



**CONCEPTION D'UN AMENAGEMENT IRRIGUE DE 0,28 HA SOUS
PRESSION À L'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE POUR LA
VALORISATION EN AGRICULTURE DES EAUX USEES TRAITEES PAR
LA STEP DU CAMPUS DE 2iE OUGADOUGOU**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE

AVEC GRADE DE MASTER

**SPECIALITE GENIE DE L'EAU DE L'ASSAINISSEMENT ET DES
AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES (GEAAH)**

Présenté et soutenu publiquement le 17 Juillet 2023 par

Abdul Latif Boubacar DRABO 20180124

Directeur de mémoire : Dr Yacouba KONATE, Enseignant-Chercheur, Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA), Institut 2IE

Dr Amadou KEITA, Enseignant-Chercheur, Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA), Institut 2IE.

Encadrant 2iE : Dr Roland O. YONABA, Enseignant-Chercheur, Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA), Institut 2IE.

Dr Boukary SAWADOGO, Enseignant-Chercheur, Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA), Institut 2IE

Jury d'évaluation du mémoire

Président : Dr Seyram K. SOSSOU

Membres et correcteurs : Dr Moussa FAYE

M. Firmin ZAGARE

Promotion 2022 / 2023

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

- ❖ A mes parents Karimou **DRABO** et Fatoumata **DOSSO/DRABO** pour leur sacrifice consenti et leur soutien inconditionnel.
- ❖ A mes frères jumeaux Hassane Ibrahim **DRABO** et Housseny Ahmed **DRABO** pour leur soutien et encouragement.
- ❖ A ma seconde mère Akissi Madeleine **KOUASSI**.
- ❖ A mes oncles Yéda **DRABO** et Oumar **DRABO**

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, le tout miséricordieux de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour accomplir ce mémoire

En premier lieu, je remercie :

- L'institut 2iE pour l'opportunité d'avoir reçu une formation de qualité et de prestige ;
- Mes directeurs de mémoire, Dr. Amadou KEITA et Dr. Yacouba KONATE pour leur encadrement, et leur disponibilité tout au long de la rédaction de ce mémoire ;
- Mon encadrant Dr. Roland O. YONABA pour ses précieux conseils, ses orientations tout au long de la réalisation de ce mémoire ;
- Mon second encadrant Dr Boukary SAWADOGO, pour son appui et ses conseils ;
- M. Moustapha OUEDRAOGO et M. Noel TINDOURE pour leur appui et leur assistance ;
- Queen SEWE pour son aide précieuse pour les mesures d'infiltration ;
- L'ensemble du corps professoral du 2iE pour leur sens élevé de la responsabilité et de la rigueur

RESUME

La valorisation agricole des eaux usées traitées est désormais une partie essentielle de la politique du secteur des ressources en eau. C'est dans cette optique que l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau (2iE) et de l'Environnement dans le but de contribuer au développement économique, durable et social envisage la mise en œuvre d'un projet intitulé « Ferme Agricole Intégrée (FAI). » L'objectif général de cette étude est de faire la conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées de la STEP de 2iE. La méthodologie a consisté à faire des recherches documentaires, suivies de l'identification de la STEP de 2iE et du site à aménager, s'appuyer sur les informations disponibles sur la qualité des eaux usées traitées, effectuer ensuite les mesures d'infiltration ainsi que les études techniques de l'aménagement.

Le périmètre à aménager a été dimensionné principalement en fonction du choix du système d'irrigation et de la spéculation, le design préliminaire, le design final et le choix de la source d'énergie (micro-aspersion par pompage photovoltaïque).

Le périmètre sera approvisionné par les eaux usées traitées de la STEP avec un débit de système de **1,2 m³/h**. Une chambre de pompage contenant la pompe de surface NOLH sera mise en place à proximité du bassin de stockage des eaux usées traitées. Le temps d'arrosage maximal est 18 h / j avec un tour d'eau de 1 jour. Le système d'irrigation retenu est l'irrigation par micro-aspersion avec des asperseurs de type « rotateur » les têtes de ces asperseurs sont dirigés vers le haut. La pression nominale des asperseurs est de 1,5 bar. Les conduites choisies pour le fonctionnement de notre système sont de type **PVC** et **PEHD** avec une classe de pression de 4 bars (PN4). Le système d'irrigation sera alimenté en eaux usées traitées par une pompe de surface de marque NOLH actionnée par 4 panneaux solaires monocristallins de puissance **300Wc** chacun et 3 batteries **LiFePO4 13,2V/280Ah**. Le coût global de la réalisation du périmètre à aménager de 0,28 hectare a été estimé **7 944 300 FCFA**.

1- Batterie LiFePO4

2- Eaux Usées Traitées

3- Micro-aspersion

4- Pompage photovoltaïque

5- STEP

ABSTRACT

The agricultural valorization of treated wastewater is now an essential part of the water resources sector's policy. It is with this in mind that the International Institute of Water Engineering (2iE) and Environment with the aim of contributing to economic, sustainable and social development is considering the implementation of a project entitled "Integrated Agricultural Farm (IAF)." The general objective of this study is to design an irrigated development of 0.28 hectare under pressure and photovoltaic energy for the recovery in agriculture of treated wastewater from the 2iE STEP. The methodology consisted of documentary research, followed by the identification of the 2iE STEP and the site to be developed, based on available information on the quality of treated wastewater, then carried out infiltration measurements and technical studies of the development. The perimeter to be developed was dimensioned mainly according to the choice of irrigation system and speculation, the preliminary design, the final design and the choice of energy source (micro-sprinkler by photovoltaic pumping). The perimeter will be supplied with treated wastewater from the STEP with a system flow of 1.2 m³/h. A pumping chamber containing the NOLH surface pump will be installed near the treated wastewater storage basin. The maximum watering time is 18h/d with a 1-day round of water. The irrigation system chosen is irrigation by micro-sprinkler with sprinklers of the "rotator" type, the heads of these sprinklers are directed upwards. The nominal pressure of sprinklers is 1.5 bar. The pipes chosen for the operation of our system are PVC and HDPE with a pressure class of 4 bar (PN4). The irrigation system will be supplied with treated wastewater by a NOLH surface pump operated by 4 monocrystalline solar panels of 300Wp each and 3 LiFePO₄ 13.2V/280Ah batteries. The overall cost of the perimeter to be developed of 0.28 hectare was estimated at 7,944,300 FCFA.

1- LiFePO₄ batteries

2- Treated Wastewater

3- Micro-sprinkling

4- Photovoltaic pumping

5- STEP

LISTE DES ABREVIATIONS

ANAM : Agence Nationale de la Météorologie

APD : Avant-Projet Détaillée

2iE: Institut International d'Ingenieurie de l'Eau et de l'Environnement

EUT: Eaux Usées Traitées

FAI: Ferme Agricole Intégrée

FAO: Fund and Agriculture Organization

HMT: Hauteur Manométrique Totale

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

PEHD: PolyEthylène Haute Densité

PVC: Polychlorure de Vinyle

RFU: Reserve Facilement Utilisable

RGPH: Recensement General de la Population Humaine

STEP: Station d'Épuration

SWC: Soil Water Characteristics

SOMMAIRE

<i>Dedicace</i>	<i>i</i>
<i>Remerciements</i>	<i>ii</i>
<i>Résumé</i>	<i>iii</i>
<i>Abstract</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>v</i>
<i>Sommaire</i>	<i>vi</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>viii</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>x</i>
<i>Fiche technique de l'étude</i>	<i>xi</i>
<i>Introduction</i>	<i>1</i>
<i>I. présentation de la structure d'accueil et de la zone d'étude</i>	<i>3</i>
I.1. Présentation de la structure d'accueil	<i>3</i>
I.2. Présentation de la zone d'étude.....	<i>3</i>
<i>II. Présentation du projet</i>	<i>7</i>
II.1. Contexte et justification.....	<i>7</i>
II.2. Contenu de la présente étude	<i>8</i>
II.3. Objectif de l'étude	<i>9</i>
II.4. Note de synthèse sur l'utilisation des EUT en agriculture	<i>10</i>
<i>III. Méthodologie de l'étude</i>	<i>20</i>
III.1. Méthodologie des collectes de données	<i>20</i>
III.2. Méthodologie de conception de l'aménagement.....	<i>21</i>
III.3. Evaluation financière du projet	<i>41</i>
<i>IV. Résultats d'études techniques</i>	<i>43</i>
IV.1. Etude pédologique.....	<i>43</i>

IV.2. Estimation des débits eaux usées traitées pour le dimensionnement du système	44
IV.3. Origine de la source d'eau pour alimenter le système	45
IV.4. Choix du système d'irrigation.....	45
IV.5. Choix de la spéculation pour le dimensionnement du périmètre irrigué	46
IV.6. Dimensionnement du périmètre à irriguer	51
V. Evaluation financière du projet	60
VI. Enjeux, impacts environnementaux et sociaux du projet	62
Conclusion et recommandation	64
Bibliographie	66
Annexes.....	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins de traitement de la STEP	12
Tableau 2 : Types de réutilisation des eaux usées : exigences de mise en œuvre et de gestion	15
Tableau 3 : Normes et réutilisation de déversement des eaux usées dans le milieu naturel ...	18
Tableau 4 : Normes et réutilisation des eaux usées traitées (OMS).....	19
Tableau 5 : Moyennes mensuelles des paramètres climatiques à Ouagadougou.....	22
Tableau 6 : Matériels utilisés pour les études de terrain	23
Tableau 7 : Logiciels utilisés pour les études techniques	24
Tableau 8 : Coordonnées géographiques des points d'essais de mesures d'infiltration	27
Tableau 9 : Principales formules utilisées pour le dimensionnement préliminaire	33
Tableau 10 : Coefficients pour différents diamètres de conduite PVC.....	36
Tableau 11 : Hypothèses de dimensionnement des panneaux solaires et des batteries	39
Tableau 12 : Principales formules utilisées pour le dimensionnement de la source d'énergie.	40
Tableau 13 : Conductivité hydraulique à saturation et caractérisation du sol sur le site	43
Tableau 14 : Stade de développement de la première campagne de l'aubergine.....	48
Tableau 15 : Stade de développement de la seconde campagne de l'aubergine.....	48
Tableau 16 : Paramètres utilisés pour calculer les dimensions du périmètre.....	51
Tableau 17 : Découpage parcellaire du périmètre.....	52
Tableau 18 : Organisation de l'arrosage de périmètre.....	54
Tableau 19 : Caractéristiques des conduites du périmètre	55
Tableau 20 : Caractéristiques des asperseurs retenus	56
Tableau 21 : Calcul de la HMT	57
Tableau 22 : Caractéristiques de la pompe	57

Tableau 23 : Données de base pour le dimensionnement des batteries	58
Tableau 24 : Résultat du dimensionnement de la batterie.....	59
Tableau 25 : Données de base pour le dimensionnement du champ photovoltaïque.....	59
Tableau 26 : Résultats du dimensionnement du champ photovoltaïque.....	60
Tableau 27 : Devis estimatif de la réalisation de l'aménagement.....	61
Tableau 28 : Résultat prévisionnel	62
Tableau 29 : Impacts et mesures d'atténuation.....	62

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.....	4
Figure 2: Aperçu des types de sols	5
Figure 3: Localisation de la STEP et du périmètre à aménager	7
Figure 4: Synoptique d'une station d'épuration de lagunage à microphyte	11
Figure 5: Bassin facultatif de la filière I.....	13
Figure 6: Bassin anaérobie de la filière I.....	13
Figure 7: Bassin facultatif de la filière II	13
Figure 8: Bassin de maturation de la filière I	13
Figure 9: Bassin de maturation de la filière III	13
Figure 10: Bassin de maturation de la filière II.....	13
Figure 11: Pluie et ETo moyennes mensuelles à Ouagadougou sur la période 1990-2017	21
Figure 12: Pluviométrie moyenne annuelle de 1990 à 2017	22
Figure 13: Matériels nécessaires à l'essai d'infiltration	26
Figure 14: Répartition des points de mesure d'infiltration	28
Figure 15: Estimation des débits des EUT durant 7 jours	45
Figure 16: Variété d'aubergine retenue	47
Figure 17: Disposition parcellaire du périmètre.....	53
Figure 18: Micro asperseur retenu.....	56
Figure 19: Convertisseur solaire hybride MPPT de type Growatt	58

FICHE TECHNIQUE DE L'ETUDE

Localisation	
Lieu	Campus 2IE Ouagadougou
Coordonnées géographiques	Latitude: 12.378754° Longitude: -1.503699°
Provinces	Kadiogo
Région	Centre
Pays	Burkina Faso
Source d'approvisionnement en eau	
Source d'eau	STEP 2IE Ouagadougou
Nombre de bassin	Filière I: bassin anaérobie, le bassin facultatif et le bassin de maturation Filière II: bassin facultatif et le bassin de maturation Filière III: bassin de maturation
Volume journalier d'eau traitée	28,8 m ³ /j
Debit d'eau traitée	1,2 m ³ /h
Spéculation	
Spéculation retenue	Aubergine
Nombres de campagne dans l'année	2
Périodes	Fevrier-Mai et Septembre-December
Périmètre à aménager	
Superficie d'un périmètre	0,28 ha
Tour d'eau	1 jour
Nombre de poste par jour	4
Temps de poste	4,45 h
Débit asperseur	51 l/h
Débit en tête de l'installation (m ³ /h)	1,2
Débit d'équipement (l/s)	1,04
Nombre de parcelles	4
Caractéristiques des conduites	PVC et PEHD
Pression nominale	4 bars

Classe des diamètres	50 mm à 110 mm (PVC) et 20 mm à 50 mm (PEHD)
Linéique total	125 m (PVC) et 632 m (PEHD)
Energie	
Débit de pompage	1,2 m ³ /h
HMT	61 m
Puissance requise pour le pompage	0,6 kW
Pompe choisie	Pompe de surface NOLH
Durée de pompage journalière	18 h
Energie de pompage	4,06 kWh
Source d'énergie	Hybride (Solaire + Batterie)
Type de panneaux et puissance	Panneaux monocristallins 300Wc
Nombre de panneaux et disposition	4 panneaux monocristallins disposés en 2S2P
Type de batterie et caractéristiques	Batterie LiFePO4
Nombre de batteries et disposition	3 batteries disposées en 3S1P
Analyse financière	
Cout total (FCFA)	11 580 000
Cout d'équipement à l'hectare (FCFA)	28 372 500
Durée de retour sur investissement (ans)	3

INTRODUCTION

L'agriculture joue un rôle prépondérant dans l'économie du Burkina Faso avec un potentiel de 11,8 millions d'hectares de terres à vocation agricole. Le secteur primaire comprenant l'agriculture et l'élevage occupe une place essentielle en employant quasiment toute la population rurale et urbaine, soit environ 92% de la population. En 2012, ce secteur a contribué à hauteur de 30% du PIB. (MINISTERE DE L'AGRICULTURE,2013).

L'agriculture est confrontée à de nombreux défis, notamment la rareté croissante des ressources en eau et à la nécessité de trouver des solutions durables pour gérer les eaux usées.

L'agriculture englobant les secteurs agro-sylvo-pastoral, halieutique et faunique, représente la principale source de revenu dans les pays en développement, avec une importance particulière au Burkina Faso. En 2011, ce secteur a employé 92% de la population active comprenant à la fois 48% de femmes et 52% d'hommes. (FAO,2015). Au Burkina Faso, les contraintes climatiques, la croissance démographique, les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande en eau incessamment croissante. Par conséquent, le recours à l'irrigation est devenu une nécessité, étant donné l'importance du déficit hydrique, climatique et l'intensification de l'agriculture. Ainsi, pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau, dans les régions arides et semi-arides, le traitement des eaux usées pour leur réutilisation en irrigation s'avère une option prometteuse. Cette approche offre une source d'eau supplémentaire et d'engrais renouvelables et fiables, ce qui en fait une solution attrayante, (FAO irrigation avec les eaux usées, 2003). L'utilisation des eaux usées traitées provenant des stations d'épuration offre un double avantage ; d'une part, cela permet de réduire la pression exercée sur les ressources en eau douce limitées en utilisant une source alternative et d'autre part, cela permet de valoriser les eaux usées qui seraient autrement rejetées dans l'environnement sans utilisation appropriée.

Dans le cadre de la gestion des eaux usées épurées, un arsenal juridique national et international a été mis en place de sorte que les eaux usées traitées doivent satisfaire certaines normes de rejet par rapport aux respects des normes d'utilisation des eaux épurées et aux risques de contamination par ces eaux épurées. (BENAOUIRA,2017)

La réutilisation des eaux usées en irrigation ne constitue pas seulement un intérêt économique et écologique, mais aussi une préparation technique, pratique, et sociale.

C'est dans ce sens que s'inscrit notre travail qui vise à produire un dossier d'avant-projet détaillé (APD) pour la réalisation d'un aménagement de 0,28 ha, alimenté par des eaux usées traitées et acheminées via un système d'irrigation sous pression à l'énergie solaire photovoltaïque sur le campus de 2iE, à Ouagadougou, au Burkina Faso. A cet effet, les principaux objectifs sont la collecte d'informations sur la qualité des eaux usées traitées de la STEP, identifier la spéculation, faire la conception technique de l'aménagement de 0,28 ha et produire une analyse financière.

Pour la réalisation de notre étude, le présent mémoire a été élaboré suivant quatre (4) chapitres à savoir la présentation du projet, ensuite les matériels et la méthodologie utilisés et enfin les résultats obtenus des analyses de données et de dimensionnement.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

Cette partie du mémoire vise à exposer la structure d'accueil du projet au sein de l'Institut 2iE, mettant l'accent sur une description détaillée du projet. Elle sera présentée en plusieurs points, le premier abordant la présentation de la structure d'accueil, suivi du deuxième point qui décrira le projet ainsi que ses objectifs.

I.1. Présentation de la structure d'accueil

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) a été créé le 14 juin 2006 suite à une décision du Conseil des Ministres des 14 Etats membres (cf. décision N°03/CM/EIER-ETSHER/2006). Il remplace ainsi le Groupe EIER-ETSHER, lui-même né de la fusion entre l'Ecole Inter-Etats des Ingénieurs de l'Equipement Rural (EIER) et l'Ecole Inter-Etats des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural (ETSHER) 2iE est composé de départements à vocation d'enseignement.

Au sein de l'Institut, il existe trois (3) Laboratoires de recherche, dont le Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA), dans lequel nous avons effectué le présent stage.

I.2. Présentation de la zone d'étude

Notre site d'étude est localisé dans la province du Kadiogo, région du Centre au Burkina Faso. Elle porte sur la présentation de la situation administrative, physique et géographique (relief, climat, végétation, et sols) de la zone.

I.2.1. Situation géographique

La région du Centre, à l'instar des douze (12) autres régions administratives du Burkina Faso a été créée par la loi N° 013-2001/AN du 02 juillet 2001 portant création des régions administratives et correspondant aux limites administratives de la province du Kadiogo, dans sa définition par la loi n°10/96/ADP du 24 Avril 1996.

La zone d'étude est située dans la commune de Ouagadougou, province du Kadiogo, avec une superficie de 2 805 km² de superficie.

Ouagadougou est érigée en commune en janvier 1927 pour la première fois (Rapport PEFA, 2018).

Mais c'est la constitution du Burkina Faso de 1991 qui a consacré le droit des collectivités territoriales à s'administrer librement. La province de Kadiogo comprend sept départements ou commune dont 6 communes rurales que sont : Komki-Ipala, Komsilga, Koubri, Pabré, Tanghin-

Dassouri et une (1) commune urbaine Ouagadougou. La commune de Ouagadougou est limitée au Nord par les communes rurales de Pabré et de Loumbila. (RGPH 2006).

La commune de Ouagadougou est limitée au nord par les communes rurales de Pabré et de Loumbila, à l'est par celle de Saaba, au sud par celles de Koumbri et de Komsilga et enfin à l'ouest par la commune rurale de Tanghin-Dassouri et la commune de Sourgoubila. La ville de Ouagadougou a une population estimée à 3.032.668 habitants (RPGH, INSD 2019 Burkina Faso) avec une densité de 2 847,9 habitants/km². Elle est située au centre du pays entre les coordonnées géographiques 1°28 à 1°36 de longitude ouest et 12°20 à 12°26 de latitude nord (Kientéga et al, 2001).

La figure 1 présente la situation géographique de la zone d'étude.

