



**DIAGNOSTIC ET PROPOSITION DE SOLUTIONS D'AMÉLIORATION
DES PERFORMANCES D'UN PÉRIMÈTRE RIZICOLE : CAS DU
PÉRIMÈTRE DES PICS DE SINDOU**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC
GRADE DE MASTER EN GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
SPECIALITE INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES
OPTION : EAU AGRICOLE**

Présenté et soutenu publiquement le 20 janvier 2020 par

Nébilma Jérôme BAZONGO (N° 20160050)

Directeur de mémoire : Pr Hamma YACOUBA, Professeur Titulaire à l'Institut 2iE

Co-directeurs : Dr Amadou KEITA, Maître-assistant, Laboratoire Eaux Hydro-
Systèmes et Agriculture (LEHSA), Institut 2iE
Dr Aïssata Delphine BAMA NATI, Chargée de Recherche
CAMES en Hydraulique Agricole, INERA

Structure d'accueil : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Pr Yacouba KONATE

Membres et correcteurs : Mr Roland YONABA

Mr Amadou SIMAL

Promotion [2018/2019]



DEDICACES

Je dédie ce travail à ma famille et à tous ceux qui de loin ou de près m'ont soutenu tout au long de ma formation.

CITATIONS

« L'eau est le passé de l'homme. Les eaux sont l'avenir de l'humanité »

Jean RODIER, avril 1978.

REMERCIEMENTS

Au terme de ces travaux, je tiens tout particulièrement à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur Dr Amadou KEITA, Enseignant-Chercheur à l'Institut 2iE pour sa disponibilité et ses conseils avisés. J'exprime ma gratitude et ma reconnaissance au Dr Dial NIANG également Enseignant-Chercheur à l'Institut 2iE pour sa disponibilité et son soutien. Mes remerciements vont aussi à l'ensemble du corps professoral de l'Institut 2iE pour la qualité de la formation reçue, pour les conseils et les encouragements dont nous avons toujours bénéficiés. Merci chers enseignants.

Je tiens tout particulièrement à manifester ma reconnaissance au Directeur du Centre de Recherches Environnementales, Agricole et de Formation (CREAF) de l'INERA-Kamboinsé, Docteur Korodjouma OUATTARA et à l'ensemble de son personnel. Mes remerciements vont notamment :

Au Directeur du CREAF lui-même pour avoir accepté notre stage et surtout pour l'attention particulière dont il a fait preuve à notre égard et

A mon encadreur, Dr. Aïssata Delphine NATI/BAMA, qui n'a ménagé aucun effort pour satisfaire nos multiples sollicitations grâce sa constante disponibilité et ses remarques très opportunes et pour son encadrement efficient ;

Je remercie également mes collaborateurs Éric KABORE, Dieudonné OUATTARA et l'ensemble des paysans du périmètre des Pics de Sindou qui se sont mobilisés pour la réussite de ces travaux de terrain.

Mes remerciements vont également à l'ensemble de mes collègues promotionnaires pour leur collaboration fort enrichissante et confraternelle. Et particulièrement à mes très chers amis Habiba BARKE, Aurélie TAPSOBA et Ousséni SANKARA pour avoir partagé cette période de 9 mois de stage, merci pour vos collaborations et contribution.

Je formule également de vifs remerciements à l'endroit du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement pour avoir créé un cadre propice à l'apprentissage dans lequel j'ai eu l'opportunité d'évoluer. Particulièrement au Directeur Général de l'Agence de l'Eau des CASCADES, Mr Pierre BAKYONO et à son personnel, j'adresse mes reconnaissances pour leur accompagnement dans les moments difficiles que j'ai eu à traverser durant mon stage terrain.

Je remercie sincèrement toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont apporté leur contribution à l'aboutissement de ce stage.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

RESUME

Avec une superficie exploitée de **200 ha**, le périmètre des pics de Sindou est confronté aux aléas climatiques telles que les crues brutales et les longues poches de sécheresse. Il a un bassin versant d'une superficie de **25 km²**, dont une grande partie repose sur le bassin sédimentaire du Kawara-Sindou. Sa nappe d'eau y est fortement captive. Des sources d'eau de **21,6m³/h** alimentent le périmètre. Le diagnostic réalisé a permis de faire l'état des lieux du périmètre. Il ressort que la quasi-totalité des ouvrages sont dans un état défectueux. Et l'assainissement y est un véritable problème.

Un projet d'aménagement hydroagricole de **320 ha** est proposé pour améliorer les performances du périmètre. Ce projet vise la valorisation de la nappe captive du Kawara-Sindou et la valorisation de l'énergie photovoltaïque et la promotion des systèmes d'irrigation économe d'eau.

Le système d'irrigation adopté est la micro-aspersion avec un débit d'équipement de **1,68 l/s/ha**. Son alimentation est gravitaire grâce à un réservoir rectangulaire en béton armé d'une capacité de **24 000 m³**. Le réservoir est semi-enterré et son radier est calé à la côte **364 m**. Il est alimenté par **30 forages**. Chaque forage est équipé d'une pompe immergée ayant un débit nominal **121,97 m³/h** et une puissance nominale de **22,45 kW**. La centrale solaire dispose d'une puissance minimale de **8,6 MWc** en période estivale et permet d'éviter le rejet de **1805 tonnes par an de CO₂** dans l'environnement.

Le coût de l'aménagement hydroagricole est de **1 118 402 198 FCFA TTC** soit **3 883 341 F CFA/ha**, pour une durée de retour sur investissement de **deux ans et demi**.

Mots clés.

-
- 1 – Aménagement hydroagricole**
 - 2 – Diagnostic**
 - 3 – Eau souterraine**
 - 4 – Energie solaire**
 - 5 – Irrigation par aspersion**

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ABSTRACT

With a cultivated area of **200 ha**, the perimeter of the peaks of Sindou is faced with climatic hazards such as flood brutal and long pockets of drought. It has a catchment area of **25 km²**, much of which is based on the sedimentary basin of Kawara-Sindou. Its water table is strongly captive. Water sources of **21.6m³/h** feed the perimeter. The diagnosis allowed to make the inventory of the perimeter. It appears that almost all the works are in a defective state. And sanitation is a real problem.

A hydro agricultural project of **320 ha** is proposed to improve the perimeter performances. This project aims to valorize the captive water table of Kawara-Sindou, photovoltaic energy and water-saving irrigation systems.

The irrigation system adopted, is the micro-sprinkler irrigation with an equipment flow of **1.68 l/s/ha**. Its supply is gravity through a rectangular tank in reinforced concrete with a capacity of **24,000 m³**. The reservoir is semi-buried and its base is wedged to the coast **364 m**. It is fed by **30 boreholes**. Each borehole is equipped with a submerged pump with a nominal flow rate of **121.97 m³/h** and a nominal power of **22.45 kW**. The solar power station has a minimum power of **8.6 MWp** in summer. It avoids the release of **1,805 tons per year of CO₂** into the environment.

The cost of hydro agricultural development is **1,118,402,198 FCFA** or **3,883,341 CFA/ha**, for a return on investment of **two and a half years**.

Key words :

-
- 1 – Hydro-agricultural development**
 - 2 – Diagnosis**
 - 3 – Underground water**
 - 4 – Solar energy**
 - 5 – Sprinkler irrigation**

LISTE DES ABREVIATIONS

AWDI :	Alternate Wetting and Drying Irrigation
BAD :	Banque Africaine de Développement
CEP :	Cours d'eau principal
CREAF :	Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation
DRREA :	Directions régionales de recherches environnementales et agricoles
EIES	Etude d'impact environnemental et social
INERA :	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
Institut 2iE :	Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
IWMI :	International Water Management Institute
MAAH :	Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro-agricoles
MARHR :	Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MEA :	Ministère de l'Eau et l'Assainissement
ORC :	Opération Riz Comoé
PGES	Plan de Gestion Environnementale et Sociale
PIB :	Produit Intérieur Brut
SOTICI	Société de Transformation Industrielle en Côte d'Ivoire
TAAT	Technologies for African Agricultural Transformation
WEC	Water Enabler Compact

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

SOMMAIRE

DEDICACES	i
CITATIONS.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
SOMMAIRE	vii
LISTES DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES	x
INTRODUCTION.....	1
I. PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE.....	2
II. OBJECTIFS DU TRAVAIL.....	3
III. PRESENTATION GENERALE	4
IV. MATERIEL ET METHODES	10
V. RESULTATS ET DISCUSSION	24
VI. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	41
CONCLUSION	42
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	I
ANNEXES	V
TABLE DES MATIERES	LXVIII

