun Sensor
- Active temperature management
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Puissance	max. 15 kW
Tension d'entrée	max. 850 V
Optimal Vmp**	> 575 V
Intensité du moteur	max. 24 A
Efficacité	max. 98 %
Temp. ambiante	-30...50 °C
Classe de protection	IP66

**Moteur AC DRIVE SUB 6" 11kW**

- Moteur triphasé à courant alternatif et à haut rendement
- Fréquence: 25...50 Hz
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Moteur sans électronique à l'intérieur

Efficacité	max. 80 %
Vitesse du moteur	1 400...2 850 rpm
Facteur de puissance	0,87
Classe d'isolation	F
Classe de protection	IP68
Submersion	max. 150 m

**Extrémité de la pompe PE C-SJ17-18**

- Clapet anti-retour
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Centrifugal pump

Efficacité	max. 74 %
------------	-----------

**Pompe PUK2-15 C-SJ17-18 (Moteur, Extrémité de la pompe)**

Diamètre de forage	min. 6,0 in
Température de l'eau	max. 30 °C****

**Normes**

2006/42/EC, 2004/109/EC, 2006/95/EC



Modèle PSK2-21

# PSk2-21 C-SJ17-26

## Système de pompe solaire immergée pour puits 6"

### Gamme de systèmes

Chute	max. 220 m
Débit	max. 22 m <sup>3</sup> /h

### Données techniques

#### Contrôleur PSk2-21

- High efficiency solar pump controller
- Hybrid power (solar / grid / generator) support with LORENTZ SmartSolution
- Inputs for water meter, pressure sensors, digital switches
- Simple configuration with LORENTZ PumpScanner Android™ App
- Onboard data logging and system monitoring
- Inbuilt applications for constant pressure, constant flow and daily amount
- Integrated Sun Sensor
- Active temperature management
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Puissance	max. 21 kW
Tension d'entrée	max. 850 V
Optimal Vmp**	> 575 V
Intensité du moteur	max. 33 A
Efficacité	max. 98 %
Temp. ambiante	-30...50 °C
Classe de protection	IP66

#### Moteur AC DRIVE SUB 6" 15kW

- Moteur triphasé à courant alternatif et à haut rendement
- Fréquence: 25...51 Hz
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Moteur sans électronique à l'intérieur

Efficacité	max. 84 %
Vitesse du moteur	1 400...2 905 rpm
Facteur de puissance	0,87
Classe d'isolation	F
Classe de protection	IP68
Submersion	max. 150 m

#### Extrémité de la pompe PE C-SJ17-26

- Clapet anti-retour
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Centrifugal pump

Efficacité	max. 72 %
------------	-----------

#### Pompe PUK2-21 C-SJ17-26 (Moteur, Extrémité de la pompe)

Diamètre de forage	min. 6,0 in
Température de l'eau	max. 30 °C****

### Normes



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

IEC/EN 61702:1995, IEC/EN 62253 Ed.1



Modèle PSK2-40

# PSK2-40 C-SJ42-19

Système de pompe solaire immergée pour puits 6"

## Gamme de systèmes

Chute	max. 200 m
Débit	max. 63 m <sup>3</sup> /h

## Données techniques

### Contrôleur PSK2-40

- High efficiency solar pump controller
- Hybrid power (solar / grid / generator) support with LORENTZ SmartSolution
- Inputs for water meter, pressure sensors, digital switches
- Simple configuration with LORENTZ PumpScanner Android™ App
- Onboard data logging and system monitoring
- Inbuilt applications for constant pressure, constant flow and daily amount
- Integrated Sun Sensor
- Active temperature management
- Integrated MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Puissance	max. 37 kW
Tension d'entrée	max. 850 V
Optimal Vmp**	> 575 V
Intensité du moteur	max. 65 A
Efficacité	max. 98 %
Temp. ambiante	-30...50 °C
Classe de protection	IP66

### Moteur AC DRIVE SUB 6" 30kW

- Moteur triphasé à courant alternatif et à haut rendement
- Fréquence: 25...51 Hz
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Moteur sans électronique à l'intérieur

Efficacité	max. 84 %
Vitesse du moteur	1 400...2 905 rpm
Facteur de puissance	0,88
Classe d'isolation	F
Classe de protection	IP68
Submersion	max. 150 m

### Extrémité de la pompe PE C-SJ42-19

- Clapet anti-retour
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Centrifugal pump

Efficacité	max. 78 %
------------	-----------

### Pompe PUK2-40 C-SJ42-19 (Moteur, Extrémité de la pompe)

Diamètre de forage	min. 6,0 in
Température de l'eau	max. 30 °C****

## Normes



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

IEC/EN 61702:1995, IEC/EN 62253 Ed.1



**Modèle PSK2-100**

# PSk2-100 C-SJ95-17

**Système de pompe solaire immergée pour puits 8"****Gamme de systèmes**

Chute	max. 300 m
Débit	max. 113 m <sup>3</sup> /h

**Données techniques****Contrôleur PSk2-100**

- Contrôleur pour les pompes solaires à haut rendement
- Entrées pour compteur d'eau, capteurs de pression, interrupteurs digitaux
- Configuration simple avec l'application PumpScanner de LORENTZ pour Android™
- Enregistrement de données et surveillance du système intégré
- Application intégrée pour pression constante, débit constant et quantité quotidienne
- Sun Sensor intégré
- Gestion de températures active
- Recherche de point de puissance maximale (MPPT) intégrée

Puissance	max. 90 kW
Tension d'entrée	max. 850 V
Optimal Vmp**	> 575 V
Intensité du moteur	max. 160 A
Efficacité	max. 98 %
Temp. ambiante	-10...50 °C
Classe de protection	IP54

**Moteur AC DRIVE SUB 8" 75kW**

- Moteur triphasé à courant alternatif et à haut rendement
- Fréquence: 30...51 Hz
- Matériau de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Moteur sans électronique à l'intérieur

Efficacité	max. 84 %
Vitesse du moteur	1 690...2 905 rpm
Facteur de puissance	0,85
Classe d'isolation	F
Classe de protection	IP68
Submersion	max. 150 m

**Extrémité de la pompe PE C-SJ95-17**

- Clapot anti-retour
- Matériau de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- Centrifugal pump

Efficacité	max. 81 %
------------	-----------

**Pompe PUK2-100 C-SJ95-17 (Moteur, Extrémité de la pompe)**

Diamètre de forage	min. 8,0 in
Température de l'eau	max. 30 °C****

**Normes**

2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

IEC/EN 61702-1995, IEC/EN 62253 Ed.1