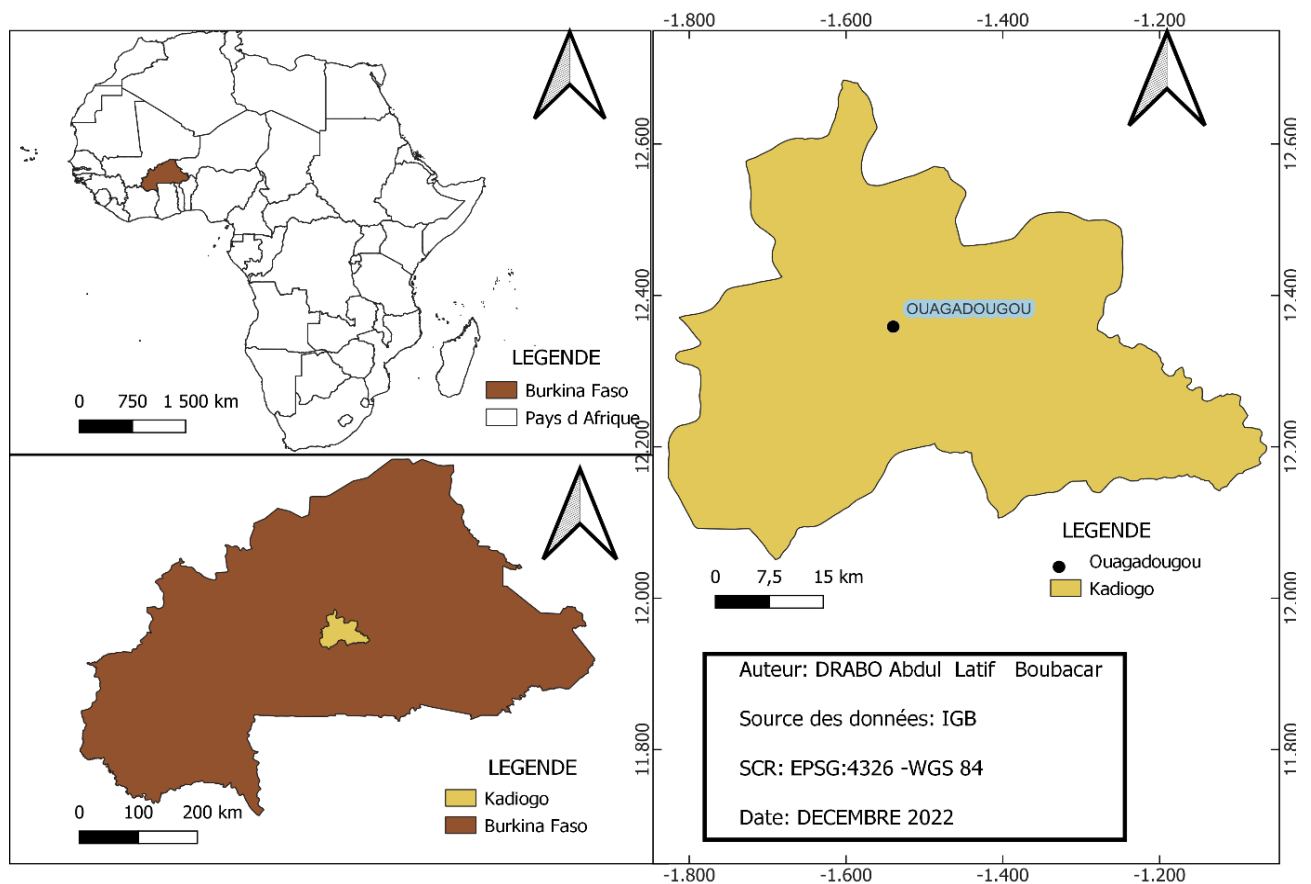


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

I.2.2. Description du site à aménager

Le site destiné à l'aménagement irrigué est situé à l'aval de la STEP des eaux usées au sein de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement de Ouagadougou.

Ce site se range dans le projet de mise en place d'une Ferme Agricole Intégrée (FAI-2iE) et a une superficie de 0,28 ha.

I.2.3. Présentation du cadre physique

I.2.3.a. Reliefs et sols

Le milieu physique est un facteur qui permet de comprendre ou d'expliquer l'implantation et/ou la concentration des hommes dans certaines zones. Notre zone d'étude se caractérise par un ensemble de terrains plats et par une absence de points élevés. Elle fait partie de la vaste pénéplaine de la région du Centre dont les altitudes varient entre 300 et 350 m. Les sols sur lesquels repose la commune de Ouagadougou sont peu profondes et pauvres en éléments nutritifs. Ils sont de types ferrugineux tropicaux lessivés, développés sur des matériaux sableux, sablo argileux ou argileux. Ces sols présentent une teinte rougeâtre en raison de leur forte concentration en oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse. De plus, ils se caractérisent par une faible teneur en potassium et en phosphore, et leur structure fragile les rend très sensibles à l'érosion. (RPGH 2006)

Au vue de l'aspect physique, le type de sols de notre zone d'étude s'apparente aux sols sableux, argileux et limoneux.



Figure 2 : Aperçu des types de sols

I.2.3.b. Climat

Le climat de la commune de Ouagadougou est de type tropical sec et de type soudanien. Il connaît deux saisons à savoir une saison des pluies et une saison sèche. La saison des pluies dure de juin à septembre et concentre près de 80% des pluies et plus de 65% des jours de pluie. La saison sèche où on enregistre moins de précipitations (octobre-mai) se caractérise par l'apparition de l'harmattan et par des températures extrêmes allant jusqu'à 40° C à l'ombre pendant le deuxième trimestre de l'année. Deux principaux types de vents soufflent sur la ville de Ouagadougou à savoir les vents secs de l'harmattan et les vents frais de la mousson. (RGPH 2006). Quant à la pluviométrie, l'analyse des données pluviométriques de la station de Ouagadougou entre 1989 et 2018 montre qu'elle a varié entre 594 mm (2000) et un maximum de 1003 mm (2012) avec une moyenne sur les 30 ans de 769 mm/an. La tendance générale est à l'amélioration de la pluviométrie. (RGPH,2006)

I.2.4. Description de l'état du site

La STEP est un système de lagunage à microphytes de type extensif qui se trouve au sein du campus de Ouagadougou. Son fonctionnement est donc régi par le climat soudano sahélien. (Sud Sciences N°14, Janvier 2006).

Le climat soudano-sahélien se caractérise par une longue période sèche marquée par un ensoleillement important d'une intensité de 19.5–22.7 MJ/m²/J et d'une durée d'environ 2500h/an. (Sud Sciences N°14, Janvier 2006).

La STEP a été construite en 1989 et comporte présentement 3 filières de traitement des eaux usées dont les 3 filières de lagunage à microphytes (I, II et III) : la filière I est constituée de 3 bassins tels que le bassin anaérobie, le bassin facultatif et le bassin de maturation ; la filière II est constituée de 2 bassins tels que le bassin facultatif et le bassin de maturation et la filière III est constituée d'un seul bassin qui est le bassin de maturation. Seules les filières I et II sont alimentées. La filière I est alimentée par les eaux usées produites sur le campus (en sont exclues les eaux usées issues des laboratoires).

Le débit journalier admis à l'entrée de la filière est en moyenne de 55 m³/j. (Sud Sciences N°14, Janvier 2006).



Figure 3 : Localisation de la STEP et du périmètre à aménager

1.2.4.a. Données démographiques

- **Caractéristiques démographiques**

Le volume de la population estudiantine du campus 2iE Ouagadougou s'élève en moyenne à 750 étudiants. Les périodes où il n'y a pratiquement pas d'étudiants sur le campus dans l'année sont de Juillet à Aout.

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1. Contexte et justification

Dans un contexte de changement climatique et de croissance démographique, la gestion de la ressource en eau devient un défi majeur, notamment en raison de ses multiples usages (domestiques, agricoles, industriels, etc.). Pour faire face à cette situation, il est essentiel d'explorer de nouvelles solutions adaptées aux conditions locales. La réutilisation des eaux usées traitées (EUT) se présente ainsi comme une réponse potentielle pour pallier la raréfaction

de la ressource en eau et répondre aux besoins diversifiés. La production agricole est par exemple l'une des voies de réutilisation des EUT.

Le secteur agricole est essentiel aux économies africaines, mais reste, de nos jours, tributaire de plusieurs problématiques, notamment la pauvreté et la fragilité des sols, le manque de ressource en eau pour l'irrigation et les aléas du changement et de la variabilité climatique. Cela est d'autant plus dommageable dans la mesure où ce secteur occupe une part très grande de la population active (à hauteur de 80% au Burkina Faso), et pourrait contribuer de façon significative à l'économie et à la production de richesse si cette agriculture devient irriguée, et soutenue par un écosystème d'activités de conservation, de transformation et de valorisation de ses produits. La question de l'irrigation fait appel à la disponibilité de la ressource en eau, qui dans le contexte des pays enclavés arides et semi-arides tel que le Burkina Faso, demeure épineuse. Aussi, la valorisation de sources non-conventionnelles telles que les EUT pour soutenir cette activité d'irrigation pourrait, dans le contexte des municipalités et communautés, fournir des solutions pertinentes pour la production.

Depuis ses débuts dans les années 1960, l'Institut 2iE a toujours été impliqué dans les problématiques liées à l'eau et à sa gestion. En 2020, l'institut a entrepris la mise en œuvre d'un projet ambitieux : la Ferme Agricole Intégrée (FAI-2iE) sur son campus. Cette initiative est le fruit du travail d'une équipe multidisciplinaire composée d'enseignants de l'Institut 2iE, associée à des experts et praticiens de diverses structures. Le projet de la FAI-2iE comporte divers volets, alliant la conception d'aménagements hydro-agricoles, la production végétale et animale, l'aménagement de parcs forestiers, de la transformation et de la conservation de produits végétaux et animaliers et la valorisation des déchets et des EUT. À ce titre, la Station d'Épuration (STEP) du Campus 2iE de Ouagadougou, mise en service depuis les années 2000, produit de façon continue des EUT, à fort potentiel pour la réutilisation en irrigation. Il est envisagé de mettre en place un espace cultivé d'environ 0,28 ha exploitant les EUT produites par la STEP-2iE pour l'arrosage sous pression, en exploitant au maximum les formes d'énergie renouvelables.

II.2. Contenu de la présente étude

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre du projet FAI (Ferme Agricole Intégrée) de l'Institut 2iE. Cette étude est réalisée dans le cadre des missions et attributions de l'institut, contribuant ainsi à l'avancement et à la concrétisation du projet FAI. Dans l'objectif de produire un dossier d'avant-projet détaillé (APD) pour la réalisation d'un aménagement de 0,28 ha, alimenté par des eaux usées traitées acheminées via un système d'irrigation sous pression à l'énergie solaire

photovoltaïque sur le campus de 2iE, à Ouagadougou, au Burkina Faso. De multiples activités sont menées pour atteindre les résultats attendus de l'étude, qui sont :

- **(R1) S'appuyer sur les informations disponibles sur la qualité des eaux usées traitées de la STEP afin de pouvoir effectuer la conception de l'aménagement, puis proposer des spéculations.**
- **(R2) Effectuer la conception technique de l'aménagement, intégrant le design, le choix des équipements, les plans techniques et l'évaluation des coûts, pour les deux variantes de conception.**
- **(R3) Proposer des équipements pour le suivi des performances des composantes sol, air, et production sur l'aménagement.**

II.3. Objectif de l'étude

II.3.1. Objectif global de l'étude

Cette étude a pour objectif de produire un dossier d'avant-projet détaillé (APD) pour la réalisation d'un aménagement de 0,28 ha, alimenté par des eaux usées traitées acheminées via un système d'irrigation sous pression à l'énergie solaire photovoltaïque sur le campus de 2iE, à Ouagadougou, au Burkina Faso.

II.3.2. Objectifs spécifiques de l'étude

Les objectifs spécifiques consistent à :

- S'appuyer sur les informations disponibles sur la qualité des eaux usées traitées émanant de la STEP 2iE Ouagadougou.
- Effectuer la conception technique de l'aménagement, intégrant le design, le choix des équipements, les plans techniques et l'évaluation des coûts, pour les deux variantes de conception.
- Proposer des équipements pour le suivi de performances des composantes sol, air, et production sur l'aménagement.

II.4. Note de synthèse sur l'utilisation des EUT en agriculture

II.4.1. Eaux usées : définition et sources de production

Toute eau qui a perdu son usage initial est appelée **eau usée**. Selon l'usage, ces eaux sont rejetées dans le milieu naturel directement, ou par l'intermédiaire des systèmes de collecte avec ou sans traitement (*Ali*, 2013). Les eaux usées peuvent être regroupées en trois grandes catégories : les eaux usées domestiques (les eaux ménagères et les eaux vannes), les eaux usées industrielles ou eaux résiduaires industrielles (ERI), et les eaux pluviales.

Les eaux usées domestiques sont issues des multiples utilisations d'eau par l'homme. A l'état frais, les eaux usées domestiques sont un liquide trouble, gris ou jaunâtre, d'odeur fade, chargées de flocons de boues, d'excréments, de résidus de végétaux ainsi que de lambeaux de papier et de matières synthétiques (*Konaté*, 2012). Les matières polluantes se fragmentent et deviennent d'autant plus fines que le trajet d'écoulement est long et turbulent. Elles proviennent d'usages domestiques dans les salles de bain et les cuisines, et sont généralement porteuses des pollutions organiques, de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques constitués de matières organiques azotées et de germes fécaux (*Belokda*, 2009).

Elles sont composées de deux groupes selon leurs origines et leurs caractéristiques :

- les eaux vannes ou noires : elles proviennent des eaux des douches et des toilettes (urines et matières fécales). Elles ont de fortes teneurs en azote organique et ammoniacal, et riches en germes pouvant être pathogènes.
- les eaux ménagères ou grises : elles proviennent de la cuisine, de la vaisselle, de la lessive. On retrouve dans ces eaux des détergents, des graisses, des débris organiques, etc. (*Konaté*, 2012).

II.4.2. Traitement des eaux usées

En Afrique subsaharienne, les traitements sont généralement limités au stade secondaire et l'un des procédés les plus utilisés est le lagunage naturel (étangs de stabilisation) qui consiste à faire circuler l'eau usée en écoulement laminaire à travers trois bassins (anaérobie, facultatif et de maturation) disposés en série, effectuant le traitement grâce à un long temps de séjour et par photosynthèse (FAO, 2003 ; Safta et al., 2014 ; KONATE et al 2006).

Cette méthode est préconisée dans les pays où le rayonnement solaire est important et de grands espaces encore disponibles (Sou, 2009 ; UE, 2000).

- **Bassin anaérobie** : C'est le premier récepteur du système, car il reçoit les eaux usées brutes. C'est un bassin dépourvu d'oxygène et d'algues, dans lequel les bactéries anaérobies dégradent et décomposent la matière organique. Il a une profondeur de l'ordre de 2 à 5 m et un temps de rétention de 1 à 5 jours (Effebi, 2009).
- **Bassin facultatif** : Il contribue à l'élimination de la pollution organique, de l'azote et du phosphore. C'est un bassin dont les couches supérieures contiennent de l'oxygène dissout et les couches inférieures sont dépourvues d'oxygène, avec la présence d'une couche intermédiaire. Dans les couches supérieures algues et bactéries (facultatifs et aérobies) coexistent, donnant ainsi une coloration verdâtre. Avec une profondeur de l'ordre de 1 m à 2 m, un temps de rétention de 7 à 50 jours. (Effebi, 2009 ; Tinto, 2016).
- **Bassin de maturation** : C'est un bassin aérobie secondaire ou tertiaire, dont la fonction essentielle est l'élimination des agents pathogènes, des nutriments et la réduction de la concentration des matières organiques biodégradables. Il a un temps de rétention de 3 à 10 jours (avec un minimum de 5 jours quand on a une seule lagune de maturation) et une profondeur de 1 m à 1,5 m. (Effebi, 2009).

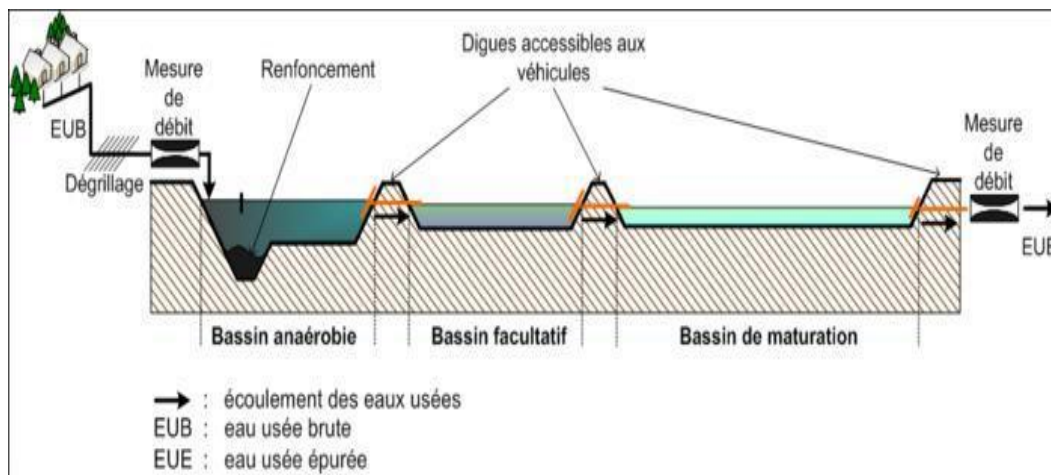


Figure 4 : Synoptique d'une station d'épuration de lagunage à microphyte (Agne, 2021)

❖ Traitement des eaux usées de la STEP

Les eaux usées traitées (EUT) sont de type domestiques. Ces eaux proviennent exclusivement des bâtiments administratifs, des logements des étudiants et de l'entreprise agro-alimentaire INNOFASO et sont réparties dans une bache de pompage après avoir subi un dégrillage. L'écartement des barres du dégrilleur est de 2,5 cm. Cette bache de forme rectangulaire est le premier ouvrage tampon et est équipé de deux pompes centrifuges identiques immergées qui sont montées en parallèle. Le fonctionnement de ces pompes est asservi au niveau de l'eau dans

la bache grâce à un système de flotteur. Un tableau de commande attendant permet aussi leur mise en marche et la détermination de leur temps de fonctionnement par le biais de compteurs horaires.

De la bache, ces eaux usées sont refoulées et sont réparties vers les bassins de lagunage à microphytes. Après traitement, ces eaux usées traitées sont stockées dans une bache de stockage de transit pour être ensuite rejetées vers le grand canal d'évacuation des eaux pluviales de ZOGONA.

Cependant, ces eaux usées traitées peuvent présenter certains dangers potentiels notamment en termes de santé publique et d'environnement. Les dangers potentiels associés aux eaux usées traitées peuvent être les contaminations microbiologiques, la présence de produits chimiques et la pollution environnementale.

Les performances épuratoires de la STEP ont été évaluées à travers les résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques. En effet, les résultats d'analyse physico-chimiques présentent des rendements satisfaisant pour l'élimination des matières en suspension MES (81%), l'ammonium (69,22%). Par contre, les rendements sont moyens pour l'élimination du nitrate (59,28%), de la demande chimique en oxygène (55,09%), l'ortho-phosphate (50,70%) et le phosphore total (47,97%). On observe un faible rendement de la demande biochimique en oxygène en 5 jours (25%) et du sulfate (16,44%) (BOKO,2022).

La charge résiduelle moyenne en coliformes fécaux ($1,97.10^5$ UFC/1000 ml) dans l'effluent traité est relativement élevée par rapport à la norme de l'OMS (2000 UFC/1000 ml) pour une irrigation non restrictive.

Le rendement épuratoire enregistré est de 100% pour l'élimination des parasites (œufs d'helminthes) (SY HAMADY,2022).

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins de traitement de la STEP

	Profondeur (m)	Surface (m²)	Volume(m³)	Temps de séjour (j)
Bassin anaérobie	2,6	69,7	181,2	3
Bassin facultatif	1,4	415,3	581,4	9,5
Bassin de maturation	0,9	336,9	303,2	5,5

Source : (Tinto,2006)



Figure 5 : Bassin facultatif de la filière I



Figure 6 : Bassin anaérobie de la filière I



Figure 7 : Bassin facultatif de la filière II



Figure 8 : Bassin de maturation de la filière I



Figure 9 : Bassin de maturation de la filière III



Figure 10 : Bassin de maturation de la filière II

II.4.3. Réutilisation des eaux usées

La réutilisation de l'eau est une démarche planifiée et volontaire visant à produire des quantités supplémentaires d'eau pour différents usages afin de pallier les déficits hydriques. Cette pratique se décline en deux types distincts :

- **La réutilisation directe** d'eau, principalement pratiquée dans le secteur industriel, implique des efforts considérables pour réduire les prélèvements et les rejets d'eau. Lorsque le deuxième usage de l'eau est identique au premier, on parle plutôt de recyclage que de réutilisation (tecsult, 2008).
- **La réutilisation indirecte** de l'eau se produit lorsque la plupart des systèmes d'assainissement déversent leurs effluents dans les eaux de surface, qui sont ensuite prélevées en aval pour d'autres usages tels que l'industrie, l'irrigation ou l'eau potable. Un exemple illustrant ce processus est celui de la ville de Paris, où l'on estime qu'en période d'étiage, environ la moitié de l'eau de la Seine provient des dispositifs d'assainissement (tecsult, 2008). Cette forme de réutilisation implique que l'eau, au cours de son cycle hydrologique, a en quelque sorte "perdu son identité", ce qui la rend apte à être utilisée à des fins diverses à travers le milieu naturel. C'est donc une réutilisation indirecte.

En effet, l'irrigation représente le principal débouché potentiel pour la réutilisation directe des effluents urbains. Trois raisons principales justifient cette pratique :

❖ Ressource naturelle peu disponible

La réutilisation des eaux usées devient particulièrement pertinente dans les régions où la ressource en eau naturelle est rare, notamment dans les climats arides et les milieux insulaires.