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Méthode de calcul de la capacité utile du réservoir	20
Tableau 2 : Irradiation moyenne mensuelle de la zone du projet.....	21
Tableau 3 : Données culturales des spéculations	32
Tableau 4 : Calendrier culturel du périmètre.....	33
Tableau 5 : Paramètres du dimensionnement préliminaire	34
Tableau 6 : Paramètre de l'asperseur choisi.....	35
Tableau 7 : Résultats de l'analyse fréquentielle des pluies annuelles.....	VII
Tableau 8 : Résultats de l'analyse fréquentielle des pluies journalières maximales.....	VII
Tableau 9 : Données pluviométriques de la station agrométéorologique de Bérégadougou	VIII
Tableau 10 : Synthèse des paramètres géomorphologiques du bassin versant	IX
Tableau 11 : Détermination Kr10.....	XIII
Tableau 12 : Détermination du débit décennal par la méthode du CIEH.....	XIV
Tableau 13 : Résultats du calcul des besoins journaliers maximums de pointe.....	XVI
Tableau 14 : Caractérisation du sol	XVIII
Tableau 15 : Dimensionnement des conduites du Bloc C.....	XIX
Tableau 16 : Dimensionnement des conduites de transport du Réservoir au Bloc C	XX
Tableau 17 : Dimensionnement des conduites du Bloc A	XXI
Tableau 18 : Dimensionnement des conduites du Bloc B.....	XXII
Tableau 19 : Dimensionnement des conduites du Bloc D	XXIII
Tableau 20 : Dimensionnement des conduites des Blocs E et F	XXIV
Tableau 21 : : Dimensionnement des conduites des Blocs G et H.....	XXV
Tableau 22 : Dimensionnement des conduites du Bloc I.....	XXVI
Tableau 23 : Dimensionnement des conduites du Bloc J.....	XXVII
Tableau 24 : Dimensionnement des conduites du Bloc K	XXVIII
Tableau 25: Dimensionnement des conduites du Bloc L.....	XXIX
Tableau 26 : Dimensionnement des conduites du Bloc M.....	XXX
Tableau 27 : Dimensionnement des conduite de transport des Biefs C-F-G-M-I-J.....	XXXI
Tableau 28 : Calcul de la capacité utile du réservoir	XXXII
Tableau 29 : Synthèse des composants sélectionnés.....	XXXIII
Tableau 30 : Quantité de CO ₂ évitée.....	XXXIII
Tableau 31 : Grille d'évaluation des impacts.....	XXXIV
Tableau 32 : Plan de mise en œuvre des mesures d'atténuation.....	XXXV

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

Tableau 33 : Plan de Suivi Environnemental et Social	XXXVI
Tableau 34 : Evaluation du coût du PGES	XXXVII
Tableau 35 : Devis estimatif de l'assainissement du périmètre des pics de Sindou	XXXVIII
Tableau 36 : Devis estimatif des travaux d'aménagement d'irrigation par aspersion	XL
Tableau 37 : Compte d'exploitation pour la production de la Tomate par hectare	XLIII
Tableau 38 : Les valeurs de prédimensionnement	XLVI
Tableau 39 : Localisation des sections par rapport au terrain naturel et effort normal	LVII
Tableau 40 : détermination des efforts tranchant et des moments	LVIII
Tableau 41 : Localisation des sections par rapport au niveau de l'eau	LIX
Tableau 42 : Données utilisées pour le calcul	LXVI

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du périmètre des pics de Sindou	5
Figure 2 : Courbe ombrothermique de la station agrométéorologique de Bérégadougou	7
Figure 3 : Pluviométrie annuelle à la station agrométéorologique de Bérégadougou.....	7
Figure 4 : Indice pluviométrique à la station agrométéorologique de Bérégadougou	7
Figure 5 : Réseau hydrographique et sous-bassins hydrographique du bassin de la Comoé	8
Figure 6 : Géologie et hydrogéologie du bassin de la Comoé	9
Figure 7 : Motopompe.....	10
Figure 8 : Tuyaux de refoulement ou d'aspiration.....	10
Figure 9 : Dispositif de l'essai du double anneau sur le terrain	10
Figure 10 : Schéma du système de pompage photovoltaïque	22
Figure 11 : Plan détaillé actuel du périmètre des pics de Sindou.....	24
Figure 12 : Premier schéma d'aménagement du périmètre des pics de Sindou.....	25
Figure 13 : Source d'eau principale protégée par le CLE NOULA	26
Figure 14 : Canal central enherbé.....	26
Figure 15 : Batardeau sur le canal principal.....	26
Figure 16 : Dalot fragilisé par les arbres	26
Figure 17 : Diguette à courbe de niveau détériorée.....	27
Figure 18 : Limite du bassin versant du périmètre des pics de Sindou	28
Figure 19 : Courbe hypsométrique du bassin versant du périmètre des pics de Sindou	29
Figure 20 : Sol du bassin versant du périmètre	30
Figure 21 : Géologie et hydrogéologie du bassin versant du périmètre.....	31
Figure 22 : Plan détaillé du périmètre des pics de Sindou	35
Figure 23 : Schéma du réseau d'irrigation avec distribution de pression	37
Figure 24 : Schéma du réseau d'irrigation avec distribution de vitesse.....	38
Figure 25 : Localisation du bas-fond des pics de Sindou.....	IX
Figure 26 : Détermination du temps de base en zone tropicale sèche.....	XIII
Figure 27 : La géométrie des parois	XLV
Figure 28 : Les efforts extérieurs appliqués sur le mur-Réservoir vide avec remblai	XLVII
Figure 29 : Répartition trapézoïdale de la réaction du sol-Réservoir vide avec remblai	L
Figure 30 : Répartition triangulaire de la réaction du sol-Réservoir vide avec remblai	L
Figure 31 : Les efforts appliqués sur le mur-Réservoir plein sans remblai.....	LI
Figure 32 : La répartition de la réaction du sol ; cas réservoir plein sans remblais	LIII

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

Figure 33 : répartition triangulaire de la réaction du sol ; cas réservoir plein sans remblai ..LIII
Figure 34 : les efforts appliqués sur le mur ; cas réservoir plein avec remblai LIV
Figure 35 : La répartition de la réaction du sol ; cas réservoir plein avec remblais.....LV
Figure 36 : répartition triangulaire de la réaction du sol ; cas réservoir plein avec remblai . LVI
Figure 37 : Les sections critiques dans les parois (y compris la semelle)..... LVII
Figure 38 : Plan de ferrailage des paroisLXV
Figure 39 : Dimensions finales des paroisLXVI

INTRODUCTION

Le Burkina Faso à l'instar des pays du Sahel, est durement éprouvé par les conditions climatiques extrêmes. Ce qui l'expose fortement aux phénomènes récurrents de crue et de sécheresse (PIEYNS, 2017). Dans un tel contexte, le Burkina Faso a développé des stratégies socio-économiques, et agricoles visant la croissance économique et le progrès social. Des stratégies faisant appel à la maîtrise d'eau ont été élaborées dans le but de sécuriser et d'améliorer les productions agricoles. Cependant force est de constater que l'agriculture burkinabè demeure dépendante à plus de 75% des productions pluviales, soumises à des aléas climatiques de plus en plus sévères.

Ainsi il y a un besoin urgent de développer des actions efficaces en matière de recherche au développement pour renforcer la résilience et définir des mesures d'adaptation et d'atténuation. C'est dans cette dynamique que s'inscrit notre stage initié par l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.

A ce propos le thème de notre stage de mémoire vise à apporter une modeste contribution à l'augmentations de la productivité agricole et d'apporter des solution innovante s et soucieuse de l'environnement.

Le rapport qui en est issu est articulé autour de trois parties principales : une première partie qui traite des généralités sur la structure d'accueil et de la zone d'étude, une seconde partie sur le cadre conceptuel de l'étude et une troisième partie qui présente les différents résultats atteints et une discussion autour de ces derniers.

I. PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE

Le site du périmètre des pics de Sindou fait partie de la vaste plaine d'inondation de Niofila-Douna dans le bassin versant de la Léraba orientale. Situé à trois kilomètres à l'Est de Sindou et couvre une superficie d'environ 320 ha. Le périmètre est alimenté par une source permanente provenant des pics de Sindou, qui coule avec un faible débit d'étiage.

Ce cours d'eau, appelé « Tenou Houma » en TURKA (cours d'eau des montagnes) ou « Kouroukofè Kô » en DIOULA (cours d'eau situé derrière les montagnes), est un affluent de la Léraba orientale. Il a un régime torrentiel aux crues brutales de courtes durées et une pente transversale faible.

Ayant une superficie estimée à 25 km², son bassin versant comporte des sols hydromorphes à pseudogley développés sur matériau limono-argileux présentant un faible drainage. Les conditions pédoclimatiques offrent donc des possibilités au développement de la riziculture. D'un autre côté, la population riveraine du périmètre est connue comme ayant une très longue tradition dans l'aménagement et la maîtrise de l'eau dans les bas-fonds (BATTESTI, 1957) et (SAKA, 1991).

Cependant, malgré les potentialités pédoclimatiques et les techniques traditionnelles d'aménagement et de maîtrise d'eau de la population riveraine, le périmètre subit les conséquences des changements climatiques. En effet, la multiplication des inondations donc des crues brutales, lorsqu'elles surviennent, détruisent les aménagements et les ouvrages de régulation traditionnellement conçus sur le périmètre. Ce qui amènent une fréquence importante de reprise des travaux de mise en valeur du périmètre. En plus, les longues poches de sécheresse entraînent la réduction des surfaces cultivables sur le périmètre. Et cette surface cultivable se concentre davantage autour des canaux d'irrigation et de drainages traditionnellement conçus. Au vu de ce qui précède, un aménagement hydroagricole approprié du périmètre permettra d'augmenter ses performances.

II. OBJECTIFS DU TRAVAIL

II.1 Objectif général

C'est donc dans ce cadre que s'inscrit notre étude, qui porte sur le thème : « Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou au Burkina Faso », et qui se donne comme objectif global de contribuer à l'amélioration des performances du périmètre des pics de Sindou de manière durable et en toute saison.

II.2 Objectifs spécifiques

Plus spécifiquement il s'agira de :

- Faire le diagnostic du périmètre existant assorti d'un plan détaillé ;
- Concevoir un plan d'aménagement du périmètre pouvant améliorer les performances du périmètre (proposer un réseau d'irrigation par micro-aspersion ; proposer un réseau de drainage ; proposer un plan de gestion du périmètre irrigué).
- Faire ressortir les impacts environnementaux de la zone à aménager ;
- Evaluer la rentabilité de l'aménagement proposé.

II.3 Résultats attendus

A l'issue de cette étude, les résultats attendus sont :

- un état des lieux du périmètre actuel est faite ;
- une conception du périmètre irrigué avec tout le réseau d'irrigation et les ouvrages est faite ;
- les impacts environnementaux de la zone à aménager sont connus ;
- une étude sur la rentabilité de l'aménagement est disponible.

III. PRESENTATION GENERALE

III.1 Présentation de la structure d'accueil

Notre travail a été possible grâce à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles du Burkina Faso (INERA) qui n'a pas hésité de nous accompagner. Il se présente comme l'un des quatre instituts spécialisés du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST). Il est chargé des études et des recherches agricoles et environnementales. Dans cette partie nous nous évertuons de faire l'historique de la création et les principales missions de l'INERA.

III.1.1 Historique

Son historique peut se résumer comme suit (OFAB, 2019):

- 1960-1978 : Les activités de recherches sont menées par les instituts français IRAT, IRCT, IRHO, CTFT,
- 1978 : Création de l'Institut de la Recherche Agronomique (IRA) ;
- 1981 : Création de l'Institut Voltaïque de Recherches Agronomiques et Zootechniques (IVRAZ) et de l'Institut de Recherche en Biologie et Ecologie Tropicale (IRBET) ;
- 1988 : L'IVRAZ devient Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles (INERA) ;
- 1996 : Création de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) à partir de la fusion de l'Institut d'Etudes et de Recherches Agricole et de l'Institut de Recherche en Biologie et Ecologie Tropicale.

III.1.2 Missions et attributions

Il a pour missions entre autres de :

- servir de cadre de programmation et d'exécution des programmes de recherche dans les domaines agricole et environnemental ;
- fournir aux chercheurs l'encadrement et l'appui nécessaires à leurs travaux ;
- fournir aux chercheurs les opportunités nécessaires à leur promotion ;
- contribuer à l'information et à la formation des chercheurs, du personnel d'appui et de soutien, des étudiants et des producteurs ;
- servir de cadre d'expertise ;
- valoriser les résultats de recherche ;
- créer des Unités de production ;
- produire et commercialiser les produits de la recherche ;
- promouvoir une recherche orientée vers une gestion durable des ressources naturelles ;

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

- assurer un appui technique au développement agricole, environnemental et forestier, y compris par des études et le suivi d'exécution de projets ;
- décentraliser et régionaliser la recherche agricole, environnementale et forestière dans le but de rapprocher les recherches de leurs utilisateurs et de promouvoir un développement optimal des potentialités agricoles, environnementales et forestières régionales (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**);
- assurer la liaison entre la recherche et le développement y compris le transfert des technologies et innovations aux utilisateurs.

III.2 Présentation de la zone d'étude

III.2.1 Situation géographique

Située à 45 km environ au nord-ouest de Banfora sur l'axe routier Banfora-Kankalaba, entre les latitudes nord 10°35'-10°44' et les longitudes ouest 5°2'-5°12', le périmètre des pics de Sindou appartient à l'immense plaine de Niofila qui s'étend sur deux départements (Sindou et Douna) dans la province de la Léraba, région des Cascades. Le périmètre des pics de Sindou est situé à 3 km à l'Est de Sindou et partage sa frontière est avec le périmètre aménagé de ladite plaine (Cf. Figure 1).

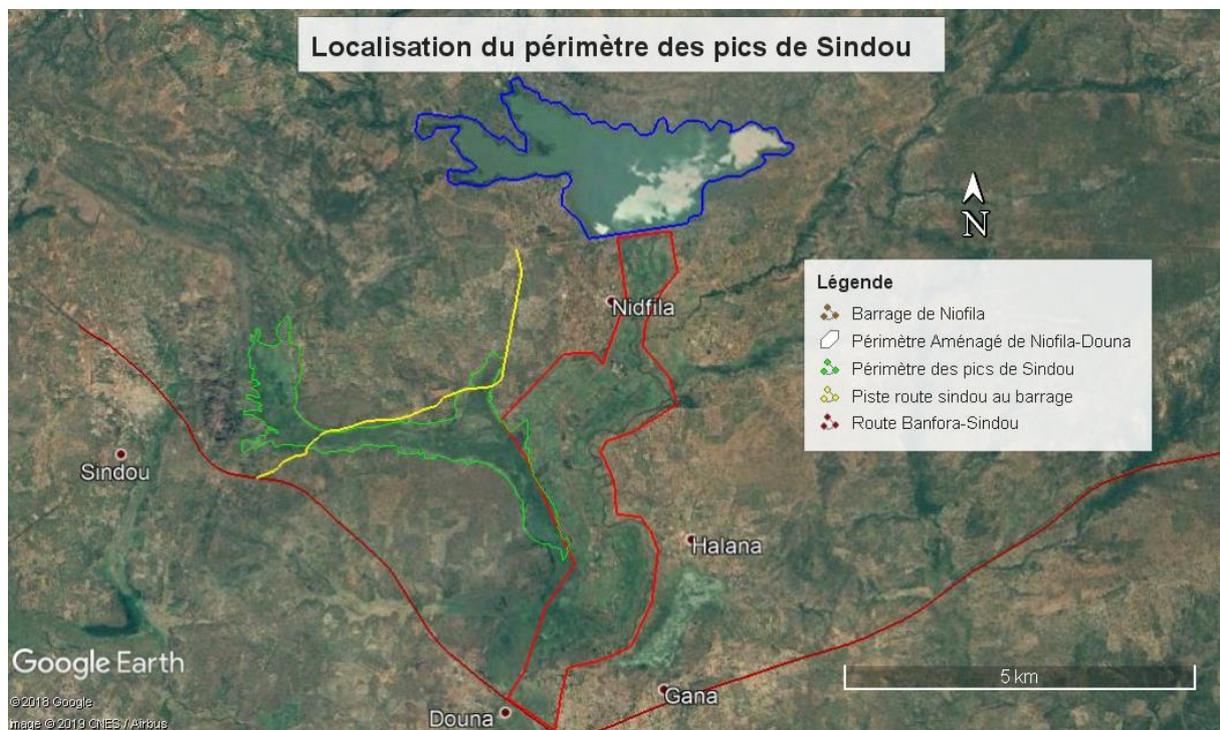


Figure 1 : Localisation du périmètre des pics de Sindou

III.2.2 Climat

Le périmètre des pics de Sindou se trouve dans la région sud soudanienne caractérisée par une saison pluvieuse bien marquée et une courte saison sèche. Les relevés pluviométriques de la période 1986-2018 de la station agrométéorologique de Bérégadougou, apportent des précisions quant à la durée de ces saisons. En effet ces données montrent que sur sept (7) mois de pluies, quatre (4) sont suffisamment arrosés (Juin, Juillet, Août, Septembre) (Cf. Figure 2).