❖ Difficulté de rejet direct

Dans les cas où les cours d'eau ont un débit d'étiage très faible, le rejet direct des effluents entraîne une pollution significative, même en cas de traitement avancé. Dans des contextes tels que les milieux karstiques (présence de cavités souterraines) ou les zones côtières touristiques ou conchylicoles, la réutilisation agricole des eaux usées peut être envisagée. Le sol et les plantes agissent alors comme un procédé d'épuration complémentaire extensif. Un avantage supplémentaire est que la période d'étiage, qui correspond à une faible disponibilité en eau, coïncide souvent avec les besoins en eau maximum des plantes.

❖ Valorisation des nutriments

Les eaux usées domestiques contiennent des éléments fertilisants tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, etc. qui sont couramment utilisés en agriculture. Bien que cette présence de nutriments puisse être considérée comme une opportunité de valorisation, elle n'est pas un facteur décisif dans l'adoption de projets de réutilisation. En effet, par rapport aux besoins des plantes, les nutriments peuvent être soit en excès (azote et phosphore), soit insuffisants (potassium).

Tableau 2 : Types de réutilisation des eaux usées : exigences de mise en œuvre et de gestion (FAO,2003)

	Application	Exigence	Facteurs déterminants
Potable	<ul style="list-style-type: none"> - Production indirecte d'eau potable. - Production directe d'eau potable 	<ul style="list-style-type: none"> - Etude des risques sanitaires - Qualité de l'eau - Traitement avancé - Dilution avec de l'eau naturelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque d'eau et sécheresse - Autonomie en eau - Réapprovisionnement des nappes - Augmentation de la population - Contrainte de réglementation - Pénurie d'eau - Pas d'alternative
Non potable	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigation en agriculture - Culture maraichères - Arbres fruitiers - Cultures industrielles - Aquaculture - Activités récréatives - augmentation des cours d'eau pour la pêche, - Natation. - Utilisation industrielle - Eau de refroidissement - Eau de process - Utilisation urbaine 	<ul style="list-style-type: none"> - Impact sur le sol - Qualité de l'eau (pathogènes, salinité) - Traitement secondaire et désinfection - Qualité de l'eau (pathogènes) - Qualité de l'eau (pathogènes salinité) - traitement avancé - Qualité de l'eau (pathogène) - Système de distribution double 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque d'eau et sécheresse - Alternative au rejet des effluents - Réduction de coût - Valeur fertilisante - Manque d'eau et sécheresse - Amélioration de l'environnement - Prix de l'eau - Autonomie d'eau - Manque d'eau et sécheresse - Politique de réutilisation des pouvoirs publics - Normes de rejet contraignantes - Amélioration de l'environnement

	- Irrigation des parcs Golfs, cimetières, résidences - Protection incendie	-Augmentation de la population -Traitement tertiaire et désinfection	
--	----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------	--

II.4.4. Etat des lieux et législation sur la réutilisation des EUT au Burkina Faso

La principale utilisation faite des eaux usées traitées au Burkina Faso et spécialement à Ouagadougou demeure l'agriculture urbaine. Selon le document d'orientation politique sur l'agriculture urbaine à Ouagadougou, du RUAF (Resource Centre on Urban Agriculture & Forestry (RUAF)) en 2016, l'activité maraîchère est généralement développée autour des ressources naturelles en eau (marigots temporaires ou permanents), des sources d'eau aménagées (barrages, canalisations, rigoles) et des sources d'eaux usées domestiques ou industrielles. Le rapport final du programme « Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain », révèle d'ailleurs que les volumes d'eaux usées brutes et traitées utilisés sur les principaux sites maraichers de la ville de Ouagadougou (Boulmiougou et Tanghin) sont estimés à 30 m³/j (Maïga et al., 2002).

Le cadre institutionnel définit les responsables et les institutions chargés de la gestion des déchets. Quant au cadre réglementaire, il définit les lois et normes qui régissent les rejets de déchets dans la nature.

A l'échelle internationale, le Burkina Faso a signé de nombreuses conventions de coopération dans le domaine de l'eau et de l'assainissement dont certaines ont été ratifiées. Parmi ces conventions nous avons :

- ❖ La convention de financement entre l'Union Européenne et le Burkina Faso pour la sécurité alimentaire, l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, signé le 15 février 2013 à Ouagadougou (la ratification de cette convention permet le financement par l'Union Européenne de projets dans le domaine notamment de l'eau potable et de l'assainissement) ;
- ❖ L'accord-cadre de coopération entre le service public de l'assainissement français ; SIAAP, l'ONEA et l'AFD signé en septembre 2011 (cet accord permet des échanges de compétence et le financement de projets dans le domaine de l'assainissement. L'AFD a financé le projet d'assainissement collectif de Ouagadougou à hauteur de 4,6 milliards de francs CFA) ;

- ❖ Le traité d'Abuja du 3 juin 1991 instituant la communauté économique africaine : ratifié par le Burkina Faso par décret n° 92-99 du 8 mai 1992. Il recommande aux états en ses articles 58 et 59 d'assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement ;
- ❖ La Convention des Nations Unies (Rio de Janeiro) sur la diversité biologique du 5 juin 1992 : elle stipule que les états devront faire en sorte que les activités menées sous leur contrôle ne créent pas de nuisance à l'environnement dans d'autres Etats ;
- ❖ La convention africaine pour la conservation de la nature et des ressources naturelles signée le 15 septembre 1968, elle a été ratifiée par le Burkina Faso par décret n° 68-277 du 23 novembre 1968.
- ❖ La convention de BÂLE du 22 mars 1989 sur le contrôle des mouvements transfrontaliers des déchets dangereux et leur élimination ratifiée par le Burkina Faso le 15 septembre 1968, elle a été ratifiée par le Burkina Faso par décret n° 68-277 du 23 novembre 1968.

A l'échelle nationale, en application des dispositions constitutionnelles et des différentes conventions ratifiées par le Burkina Faso des lois et décrets ont été adoptés :

- ❖ Loi n° 23/94/ADP du 19 mai 1994 portant Code de santé publique
- ❖ Loi n° 014/96/ADP du 23 mai 1996 portant réorganisation agraire et foncière au Burkina Faso ;
- ❖ Loi n° 005/97/ADP du 30 janvier 1997 portant Code de l'environnement au Burkina Faso : cette loi établit les principes fondamentaux de préservation de l'environnement et d'amélioration du cadre de vie au Burkina Faso. Editée à son article 2, elle remplace la loi n° 002/94/ADP du 19/01/94. Parmi ses principes figure l'assainissement et l'amélioration du cadre de vie des populations urbaines et rurales. C'est la loi majeure et la loi de référence pour l'assainissement au Burkina Faso.
- ❖ Loi N°010/98/AN du 21 avril 1998 portant modalités d'intervention de l'État et répartition de compétences entre l'État et les autres acteurs du développement ;
- ❖ Le décret n° 98-323 du 28 juillet 1998 portant réglementation de la collecte, du stockage, du transport et de l'élimination des déchets urbains en application de l'article 34 du code de l'environnement ;
- ❖ Loi n° 002-2001/AN du 08 février 2001 relative à la gestion de l'eau au Burkina Faso ;
- ❖ Le décret n° 2001-185/PRES/PM/MEE du 07 mai 2001 portant fixation des normes de rejets de polluants dans l'air, l'eau et le sol. Il fixe à ses articles 6, 10,11 respectivement, les normes de rejets de polluants des émissions dues aux installations fixes, les normes

de déversement des eaux usées dans les eaux de surface, les normes de déversement des eaux usées dans les égouts.

- ❖ Loi n° 055-2004 du 21 décembre 2004 portant Code général des collectivités territoriales au Burkina Faso ;
- ❖ Loi n°022-2005/AN du 24 mai 2005 portant Code de l'hygiène publique ;
- ❖ Loi n° 017-2006/AN du 18 mai 2006 portant code de l'urbanisme et de la construction au Burkina Faso.

En ce qui concerne les valeurs limites de rejet des eaux usées et excréta pour la réutilisation en agriculture, le Burkina Faso utilise toujours les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Le tableau 3 présente les normes et conditions de déversement des eaux usées dans le milieu naturel du Burkina Faso.

Tableau 3 : Normes et réutilisation de déversement des eaux usées dans le milieu naturel

PARAMETRES	NORMES
pH	6,4 -10,5
Conductivité électrique CE ($\mu\text{s/cm}$)	2000
Température ($^{\circ}\text{C}$)	40
Na⁺	300
Ca²⁺	500
Mg²⁺	200
DBO₅	40
DCO	150
MES	150
NTK	35
NH₄	1
NO₃⁻	50
NO₂⁻	1
PO₄³⁻	5
Coliformes Fécaux (UFC/100 ml)	2000
Streptocoques Fécaux	2000
Salmonelle	0

Source : décret N°20151205/PRES-TRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MICA/MME/MIDT/MAD du 28 octobre 2015 portant normes et conditions de déversements des eaux usées. JO N°01 DU 07 JANVIER 2015.

II.4.5. Risques liés à la réalisation des EUT en agriculture

- ❖ Le risque sanitaire est lié à la présence de germes dans les eaux usées traitées, tant pour les travailleurs que pour les consommateurs.
- ❖ La présence d'une salinité élevée dans l'eau usée peut avoir des effets négatifs sur le sol et les plantes, entraînant ainsi une baisse de la production agricole et une dégradation des sols due à l'accumulation de sel.
- ❖ L'apport significatif d'azote et de phosphore peut être préjudiciable à la production agricole et contribue à la pollution des nappes phréatiques.
- ❖ Les sites d'utilisation des eaux usées doivent être situés à proximité des stations d'épuration, généralement dans les zones périurbaines densément peuplées.
- ❖ Les réticences des usagers à utiliser l'eau usée en irrigation peuvent être liées à des raisons culturelles ou au fait que les cultures proposées ont une faible rentabilité économique.
- ❖ Les rejets urbains d'eaux usées ont des débits continus et presque constants tout au long de l'année, tandis que l'utilisation agricole est souvent saisonnière, entraînant des demandes d'eau variables selon les saisons et les périodes de production. (Kessi et Ihadadene, 2012).

II.4.6. Recommandation de l'OMS pour la réutilisation des EUT

En se référant aux normes directives de l'OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, dont sont extraites les valeurs présentées dans le tableau 4, il est recommandé des valeurs respectives d'un oeuf d'helminthe par litre et 10^3 UFC par 100 ml pour *E. coli*. Ces valeurs sont recommandées dans le cadre d'une réutilisation agricole sans restriction.

Tableau 4 : Normes et réutilisation des eaux usées traitées (OMS)

Eaux ménagères destinées à :	Œufs d'Helminthes (nombre par litre)	E. Coli (nombre pour 100 ml)
L'irrigation restreinte	< 1 litre	< 10^5

		<10 ⁶ admis en cas d'exposition limitée ou de recroissance probable
L'irrigation sans restriction de produits consommés crus	< 1 litre	<10 ⁴ admis dans les cas de plantes à feuilles hautes ou d'irrigation goutte à goutte

Source : (OMS, 2012)

Au Burkina Faso, la protection environnementale en général, le domaine de l'eau et de l'assainissement en particulier, bénéficie d'un cadre législatif et réglementaire favorable, régulé par l'existence de nombreux textes juridiques et institutionnels. Dans la constitution du Burkina Faso, la loi fondamentale, dès son préambule stipule que le peuple souverain est conscient de la nécessité absolue de protéger l'environnement. Son article 29 stipule que le droit à un environnement sain est reconnu ; la protection, la défense et la promotion de l'environnement est un devoir pour tous.

III. METHODOLOGIE DE L'ETUDE

III.1. Méthodologie des collectes de données

La démarche méthodologique adoptée pour mener cette étude est basée sur les axes suivants :

- **Une phase de revue documentaire** orientée vers des mémoires de master, des documentations sur l'aménagement irrigué et des données climatiques provenant de la station pluviométrique (Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Burkina Faso)
- **La phase de visite de terrain** pour une appréciation environnementale du site à aménager (aspect physique du site,), procéder à des séries d'identification et à la délimitation du site sous la supervision des responsables du projet FAI-2iE, rassembler les données et à mieux orienter nos choix techniques en vue de la conception.
- **La phase de dimensionnement**, qui comporte à la fois le dimensionnement préliminaire et le dimensionnement finale. Elle implique une analyse approfondie des différentes options techniques disponibles afin de choisir le dimensionnement optimal qui répondra à nos besoins.
- **La phase de rédaction du mémoire technique**, où nous synthétiserons la méthodologie utilisée et les résultats obtenus à l'issue de cette étude.

III.2. Méthodologie de conception de l'aménagement

III.2.1. Détermination des paramètres de base

III.2.1.a. Données climatiques

Les paramètres climatiques retenus pour la faisabilité de notre étude sont l'ETo, la pluviométrie, l'irradiation solaire (ensoleillement) et bien d'autres paramètres climatiques. Ces paramètres interviennent dans l'analyse de l'adaptabilité de la culture et du climat mais aussi dans l'évaluation des besoins en eau de la culture et le dimensionnement photovoltaïque. Les données climatiques présentées dans la figure 5 sont une série de pluies moyennes mensuelles et de rayonnement solaire obtenue auprès de Ouaga Aéroport pour une période allant de 1990 à 2017.

- **Pluviométrie et évapotranspiration**

La figure 5 nous montre les données mensuelles de pluie et d'évapotranspiration de notre zone d'étude.

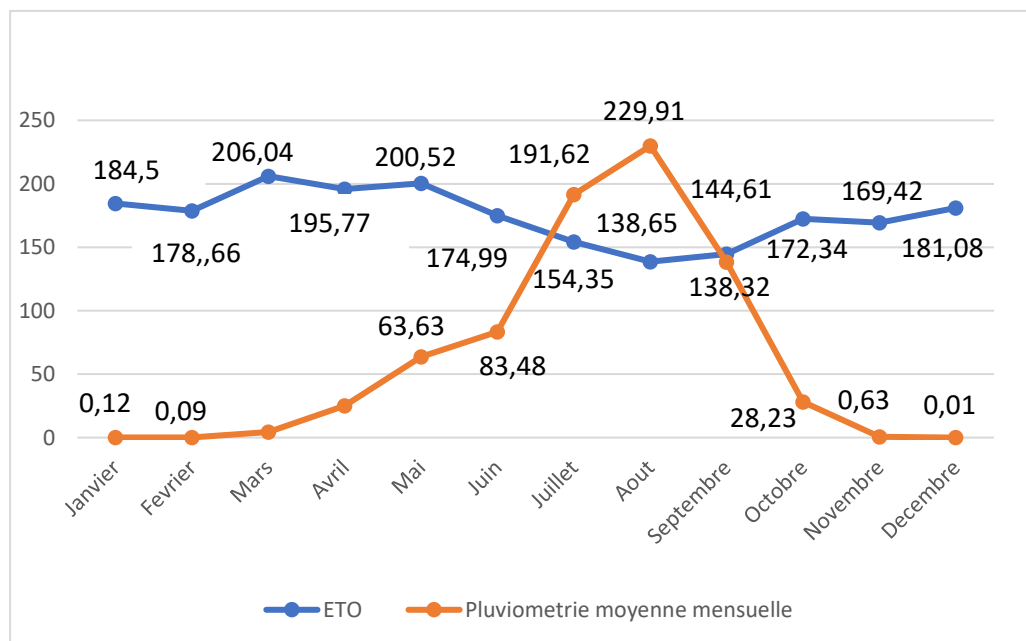
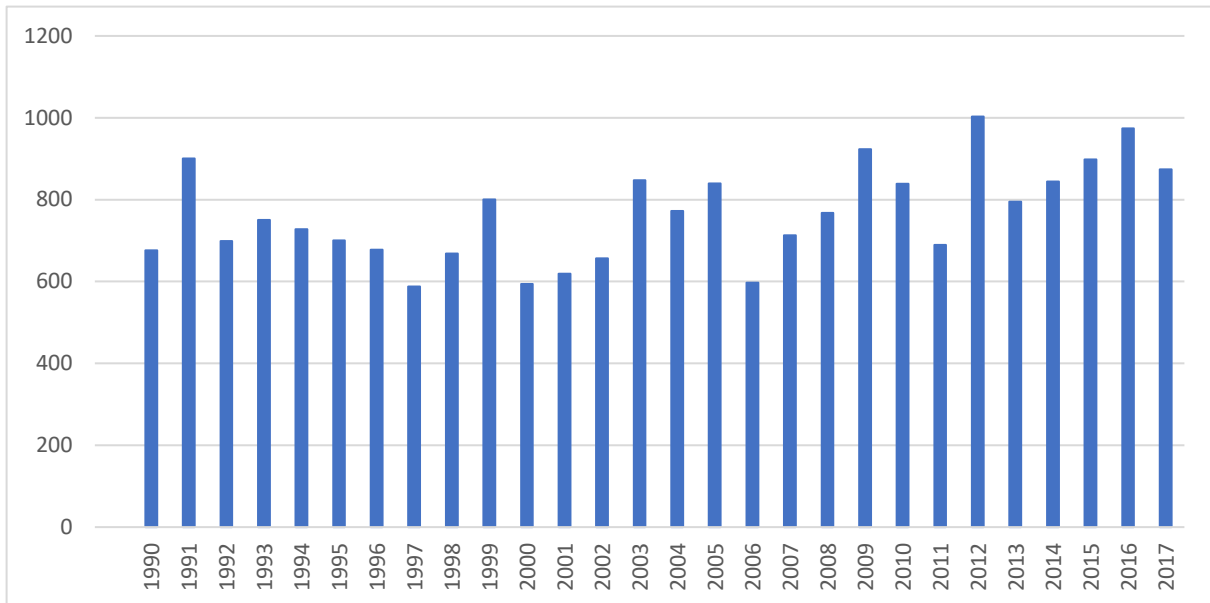


Figure 5 : Pluie et ETo moyennes mensuelles à Ouagadougou sur la période 1990-2017



Source : ANAM-BF

Figure 6 : Pluviométrie moyenne annuelle de 1990 à 2017

Les pluviométries moyennes annuelles enregistrées donnent des variations allant de 587,5 mm à 1003 mm. La plus importante précipitation moyenne enregistrée est de **1003** mm en 2012 contre une plus faible précipitation enregistrée qui est de **587,8** mm en 1997.

Nous pouvons observer que les précipitations annuelles les plus importantes en saison hivernale sont situées entre le mois de Juillet et Septembre.

L'évapotranspiration varie en saison hivernale (mois pluvieux) entre 4 mm et 5 mm/jour tandis qu'en contre saison (mois de chaleur), elle est entre 5 mm et 7 mm/jour.

III.2.1.b. Autres paramètres climatiques

Les données du tableau 5 obtenues grâce aux logiciels Climwat et Cropwat nous montre les paramètres climatiques tel que la température minimale et maximale, l'humidité de l'air, la vitesse du vent, le temps d'insolation et le rayonnement solaire dans la zone de Ouagadougou.

Tableau 5 : Moyennes mensuelles des paramètres climatiques à Ouagadougou.

Mois	Température minimale (°C)	Température maximale (°C)	Humidité (%)	Vent (km /jour)	Durée d'ensoleillement (heures)	Rayonnement (MJ/m ² /jour)
Janvier	16.1	33.3	32	199	8.2	18.9
Février	19.1	36.2	32	199	8.1	20.2
Mars	23.1	38.3	33	207	8.0	21.3
Avril	25.9	38.9	41	233	7.1	20.5

Mai	25.6	37.2	58	268	7.8	21.3
Juin	23.7	34.2	70	251	7.6	20.6
Juillet	22.4	31.8	87	225	6.8	19.6
Août	21.9	30.8	85	190	6.1	18.8
Septembre	21.9	32.0	79	164	6.5	19.1
Octobre	22.6	35.3	63	164	8.2	20.5
Novembre	19.3	35.8	47	156	8.6	19.6
Décembre	16.8	33.6	41	173	8.2	18.3
Moyenne mensuelle	21,5	34,8	56	202	7,6	19,9

Source : (KONDOMBO,2022)

Nous constatons en moyenne mensuelle, une température minimale de 21,5 °C et maximale de 34,8 °C ; un pourcentage d'humidité de l'air de 56% ; une vitesse de vent de 202 km/jour ; un temps d'insolation et de rayonnement solaire respectivement de 7,6 heures et de 19,9 MJ/m²/jour.

III.2.2. Matériels utilisés

Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé un ensemble de matériel et de logiciels spécifiques énumérés dans les tableaux 6 et 7. Le tableau 6 présente le matériel utilisé pendant les études de terrain et le tableau 7 présente les logiciels utilisés pour réaliser les études techniques.

Tableau 6 : Matériels utilisés pour les études de terrain

Type d'essai	Outil	Description
Localisation de points/polygones	GPS Field Area Measure	Application mobile, qui permet de délimiter une superficie, marquer un point d'intérêt, mesurer une distance et les géoréférencer. Elle a été utilisée sur terrain pour délimiter la superficie du périmètre irrigué
Test d'infiltration	Double anneau de Muntz, seaux, niveaux à bulles, bol, chevrons, marteaux.	Ces équipements ont été utilisés pour effectuer les mesures de conductivité hydraulique à saturation sur l'ensemble du périmètre.