Si les pluviométries annuelles sont comprises entre 600 mm et 1350 mm (Cf. Figure 3), ce qui est appréciable pour l'Agriculture, il n'en demeure pas moins qu'elle reste soumise à une extrême irrégularité interannuelle. Certaines années ont été favorables à l'activité agricole (1986, 1988, 2000, 2003, 2006, 2018) et d'autres l'ont été moins (1987, 1989, 1992, 2001, 2005, 2009, 2017). Cette irrégularité interannuelle a des répercussions néfastes sur les cultures (Cf. Figure 4).

III.2.3 Population et activités socio-économiques

La région des Cascades a pour chef-lieu la ville de Banfora. Elle a une superficie de 18 424 km² et une population estimée à 537 979 habitants en 2006 avec une densité de 28,9 hab/km². (LOYE , TINGUERI , ZIDA , & ZOMA , 2009). Cette population est majoritairement paysanne. C'est une région réputée pour sa grande capacité de production agricole (Riz, Maïs, Canne à sucre, Anacarde, Mangue...) ; La pratique de l'élevage des bovins et de la pêche y est aussi très courante. Zone par excellence touristique du fait de son relief accidenté et de ses ressources en eau, la région des Cascades connaît, en outre, l'installation de la 14^{ième} mine d'Or du Burkina, ainsi que l'extraction artisanale de l'or qui font d'elle, un pôle économique très attractif.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

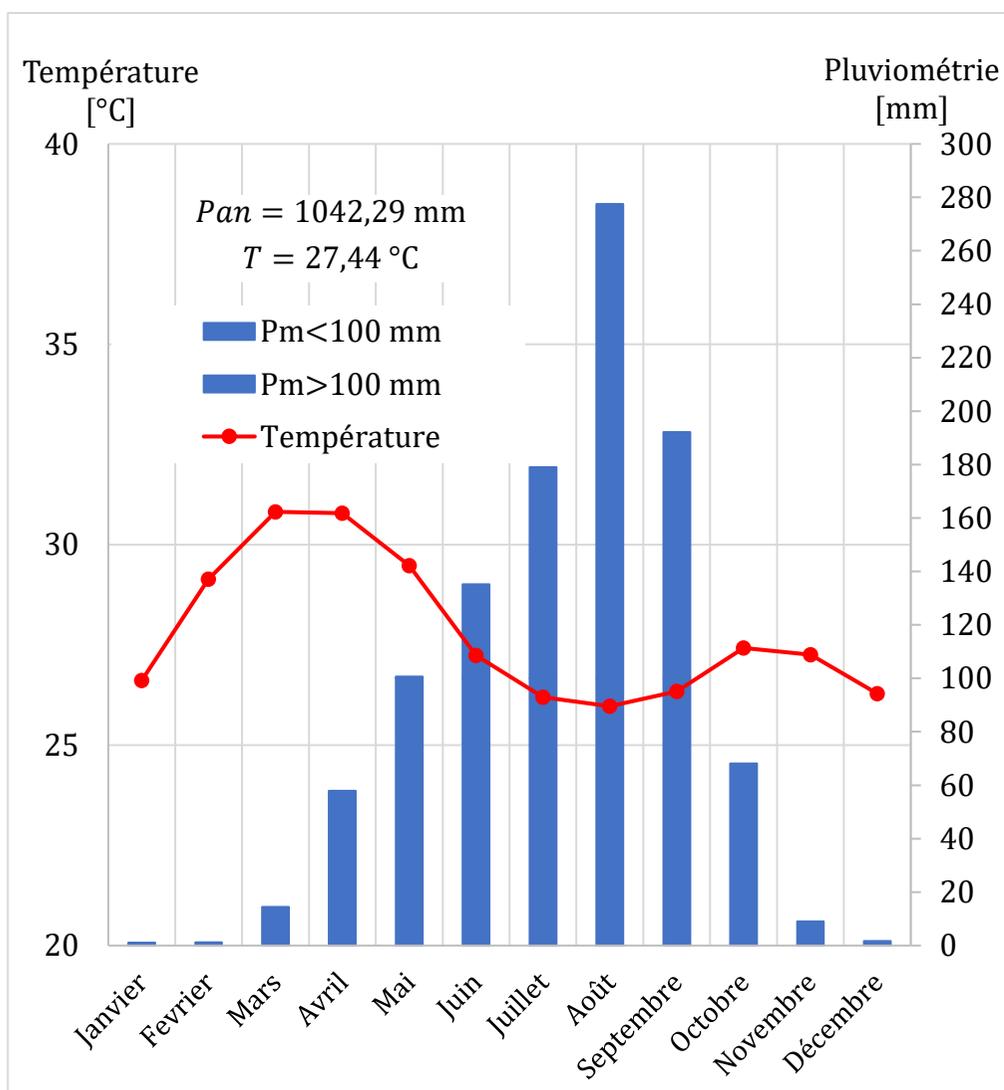


Figure 2 : Courbe ombrothermique de la station agrométéorologique de Bérégadougou

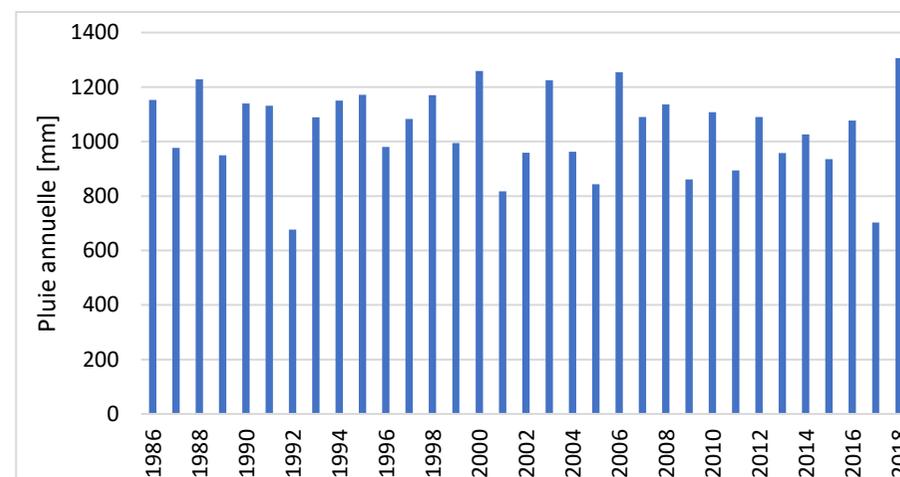


Figure 3 : Pluviométrie annuelle à la station agrométéorologique de Bérégadougou

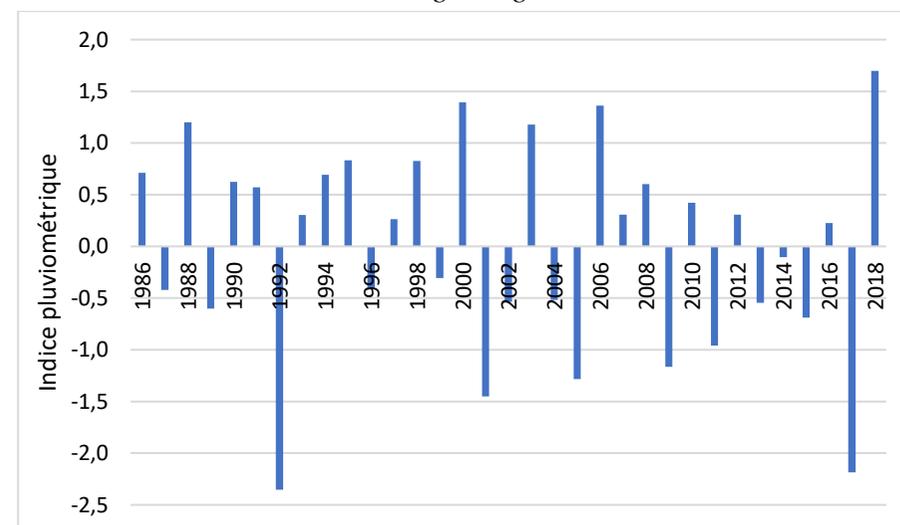


Figure 4 : Indice pluviométrique à la station agrométéorologique de Bérégadougou

III.2.4 Réseau hydrographique

La plaine de Niofila ensemble dans laquelle appartient la zone d'études, est parcourue par la Léraba orientale, un cours d'eau appartenant au système hydrographique de la Comoé. La Léraba orientale prend sa source dans la région de Kangala sur le plateau gréseux, à 550 m d'altitude. En bordure du plateau gréseux, elle forme les chutes de Tourni et de Niofila dont les attirances sont atténuées par les micro-barrages hydroélectriques des mêmes noms. Elle reçoit des affluents tels que le Badini, le Kélenkia et les sources irriguant la plaine de Niofila provenant des pics de Sindou (COWI, 2012).

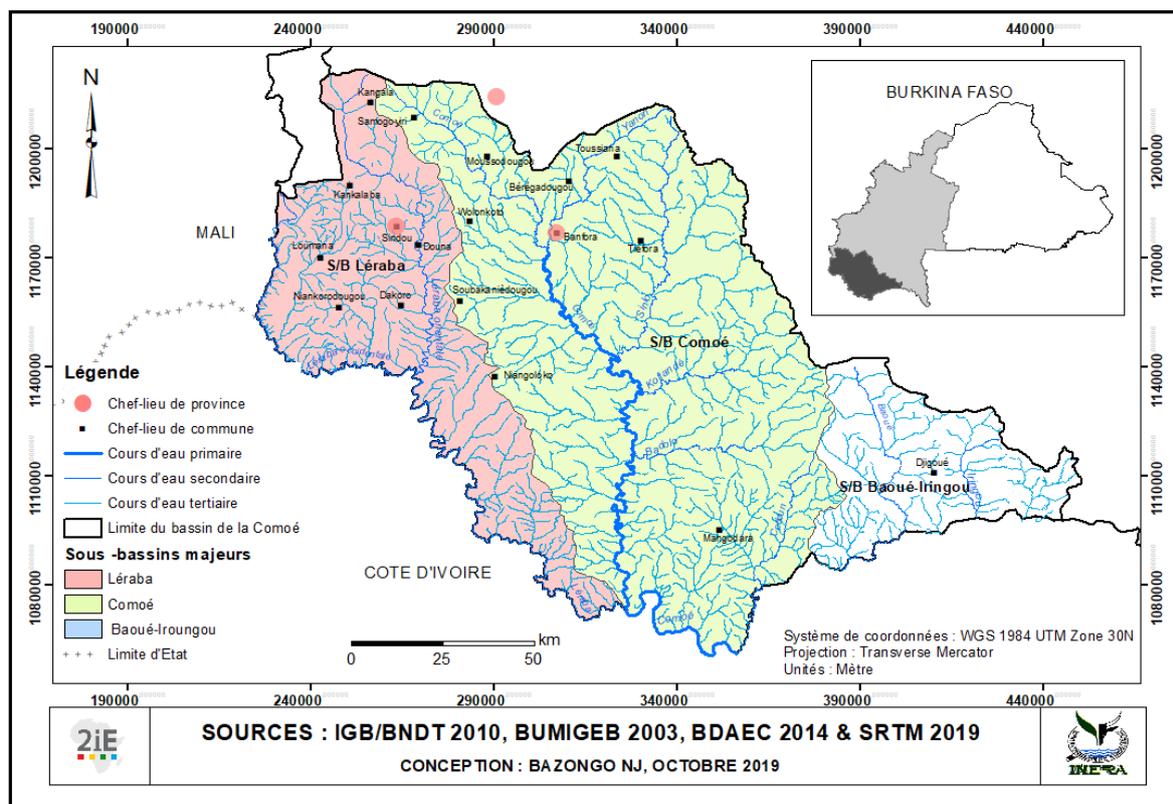


Figure 5 : Réseau hydrographique et sous-bassins hydrographique du bassin de la Comoé

III.2.5 Contexte géologique et hydrogéologique

Deux grandes zones géologiques composent le bassin hydrographique national de la Comoé. La première, zone de socle est largement prédominante dans le bassin de la Comoé dont elle occupe les parties centrale et méridionale sur une superficie de 14.798 km² soit 84% du bassin. Elle est constituée de formations cristallines comprenant des roches à dominante granitique ainsi que des schistes volcano-sédimentaires (COWI, 2012). Les **aquifères** en zone de socle sont discontinus et de faible productivité. Souvent isolés latéralement et verticalement, et d'extension très variable, ils sont principalement localisés dans les formations granitoïdes et volcano-sédimentaires. Dans les premières, les fractures, les filons et les arènes grenues de la

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

partie altérée sont productifs et peuvent être captés par les forages. Dans les secondes, l'altération étant très argileuse, les zones productives sont pour l'essentiel des fractures, des zones d'écrasement tectonique et des filons.

La seconde, zone sédimentaire est située au nord du bassin de la Comoé. Elle couvre une superficie de 2.780 km², soit 16% du bassin. Elle constitue la bordure sud du bassin sédimentaire de l'ouest burkinabè. La zone sédimentaire est constituée de formations essentiellement gréseuses dans lesquelles se sont logés des filons de dolérite. Les formations gréseuses constituent un important réservoir d'eau souterraine, comme en témoignent au nord du bassin les nombreuses sources qui assurent un débit de base aux principales rivières. Le débit des forages dans les formations sédimentaires est de l'ordre de 30 à 40 m³/h et peut parfois dépasser 200 m³/h (COWI, 2012).

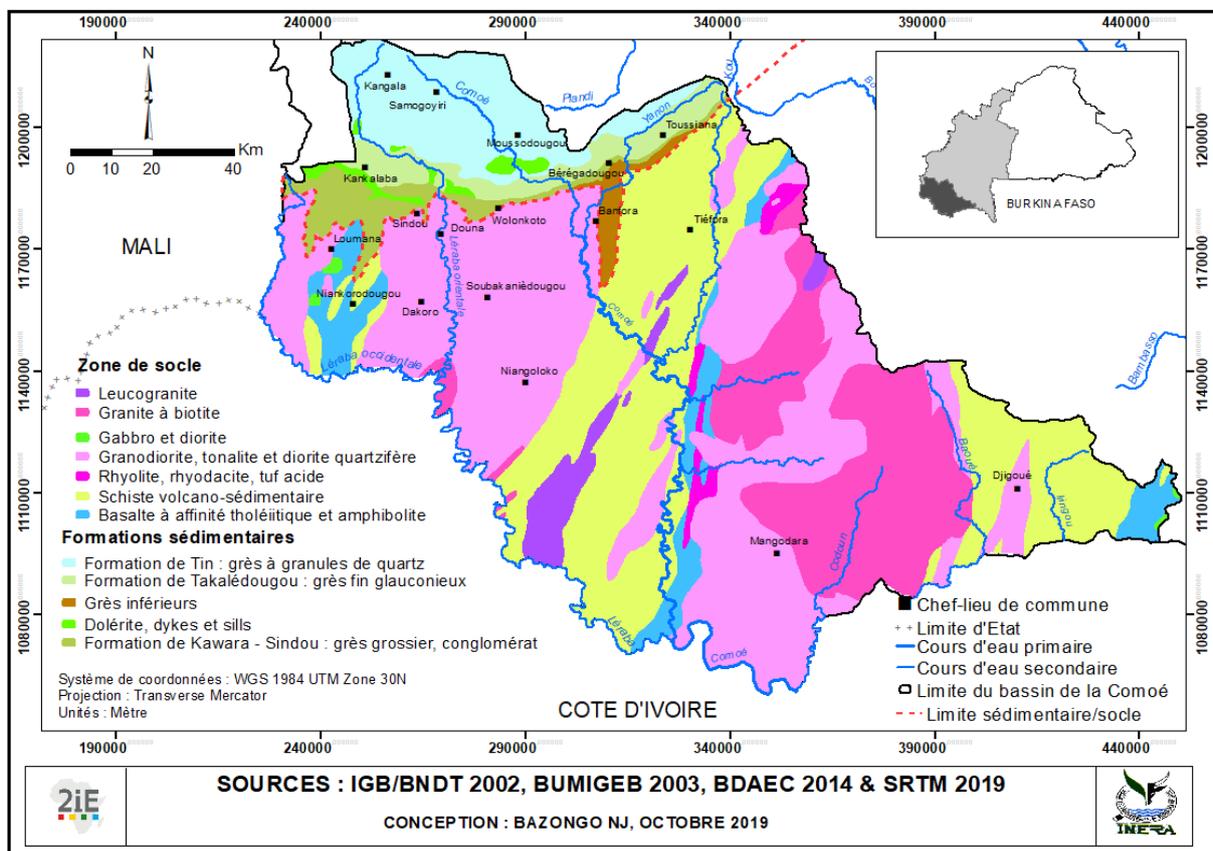


Figure 6 : Géologie et hydrogéologie du bassin de la Comoé

IV. MATERIEL ET METHODES

IV.1 Matériel

IV.1.1 Matériel de réalisation du diagnostic

Nous avons eu recours à une fiche d'enquête conçue par l'INERA, un appareil photo, un décimètre et un GPS.

IV.1.2 Matériel de réalisation sondage

Nous avons utilisé une motopompe de surface, des flexibles tenant lieu de tuyaux d'aspiration et de refoulement, des clés à molette, des houes, et des tiges de foration.