Tableau 7 : Logiciels utilisés pour les études techniques

Désignations	Description
Google earth	Un logiciel de géolocalisation et de cartographie a été utilisé pour représenter et localiser des points, des surfaces et des distances sur des cartes. Ce logiciel a été employé pour positionner spatialement les sites et ouvrages sur les cartes.
QGIS	Le logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) a été utilisé pour collecter, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter toutes sortes de données spatiales et géographiques. Il a été employé spécifiquement pour créer des cartes situant la zone d'étude.
AutoCAD	AutoCAD est un logiciel de dessin technique pluridisciplinaire en 2D et 3D. il nous a permis de dessiner le plan des réseaux.
CLIMWAT et CROPWAT	Les logiciels de la FAO ont été utilisés pour évaluer les besoins en eau des plantes.
MINITAB	Ce logiciel permet d'obtenir la valeur de la conductivité hydraulique à saturation (Ksat) après traitement des valeurs obtenues suite aux mesures d'infiltrations.
SWC (Soil, Water Characteristic)	Grace à ce logiciel, nous avons pu effectuer la caractérisation des sols des différents sites.
Microsoft Office (Excel, Word, Power Point)	Le progiciel et ses outils nous ont été utiles pour réaliser les calculs de dimensionnement et pour élaborer le rapport de mémoire.
Zotero	Le logiciel permet d'insérer des citations et de générer automatiquement une bibliographie dans Word.

III.2.3. Etude pédologique

L'étude pédologique nous a permis de déterminer le potentiel des sols présents sur le site en tant que support viable pour les cultures, ainsi que de déterminer leur texture et leurs propriétés hydrodynamiques. Pour évaluer ces propriétés hydrodynamiques, textures et l'adaptation du sol aux différentes cultures, nous avons utilisé la méthode des essais d'infiltration par les doubles anneaux afin d'obtenir la conductivité hydraulique.

III.2.3.a. Mesure d'infiltration

La méthode employée est celle des mesures d'infiltration à l'aide du dispositif du double anneau. Cette approche permet de caractériser la capacité d'infiltration verticale unidimensionnelle d'un sol. Nous nous intéressons spécifiquement à la conductivité hydraulique du sol saturé (K_{sat}), qui nous permet de déterminer le type de sol ainsi que ses propriétés telles que l'humidité à la capacité au champ et la capacité au point de flétrissement. Ces dernières informations nous permettront d'évaluer la réserve utile du sol ainsi que ses capacités de rétention d'eau aux différents stades d'humidité.

Pour réaliser cette mesure, nous disposons deux anneaux de manière concentrique sur le sol, que nous enfonçons de 5 cm en utilisant un chevron et un marteau. L'enfoncement est effectué de manière lente et régulière afin de minimiser toute perturbation du sol à proximité des anneaux. Il est essentiel que les deux anneaux soient au même niveau et que leur horizontalité soit vérifiée à l'aide d'un niveau à bulle.



Figure 7 : Matériels nécessaires à l'essai d'infiltration

- **Principe de la méthode**

Le procédé consiste à surveiller l'évolution du niveau d'eau dans l'anneau interne en fonction du temps permettant ainsi de déterminer la vitesse d'infiltration à chaque intervalle de temps. Tout au long de la mesure, il est essentiel de s'assurer que les niveaux d'eau dans les anneaux ne s'épuisent pas. Au bout d'un certain temps, un régime permanent s'installe et la vitesse d'infiltration devient constante

- **Localisation des points de mesure**

Au total, douze points (12) de mesures ont été établis sur le site répartis sur l'espace pour obtenir une représentation globale des caractéristiques pédologiques du sol. La sélection des emplacements des points de mesure s'est effectuée in-situ, en évaluant visuellement et au toucher les différentes textures des sols présents. Les coordonnées de ces points de mesures sont répertoriées dans le tableau 8 et la répartition des points de mesure d'infiltration est présentée dans la figure 8.

Tableau 8 : Coordonnées géographiques des points d'essais de mesures d'infiltration

Points	Latitude(°)	Longitude(°)
1	12,379421	-1,501816
2	12,379579	-1,501764
3	12,379522	-1,501932
4	12,379435	-1,501919
5	12,379313	-1,501907
6	12,379225	-1,501878
7	12,379167	-1,502048
8	12,379257	-1,501999
9	12,379255	-1,502065
10	12,379433	-1,502042
11	12,379308	-1,502262
12	12,379579	-1,502123



Figure 8 : Répartition des points de mesure d'infiltration

- **Traitement de données**

Le traitement des données a eu pour objectif de caractériser le sol en déterminant les valeurs de la conductivité hydraulique (K_{sat}) ainsi que la texture des sols. La conductivité hydraulique a été évaluée en utilisant la méthode des moindres carrés appliquée aux données d'infiltration cumulée. Pour ce faire, nous avons effectué ces calculs à l'aide du logiciel de statistique Minitab.

Les résultats des essais de double anneau réalisés sur les douze points ont été soumis au logiciel Minitab afin d'obtenir les valeurs des vitesses d'infiltration à saturation. L'infiltration a été cumulée, et une courbe de régression a été ajustée en utilisant l'équation appropriée.

$$I_t = K_{sat} * t + \frac{1}{b} (i_0 - K_{sat}) * (1 - e^{-bt})$$

Avec :

t : temps cumulé

I_t (mm) : hauteur cumulée d'eau infiltrée

K_{sat} (mm/h) : conductivité hydraulique fixé à 1 au départ

i_o : vitesse d'infiltration fixé à 1 au départ

K_{sat} , i_o et b ont été déterminés par l'application des moindres carrés aux données de l'infiltration cumulée

- **Détermination des caractéristiques du sol**

La perméabilité d'un sol est étroitement liée à sa texture et sa structure, ce qui entraîne différentes classes de perméabilité selon les types de sols observés. Pour déterminer les caractéristiques du sol telles que la classe de texture et les humidités caractéristiques, nous avons utilisé la vitesse d'infiltration obtenue et l'avons introduite dans le logiciel SWC (Soil Water Characteristics). Ce logiciel nous a permis d'obtenir les proportions des différents constituants du sol en place en utilisant les triangles de texture. (Voir annexe 1).

III.2.4. Choix des spéculations

Dans le cadre de notre projet, nous nous sommes basés sur les critères suivants : la qualité microbiologique des eaux usées, leur adéquation avec le type de sol.

III.2.5. Choix du système d'irrigation

Il existe 3 types de systèmes d'irrigation :

- ❖ **L'irrigation de surface** qui consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassin), soit dans les sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planche). Elle peut être utilisée pour une grande variété de cultures et de superficies. Les systèmes d'irrigation de surface sont souvent utilisés pour des champs agricoles de grande taille, allant de quelques hectares à plusieurs hectares à plusieurs d'hectares. L'ampleur du système dépend de nombreux facteurs, notamment la topographie du terrain, la disponibilité en eau et les besoins en irrigation des cultures spécifiques.

En général, l'efficacité de l'irrigation de surface est relativement faible par rapport à d'autres systèmes d'irrigation plus précis comme le goutte-à-goutte ou l'aspersion. Son

efficacité typique se situe généralement entre 40% et 60%, qui signifie que la majorité de l'eau appliquée est sujette à des pertes par évaporation, au ruissellement ou à l'infiltration excessive.

- ❖ **La technique d'irrigation par aspersion** est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par les asperseurs rotatifs sous la forme de pluie artificielle. (FAO,1990).

Les systèmes d'irrigation par aspersion peuvent être utilisés pour des superficies allant de quelques centaines de mètres carrés à plusieurs hectares en fonction de la capacité de la pompe et de la distribution de l'eau.

Les systèmes d'irrigation par aspersion peuvent avoir une efficacité moyenne de 70% à 85%, ce qui signifie que l'eau appliquée atteint réellement la zone racinaire des cultures.

- ❖ **L'irrigation au goutte à goutte** consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC ; cette eau est ensuite distribuée en gouttes répartis tout le long des rangées du périmètre. (FAO,1990).

Les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte conviennent à une large gamme de surfaces, aux grandes exploitations agricoles. Ils peuvent être également utilisés dans des cultures en rangées ou des serres.

Les systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte peuvent être très efficaces avec des rendements allant jusqu'à 90%. L'eau est appliquée directement aux racines des plantes, réduisant ainsi les pertes par évaporation et le ruissellement.

Pour notre projet, il est proposé le système d'irrigation par micro-aspersion du fait qu'elle génère un microclimat qui sera bénéfique pour notre projet par rapport au système d'irrigation goutte-à-goutte. Ce système présente quelques avantages, notamment sa consommation rationnelle en eau, sa résistance au bouchage par rapport au goutte-à-goutte. Elle fonctionne avec une main d'œuvre peu qualifiée par rapport au système d'irrigation au goutte-à-goutte.

III.2.6. Dimensionnement du périmètre à irriguer

III.2.6.a. Découpage parcellaire

Pour notre projet, nous avons procédé au découpage parcellaire du périmètre. Celui-ci a une superficie de 0,28 ha divisé en quatre (4) parcelles de 700 m².

Le découpage a été fait sur le logiciel AutoCAD.

III.2.6.b. Organisation de l'arrosage

Le périmètre a été subdivisé en 2 blocs égaux et indépendants afin d'assurer l'arrosage de manière simple, uniforme et de faciliter la distribution de l'eau aux différentes parcelles. Chaque exploitant possède sa vanne d'arrosage et est indépendant d'un autre exploitant.

III.2.6.c. Calendrier de culture

Deux (2) campagnes de culture seront exécutées en fonction de la disponibilité des eaux usées traitées de la STEP :

- ❖ La première campagne se tiendra de Février à Mai.
- ❖ La seconde campagne se tiendra de Septembre à Décembre.

III.2.6.d. Evaluation des besoins en eau des cultures

L'irrigation consiste à apporter l'eau au sol de façon à créer un milieu favorable à la croissance et au développement des plantes, et de pallier ainsi les insuffisances de l'approvisionnement naturel assuré généralement par les précipitations.

Les exigences en eau sont principalement influencées par le type de culture et les conditions climatiques telles que la pluviométrie, le vent, la température, la luminosité, l'humidité atmosphérique...) afin de pouvoir estimer les besoins en eau, nous avons utilisé les pluies mensuelles et l'évapotranspiration potentielles mesurées à station synoptique de OUAGADOUGOU. Les valeurs mensuelles des précipitations efficaces ont été calculées à l'aide des formules suivantes, extraite du manuel de la FAO sur les techniques d'irrigation sous pression (PHOCAIDES,2008).

- Si $P < 70$ mm alors $Pe = 0,6 * P$ moy / mois
- Si $P > 70$ mm alors $Pe = 0,8 * P$ moy / mois

Les valeurs des coefficients culturaux aux différents stades de développement de la spéculiation choisie pour notre dimensionnement ainsi que leur profondeur racinaire ont été extraites du manuel de la FAO. Les durées des stades ont été prises dans le document N°24 de la FAO (BROUWER ET HEIBLOEM, 1987).

Les durées des différents stades de développement des cultures ont été extraites du document N°24 de la FAO (BROUWER ET HEIBLOEM,1987). Les besoins en eau seront estimés dans un objectif total par des arrosages réguliers des parcelles jusqu'à la maturation des cultures selon un calendrier d'arrosage.

III.2.6.e. Organisation de l'aménagement du périmètre

Notre aménagement couvre une superficie de 0,28 ha qui est composée de deux parties : le réseau d'irrigation et l'unité de pompage solaire photovoltaïque.

Le système solaire est actionné par un ensemble de panneaux solaires monocristallins et de batteries LiFePO₄. La chambre de pompage sera située à proximité de bassin de stockage de transit des eaux usées traitées et munie d'une pompe de surface qui est mue par un ensemble de batteries solaires de grande durée de vie (8 à 10 ans). La micro-aspersion par pompage solaire photovoltaïque permet de simplifier l'organisation de l'arrosage, de réduire la pénibilité du travail d'irrigation tout en permettant l'utilisation rationnelle de l'eau.

III.2.7. Dimensionnement préliminaire

Ce dimensionnement implique la compilation d'une base de données sur le climat, le sol, l'eau et la plante en utilisant des paramètres tels que la réserve facilement utilisable RFU (mm), le besoin maximum de pointe BMP (mm/j), la fréquence d'arrosage, le temps nécessaire pour chaque tour d'arrosage, la dose brute, la durée d'arrosage par ensemble de rampes, le débit d'équipement et le débit total du système. (KEITA, 2021).

III.2.7.a. Réserve facilement utilisable

Elle représente la hauteur d'eau nécessaire pour compenser l'eau utilisée par l'évapotranspiration de la plante en puisant dans le sol. (KEITA, 2021).

III.2.7.b. Fréquence d'arrosage

La fréquence d'arrosage est l'intervalle de temps théorique entre les arrosages, elle est déterminée à partir de la réserve facilement utilisable et du besoin maximal de pointe. Le tour d'eau est la fréquence qui sera réellement adoptée dans la pratique. (KEITA, 2021).

III.2.7.c. Dose brute

La dose brute est la demande en eau, c'est à dire la hauteur d'eau nécessaire à la parcelle pour que la plante puisse y puiser pendant la durée du tour d'eau. Elle est calculée à partir du besoin

maximal de pointe, du tour d'eau et de l'efficacité d'irrigation de la parcelle. (KEITA, 2009-2021).

III.2.7.d. Temps par poste d'arrosage

C'est le temps nécessaire pour le fonctionnement simultané d'un ensemble de rampes, il dépend du tour d'eau, du nombre d'ensemble de rampes et du temps de travail maximal.

III.2.7.e. Débit d'équipement

Le débit d'équipement est la grandeur de base pour dimensionner les installations du système d'irrigation. (KEITA, 2021).

III.2.7.f. Débit du système

C'est le débit nécessaire au fonctionnement de tout le système d'irrigation, celui requis pour notre système.

Les formules utilisées pour déterminer ces paramètres sont consignées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Principales formules utilisées pour le dimensionnement préliminaire

Principales formules utilisées pour le dimensionnement préliminaire	
<ul style="list-style-type: none"> Reserve facilement utilisable $RFU(mm) = (\theta_{fc} - \theta_{wp}) * Z_r * p$ <p>Avec :</p> <p>θ_{fc} : humidité à la capacité au champ</p> <p>θ_{wp} : humidité au point de flétrissement</p> <p>Z_r : profondeur racinaire</p> <p>p : facteur de tarissement</p>	(1)
<ul style="list-style-type: none"> Besoin Maximum de Pointe $BMP((mm/jour) = ETM(mm/j) * Pe(mm/j)$ <p>Avec :</p> <p>$ETM((mm/j)$: évapotranspiration</p> <p>$Pe(mm/j)$: Pluviométrie efficace</p>	(2)
<ul style="list-style-type: none"> Fréquence d'arrosage $F_{(jour)} = \frac{RFU_{(mm)}}{BMP_{Pointe}(mm/jour)}$	(3)

<p>Avec : $BMP_{Pointe}(mm/j)$: besoin maximum de pointe $RFU (mm)$: réserve facilement utilisable On choisira $T(jour) \leq F (jour)$</p>	
<p>• Dose brute</p> $D_b(mm) = \frac{BMP_{Pointe}(mm/jour) * T}{E_a}$ <p>Avec : $BMP_{Pointe}(mm/j)$: besoin maximum de pointe $T (j)$: tour d'eau E_a : efficacité d'application (85%)</p>	(4)
<p>• Temps par poste d'arrosage</p> $Ts(h) = \frac{Db(mm)}{Pasp(mm/h)}$ <p>Avec $D_b (mm)$: Dose brute P_{asp} : pluie de l'asperseur en (mm / h)</p>	(5)
<p>• Débit d'équipement</p> $Q_e(l/s/ha) = \frac{Db(mm)}{T(j) * T_{wmax} * 0.36}$ <p>Avec : $Db (mm)$: Dose brute $T(j)$: Tour d'eau $T_{w max} (h)$ Temps maximal de travail</p>	(6)
<p>• Débit du système</p> $Q_{syst}(m^3/h) = 3,6 * q_e * A$ <p>Avec : $q_e(l/s . ha)$: débit d'équipement du système $A (ha)$: superficie du périmètre</p>	(7)

Source : (KEITA, 2009-2021)

III.2.8. Dimensionnement final

Le dimensionnement final prend en compte des données de base relative à la source d'eau, au sol, à la configuration du terrain et le matériel d'irrigation disponible sur le marché.

Notre réseau d'irrigation sera conçu pour acheminer l'eau de la source jusqu'au pied des cultures dans le strict respect des conditions de pression et de débit pour répondre aux besoins en eau des cultures.

Après le dimensionnement préliminaire, cette partie porte sur le dimensionnement du réseau d'irrigation, elle nous a permis de déterminer le diamètre des conduites de transport et de distribution, de choisir le type d'asperseur et de pompe et de dimensionner la source d'énergie pour alimenter tout le système.

III.2.8.a. Dimensionnement des conduites

Le réseau d'irrigation est constitué de conduite de transport, conduites primaires, sous primaires, conduites secondaires, portes rampes et rampes.

Le dimensionnement de ces conduites se fait en tenant compte du débit, de la vitesse et des pertes de charge engendrées lors de la circulation de l'eau. D'une manière générale, la vitesse dans les conduites sous pression doit être inférieure ou égale à 1,7 m/s pour les conduites plastiques (KEITA, 2009). Pour notre projet, nous avons fait le choix de prendre la vitesse égale 1 m/s.

- Le diamètre théorique est obtenu par la formule suivante :

$$D_{th}(m) = \sqrt{\frac{Q}{V}} * 18,881 \quad (8)$$

Avec :

$Q(m^3/h)$: débit transporté par la conduite

$V(m/s)$: vitesse limite de l'eau dans la conduite

- La perte de charge dans les conduites

$$\Delta H_{conduite}(m) = a * \frac{\left(\frac{Q_{conduite}}{3600}\right)^n}{(D_{conduite})^m} \quad (9)$$

Avec :

$Q_{conduite}(m^3/h)$: débit circulant dans le tube

$D_{conduite}(m)$: diamètre du tube

$L_{conduite}(m)$: longueur de la conduite

a, n et m sont les coefficients de la formule de Calmon-Lechapt

Le tableau 10 présente les différentes valeurs des coefficients pour différents diamètres de conduites en PVC.

Tableau 10 : Coefficients pour différents diamètres de conduite PVC

Coefficients	a	n	m
PVC $D \leq 50$ mm	0,00101	1,81	4,88
PVC $50 \leq D \leq 250$ mm	0,000916	1,81	4,78
PVC $250 \leq D \leq 1000$ mm	0,000971	1,81	4,81

Source : (KEITA, 2009-2021)

Le choix des conduites est satisfaisant, si après vérification, la condition selon laquelle la variation de la pression le long d'une conduite est inférieure à 20 % de la pression nominale des asperseurs. La relation est la suivante :

$$\Delta P(m) = \Delta H_{cond} - (E_i - E_d) \leq \Delta H_{adm} * 20$$

(10)

Avec :

$\Delta P(m)$: variation de pression le long de la conduite

$\Delta H_{conduite}(m)$: perte de charge dans la conduite

$E_d(m)$: côte aval de la conduite

$E_i(m)$: côte amont de la conduite

$P_{nom}(m)$: pression nominale de l'asperseur

$\Delta H_{adm}(m)$: variation de pression admissible

III.2.8.b. Choix du type d'asperseur

Le choix des asperseurs du réseau a été fait en se basant sur les trois grandeurs caractéristiques d'un micro-asperseur (sa pression nominale, son débit et son diamètre mouillé) aussi par rapport à la vitesse d'infiltration du sol.

La pluviométrie de l'asperseur doit être inférieure à la conductivité hydraulique à saturation de sorte à éviter le ruissellement lors de l'arrosage, à ne pas causer de dommages aux plantes. Pour ce faire, nous avons opté pour une disposition carrée (l'espacement des rampes et des asperseurs seront identiques) afin d'assurer un recouvrement et une uniformité dans le sol.

$$\begin{cases} e_{asp} = \text{Long}_{perim}/n \text{ ou } e_{asp} = \text{Larg}_{perim}/n \\ e_{rampe} = e_{asp} \text{ (disposition carrée)} \end{cases} \quad (11)$$

Avec :

Long_{perim} : longueur du périmètre

Larg_{perim} : largeur du périmètre

N : nombre entier diviseur de la largeur ou de la longueur

e_{asp} : écartement des asperseurs

e_{rampe} : écartement des rampes

III.2.8.c. Pression nominale

Avant de déterminer la pression nominale servant à effectuer le choix des micro-asperseurs, les pertes totales dans le réseau ΔP_{tot} sont déterminées en utilisant la formule suivante :

$$\Delta P_{tot}(m) = \Delta E_{tot}(m) + \Delta H_{tot}(m) \quad (12)$$

Avec :

$\Delta E_{tot}(m)$: dénivelée topographique totale

$\Delta H_{tot}(m)$: perte de charge totale (friction et locale)

La pression nominale est donnée par la formule suivante :

$$P_{nom}(m) \geq 5 * \Delta P_{tot}(m) \quad (13)$$

Avec :

$\Delta P_{tot}(m)$: perte totale dans le réseau

III.2.8.d. Choix de la valeur du temps journalier d'irrigation ($T_w \max$)

Le temps journalier d'irrigation $T_w \max(h/j)$ en pompage solaire photovoltaïque est d'environ 8 h/j si l'on n'utilise pas les batteries (FAO, 1977). Cela peut atteindre au moins 16h/j avec des batteries (KEITA, 2020).