Figure 7 : Motopompe



Figure 8 : Tuyaux de refoulement ou d'aspiration



Figure 9 : Dispositif de l'essai du double anneau sur le terrain

IV.1.3 Matériel de mesure de l'infiltration

Deux cylindres ou double-anneaux du MUNTZ, un double décimètre ou règle graduée, un bidon de 20 litres, un arrosoir, un marteau, un niveau à bulle, une calculatrice et un chronomètre constituent le matériel utilisé pour la réalisation de l'essai d'infiltration (Cf. Figure 9).

IV.1.4 Autre matériel

Les autres outils notamment utilisés pour les travaux de bureau sont :

- La série de données pluviométriques et de température de 1986 à 2018 de la station agrométéorologique de Bérégadougou obtenues auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso. ;
- Le fond topographique SRTM 30 téléchargé sur le site de l'USGS ;
- AutoCAD 2007 et Covadis 2007 pour exploiter les données topographiques et élaborer les différents profils, plans et projection d'aménagement ;
- HyfranPlus pour l'ajustement des données pluviométriques ;
- GOOGLE Earth et Global Mapper pour localiser, explorer le site d'étude et délimiter le bassin versant avec l'extraction des données sur ce bassin ;
- ARCGIS 9.3 pour la cartographie ;
- Cropwat 8.0 pour l'acquisition des données sur les spéculations agricoles ;
- SPAW pour le traitement des données d'infiltration servant au calcul de la réserve utile (RU) ;
- Minitab 18 pour interpréter les données de mesure d'infiltration du sol ;
- Epanet pour la simulation de la distribution des écoulements dans le réseau d'irrigation ;
- Excel 2010 pour les feuilles de calcul et dimensionnement du réseau d'irrigation ;
- Word 2010 pour la rédaction du mémoire ;

IV.2 Méthodes

IV.2.1 Diagnostics

Le diagnostic est une démarche méthodique qui consiste à faire ressortir l'état du périmètre aménagé dans toutes ses composantes et d'en faire une analyse approfondie mettant en évidence ses dysfonctionnements, ses faiblesses et ses forces. Les étapes qui suivent décrivent succinctement la méthodologie employée.

IV.2.1.1 Les recherches documentaires

Elles ont consisté à une collecte d'informations relatives à la zone d'étude et du périmètre proprement dit. D'abord, une recherche documentaire a été faite sur des cas de diagnostic de périmètres similaires et sur les éventuelles études existantes sur la zone concernée (document de conception du périmètre, Statistiques publiques, monographies, etc.). Les recherches se sont menées au sein de la structure d'accueil, dans la bibliothèque de l'Institut 2iE, au centre de documentation des Ministères en charge de l'eau et de l'Agriculture du Burkina Faso.

IV.2.1.2 La collecte de données sur le terrain

Elle a consisté à mener une enquête auprès des producteurs et de la structure en charge de l'agriculture de Sindou. Elle s'est réalisée à l'aide d'une fiche de collecte de données élaborée par l'INERA. Elle a concerné 200 exploitants sur la plaine de Niofila.

IV.2.1.3 La réalisation de l'état des lieux physiques du périmètre

IV.2.1.3.1 Levé de détail topographique du périmètre

L'une des principales missions dans ce diagnostic était la reproduction fidèle du plan du périmètre. Ainsi, un levé de détail topographique a été réalisé à l'aide de GPS. Les canaux d'irrigations et les drains ont été parcourus avec le GPS. Les coordonnées des points particuliers tels que les sources d'eau du périmètre, les ouvrages de franchissements, les ouvrages de régulation ... ont été enregistrées. Les données de position ont été recueillies avec les logiciels Google Earth et Global Mapper.

IV.2.1.3.2 Etat descriptif de chaque ouvrage du périmètre

Le périmètre a été parcouru dans son ensemble pour constater son état global depuis la tête du réseau jusqu'aux parcelles. Cette visite a eu pour but de recenser tous les ouvrages du périmètre et de constater aussi leur niveau de fonctionnement et de dégradation. En plus, elle a permis également de faire ressortir les zones déficitaires en période d'irrigation.

Les dimensions des ouvrages visités ont été mesurées avec un décimètre. En plus des échanges avec les producteurs pendant le parcours, l'observation directe a été utilisée. Elle a consisté à recueillir pendant le parcours du périmètre certaines informations liées au fonctionnement des ouvrages en se basant sur l'observation visuelle.

IV.2.1.3.3 Plan détaillé du périmètre

Les données topographiques récoltées ont été traitées pour aboutir à un plan détaillé du périmètre. Les logiciels Google Earth, Global Mapper et Autocad ont été utilisés pour la génération des courbes de niveaux et les différents profils des terrains.

IV.2.2 Etudes de base

IV.2.2.1 Études hydrologiques

Les études hydrologiques dans notre projet concernent essentiellement la délimitation du bassin versant du périmètre des pics de Sindou, la détermination des paramètres géomorphologiques du bassin versant, l'étude pluviométrique et l'évaluation des débits décennaux pour la calibration du lit mineur du cours d'eau traversant le périmètre.

IV.2.2.1.1 Délimitation du bassin versant

Le bassin versant a été délimité à partir d'un point aval du site rizicole et précisément sur l'axe du lit mineur à la frontière avec le périmètre aménagé de la plaine de Niofila-Douna. Les outils logiciels tels que Google Earth, Global Mapper et ArcGIS ont été utilisés pour identifier les limites du bassin versant et déterminer ainsi géomorphologiques du bassin versant du périmètre des pics de Sindou. Les paramètres géomorphologiques sont calculés après la détermination des dimensions du bassin versant.

IV.2.2.1.2 Etude pluviométrique

L'analyse des pluies a été faite à partir des données pluviométriques recueillies à la station agrométéorologique de Bérégadougou obtenues auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso. Nous avons utilisé le logiciel Hyfran Plus pour déterminer les quantiles correspondants à des périodes de retour données avec un niveau de confiance de 95%. L'ajustement des pluies annuelles moyennes a été fait par la loi de GAUSS, sur un échantillon de 33 valeurs de 1986 à 2018. Sa fonction de répartition est la suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Avec u la variable réduite ; cette loi présente deux paramètres qui sont la moyenne \bar{x} et l'écart type σ .

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Celle des pluies maximales journalières a été faite par la loi de GUMBEL les 33 valeurs de 1986 à 2018. Sa fonction de répartition est la suivante

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$$

Avec

x_0 : le paramètre de position et $\frac{1}{a}$ le paramètre d'échelle

IV.2.2.2 Caractérisation du sol

Deux méthodes ont été utilisées pour caractériser le sol de notre zone études. Il s'agit des sondages par la technologie tubewell et de l'essai d'infiltration de MUNTZ.

IV.2.2.2.1 Sondage par la technologie tubewell

Elle a consisté à utiliser une motopompe raccordée à des tubes en fer pour forer 10 points sur le périmètre. Les tubes en fer jouent le rôle de trépan et la pression de l'eau envoyé par la pompe

permet de remonter les déblais (cutting) à la surface. Et les déblais de forage sont par la suite caractérisés.

IV.2.2.2.2 Essai d'infiltration de MUNTZ

L'essai d'infiltration de MUNTZ, aussi appelé essai de double-anneaux permet de mesurer l'infiltration du sol à saturation en écoulement unidimensionnel vertical. Qui est interprétée pour faire ressortir le type de sol et les humidités caractéristiques.

Après quadrillage du périmètre, 15 points de mesures ont été sélectionnés. Le sol est mouillé pendant une trentaine de minutes avant le démarrage des mesures. Les lectures de variation du niveau d'eau sont faites de façon échelonnée suivant un intervalle de temps donné.

Il existe plusieurs approches qui permettent d'évaluer l'infiltration. La plus indiquée à l'essai in situ du double-anneaux est celle de HORTON (SOUTTER, MERMOUD, & MUSY, 2007). La formulation de HORTON se caractérise par une décroissance logarithmique de l'infiltrabilité entre des valeurs limites d'infiltrabilité initiale i_0 et finale i_f . Les paramètres de sortie i_0 , i_f et γ sont déterminés par régression sur des données d'infiltration cumulative $H(t)$:

$$i(t) = i_f + (i_0 - i_f)e^{-\gamma t} \qquad H(t) = i_f t + \frac{i_0 - i_f}{\gamma} (1 - e^{-\gamma t})$$

La régression a été réalisée par le truchement du logiciel MINITAB. L'obtention de la valeur de i_f permet par la suite de déterminer, à partir du logiciel SPAW, le type de sol moyen et les humidités caractéristiques telles que l'humidité volumétrique à la capacité au champ (θ_{fc}) et l'humidité volumétrique au point de flétrissement (θ_{wp}) y relatives. Ce qui permet de déduire la réserve utile (RU) du sol qui sera utilisée plus loin dans le dimensionnement des réseaux de l'aménagement hydroagricole.

$$RU(mm/m) = 10. (\theta_{fc}[\%] - \theta_{wp}[\%])$$

Une comparaison a été établie par la suite avec la superposition sur le type de sol issu de la base nationale de données topographiques (BNDT) du Burkina Faso de 1992.

IV.2.3 Etudes de la conception de l'aménagement hydroagricole

Pour la conception de l'aménagement du périmètre, plusieurs paramètres ont été pris en compte à savoir :

- le choix des spéculations et du type d'irrigation ;
- la disponibilité de la ressource en eau ;
- les paramètres d'irrigation ;
- les paramètres du réseau d'alimentation du périmètre en eau ;
- les paramètres des asperseurs ;

- le réseau de drainage ;

IV.2.3.1 Choix du type d'irrigation et des spéculations

Le choix du type d'irrigation et des spéculations sont fait à l'issue de l'analyse de l'enquête réalisée auprès des producteurs du périmètre dans le but de sélectionner judicieusement les spéculations. L'analyse du type de sol permet en outre d'apporter des choix idoines de type d'irrigation et de spéculations.

IV.2.3.2 Dimensionnement préliminaire de l'aménagement

Le dimensionnement préliminaire consiste à déterminer à partir des données de base sur le climat, l'eau, le sol et la plante, les paramètres suivants :

- la réserve facilement utilisable RFU (mm)
- le besoin maximum de pointe BMP (mm/j)
- la fréquence des arrosages
- la durée de l'arrosage pour un ensemble de rampes et
- le débit total du système

IV.2.3.2.1 La réserve facilement utilisable

C'est la hauteur d'eau qui doit être appliquée pour compenser l'eau utilisée par l'évapotranspiration de la plante en puisant dans le sol. Son calcul requiert la réserve utile (**RU**), le facteur de tarissement du sol **p** et la profondeur d'enracinement effective **Z_r**.

$$RFU(mm) = p \cdot Z_r(m) \cdot RU(mm/m)$$

IV.2.3.2.2 Le besoin maximum de pointe

Le besoin journalier maximum de pointe (BMP) est le besoin journalier de la plante **ETM** moins la pluviométrie **Pe** correspondante (s'il y'en a) durant la période de pointe (demande en eau maxi).

$$BMP(mm/j) = (ETM(mm/j) - Pe(mm/j))_{max}$$

L'évapotranspiration maximum (ETM) quand elle vaut :

$$ETM [mm/j] = K_c \times ET_0[mm/j]$$

Où **ET₀** est l'évapotranspiration potentielle que nous tirons du logiciel CLIMWAT de CROPWAT. Ce logiciel mis au point par la FAO est un outil générique et pratique d'aide à la décision. Il trouve un intérêt auprès des météorologistes car il permet d'estimer la majorité des données climatiques en entrant uniquement les coordonnées géographiques de la zone souhaitée.

Et **K_c** est le coefficient cultural mensuel, déterminé à partir des coefficients culturaux des différentes phases de développement de la culture en effectuant une moyenne pondérée

$$K_c = \frac{aK_{ca} + bK_{cb} + cK_{cc} + \dots}{a + b + c + \dots}$$

$K_{ca}, K_{cb}, K_{cc}, \dots$: coefficients culturels des phases d'évolution de la plante dans le mois concerné ;

a, b, c, \dots : durée de chaque phase dans le mois concerné.

Quant à la pluie efficace P_e définie par l'Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en 1987 comme étant la fraction de l'eau des précipitations qui répond aux besoins en eau des cultures, elle est obtenue à partir de la pluviométrie moyenne mensuelle P .

Nous retiendrons la formulation de la FAO ci-dessous (KEITA, 2015).

$$P_e = 0,8 P \text{ si } P \geq 75 \text{ mm/mois ;}$$

$$P_e = 0,6 P \text{ si } P < 75 \text{ mm/mois.}$$

IV.2.3.2.3 La fréquence des arrosages

La fréquence se donne par la formule ci-dessous.

$$F(j) = \frac{RFU(mm)}{BMP(mm/j)}$$

Tour d'eau $T(j)$ est choisi de telle sorte qu'il soit un entier inférieur à F . $T(j) \leq F(j)$

Une fois le tour d'eau choisi, nous réévaluons le besoin réel qui n'est autre que la dose réelle

D_r (mm) donnée par l'expression suivante :

$$D_r(mm) = BMP(mm/j) \times T(j)$$

On déduit ensuite le facteur de tarissement réel p_r

$$p_r = \frac{D_r(mm)}{RFU(mm)}$$

IV.2.3.2.4 Efficacité d'application à la parcelle E_a

Elle est choisie uniquement en fonction du climat et selon les directives de la FAO en 1982.

Ainsi, notre zone étant considérée comme une zone à climat chaud, nous choisirons donc

$$E_a = 0,70$$

IV.2.3.2.5 Dose brute D_b (mm)

La dose brute est la quantité d'eau apportée à la plante en tenant compte des pertes en route.

Elle tient compte aussi des fuites à travers les tuyauteries.

$$D_b(mm) = \frac{D_r(mm)}{E_a}$$

IV.2.3.2.6 La durée de l'arrosage pour un ensemble de rampes

Le temps de travail maximal est le temps d'arrosage dont on dispose réellement dans la journée. Selon les dispositions pratiques on tient compte du temps de manœuvre et de repos. En irrigation par aspersion, ce temps peut atteindre 22 heures par jour en période de pointe. On le note $T_{w_{max}}$ et s'exprime en heure.

Connaissant le temps maximum d'arrosage par jour de $T_{w_{max}}$ heures (on se le fixe selon les habitudes de la localité) et le nombre de postes d'arrosage N_s que doit faire une rampe (cette valeur est choisie en ayant en vue le fait que T_s doit être inférieur à 24h et permettre de dégager un temps pour le déplacement des rampes), le nombre d'heures que la rampe passe par poste T_s est :

$$T_s(h) = \frac{T_{w_{max}}(h/j)}{N_s}$$

Au vu des habitudes des producteurs de la localité nous avons convenu de garder $T_s = 11h/j$ et $N_s = 2$ postes.

IV.2.3.2.7 Le débit total du système

$$q_e (l/s/ha) = \frac{Db(mm)}{T(j) \times T_s(h/j) \times N_s \times 0,36}$$
$$Q_{tot} (l/s) = q_e (l/s/ha) \times A(ha)$$

Avec $A(ha)$ est la superficie du périmètre en hectare.

IV.2.3.3 Dimensionnement final de l'aménagement

Le dimensionnement final consiste à faire la conception du réseau d'irrigation en prenant en compte l'ensemble des contraintes et exigences du dimensionnement préliminaire. Le dimensionnement a été fait sur le principe de la parcelle la plus contraignante en supposant hydrauliquement que si cette parcelle est alimentée en eau, toutes les autres parcelles seront servies en eau aisément par le réseau d'irrigation.

IV.2.3.3.1 Plan d'installation des parcelles

- Superficie nette du périmètre A_{nette}

$$A_{nette}[ha] = 90\% A_{brute}[ha]$$

Avec A_{brute} : superficie brute du périmètre et A_{nette} : superficie nette du périmètre.

- Superficie parcellaire A_p (ha)

$$A_p = \frac{A_{nette}}{N}$$

N : nombre de parcelle.

IV.2.3.3.2 Choix des asperseurs

Le choix des asperseurs s'est fait suivant quatre critères :

- **Critère 1 : Dénivelé topographique et critère de Christiansen**

$$\Delta P_{tot} \leq \frac{1}{5} P_{nom}$$

ΔP_{tot} : Somme de la dénivelée totale du périmètre et des pertes de charges ;

P_{nom} : Pression nominale des asperseurs (distributeurs d'eau).

- **Critère 2 : Ecartement des asperseurs et diamètre mouillé**

$$e_{max} = k \times D_{mouillé}$$

Avec k = Coefficient fonction de la vitesse moyenne du vent et la disposition choisit (carré rectangle ou triangle). Nous avons adopté une disposition carrée des rampes et des asperseurs pour éviter l'effet de perturbation des vents sur l'uniformité de l'arrosage.