III.2.8.e. Pompe hydraulique

- **Hauteur manométrique totale**

La hauteur manométrique totale correspond à la pression totale nécessaire pour assurer la livraison du débit. Elle est déterminée à partir des pertes de charges totales et de la hauteur géométrique.

$$HMT(m) = H_{geo} + \sum pdc \quad (14)$$

Avec :

$H_{geo}(m)$: hauteur géométrique

$\sum pdc (m)$: pertes de charge à l'aspiration et au refoulement.

- **Choix de la pompe**

Le choix de la pompe se fait à partir du débit à véhiculer et de la hauteur manométrique totale. Avec une hauteur manométrique totale calculée et un débit de 1,2 m³/h maintenu pour faire fonctionner le système. La pompe est alors choisie sur la base de ces valeurs afin d'assurer l'alimentation en eau du périmètre tout en tenant compte du rendement de celle-ci.

III.2.9. Dimensionnement de la source d'énergie pour le périmètre

Dans les pays en voie de développement en général et en particulier au Burkina Faso, l'accès à l'énergie est difficile, avec parallèlement une disponibilité en rayonnement solaire tout aussi impressionnante. Ce phénomène a suscité un intérêt grandissant et considérable sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie. La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable, constitue une solution pratique et économique au problème de manque d'eau dans le cadre de notre projet.

Dans un premier temps, l'option de stocker l'eau via un réservoir a été envisagée, mais n'est pas une option intéressante parce que la ressource est à débit limité. Dans un second temps, le réservoir devant servir pour le stockage des EUT est assez distant, vétuste et sa hauteur sous cuve n'est pas suffisante ; il serait éventuellement possible de rehausser ce réservoir, mais vu son installation et sa vétusté, il serait mieux d'envisager un nouveau réservoir mais une fois de plus le problème se pose du fait que la ressource est limitée pour pourvoir remplir le réservoir.

Cependant, l'option la plus attractive et intéressante est de stocker l'énergie ; même avec le débit limité de la ressource en eau, on peut continuer l'arrosage hors des heures d'ensoleillement.

C'est dans cette optique que nous allons donc préconiser un système hybride (solaire et batteries) pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation. Le temps de pompage maximum de 18 h alors que le temps d'ensoleillement maximal de la zone est de 8 h par jour. Les batteries seront associées pour prendre le relais hors des heures d'ensoleillement.

III.2.9.a. Hypothèse de dimensionnement

Les hypothèses de dimensionnement pour les panneaux solaires et les batteries sont consignées dans le tableau 11. (KEITA, 2020).

Tableau 11 : Hypothèses de dimensionnement des panneaux solaires et des batteries

Voltage unité batterie (U_{bat})	13,2 V
Ampérage unitaire de la batterie ($I_{t_{bat}}$)	280 Ah
Taux admissible de décharge batterie (μ)	50 %
Pertes dans les batteries (δ)	10 %
Pertes dans convertisseur (θ)	3 %
Rendement des plaques solaires (monocristallin) (β)	16-19 %
Puissance d'un panneau solaire (P_{pan})	300 Wc

III.2.9.b. Calcul du nombre de batteries (N_{bat}) pour le périmètre

Dans le cadre de notre projet, les batteries seront utilisées pour stocker l'énergie afin qu'elles puissent être utilisées hors des heures d'ensoleillement pour assurer la continuité de fonctionnement du système. Pour déterminer le nombre de batteries nécessaire pour le bon fonctionnement de notre système, nous avons utilisé la formule (18).

III.2.9.c. Dimensionnement des panneaux solaires

Les panneaux solaires photovoltaïques sélectionnés pour le projet seront de type monocristallin, reconnus pour leur durabilité de plus de 20 ans et un rendement potentiel pouvant atteindre 20% (KEITA, 2020). Ces panneaux auront pour rôle de générer l'énergie requise pour le pompage sur une période de 24 heures.

L'énergie produite sera gérée par un convertisseur solaire hybride qui dirigera celle-ci vers la pompe de surface pour l'irrigation ou vers les batteries pour un stockage et une utilisation ultérieure durant les heures où il n'y a pas de soleil.

Le temps de pompage quotidien est de 18 h.

Les différentes formules utilisées pour assurer le dimensionnement de la source d'énergie sont consignées dans le tableau 12.

Tableau 12 : Principales formules utilisées pour le dimensionnement de la source d'énergie.

<p>• Puissance des batteries</p> $P_{out_bat} (KW) = \frac{Q_{pmp} * HMT}{360 * \eta * \beta} * \frac{T_{pomp}}{T_{ens}}$ <p>Avec :</p> <p>Q_{pmp} (m³/h) : débit de pompage</p> <p>HMT (m) : hauteur manométrique totale</p> <p>η(%) : rendement de la pompe</p> <p>β (%) : rendement des panneaux solaires</p> <p>δ (%) : pertes dans les batteries</p> <p>Θ (%) : pertes dans les convertisseurs</p>	(15)
<p>• Puissance fournie par les panneaux solaires aux batteries</p> $P_{in_bat} (KW) = P_{out_bat} * \frac{T_{pmp}}{T_{ens}}$ <p>Avec :</p> <p>P_{in_bat} (KW) : Puissance fournie par les panneaux solaires aux batteries</p> <p>P_{out_bat} (KW) : puissance sortante des batteries</p> <p>T_{pmp} (h) : temps de pompage</p> <p>T_{ens} (h) : temps d'ensoleillement</p>	(16)
<p>• Energie stockée dans les batteries</p> $E_{stock_{bat}(KWH)} = \frac{E_{bat_{pmp}}}{(1 - \delta) * \mu * (1 - \Theta)}$ <p>Avec :</p> <p>$E_{bat_{pmp}}$ (KWH) : énergie nécessaire au pompage</p> <p>μ : taux admissible de décharge batterie</p> <p>δ : pertes dans batteries</p> <p>θ : Pertes dans convertisseur</p>	(17)
<p>• Nombre de batteries</p> $N_{bat} = \frac{E_{stock_{bat}}}{E_{bat}}$ <p>Avec :</p> <p>E_{stock_bat} (kWh) : énergie stockée dans les batteries</p> <p>E_{bat} (kWh) : énergie unitaire batterie</p>	(18)
<p>• Puissance fournie par les panneaux solaires aux batteries</p>	(19)

$P_{out_{pan}(Kw)} = \frac{P_{in_{bat}}}{(1 - \delta) * (1 - \theta)}$ <p>Avec :</p> <p>$P_{in_{bat}}$ (KW) : puissance fournie par les panneaux aux batteries</p> <p>δ : pertes dans les batteries</p> <p>θ : pertes dans les convertisseurs</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de panneaux $N_{pan} = \frac{P_{out_{pan}}}{P_{pan_{mod}}} * 1000$ <p>Avec :</p> <p>$P_{out_{pan}}$ (kW)</p> <p>$P_{pan_{mod}}$ (Wc) : puissance d'un module</p>	(20)

Source : (KEITA, 2020)

III.3. Evaluation financière du projet

Il est essentiel que l'aménagement soit en mesure de générer une valeur ajoutée à long terme. La durée de retour sur investissement joue un rôle crucial pour évaluer la performance de l'investissement. Par conséquent, il est indispensable de connaître les coûts de mise en œuvre, d'exploitation et de maintenance de l'aménagement, ainsi que les bénéfices prévus.

III.3.1. Estimation du cout de l'aménagement

Le coût de l'aménagement du site prend en compte l'installation du champ photovoltaïque, la pompe de surface, l'aménagement du périmètre, l'installation d'une clôture grillagée de protection, l'achat de matériels et accessoires et la main d'œuvre du technicien.

III.3.2. Evaluation des amortissements

Dans cette partie, nous prendrons en compte la durée de vie des installations sur le périmètre afin de calculer les amortissements liés à la maintenance de ces ouvrages dans cette partie.

III.3.3. Estimation du chiffre d'affaires

Le chiffre d'affaires représente les recettes obtenues après la vente.

III.3.4. Calcul des résultats prévisionnels

Il s'agit ici de la notion de valeur ajoutée et du revenu net. Ils sont obtenus par les formules suivantes :

$$\text{Valeur ajoutée} = \text{Chiffre d'affaires} - \text{Charges de production} \quad (21)$$

$$\text{Revenu net} = \text{Valeur ajoutée} - \text{Dotation aux amortissements} \quad (22)$$

III.3.5. Calcul de la durée de retour sur investissement

La durée de retour sur investissement représente la période nécessaire pour que l'aménagement soit entièrement rentabilisé. Son calcul s'effectue de la manière suivante :

$$DRI = \frac{\text{Coût de l'aménagement}}{\text{Revenu net}} \quad (23)$$

IV. RESULTATS DES ETUDES TECHNIQUES

Après les sorties de terrain suivies d'analyses de données et de calculs, cette section du mémoire porte sur la présentation des résultats obtenus. Selon les objectifs, les résultats portent sur la phase d'étude de terrain qui englobe la reconnaissance et l'identification des sites, les études topographiques et les études pédologiques, ainsi que sur la phase d'études techniques, financières et environnementales.

IV.1. Etude pédologique

Le Burkina Faso est caractérisé par une hétérogénéité pédologique due à la longue évolution géomorphologique et à la diversité de la couverture géologique (FAO et al., s. d.).

Durant quelques jours, l'étude pédologique a été effectuée sur le périmètre concerné. La formule (1) a été utilisée pour déterminer la conductivité hydraulique à saturation des points de mesure sur le logiciel Minitab.

D'abord, nous avons effectué douze (12) points de mesures sur le site ; les informations collectées et traitées ont permis de retenir différentes valeurs de Ksat sur la base de laquelle le périmètre a été dimensionné. Ensuite à partir des différentes valeurs de Ksat, nous avons calculé le Ksat moyen et l'utilisé et déterminer les humidités pour effectuer le dimensionnement. Le logiciel SWC (Soil Water Characteristics) permet de caractériser les sols en trois types : sols argileux, sols limoneux ou sols sableux. Les essais issus des mesures d'infiltration du sol réalisés sur le périmètre montrent que nous sommes en présence d'un sol **sableux argileux limoneux**. Ce type de sol est approprié pour la pratique agricole. La technique d'irrigation par aspersion est la meilleure pour les sols sableux (FAO 1990), alors ces types de sol s'adaptent parfaitement à notre système d'irrigation.

Tableau 13 : Conductivité hydraulique à saturation et caractérisation du sol sur le site

Zone	Points de mesure	Ksat (mm/h)
	P1	4,04
	P2	9,77
	P3	4,96
	P4	4,04
	P5	15,14
	P6	18,16

2IE OUAGA	P7	13,23
	P8	14,09
	P9	8,05
	P10	1
	P11	2,01
	P12	3,95
	Moyenne	8,20
	Coefficient de variation (%)	70,3
	Ecart-type	5,76
	Humidité au point de flétrissement θ_{wp} (%)	17,6
	Humidité à la capacité au champ θ_{fc} (%)	28,9
	Types de sol	Sableux argileux limoneux

Les essais d'infiltration au double anneau sur le site, nous ont permis d'obtenir différentes valeurs de Ksat avec un Ksat moyen de 8,2 mm/h. Le traitement des données nous donne un écart-type de 5,76 et un coefficient de variation de 70,3%.

Les données semblent très hétérogènes, choisir le Ksat moyen pour fixer la pluviométrie de l'aspersion constitue un risque car le Ksat moyen ne représente pas bien la distribution. Nous allons adopter le choix des asperseurs à la pluviométrie la plus faible possible pour éviter le ruissellement sur tous les points hétérogènes.

IV.2. Estimation des débits eaux usées traitées pour le dimensionnement du système

Pour l'estimation du débit des eaux usées traitées de la STEP, nous avons effectué une série de mesure à différentes dates pendant 7 jours, 4 mesures par jour sur la période du 17 au 23 Avril, en faisant varier le temps.

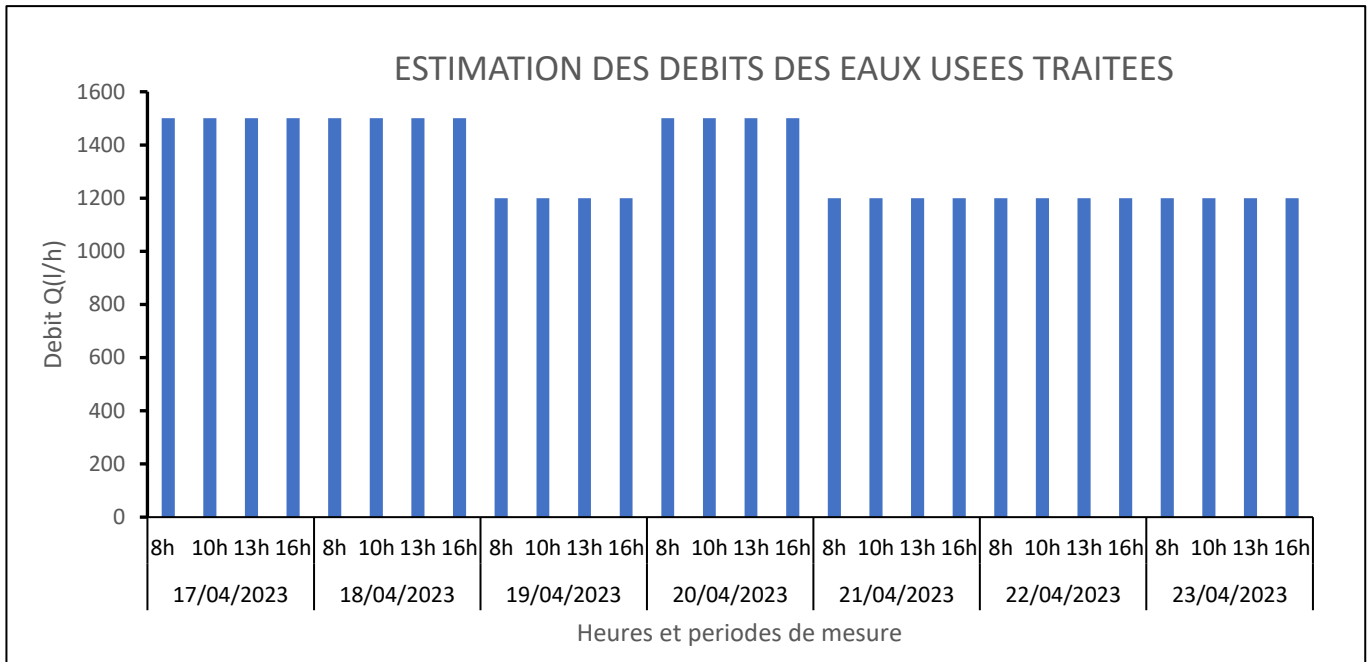


Figure 9 : Estimation des débits des EUT durant 7 jours

Nous avons constaté que sur la période du 17, 18 et 20 Avril 2023, le débit est de 1500 l/h et sur la période du 19, 21, 22 et 23 Avril 2023, le débit est de 1200 l/h. Le débit minimal est 1200 l/h et le débit maximal est de 1500 l/h. Nous avons utilisé le débit minimal qui est de 1200 l/h soit 1,2 m³/h pour le dimensionnement de notre système.

IV.3. Origine de la source d'eau pour alimenter le système

Le périmètre à irriguer sera approvisionné via les eaux usées traitées de la STEP contenues dans la bache de stockage de transit, de profondeur 2,1 m avec un débit minimal de **1,2 m³/h** sur lequel la pompe de surface prélève l'eau en utilisant de l'électricité de **220 V**. L'énergie fournie pour le pompage est hybride (solaire photovoltaïque associé aux batteries).

IV.4. Choix du système d'irrigation

Pour notre projet, il est prévu un **système d'irrigation par micro-aspersion** par pompage solaire photovoltaïque pour le périmètre irrigué. Ce système consiste à fournir l'eau nécessaire aux cultures sous une forme analogue à la pluie naturelle ; l'eau est mise sous pression par pompage solaire photovoltaïque pour être ensuite distribuée au moyen d'un réseau de canalisations et de distributeurs de type micro-asperseurs (FAO 1990).

L'eau sort sous la forme d'un jet et se répartit en gouttelettes qui tombent sur le sol. C'est un système efficace à 85 % qui convient aux cultures comme l'aubergine.

La technique d'irrigation par micro aspersion se présente comme le meilleur choix, bien qu'il s'adapte également à la plupart des sols.

Les systèmes d'irrigation par micro-aspersion sont largement adoptés depuis de nombreuses décennies dans le sud de la France, en Espagne et au Maghreb. Ces systèmes ont été continuellement testés en conditions d'exploitation paysanne par 2iE depuis les années 1990 et ils se sont avérés être faciles à entretenir, voire pratiquement sans entretien pour les petits exploitants. De plus, ces systèmes offrent une efficacité d'application élevée, pouvant atteindre jusqu'à 90% d'économie d'eau (KEITA, 2020) par rapport à l'irrigation de surface et ils s'adaptent parfaitement à toutes les pentes de terrain cultivables, qu'elles soient uniformes ou irrégulières (FAO 1990).

Les essais réalisés par 2iE ainsi que de nombreuses études externes, démontrent que les micro-asperseurs de type rotateur possèdent une grande résilience au bouchage. La micro aspersion est également adaptée aux terrains ayant des perméabilités variables, allant des sols plus ou moins sableux aux sols plus ou moins argileux, en passant par les limons. Cette polyvalence est un argument supplémentaire en faveur de l'irrigation par micro aspersion pour un projet avec des sites étendus et éparpillés, caractérisés par des sols ayant des capacités de filtration différentes. Comparé aux systèmes d'irrigation gravitaire et semi-californien, ce système de micro aspersion se révèle être plus économe en eau. De plus, contrairement à l'irrigation, goutte-à-goutte, les asperseurs ont une tendance moindre à se boucher rapidement, ce qui signifie qu'une main d'œuvre peu qualifiée suffit pour la gestion et l'entretien du système d'irrigation par micro aspersion.

IV.5. Choix de la spéculatation pour le dimensionnement du périmètre irrigué

Les spéculatations envisagées dans le cadre de notre projet sont l'aubergine et le gombo parce que ce sont des cultures non destinées à être consommées crues. Elles feront l'objet de cuisson dans le but d'éliminer les bactéries avant d'être consommées. Parmi les cultures citées, la spéculatation retenue pour le dimensionnement est **l'aubergine** parce que l'aubergine est la culture la plus contraignante à cause de son besoin en eau élevée. L'aubergine est une culture qui se produit sur toutes les périodes de l'année.

Nous aurons 2 campagnes de cultures qui se tiendront de Février à Mai et de Septembre à Décembre. Durant ces périodes la disponibilité de la ressource en eau est considérable.

❖ Présentation de l'aubergine

L'aubergine (*Solanum melongena L*) est une plante dicotylédone de la famille des Solanaceae. C'est une plante qui est cultivée pour son fruit. Très peu calorique, ce légume est une importante source de vitamines, de minéraux, d'oligo-éléments, de composés antioxydants et de fibres. Les aubergines peuvent être de couleur noir ou violet. Elles peuvent être cultivées toute l'année. Il s'agit d'une plante qui peut supporter les températures élevées. Elle est sensible aux basses températures. Elle demande un climat relativement chaud (optimum 27°C) pour fournir une récolte abondante et de qualité. Les aubergines sont des cultures de longue durée. Le cycle végétatif de l'aubergine dure 130 jours.



Figure 10 : Variété d'aubergine retenue

Le tableau 14 présente les différents stades de développement de l'aubergine, ainsi que les coefficients culturaux par stade. Sur la base de ces données, nous avons calculé les coefficients culturaux équivalents qui ont servi pour la détermination des besoins en eau de la plante.

Tableau 14 : Stade de développement de la première campagne de l'aubergine

AUBERGINE								
Première campagne								
Stade de développement	Initial		Développement		Mi-saisons		Arrière saisons	
Nombre total (j)	30		40		40		20	
Mois	Février	Mars		Avril		Mai	Mai	Juin
Nombre de jours par stade	28	02	29	11	19	21	10	10
Kc par mois selon les stades	0,45	0,45	0,75	0,75	1,05	1,05	0,7	-
Kc équivalent	0,45	1,20		1,80		1,75		-
Profondeur racinaire (Zr)	0,9							

Tableau 15 : Stade de développement de la seconde campagne de l'aubergine

AUBERGINE								
Seconde campagne								

Stade de développement	Initial	Développement		Mi-saisons		Arrière saisons	
Nombre total (j)	30	40		40		20	
Mois	Septembre	Octobre	Novembre		Décembre		Janv
Nombre de jours par stade	30	31	9	21	19	12	8
Kc par mois selon les stades	0,45	0,75	0,96	0,96	0,91	0,91	-
Kc équivalent	0,45	0,75	1,92		1,82		-
Profondeur racinaire (Zr)	0,9						

❖ Estimation des besoins en eau

Les besoins en eau ont été estimés pour deux (2) campagnes en raison de la disponibilité de la ressource en eau. La première campagne va débiter au mois de Février pour se terminer en Mai et la seconde campagne va débiter au mois de Septembre pour se terminer en Décembre. Après estimations des besoins en eau, il ressort de notre analyse que le mois d'Avril est le mois pour la culture la plus contraignante avec un besoin en eau s'élevant **556,5 m³/j**.

Mois	Première campagne				Seconde campagne			
	Février	Mars	Avril	Mai	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Nombre de jours	28	31	30	31	30	31	30	31
Kc	0,45	0,73	0,94	0,94	0,45	0,75	0,96	0,91

Pm (mm)	0,09	4,3	25,2	63,6	138,3	28,2	0,6	0,1
Peff (mm/j)	0,00	0,08	0,50	1,23	3,69	0,55	0,01	0,00
ETO (mm)	178,7	206	195,7	200,5	144,6	172,3	169,4	181
ETM (mm/j)	2,8	4,8	6,1	6	2,1	4,1	5,4	5,3
BN (mm/j)	2,87	4,77	5,63	4,83	0,00	3,62	5,43	5,3
Ea	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
BB (mm/j)	3,4	5,6	6,6	5,7	0,0	4,3	6,4	6,3
Volume brut journalier (m ³ /j)	9,5	15,7	18,5	15,91	0,00	11,9	17,9	17,5
Volume brut mensuelle (m ³)	264,6	487,3	556,5	493,2	0,00	370,14	536,1	542,5

❖ **Calendrier d'arrosage de la culture**

Dans le cadre de notre étude, la première campagne de l'aubergine est prévue de Février à Mai et la seconde campagne est prévue de Septembre à Décembre.

Aubergine								
	Première campagne				Seconde campagne			
Mois	Février	Mars	Avril	Mai	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Nombre de jours	28	31	30	31	30	31	30	31
Volume brut journalier(m ³ /j)	9,5	15,7	18,5	15,91	0,00	11,9	17,9	17,5
Matin/1 ^{er} bloc	P1 :01h-05h30	P1 :01h-05h30	P1 :01h-05h30	P1 :01h-05h30	P1 :01h-05h30	P1 :01h-05h30	P1 :01h-05h30	P1 :01h-05h30
	P2 :05h30-10h	P2 :05h30-10h	P2 :05h30-10h	P2 :05h30-10h	P2 :05h30-10h	P2 :05h30-10h	P2 :05h30-10h	P2 :05h30-10h
Pause	10h-14h	10h-14h	10h-14h	10h-14h	10h-14h	10h-14h	10h-14h	10h-14h
Soir/2 ^e bloc	P3 :14h-18h30	P3 :14h-18h30	P3 :14h-18h30	P3 :14h-18h30	P3 :14h-18h30	P3 :14h-18h30	P3 :14h-18h30	P3 :14h-18h30
	P4 :18h30-23h	P4 :18h30-23h	P4 :18h30-23h	P4 :18h30-23h	P4 :18h30-23h	P4 :18h30-23h	P4 :18h30-23h	P4 :18h30-23h

Le périmètre a été dimensionné pour apporter aux plantes à une dose brute de 6,63 mm chaque jour. Le temps maximal d'irrigation journalière adopté pour couvrir le besoin en eau des plantes est de 18 h.

IV.6. Dimensionnement du périmètre à irriguer

IV.6.1.a. Dimensionnement préliminaire

A partir des données de base sur le climat, le sol, l'eau et la plante, nous avons déterminé la réserve facilement utilisable, le besoin maximum de pointe, le tour d'eau, le temps par poste d'arrosage et le nombre de poste d'arrosage, ainsi que le débit total du système.

Les formules (1), (2), (3), (4), (5), (6) et (7) ont été utilisées pour déterminer les paramètres d'entrée du dimensionnement cités ci-dessus. Le périmètre a été dimensionné pour apporter aux plantes à une dose brute de **6,63 mm** chaque **jour**. Le temps maximal d'irrigation journalière adopté pour couvrir le besoin en eau des plantes est de **18 h**. Ce temps correspond à celui requis lors de la période de pointe où le plein développement des cultures entraîne une demande en eau maximale. Pour ce faire, nous avons adopté une disposition carrée pour le système afin de maintenir une uniformité de l'arrosage peu importe la direction du vent.

Les écartements sont de **5 m** entre les lignes d'aspersion (rampes) et pareil entre les asperseurs. Le pompage et l'irrigation s'effectueront de façon simultanée.

Le tableau 16 regroupe les valeurs obtenues des paramètres du dimensionnement préliminaire.

Tableau 16 : Paramètres utilisés pour calculer les dimensions du périmètre

Désignation	Valeurs
Dose brute (mm)	6,63
Tour d'eau (j)	1
Temps maximal de travail (h)	18
Ecartement entre les rampes (m)	5
Temps par poste d'arrosage (h)	4,45

Nombre de poste d'arrosage	4
Débit d'équipement (l/s/ha)	1,03
Débit du système (m ³ /h)	1,2

- **Découpage parcellaire**

Pour ce projet, nous avons 4 exploitants par parcelle soit 576 m² par exploitant pour une superficie totale exploitable de 0,28 ha pour assurer une meilleure organisation de l'arrosage. Les dimensions des différentes parcelles sont consignées dans le tableau 17.

Tableau 17 : Découpage parcellaire du périmètre

Découpage parcellaire (P1-P2-P3-P4)	
Longueur (m)	32
Largeur (m)	18
Aire (m ²)	576

- **Organisation de l'arrosage**

L'organisation de l'arrosage se fera de manière simple et uniforme. Afin de faciliter la distribution de l'eau à la parcelle, le périmètre a été divisé en deux blocs égaux (P1 et P2) et (P3 et P4) et indépendants. La parcelle P1 sera arrosée en première position, suivie de la deuxième P2, de la troisième P3 et enfin de la quatrième P4 en un jour et le cycle continue. Chaque exploitant possède sa vanne d'arrosage et est indépendant de l'autre.

La figure 11 présente la configuration du système avec ses différentes composantes tel que le découpage parcellaire, le tracé du réseau d'irrigation, le positionnement des asperseurs, des panneaux, en résumé le design du système entier.

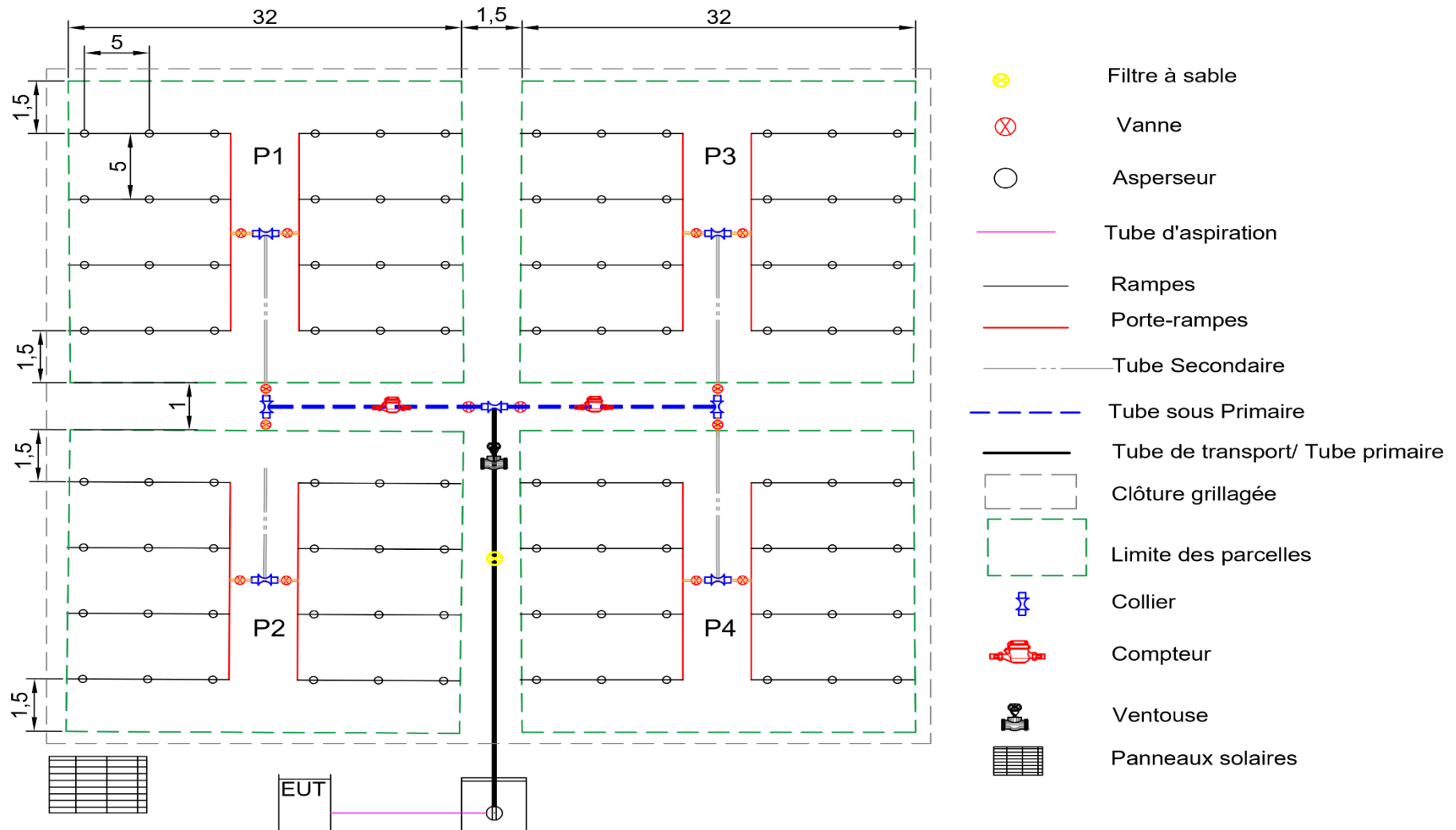


Figure 11 : Disposition parcellaire du périmètre

Un poste d'arrosage est l'ensemble des rampes en fonctionnement simultanées. Le débit à mobiliser dans le réseau pendant un poste d'arrosage est de **1,2 m³/h** avec un temps par poste de **4,45 h**. le tableau 18 présente de façon explicite l'organisation de l'arrosage du périmètre.

Tableau 18 : Organisation de l'arrosage de périmètre

Jours	Parcelles	Nombre de postes	Nombre total de postes	Nombre de rampes en fonctionnement simultané
Jour 1	P1	1,00	4	8 rampes de 16 m, soit 4 rampes par porte-rampe
	P2	1,00		
	P3	1,00		
	P4	1,00		
Jour 2	P1	1,00	4	8 rampes de 16 m, soit 4 rampes par porte-rampe
	P2	1,00		
	P3	1,00		
	P4	1,00		

IV.6.1.b. Dimensionnement final

- **Dimensionnement des conduites**

Les conduites sont dimensionnées pour acheminer l'eau venant du bassin de stockage des eaux usées traitées jusqu'au pied de la culture. Les principaux composants linéaires de notre réseau d'irrigation sont : les rampes, les portes-rampes, les conduites secondaires, les conduites sous primaires, les conduites primaires et la conduite de transport. Les longueurs des différentes conduites ont été déterminées suivant la disposition parcellaire du périmètre. Les diamètres, les vitesses réelles obtenus lors du dimensionnement ainsi que les débits qui transitent dans les différentes conduites sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Caractéristiques des conduites du périmètre

Conduites	Longueur (m)	Nombre	Débits (m ³ /h)	Vitesses réelles (m/s)	Diamètres Théoriques (mm)	Diamètres Nominiaux (mm)
Rampes	16,00	32	0,153	0,135	7,36	20
Porte-rampes	15,00	8	0,612	0,087	14,72	50
Secondaires	20	2	1,2	0,036	20,82	110
Sous-primaires	30	2	1,2	0,036	20,82	110
Primaire	20	1	1,2	0,036	20,82	110
Transport	5	1	1,2	0,036	20,82	110

Dans le cadre de notre projet, nous avons décidé d'utiliser des conduites en polyéthylène (PE) de diamètre nominal 20 mm pour les rampes, de diamètre nominal 50 mm pour les portes rampes, et des conduites en polychlorure de vinyle (PVC) de diamètre nominal 110 mm pour les conduites secondaires, sous-primaires, primaires et la conduite de transport, avec une classe de pression de 4 bars (PN4). Ces choix sont motivés par notre volonté de minimiser les pertes de charge dans le réseau de distribution d'eau, ce qui permet de réduire la charge de travail du système de pompage en amont, des batteries et des panneaux solaires.

Selon les critères de Christiansen, les pertes de charge totales dans les conduites doivent être inférieures à 20% de la pression nominale des asperseurs. C'est pourquoi nous avons opté pour un diamètre de 110 mm pour les conduites de transport, primaires, sous-primaires et secondaires. Cette décision vise à assurer un débit adéquat et à minimiser les pertes de charge tout au long du réseau d'irrigation. En choisissant ces diamètres appropriés pour les différentes conduites, nous nous assurons que le système d'irrigation fonctionne efficacement en fournissant une pression suffisante aux asperseurs tout en minimisant les pertes d'énergie et de charge dans les conduites.

- **Choix des asperseurs**

Pour sélectionner les organes terminaux de notre système d'irrigation, nous avons comparé la pluviométrie des différents types d'asperseurs à la vitesse d'infiltration du sol, tout en veillant à ce qu'ils puissent fournir la quantité d'eau nécessaire à nos plantes pendant la durée maximale de fonctionnement (18 heures). Ce choix doit également prendre en compte le diamètre mouillé pour assurer une distribution uniforme de l'eau et la pression nominale des asperseurs.

En consultant le catalogue du fabricant (HYRT), nous avons retenu le micro-asperseur illustré à la figure 12. Il s'agit d'un micro-asperseur rotatif avec une tête orientée vers le haut. Les caractéristiques spécifiques de ce type d'asperseur sélectionnées sont répertoriées dans le tableau 20. En choisissant ce micro-asperseur, nous nous assurons qu'il répond aux exigences de débit et de couverture souhaitées pour notre système d'irrigation. Sa conception rotative et sa direction vers le haut permettent une distribution uniforme de l'eau sur les cultures, favorisant une irrigation efficace et précise.

Tableau 20 : Caractéristiques des asperseurs retenus

Paramètres	Valeurs
Type d'asperseur	Micro asperseur Rotateur tête en haut 251T/1,5 bars
Débit (l/h)	51
Diamètre mouillé (m)	6,6
Pluviométrie (mm/h)	1,49
Espacement entre émetteur (m)	5
Pression (bar)	1,5



Figure 12 : Micro asperseur retenu

- **Calcul de la HMT et choix de la pompe**

Après avoir effectué les calculs de la charge totale, y compris les pertes de charges linéaires et associées aux différents composants du réseau, nous avons utilisé la formule (14) pour déterminer la HMT = 61 m. En fonction de cette HMT, du débit nécessaire à mobiliser, de la capacité de notre convertisseur hybride à fournir la puissance requise pour le pompage, ainsi que le rendement de la pompe, nous avons sélectionné une pompe de marque NOLH.

Cette pompe choisie est alimentée en courant alternatif monophasé de 240 V, ce qui nous permet de répondre aux exigences en matière de débit et de HMT tout en optimisant le nombre de batteries et de panneaux solaires nécessaires. Les caractéristiques de cette pompe sont répertoriées dans le tableau 21 et le tableau 22

Tableau 21 : Calcul de la HMT

Calcul de la HMT	
ΔH aspiration (m)	0,051
ΔH support asperseur (m)	0,125
Pression nominale asperseur (m)	20
Hauteur géométrique (H géo)	1,1
H totale	34,19
ΔH pièces (m)	3,419
ΔH compteurs volumétriques(m)	0,5
ΔH filtres, injecteurs (m)	2
ΔH simple conduite	0,034
HMT (m)	61

Tableau 22 : Caractéristiques de la pompe

Caractéristiques	Valeur
Débit (m ³ /h)	1,2
HMT (m)	61
Puissance (kW)	3,75
Rendement (%)	40

IV.6.1.c. Dimensionnement de la source d'énergie

- **Choix du convertisseur**

Le convertisseur hybride solaire est un équipement électronique qui permet de transformer le courant continu en courant alternatif. Dans le cadre de notre projet, nous avons opté pour un convertisseur solaire hybride MPPT de type **Growatt** durable avec une plage de tension de 120 à 430 V.



Figure 13 : Convertisseur solaire hybride MPPT de type Growatt

- **Calcul du nombre de batteries pour le périmètre irrigué**

Le rôle des batteries est d'assurer l'autonomie de l'ensemble du système. Dans le cadre de ce projet, nous avons choisi les batteries de type LIFEP04 (Lithium Iron Phosphate) qui sont des batteries écologiques (non toxique, non contaminant, pas de matériaux rares). Elles sont résistantes à toutes températures et ont une durée de vie d'environ 6 ans (SUPPLIES BATTERY, 2020). Les données consignées dans le tableau 23 ont été utilisées pour mener à bien notre dimensionnement.

Tableau 23 : Données de base pour le dimensionnement des batteries

Désignation	Valeurs
Caractéristiques des batteries	Type de batterie : LiFePo4 Voltage des batteries : 13,2 V (composé de quatre blocs prismatiques de 3,3 V) Ampérage des batteries : 280 Ah Taux admissible de décharge : 50 % Pertes dans les batteries : 10 %
Pompage	Temps de pompage : 18 h HMT : 61 m
Convertisseur	Pertes dans le convertisseur : 3 %

Pour déterminer le nombre de batteries requis pour le bon fonctionnement de notre système, nous avons utilisé la formule (23) ci-dessus. Les tableaux 24 présentent les résultats de notre dimensionnement

Tableau 24 : Résultat du dimensionnement de la batterie

Désignation	Valeur
Type de batteries	LiFeP04 13,2 V-280 Ah
Nombre de batteries	3
Disposition	3S1P

NB : la disposition en série et en parallèle a été faite en fonction de la plage de tension en entrée de l'onduleur. La disposition des batteries est telle que 3S1P signifie 3S =3 batteries en Série et 1P =1 batterie en Parallèle

- **Dimensionnement des panneaux solaires**

Les panneaux solaires photovoltaïques seront de type monocristallin, dont plusieurs études montrent qu'ils ont une durabilité de plus de 20 ans et ont un rendement pouvant atteindre 20% (KEITA, 2020). Ces panneaux devront générer l'énergie nécessaire au pompage. L'utilisation de cette énergie est arbitrée par un convertisseur solaire hybride MPPT de type Growatt qui l'enverra soit vers la pompe de surface pour l'irrigation, soit vers les batteries pour stockage et utilisation à des heures où le soleil n'est pas disponible. Le temps de pompage journalier est de 18 h.

Le tableau 25 présente les données de base utilisées pour mener à bien le dimensionnement du champ photovoltaïque.

Tableau 25 : Données de base pour le dimensionnement du champ photovoltaïque

Désignation	Valeurs
Caractéristiques des panneaux	Puissance d'un panneau : 300 Wc Rendement des panneaux : 16-19 %
Convertisseur	Puissance du convertisseur : 5 kW

	Pertes dans le convertisseur : 3 %
--	------------------------------------

Le champ photovoltaïque a été dimensionné à partir de la formule (23). Les résultats des dimensionnements sont consignés dans le tableau 26. Les détails du dimensionnement des panneaux sont consignés en *Annexe 3*.

Après le dimensionnement (voir Annexes 3), nous disposons d'un champ photovoltaïque de 4 modules dont 2 panneaux en séries et 2 en parallèles (disposition 2S2P). La puissance totale du champ est de 1200 Wc. Ce champ sera associé à 3 unités de batteries c'est-à-dire 3 blocs de batteries contenant chacun 4 cellules de batteries de 3.3 V chacune, dont 3 sont disposés en séries et 1 seule ligne en parallèle (disposition 3S1P) afin d'assurer l'autonomie du système. Le tableau 26 présente les résultats de dimensionnement du champ photovoltaïque.

Tableau 26 : Résultats du dimensionnement du champ photovoltaïque

Désignations	Valeurs
Nombre de modules	4 en disposition 2S2P
Puissance totale (Wc)	1200 Wc
Type de batteries	LiFePO4
Nombres de batteries	3 en disposition 3S1P
Nombre d'onduleur hybride	1

V. EVALUATION FINANCIERE DU PROJET

❖ Estimation du coût du projet

Une fois les choix techniques et le périmètre à irriguer déterminés, nous avons évalué les prix unitaires des équipements disponibles sur le marché. Le coût total pour la réalisation de notre projet est de **7 944 300 FCFA**.

La réalisation du projet sera entièrement financée par l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) et notre étude constitue une partie du projet.

Le récapitulatif de l'évaluation du coût global de la réalisation des travaux est présenté par le tableau 27. Les détails du devis quantitatif et estimatif sont présentés en (Annexe 4).

Le coût d'aménagement du site prend en compte les charges liées à l'installation de l'unité de pompage (pompe, batterie, panneaux), l'installation du réseau d'irrigation, l'installation de la clôture grillagée et la main d'œuvre.

Le tableau 27 présente le récapitulatif du cadre du devis estimatif du périmètre.

Tableau 27 : Devis estimatif de la réalisation de l'aménagement

Composantes	Coûts	% du coût total
Unité de pompage (FCFA) (Pompe, batterie, panneaux)	2 950 000	37,13
Réseau d'irrigation (FCFA)	961 000	12,09
Installation d'une clôture grillagée (FCFA)	2 200 000	28
Coûts MO/Installation (FCFA)	1 833 300	23,07
Coût total d'investissement	7 944 300	100

❖ Calcul des résultats prévisionnels du projet

Dans cette section, nous avons utilisé les formules (21), (22) et (23) pour calculer les résultats prévisionnels de l'exploitation du projet. Le revenu net prévu de l'exploitation du projet est estimé à deux millions deux cents quatre-vingt mille cent cinquante (**2 281 150**) FCFA par an. Sur la base de ce résultat, la durée de retour sur investissement (DRI) est d'environ trois (03) ans, ce qui signifie que l'investissement initial sera récupéré après huit (06) campagnes de production.

Le tableau 28 présente un récapitulatif des résultats prévisionnels, tandis que les détails du calcul des chiffres d'affaires, des charges de production et des dotations aux amortissements sont présentés dans l'annexe 4.

Les données de base utilisées pour évaluer les amortissements et estimer le revenu net de ce projet sont consignées dans les annexes.

Ces informations fournissent une vision globale des résultats financiers attendus pour le projet, ce qui permet d'évaluer sa rentabilité et sa viabilité à long terme.

Tableau 28 : *Résultat prévisionnel*

Calcul des résultats prévisionnels	
Chiffre d'affaires (3)	6 000 000
Charges de production (2)	1 560 000
Valeur ajoutée (3) – (2)	4 440 000
Amortissement (1)	2 158 850
Revenu net (3) - (2) - (1)	2 281 150

VI. ENJEUX, IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX DU PROJET

Afin d'assurer un développement durable, il est essentiel que ce projet soit conçu en prenant en compte le respect de l'environnement dans tous ses aspects. Dans cette étape de notre étude, nous nous concentrons sur l'évaluation des impacts potentiels du projet sur l'environnement et la société. Cette étape est subdivisée en trois parties principales : l'identification des impacts positifs et négatifs sur le projet, l'évaluation de ces impacts tout au long des différentes phases de réalisation et la mise en place de mesure d'atténuation pour faire face à ces impacts

Le tableau 29 résume les impacts (positifs et négatifs) du projet avec leur mesures d'atténuation lors des phases de projet

Tableau 29: *Impacts et mesures d'atténuation*

Impacts identifiés (Positifs et négatifs)	Mesure d'atténuation	Phase de projet
Risques d'accidents lors du débroussaillage, dessouchage	-Sensibilisation des ouvriers -Dotation des équipements de protection adéquats et de trousse de soin aux ouvriers	Pendant les travaux
Nuisances diverses	-Gestion efficace des déchets solides et liquides. -Arrêt des travaux de nuit sauf dérogation.	Avant et pendant les travaux
Détérioration de la qualité de l'air ambiant	-Arrosage périodique du périmètre à aménager	Pendant les travaux

Destruction de la végétation	-Sensibilisation du personnel sur le respect des normes environnementales	Pendant et après les travaux
------------------------------	---------------------------------------------------------------------------	------------------------------

CONCLUSION

Le présent projet « *Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées sur le campus de 2iE Ouagadougou* » initié par la direction générale de 2iE à travers son projet ambitieux « Ferme Agricole Intégrée » va contribuer au développement économique, social et durable de la province du Kadiogo. Le système qui sera mis en place est la micro-aspersion alimentée par un pompage solaire photovoltaïque. Ce type d'aménagement sous micro-aspersion photovoltaïque va offrir de multiples avantages notamment en termes de durabilité environnementale, l'utilisation efficace de la ressource en eau, de réduction des couts d'exploitation, d'autonomie énergétique et de valorisation des eaux usées traitées. La mise en place de cet aménagement vise également au renforcement de la sécurité alimentaire ainsi qu'à l'amélioration des conditions de vie des populations locales. L'étude détaillée du projet indique que le cout estimatif pour l'aménagement du périmètre est **7 944 300 FCFA** avec un revenu net de **2 281 150 FCFA**.

RECOMMANDATION

La réussite de ce projet dépendra de la rigueur de la mission de contrôle et de l'expertise des entreprises chargées de l'exécution. A cet effet, nous recommandons :

- A la mission de contrôle : d'être rigoureux sur la qualité du matériel qui sera livré et sur la qualité du travail qui sera fait. Pendant la période d'exécution, de faire un suivi permanent de l'évolution des travaux ;
- Aux entreprises contractantes (s'il y'a), de respecter les exigences données dans le dossier d'appel d'offre ;
- Mettre en place un comité de surveillance et d'entretien qui héritera d'un certain nombre de prérogatives (observation régulière des ouvrages afin de détecter rapidement les défauts visibles) et de faire une maintenance permanente des ouvrages.

La réutilisation des eaux usées traitées en irrigation par aspersion à l'échelle sous régionale est une pratique qui prend de l'ampleur à l'échelle sous régionale en raison des défis croissants liés à la disponibilité de la ressource en eau et à la gestion durable de l'eau.

Cette pratique gagne progressivement en importance au Burkina Faso qui est confronté à des défis majeurs en matière de gestion de ressources en eau notamment la rareté des précipitations et de l'augmentation des besoins en eau pour l'agriculture. C'est dans cette optique que nous recommandons d'investir dans les infrastructures de traitement des eaux usées et dans la mise en place de systèmes d'irrigation par micro-aspersion en nécessitant des partenariats public-privé, sensibiliser et former les agriculteurs sur la bonne pratique de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation ; sensibiliser le public sur les avantages environnementaux et sanitaires de ces eaux usées traitées en irrigation pour gagner leur soutien et leur adhésion à cette pratique.

BIBLIOGRAPHIE

- Amadou KEITA. (2009). *Irrigation par aspersion V2.34*
- Amadou KEITA. (2020). *Microaspersion par pompage photovoltaïque, les manuels du développement durable. QAF 172pp. Ouagadougou, Burkina Faso.*
- BOUBE, B. (2014). *Les bases de l'irrigation (p.106). 2iE.*
- BROUWER ET HEIBLOEM. (1987). *Les besoins en eaux d'irrigation : gestion des eaux en irrigation.*
- CROPWAT. (s. d). *FAO : Cropwat 8.0.*
- FAO.(1990). *Gestion des eaux en irrigation. Manuel de formation n°5. FAO.*
- FAO. (2015). *AQUASTAT profil de pays - Burkina Faso.*
- FAO STAT. (2016). *Données de l'alimentation et de l'agriculture.*
- GUINDO, D. (2022). *ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE POUR L'AMENAGEMENT D'UN (1) BAS-FOND, DE SIX (6) PERIMETRES MARAICHERS, TROIS (3) PERIMETRES FOURRAGERS ET D'INFRASTRUCTURES D'AGROPASTORALISME DANS LA REGION DU CENTRE-EST AU BURKINA FASO (p.124). 2iE.*
- HYRT. (s.d.). *Catalogue Laiwu HYRT China-Irrigation. SHANDONG CHINA*
- MAIGA, Amadou HAMA, yacouba KONATE, Joseph WETHE, Kokou DENYIGBA, Denis ZOUNGRANA, and Lassana TOGOLA. 2008. *Performance epuratoire d'une filière de trois bassins en serie de lagunage à microphyte sous climat sahélien : Cas de la station de traitement des eaux usées de 2ie (groupe EIER-ETSHER."Université du Quebec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE), Revue des sciences de l'eau, 21 (04):14 pp. <https://doi.org/https://doi.org/10.7202/019163> ar.*
- MERH, 2015. *DECRET N°20151205/PRESTRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MICA/MME/MIDT/MATD Du 28 Octobre 2015 Portant Normes et Conditions de Déversements Des Eaux Usées*
- OMS. 2000. *Directives de Qualité Pour L'eau de Boisson. Deuxième Vol. 2. Programme international sur la sécurité chimique Genève*
- OMS. 2012. *Directives OMS Pour L'utilisation sans Risque Des Eaux Usées, Des Excreta et Des Eaux Ménagères. Vol. 2.*
- PHOCAIDES. (2008). *Manuel des techniques d'irrigation sous pression. 2e éd. Rome : FAO*

RGPH. 2019 « Monographie du Centre ». 2019.
http://web.insd.bf/contenu/autres_publications/monographie/monographie_centre_.pdf

SUPPLIES BATTERY. (2020). Catalogue de batteries : cyclique, démarrage, stationnaire.

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

ANNEXES

Annexe 1 : Essais d'infiltration

Annexe 1.1. Tableau des mesures

Date : 28/07/2022						
Site :2iE OUAGA						
Point 1						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379421°		Latitude	-1,501816°	
Série	Temps (min)	DeltaT (min)	h (mm)	hcumul (mm)	heure	T en H
I	0	0	0	0,00	60	0,00
	10	10	0	0,00	60	0,17
	20	10	0	0,00	60	0,33
	30	10	0	0,00	60	0,50
II	50	20	0	0,00	60	0,83
	70	20	0	0,00	60	1,17
	90	20	0	0,00	60	1,50
III	120	30	0	0,00	60	2,00
	150	30	0	0,00	60	2,50
	180	30	0	0,00	60	3,00
IV	220	40	9	9,00	60	3,67
	260	40	8	17,00	60	4,33
	300	40	8	25,00	60	5,00
V	350	50	9	34,00	60	5,83
	400	50	9	43,00	60	6,67
	450	50	9	52,00	60	7,50

Date : 11/07/2022						
Site :2iE OUAGA						
Point 2						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379579°		Latitude	-1,501764°	
Série	Temps (min)	DeltaT (min)	h (mm)	hcumul (mm)	1heure	T en H
I	0	0	0	0,00	60	0,00
	10	10	4	4	60	0,17
	20	10	4	8	60	0,33
	30	10	4	12	60	0,50
II	50	20	4	16	60	0,83
	70	20	4	20	60	1,17
	90	20	4	24	60	1,50
	120	30	5	29	60	2,00

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

III	150	30	4	33	60	2,50
	180	30	4	37	60	3,00
	210	30	4	41	60	3,5
	240	30	5	46	60	4
	270	30	5	51	60	4,5
	300	30	5	56	60	5
	330	30	5	61	60	5,5
	360	30	5	66	60	6
	390	30	5	71	60	6,5
	420	30	5	76	60	7
	450	30	5	81	60	7,5
	480	30	5	86	60	8
	510	30	5	91	60	8,5
	540	30	5	96	60	9
	570	30	5	101	60	9,5
	600	30	5	106	60	10
	630	30	5	111	60	10,5
660	30	5	116	60	11	
680	30	5	121	60	11,5	
710	30	5	126	60	12	

Date : 11/07/2022						
Site :2iE OUAGA						
Point 3						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379522°	Latitude	-1,501932 °		
Série	Temps (min)	Delta T (min)	h (mm)	hcumul (mm)	1heure	T en H
I	0	0	0	0	60	0,00
	10	10	0	0	60	0,17
	20	10	0	0	60	0,33
	30	10	0	0	60	0,50
II	50	20	1	1	60	0,83
	70	20	1	2	60	1,17
	90	20	1	3	60	1,50
III	120	30	2	5	60	2,00
	150	30	1	6	60	2,50
	180	30	2	8	60	3
	210	30	0	8	60	3,5
	240	30	2	10	60	4
	270	30	1	11	60	4,5
	300	30	1	12	60	5
330	30	2	14	60	5,5	
360	30	2	16	60	6	

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

	390	30	2	18	60	6,5
	420	30	2	20	60	7
	450	30	2	22	60	7,5
	480	30	2	24	60	8
	510	30	2	26	60	8,5
	540	30	2	28	60	9
	570	30	2	30	60	9,5
	600	30	2	32	60	10
	630	30	2	34	60	10,5
	660	30	2	36	60	11
	680	30	2	38	60	11,5
	710	30	2	40	60	12

Date : 10/08/2022						
Site :2IE OUAGA						
Point 4						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379435°		Latitude	-1,501919°	
Série	Temps (min)	DeltaT (min)	h (mm)	hcumul (mm)	heure	T en H
I	0	0	0	0,00	60	0,00
	10	10	0	0,00	60	0,17
	20	10	0	0,00	60	0,33
	30	10	0	0,00	60	0,50
II	50	20	0	0,00	60	0,83
	70	20	0	0,00	60	1,17
	90	20	0	0,00	60	1,50
III	120	30	0	0,00	60	2,00
	150	30	0	0,00	60	2,50
	180	30	0	0,00	60	3,00
IV	220	40	9	9,00	60	3,67
	260	40	8	17,00	60	4,33
	300	40	8	25,00	60	5,00
V	350	50	9	34,00	60	5,83
	400	50	9	43,00	60	6,67
	450	50	9	52,00	60	7,50

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

Date : 28/07/2021						
Site :2IE OUAGA						
Point 5						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379313°		Latitude	-1,501907 °	
Série	Temps (min)	DeltaT (min)	h (mm)	hcumul (mm)	heure	T en H
I	0	0	0	0,00	60	0,00
	10	10	8	8,00	60	0,17
	20	10	7	15,00	60	0,33
	30	10	8	23,00	60	0,50
II	50	20	8	31,00	60	0,83
	70	20	8	39,00	60	1,17
	90	20	8	47,00	60	1,50
III	120	30	9	56,00	60	2,00
	150	30	9	65,00	60	2,50
	180	30	9	74,00	60	3,00
IV	220	40	10	84,00	60	3,67
	260	40	11	95,00	60	4,33
	300	40	9	104,00	60	5,00
V	350	50	12	116,00	60	5,83
	400	50	18	134,00	60	6,67
	450	50	17	151,00	60	7,50

Date : 28/07/2021						
Site :2IE OUAGA						
Point 6						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379225°		Latitude	-1,501878 °	
Série	Temps (min)	DeltaT (min)	h (mm)	hcumul (mm)	heure	T en H
I	0	0	0	0,00	60	0,00
	10	10	35	35,00	60	0,17
	20	10	34	69,00	60	0,33
	30	10	32	101,00	60	0,50
II	50	20	57	158,00	60	0,83
	70	20	30	39,00	60	1,17
	90	20	28	47,00	60	1,50
III	120	30	43	56,00	60	2,00
	150	30	44	65,00	60	2,50
	180	30	37	74,00	60	3,00
IV	220	40	54	84,00	60	3,67
	260	40	53	95,00	60	4,33

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

	300	40	48	104,00	60	5,00
V	350	50	48	116,00	60	5,83
	400	50	58	134,00	60	6,67
	450	50	52	151,00	60	7,50

Date : 28/07/2021						
Site :2IE OUAGA						
Point 7						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379167°		Latitude	-1,502048 °	
Série	Temps (min)	DeltaT (min)	h (mm)	hcumul (mm)	heure	T en H
I	0	0	0	0,00	60	0,00
	10	10	6	6	60	0,17
	20	10	6	12	60	0,33
	30	10	6	18	60	0,50
II	50	20	7	25	60	0,83
	70	20	7	32	60	1,17
	90	20	7	39	60	1,50
III	120	30	8	47	60	2,00
	150	30	8	55	60	2,50
	180	30	8	63	60	3,00
IV	220	40	9	72	60	3,67
	260	40	10	82	60	4,33
	300	40	9	91	60	5,00
V	350	50	11	102	60	5,83
	400	50	12	114	60	6,67
	450	50	13	127	60	7,50

Date : 28/07/2021						
Site :2IE OUAGA						
Point 8						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379257°		Latitude	-1,501999 °	
Série	Temps (min)	DeltaT (min)	h (mm)	hcumul (mm)	heure	T en H
I	0	0	0	0,00	60	0,00
	10	10	10	10,00	60	0,17
	20	10	9	19,00	60	0,33
	30	10	10	29,00	60	0,50
II	50	20	10	39,00	60	0,83
	70	20	10	49,00	60	1,17

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

	90	20	10	59,00	60	1,50
III	120	30	11	60,00	60	2,00
	150	30	11	71,00	60	2,50
	180	30	11	82,00	60	3,00
IV	220	40	12	94,00	60	3,67
	260	40	12	106,00	60	4,33
	300	40	12	118,00	60	5,00
V	350	50	13	131,00	60	5,83
	400	50	14	145,00	60	6,67
	450	50	15	160,00	60	7,50

Date : 10/08/2022						
Site :2iE OUAGA						
Point 9						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379255°	Latitude	-1,502065°		
Série	Temps (min)	Delta T (min)	h (mm)	hcumul (mm)	1heure	T en H
I	0	0	0	0	60	0,00
	10		10	0	60	0,17
	20		10	0	60	0,33
	30		10	1	60	0,50
II	50		20	1	60	0,83
	70		20	1	60	1,17
	90		20	1	60	1,50
III	120		30	4	60	2,00
	150		30	5	60	2,50
	180		30	4	60	3
	210		30	4	60	3,5
	240		30	4	60	4
	270		30	4	60	4,5
	300		30	4	60	5
	330		30	4	60	5,5
	360		30	4	60	6
	390		30	4	60	6,5
	420		30	4	60	7
	450		30	4	60	7,5
	480		30	4	60	8
	510		30	4	60	8,5
	540		30	4	60	9
	570		30	4	60	9,5
	600		30	4	60	10
	630		30	4	60	10,5
660		30	4	60	11	

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

	680	30	4	85	60	11,5
	710	30	4	89	60	12

Date : 12/08/2022						
Site :2IE OUAGA						
Point 10						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379433°	Latitude	-1,502042 °		
Série	Temps (min)	Delta T (min)	h (mm)	hcumul (mm)	1heure	T en H
I	0	0	0	0	60	0,00
	10	10	0	0	60	0,17
	20	10	0	0	60	0,33
	30	10	0	0	60	0,50
II	50	20	1	1	60	0,83
	70	20	0	1	60	1,17
	90	20	1	2	60	1,50
III	120	30	0	2	60	2,00
	150	30	1	3	60	2,50
	180	30	0	3	60	3
	210	30	1	4	60	3,5
	240	30	0	4	60	4
	270	30	1	5	60	4,5
	300	30	0	5	60	5
	330	30	0	5	60	5,5
	360	30	0	5	60	6
	390	30	0	5	60	6,5
	420	30	0	5	60	7
	450	30	0	5	60	7,5
	480	30	0	5	60	8
	510	30	0	5	60	8,5
	540	30	0	5	60	9
	570	30	0	5	60	9,5
	600	30	0	5	60	10
630	30	0	5	60	10,5	
660	30	0	5	60	11	
680	30	0	5	60	11,5	
710	30	0	5	60	12	

Date : 11/07/2022						
Site :2IE OUAGA						
Point 11						

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

Coordonnées géographiques	Longitude	12,379308°	Latitude	-1,502262°		
Série	Temps (min)	Delta T (min)	h (mm)	hcumul (mm)	1heure	T en H
I	0	0	0	0	60	0,00
	10	10	0	0	60	0,17
	20	10	0	0	60	0,33
	30	10	0	0	60	0,50
II	50	20	1	1	60	0,83
	70	20	0	1	60	1,17
	90	20	0	1	60	1,50
III	120	30	2	3	60	2,00
	150	30	0	3	60	2,50
	180	30	2	5	60	3
	210	30	0	5	60	3,5
	240	30	2	7	60	4
	270	30	0	7	60	4,5
	300	30	2	9	60	5
	330	30	0	9	60	5,5
	360	30	2	11	60	6
	390	30	0	11	60	6,5
	420	30	2	13	60	7
	450	30	0	13	60	7,5
	480	30	2	15	60	8
	510	30	0	15	60	8,5
	540	30	2	17	60	9
	570	30	0	17	60	9,5
	600	30	2	19	60	10
630	30	0	19	60	10,5	
660	30	2	21	60	11	
680	30	0	21	60	11,5	
710	30	2	23	60	12	

Date : 12/08/2022						
Site :2IE OUAGA						
Point 12						
Coordonnées géographiques	Longitude	12,379579°	Latitude	-1,502123°		
Série	Temps (min)	Delta T (min)	h (mm)	hcumul (mm)	1heure	T en H
I	0	0	0	0	60	0,00
	10	10	0	0	60	0,17
	20	10	0	0	60	0,33
	30	10	2	2	60	0,50
II	50	20	0	2	60	0,83

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

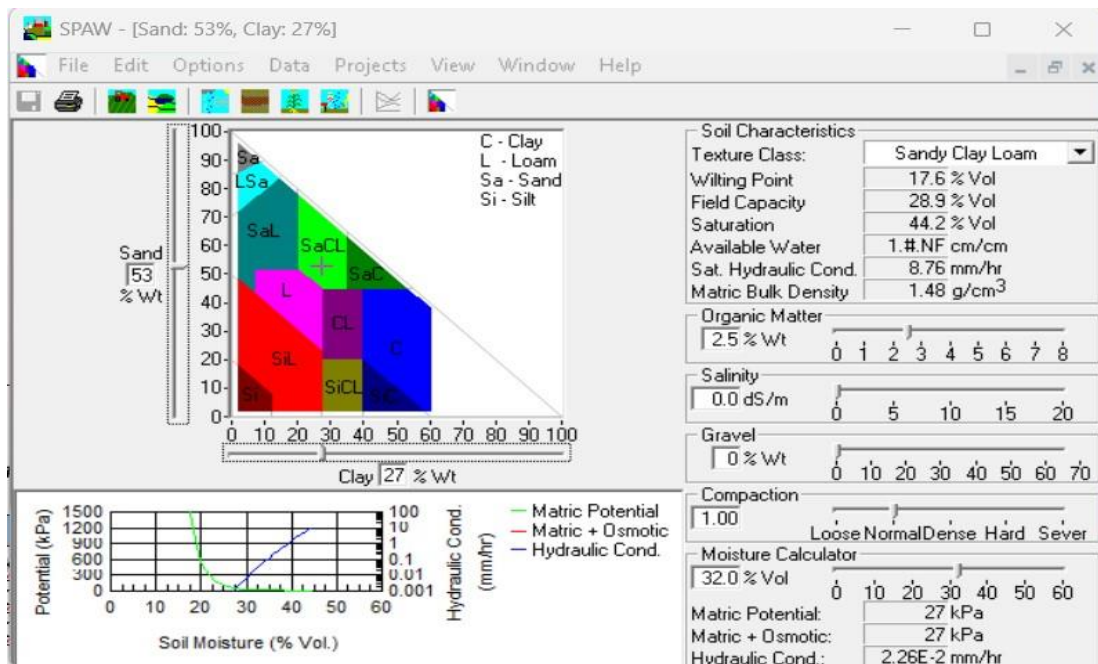
	70	20	2	4	60	1,17
	90	20	2	6	60	1,50
III	120	30	2	8	60	2,00
	150	30	2	10	60	2,50
	180	30	2	12	60	3
	210	30	2	14	60	3,5
	240	30	2	16	60	4
	270	30	2	18	60	4,5
	300	30	2	20	60	5
	330	30	2	22	60	5,5
	360	30	2	24	60	6
	390	30	2	26	60	6,5
	420	30	2	28	60	7
	450	30	2	30	60	7,5
	480	30	2	32	60	8
	510	30	2	34	60	8,5
	540	30	2	36	60	9
	570	30	2	38	60	9,5
	600	30	2	40	60	10
	630	30	2	42	60	10,5
660	30	2	44	60	11	
680	30	2	46	60	11,5	
710	30	2	48	60	12	

Annexe 2.2. Détermination de la valeur du coefficient de saturation (Ksat) sur le site

Site	Anneau	Ksat	Moyenne Ksat
2iE Ouaga	1		8,20
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		

Annexe 2.3. Caractéristiques des sols

Ksat	8,20
Owp	17,6%
Ofc	28,9%



Annexe 3 : Dimensionnement du périmètre

Annexe 3.1 : Données climatiques de 1990 à 2017

Années	Evapo-transpiration(mm)												ETP annuelle
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
1990	165,6	150,3	212,2	183,3	198,9	163,1	152	145,1	145,3	173,2	164,2	165,7	2018,9
1991	186,3	154,6	185	182,9	159,3	158,3	150,7	132,9	150,6	162,1	160,1	177,5	1960,3
1992	174	182,5	185,5	179,8	194,1	169,5	150,5	124,4	144,1	161,1	156,4	158,8	1980,7
1993	163,7	153,6	170,5	169,3	198,4	163	148,1	141	143,4	167,9	150,7	171,7	1941,3
1994	171,1	165,3	177	181,8	196,1	164,3	153,4	124,8	138,3	153,3	158,7	187,4	1971,5
1995	172,6	161,9	201,7	187,5	193,7	177,8	150,7	137,1	147	171,4	170,6	181,2	2053,2
1996	178	177,3	192,4	177,1	202,6	176,8	166,3	147,7	138,8	174	174,5	175,5	2081
1997	186,1	196,9	203,1	178,4	195,5	168,3	163,4	144,5	149,6	175,3	161,4	173,8	2096,3
1998	178,7	181,7	214,1	194,4	192,1	167,2	151,9	134,9	138,2	173	172	177,1	2075,3
1999	192,2	168,8	213,6	201,7	207,9	190	145,2	125,1	127,7	166,3	170,9	180,4	2089,8
2000	183,3	189,8	202,5	172,2	175,5	173	139,2	137,2	161,5	168,8	172,6	173	2048,6
2001	181,9	186,1	205,7	206,7	202,2	173,4	153,7	141,5	143,1	174	174	186,4	2128,7
2002	193,7	179,2	196,7	188,6	200,8	182,8	162,8	143,4	150,2	167,7	172,2	185,9	2124
2003	178,6	172,6	205,2	206,6	205,7	154,5	155	142,4	139,5	178,7	172	184,4	2095,2
2004	185,7	155,3	205,2	186,5	195,2	178,7	146,5	145,1	146,9	184	173,6	180,3	2083
2005	184,6	157,2	195,8	198,6	199,3	169,9	147,9	134,9	147,3	173,7	158,3	168,1	2035,6
2006	169,9	169	209,7	195,5	202,3	221	163,2	140,2	144,4	166,1	179,8	183,8	2144,9
2007	199,8	188,1	217,9	182,1	192,4	187,7	160,1	135,4	145,2	183,2	184,1	190,4	2166,4
2008	191,2	204,6	215,9	206	198,5	172,7	148,8	140,9	139,7	174,5	177,8	189,5	2160,1
2009	175,8	181,2	207,1	194,7	207,8	172,6	159,5	145,5	147,8	181,6	181,7	187,6	2142,9
2010	192,4	189,6	206,2	191,9	194,3	162,8	150,6	142,4	144,4	164	168,3	167,7	2074,6
2011	180,2	162,6	209,7	214,6	203,8	174,6	156,9	139,9	150,5	174	171,7	188,4	2126,9

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

2012	196,2	196,1	224,9	201,3	200,8	175,6	146,4	147,9	142,2	179,3	181	195,1	2186,8
2013	194,4	185	214,3	199,8	218,3	193,9	158,3	136,9	151,6	180,2	180,2	192,8	2205,7
2014	194,9	195,8	194,6	215,7	201,1	180	160,1	145,1	144,7	179,7	172,2	191,7	2175,6
2015	204,4	187,5	229,5	228,1	247,1	193,8	165,2	132	136,9	167,6	164,5	194,1	2250,7
2016	205,3	196,2	232,6	232,2	232,5	176,9	155,9	135,3	139,5	169,3	160	184,9	2220,6
2017	185,3	213,7	240,5	224,3	198,5	157,4	159,6	138,8	150,7	181,6	160,4	177,1	2187,9
ETP moyenne mensuelle	184,5	178,7	206,0	195,8	200,5	175,0	154,4	138,7	144,6	172,3	169,4	181,1	2076,8
ETP journalière	6,0	6,4	6,6	6,5	6,5	5,8	5,1	4,6	4,8	5,6	5,6	5,8	
EVP Mansu	151,0	142,2	161,3	154,4	158,7	144,3	133,8	125,5	128,7	144,9	141,5	149,3	

Annexe 3.1. Evaluation des besoins en eau

Tableau 1 : Types de culture et stade de développement

Aubergine				
Phase	Initial	Stade de développement	Mi-saison	Arr-saison
Durée	30	40	40	20
Kc	0,45	0,75	1,15	0,80

Tableau 2 : Estimation des besoins en eau de la première campagne

Aubergine				
Première campagne : Février-Mai				
Mois	Février	Mars	Avril	Mai
Nombre de jours	28	31	30	31
Kc	0,45	0,73	0,94	0,94
Pm(mm)	0,09	4,30	25,20	63,60
Peff (mm/j)	0	0,08	0,50	1,23
ETO (mm)	178,70	206,03	195,77	200,52
ETM(mm/j)	2,87	4,86	6,13	6,06
BN(mm/j)	2,87	4,77	5,63	4,53
Ea	0,85	0,85	0,85	0,85
BB(mm/j)	3,38	5,61	6,62	5,68
Volume brut journalier (m ³ /j)	9,45	15,72	18,55	15,91

Tableau 3 : Estimation des besoins en eau pour la seconde campagne

Seconde campagne : Septembre-Décembre				
Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Nombre de jours	30	31	30	31
Kc	0,45	0,75	0,96	0,91
Pm(mm)	138,31	28,2	0,60	0,10
Pe _{ff} (mm/j)	3,69	0,55	0,01	0,00
ETO (mm)	144,61	172,34	169,42	181,08
ETM (mm/j)	2,17	4,17	5,44	5,32
BN (mm/j)	0,00	3,62	5,43	5,31
Ea	0,85	0,85	0,85	0,85
BB (mm/j)	0,00	4,26	6,38	6,25
Volume brut journalier (m ³ /j)	0,00	11,94	17,87	17,50

Annexe 3.2. Dimensionnement préliminaire

Tableau 4 : Dimensionnement préliminaire

Dimensionnement préliminaire	
Dose brute (mm)	6,63
T(j)	1
Rampe(m)	4
E asperseurs(m)	5
Longueur périmètre(m)	70
Largeur périmètre(m)	40
Nombre rampes initial	32
Temps max travail (Tw max)	18
Temps arrosage par poste(h)	4,45
Nombre rampe simultanée initial	4
Nombre de poste par jour	4

Annexe 3.3. Dimensionnement final

Tableau 4 : Dimensionnement final

Dimensionnement final	Valeur
Superficie nette (ha)	0.28
Nombre de parcelle	4
Longueur périmètre (m)	70
Largeur périmètre (m)	40
Temps par poste d'arrosage Ts (h)	4.45
Dose brute Db (mm)	6.63
E_rampe (m)	5
E_asp (m)	5
Nombre_sous primaire	2
Longueur_sous primaire(m)	30
Longueur_rampe	16
Nombre_asperseur/rampe	3
Q_rampe (l/h)	153
Nombre_rampe_simultané_initial	8
Nombre de rampes simultanée finale	8
Nombre de porte rampes par sous primaire	2.00
Nombre_rampe/porte_rampe	4.00
Longeur_porte_rampe (m)	15.00
Nombre asperseur par rampes en fonction simultané	24.00
Nombre de sous primaire	2.00
Longueur sous primaire (m)	30
Nombre totale d'asperseur totale	96
Nombre total de rampes	32
Q_porte_rampe (l/h)	612
Q_sous_primaire (l/h)	1200

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

Q _e (l/s/ha)	1.04
Q _{syst} (m ³ /h)	1,2

Tableau 6 : Formule empirique de dimensionnement de la canalisation de refoulement

Auteurs	Expressions	Unités-Annotations
Bresse	$D_{th}(m) = 1,5 * Q^{0,5}$	$D_{th}(m)$: diamètre théorique $Q(m^3/s)$: débit transporté par la conduite n : nombre d'heures de pompage (h/j) $V_{ref} (m/s)$: vitesse de refoulement de l'eau
Meunier	$(1 + 0,02n) * Q^{0,5}$	
Achour et Bedjaoui	$1,27 * Q^{0,5}$	
Bonnin	$D_{th}(m) = Q^{0,5}$	
Condition de GLS	$V_{ref} \leq \left(\frac{DN_{retenu}}{50}\right)^{0,25}$	

Tableau 7 : Calcul de la HMT

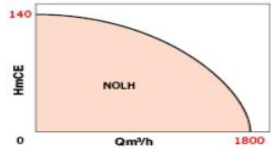
ΔH aspiration (m)	0,051
ΔH support asperseur (m)	0,125
Pression nominale asperseur(m)	20
Hauteur géométrique (H géo)	1,1
H totale	34,19
ΔH pièces (m)	3,419
ΔH compteurs volumétriques(m)	0,5
ΔH filtres, injecteurs (m)	2
ΔH simple conduite	0,034
HMT(m)	61

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

Tableau 8 : Information sur la pompe

PLAGES D'UTILISATION	
Débits jusqu'à :	1800 m ³ /h
Hauteurs manométriques jusqu'à :	140 mCE
Pression de service :	Jusqu'à 16 bar*
Plage de température :	-20 à +120°C

NOLH
POMPES CENTRIFUGES MONOCELLULAIRES NORMALISEES EN 733 (NFE 44111), ISO 5199
Industrie – Agriculture – Chauffage



AVANTAGES

- Performances hydrauliques et cotes fonctionnelles de raccordement conformes à la norme EN 733 en 50 tailles + 19 modèles "extension".
- Arbre et paliers renforcés pour répondre à la norme ISO 5199.
- La gamme standard est équipée de chaises fonte pour assurer une meilleure rigidité de l'ensemble.
- Possibilité de construction en fonte lamellaire (version ML) ou en inox 316 (version MX), en fonction de l'application.
- Maintenance aisée grâce au système "process" permettant le démontage du mobile sans débrider le corps de pompe ni déplacer le moteur (avec l'option spacer).
- Quench et flushing optionnels sur demande.

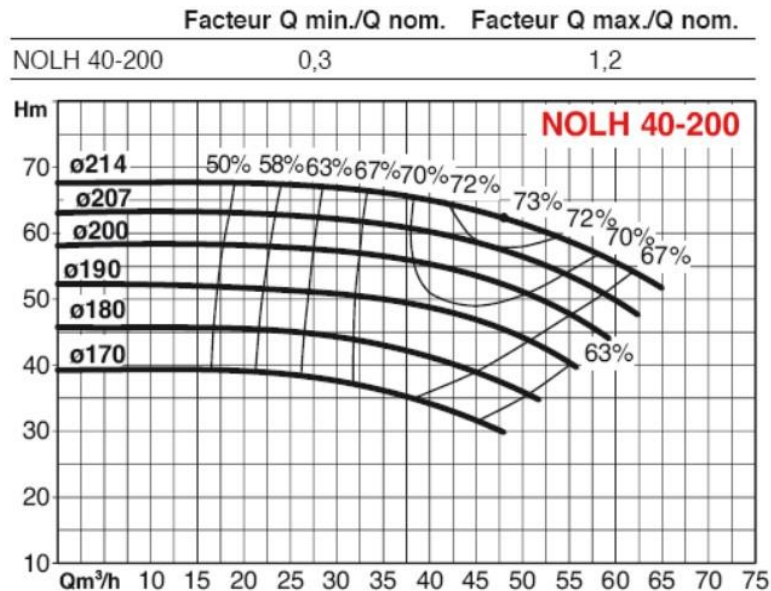
APPLICATIONS

- Pompage de fluides clairs ou légèrement troubles sans particules solides dans les domaines d'applications suivants :
- Industrie chimique, plastique, peinture, textile, papier, etc.
 - Industrie alimentaire, pharmaceutique, etc.
 - Industrie du bâtiment
 - Relevage d'effluents
 - Chauffage et climatisation.
- Version ATEX possible
- Un large choix de matériaux permet de répondre à des besoins spécifiques en industrie.



* NOLH version arbre nu

PERFORMANCES HYDRAULIQUES



Annexe 3.4: Dimensionnement des batteries et des panneaux

Formule de détermination du nombre de batterie

- **Calcul de la puissance sortante des batteries vers la pompe (Pout-bat)**

$$P_{out-bat} = \frac{Q_{pmp} * HMT}{360 * \eta}$$

Avec :

Q_{pmp} = Débit de pompage ;

HMT = hauteur manométrique totale ;

$\eta = e1 * e2$ = rendement motopompe (40%) ;

$e1$ = Efficiencie de la pompe (compris entre 50% et 80%) ;

$e2$ = Efficiencie du moteur électrique (compris entre 70% et 90%).

- **Calcul de la puissance entrante dans les batteries**

$$P_{in-bat} = P_{out-pan} * \frac{T_{pmp}}{T_{ens}}$$

Avec :

T_{pmp} : temps nécessaire au pompage ;

T_{ens} : temps d'ensoleillement des panneaux solaires ;

P_{in-bat} = puissance fournie par les panneaux solaires aux batteries ;

- **Calcul du volume d'énergie nécessaire au pompage**

$$E_{bat-pmp} = MAX(\Delta E_{bat,i}) + ABS(MIN(\Delta E_{bat,i}))$$

Avec :

$\Delta E_{bat,i} = E_{in-bat,i} - E_{out-bat,i}$ la variation du volume d'énergie cumulée.

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

- **Calcul de l'énergie total stocker dans les batteries :**

$$E_{stock-bat} = \frac{E_{bat-pmp}}{(1 - \delta) * \mu * (1 - \theta)}$$

Avec :

μ : taux admissible de décharge des batteries (50%) ;

δ : Pertes dans les batteries (10%) ;

θ : Pertes dans les convertisseurs (3%).

- **Calcul de l'énergie par unité de batterie :**

$$E_{bat} = \frac{U_{bat} * IT_{bat}}{1000}$$

Avec :

U_{bat} = Voltage unité de batterie (V) ;

IT_{bat} = Ampérage unité de batterie (Ah).

Résultats de dimensionnement du nombre de batterie

Désignations	Valeurs
Débits de pompage Q (m3/h)	1,2
Hauteur manométrique totale HMT (m)	61
Rendement de la pompe η (%)	40
Puissance sortant des batteries vers la pompe P_out_bat (KW)	0,50
Temps d'ensoleillement des panneau solaires T_ens (h)	8
Temps nécessaire au pompage T_pmp	18
Puissance fournie par les panneaux solaires aux batteries P_in_bat (KW)	1,14

Conception d'un aménagement irrigué de 0,28 hectare sous pression et à l'énergie photovoltaïque pour la valorisation en agriculture des eaux usées traitées par la STEP du campus de 2iE Ouagadougou

Temps de travail des batteries (h)	8
Energie nécessaire au pompage E_bat_pmp (KWh)	4,06
Taux admissible de décharge batterie μ	50%
Pertes dans batterie δ	10%
Perte dans l'onduleur Θ	3%
Energie totale stock batteries E_stock_bat (Kwh)	9,31
Voltage unité batterie U_bat (V)	12
Ampérage unité batterie It_bat (Ah)	300
Energie unité batterie E_bat (KWh)	3,6
Nombre total de batteries N_bat	2,58
Nombre total de batteries retenues N_bat_reten	3
Taux énergie utilisée par le pompage E_pmp/stock (%)	43,65
Nombre de batterie en série	3
Nombre de batterie en parallèle	1
Tension totale à la sortie des batteries U_tot_bat (V)	36
Intensité totale à la sortie des batteries I_tot_bat(Ah)	300

Résultats de dimensionnement du nombre de panneaux

Désignations	Valeurs
Rendement des panneaux ρ	16-19 %
Puissance totale des panneaux P_{out_pan} (KW)	1,31
Puissance unitaire module P_{pan_mod} (W)	300,00
Nombre de panneau N	4,37
Nombre de module retenu	4
Puissance totale du champ pv(kW)	1,20
Tension du champs pv (v)	96,00
Nombre de module en serie	2
Nombre de module en parallele	2

Annexe 4 : Devis estimatif et quantitatif

Annexe4.2 : périmètre de 0,28 ha

Désignations	Unité	Quantité	PU (FCFA)	Montant
				Total (FCFA)
Installation d'un champ photovoltaïque et d'une pompe de surface				
Panneaux solaires 300Wc	U	4	150 000	600 000
Batteries 12V/280Ah	U	3	150 000	450 000
Onduleur hybride MPPT Growatt SPH6000	U	1	600 000	600 000
Cadres métalliques pour support des panneaux	U	1	200 000	200 000
Ensemble câblage et accessoires	U	1	250 000	250 000
Ensemble conduite et accessoires		1	250 000	250 000
Pompe de surface NOLH	U	1	600 000	600 000
Sous total 001				2 950 000
Réseau d'irrigation				
Labour, défrichage et planage		-	100 000	100 000
Fouilles pour les conduites	m3	-	100 000	100 000
Micro-asperseur "rotateur" 51l/h et accessoires	U	96	1 500	144 000
Conduites en polyéthylène pour les rampes DN20mm	ml	32	2 000	64 000
Conduites en PVC DN50mm	ml	8	3 500	28 000
Conduites en PVC DN110mm	ml	6	5 000	30 000
Pièces de connexion (vannes, ventouse,)	U	16	15 000	240 000
Petits matériels d'exploitation pour le fauchage de foin		-	200 000	200 000
Filtres à sable	U	1	55 000	55 000
Sous total 002				961 000

Installation d'une clôture grillagée				
Fourniture de cornière 40 lourd de 2m haut	m	200	3 000	600 000
Fourniture de grillage de hauteur 2m maille 2cm*2cm et du fil de 2,5mm	m	400	4 000	1 600 000
Sous total 003				2 200 000
Couts MO/ Installation (30% cout total)				
Sous total 004				1 833 300
Cout total d'investissement (FCFA)				7 944 300

▪ **Evaluation des amortissements**

Evaluation des amortissements					
Designation	U	Quantité	Coût	Durée de vie (An)	Amortissement/an
					F(CFA)
Installation d'un champ photovoltaïque et d'une pompe de surface	U	-	2 950 000	5	590 000
Aménagement du périmètre	U	-	961 000	5	192 200
Installation clôture grillagée	U	-	2 200 000	5	440 000
Petits matériels d'exploitation pour le fauchage des foins	U	-	200 000	10	20 000
Main d'œuvre techniciens	U	-	1 833 300	2	916 650
Total amortissement (1)	U	-	-		2 158 850

▪ **Calcul des charges de production**

Calcul des charges de production				
Rubriques	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Montant (FCFA)
Semences	Kg	200	2000	400 000
Fumier organique si nécessaire		20	1500	30 000
NPK	kg	400	800	320 000
Traitement phyto	-	30	1000	30000
Nombre de campagne	2			1 560 000
Total charge de production				1 560 000

▪ **Estimation du chiffre d'affaires**

Rubriques	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Rendement moyen en grains	Kg	4000	500	2000000
Biomasse	Tonnes	5	200 000	1 000 000
Nombre de campagnes	2			6 000 000
Chiffre d'affaires total (3)				6 000 000

• **Calcul des résultats prévisionnels**

Calcul des résultats prévisionnels	
Chiffre d'affaires (3)	6 000 000
Charges de production (2)	1 560 000
Valeur ajoutée (3) – (2)	4 440 000
Amortissement (1)	2 158 850
Revenu net (3) - (2) - (1)	2 281 150