- **Critère 3 : Pluviométrie de l'asperseur (Pas) et Infiltration du sol**

La pluviométrie de l'asperseur ne doit pas provoquer de ruissellement. Elle doit être inférieure à l'infiltration du sol en place.

$$P_{asp} (mm/h) = \frac{1000 \times q_{asp} (m^3/h)}{e_{rp}^2 (m^2)} \quad \left| \begin{array}{l} q_{asp} = \text{Débit de l'asperseur et} \\ e_{rp} = \text{Ecartement des rampes.} \end{array} \right.$$

- **Critère 4 : Valeurs appropriées de T (j), T_s (h/j), N_s, N_{rp,sim}**

Les valeurs appropriées du tour d'eau (T), du temps d'arrosage par poste pour satisfaire la dose brute (T_s), du nombre de postes d'arrosage qu'une rampe fait par jour (N_s) et du nombre de rampe en fonctionnement simultané (N_{rp,sim}). Le tour d'eau T(j) est défini plus haut. Le nombre d'heures utilisées par poste d'arrosage pour apporter la dose brute est défini par la formule suivante :

$$T_s = \frac{D_b (mm)}{P_{asp} (mm/h)}$$

- **Disposition des portes rampes, rampes et asperseurs**

$$N_{rp} = \frac{L_{parc} (m)}{e_{rp} (m)} \quad \left| \begin{array}{l} N_{rp} : \text{Nombre de rampe par parcelle} \\ L_{parc} : \text{Longueur ou largeur de la parcelle parallèle au porte rampe et} \\ e_{rp} : \text{Ecartement des rampes.} \end{array} \right.$$

Le nombre d'asperseurs a été déterminé par la formule suivante :

$$N_{asp/rp} = \frac{L_{rp} (m)}{e_{asp} (m)} \quad \left| \begin{array}{l} N_{asp/rp} : \text{Nombre d'asperseurs par rampes ;} \\ L_{rp} : \text{Longueur de la rampe ;} \\ e_{asp} : \text{Ecartement entre asperseurs} \end{array} \right.$$

IV.2.3.3.3 Dimensionnement des conduites

IV.2.3.3.3.1 Détermination des débits des conduites

Au vu de la configuration du périmètre, nous avons subdivisé ce dernier en 13 blocs topographiquement homogène. Ainsi la détermination des débits se fait en fonction des blocs de la manière suivante :

- Le débit de rampes est calculé en fonction du nombre total d'asperseurs sur la rampe.
- Le débit des portes rampes est fonction du nombre de rampes en fonctionnement simultanées.
- Le débit véhiculé qui est le débit qui transite à travers la conduite varie en fonction de la demande à l'aval de la conduite.
- Pour les conduites principales de chaque bloc, le débit est égal à la somme des débits des portes rampes qui y sont connectées ;

IV.2.3.3.3.2 Diamètre de la conduite

$$D_{théorique}(mm) = \sqrt{\frac{Q(m^3/h)}{V(m/s)}} \times 18,811$$

Le diamètre nominal ou diamètre commercial DN choisi est tel que : $DN \geq D_{theoriaue}$ Q est le débit véhiculé par la conduite et V la vitesse maximale admissible, conformément au matériau constitutif des conduites (PE et PVC) est 1,7 m/s.

Et pour la conduite d'aspiration, la vitesse est limitée à 3,3 m/s

IV.2.3.3.3.3 Les pertes de charges linéaires

La perte de charge dans une conduite est fonction du débit qui la transite, de sa longueur et de sa section de la conduite (diamètre). Elle est calculée par la formule de Colebrook, Calmon et Lechapt.

$$\Delta H_{tube}(m) = a \times \frac{[Q(m^3/h)]^n}{[D(m)]^m} \times F \times L$$

- *F* : est le facteur de correction qui tient compte du nombre de points de sortie d'eau sur la conduite ;
- *a*, *n* et *m* sont les coefficients de la formule de COLEBROOK, CALMON et LECHAPT qui est fonction des caractéristiques du matériau constitutif de la conduite (cf. cours).

IV.2.3.3.3.4 Détermination de la rampe la plus défavorisée

Vue la différence de longueur et de côtes des rampes, nous avons identifié la rampe la plus défavorisée en déterminant, pour chacune des rampes, la perte de charge total à partir de la

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

station de pompage. Aussi le logiciel Epanet a permis d'identifier la parcelle et la rampe la plus défavorisée.

IV.2.3.4 Dimensionnement de la station de pompage

L'objectif de cette partie vise la valorisation des eaux souterraine du bassin sédimentaire qu'occupe une partie du bassin versant du périmètre et l'exploitation du relief pour l'installation d'un réservoir semi-enterré en altitudes suffisante pour fournir la pression nécessaire à la rampe la plus défavorisée. Et comme le souligne l'équipe de COWI, le potentiel en eau souterraine est énorme avec des potentiels de débit de forage pouvant dépasser les 200 m³/h. ce qui constitue donc une opportunité et l'hypothèse sur laquelle nous allons utiliser pour le dimensionnement.

IV.2.3.4.1 Evaluation de la cote de calage du radier du réservoir

La détermination de la cote de calage passe par l'évaluation de l'asperseur le plus défavorable grâce à au logiciel Epanet en y insérant le réseau d'irrigation. Ensuite évaluer la charge totale du réseau. On remarquera l'absence de pompe du réservoir donc l'exclusion de la perte de charge linéaire dans le tube d'aspiration de la charge totale.

La charge minimale au réservoir est $H_{min} = Z_{radier} + P_{atm}$ et la charge à l'asperseur le plus défavorisé est $H = Z_{asp} + H_{sup} + P_{nom}$

$$H_{min} = H + 1,1 \times (\Delta H_{sup} + \Delta H_{rp} + \Delta H_{prp} + \Delta H_{trans}) + \Delta H_{filtre,inj}$$

D'où

$$Z_{radier} = Z_{asp} + H_{sup} + P_{nom} - P_{atm} + \Delta H_{filtre,inj} + 1,1 \times \sum \Delta H_{conduites}$$

IV.2.3.4.2 Evaluation de la capacité du réservoir

La détermination de la capacité utile du réservoir, nous avons utilisé la méthode cumulative (Cf. Tableau 1).

Tableau 1 : Méthode de calcul de la capacité utile du réservoir

Intervalle de temps	0h-08h30	08h30-10h30	10h30-12h	12h-16h30	16h30-22h30	22h30-24h
Durée (h)						
Q_a (m³/h)						
Volume entrant (m³)						
Volume cumule entrant (m³) (1)						
Q_d (m³/h)						
Volume distribué (m³)						
Volume cumulé distribué (m³) (2)						
Contenance du réservoir (3)= (1)-(2)						

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Q_a (m³/h) : débit d'eau d'adduction, reporté dans les différentes tranches horaires délimitées.

Q_c (m³/h) : débit horaire d'eau distribuée,

La capacité utile CU du réservoir est donnée par l'expression suivante.

$$CU (m^3) = \text{Maximum}(3) - \text{Minimum}(3)$$

IV.2.3.4.3 Dimensionnement du réservoir

Pour le dimensionnement du réservoir nous vous prions de voir la note de calcul de réservoir en béton armé en annexe (Cf. ANNEXE X). Réservoir semi enterré alimenté par un champ de forage.

IV.2.3.4.4 Dimensionnement des pompes pour les forages.

Les pompes sont dimensionnées en fonction du débit de pompage et de la HMT. Le pompage se fait à partir de forages donc les pertes de charge à l'aspiration peuvent être négligées.

L'expression de la HMT devient alors : $HMT = H_{géo} + J_{réfoulement}$

HMT est la hauteur manométrique totale, $H_{géo}$ la hauteur géométrique et $J_{réfoulement}$ les pertes de charges au refoulement. (Cf. Figure 10)

Après avoir déterminé le débit de pompage et la HMT du réseau d'adduction, le choix de la pompe est tel que la HMT du réseau et le débit de fonctionnement puisse satisfaire les conditions suivantes :

- $NPSH_d > NPSH_r + 0.5$ pour éviter le phénomène de cavitation.
- $Q_{pf} = Q_{nom} \pm 3\%$ pour répondre aux sollicitations du réseau.

IV.2.3.4.5 Dimensionnement du champ photovoltaïque

La valeur moyenne mensuelle de l'insolation sur le site du projet varie de 5,43 kWh/m² par jour dans le mois d'août à 6,68 kWh/m² par jour dans le mois de février (GRUNDFOS, 2019).

Le tableau ci-dessous présente la valeur moyenne mensuelle de l'irradiation dans la zone du projet donnée par GRUNDFOS.

Tableau 2 : Irradiation moyenne mensuelle de la zone du projet

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Insolation (kWh/m ² /j)	6,44	6,68	6,62	6,41	6,48	6,29	5,8	5,43	5,94	6,47	6,55	6,34

Source : GRUNDFOS, 2019

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable qui est le mois d'août, C'est à ce mois que le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire est minimum.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Pour dimensionner le dispositif pour l'équipement du système photovoltaïque, il faut un certain nombre de paramètres à savoir :

- Le besoin journalier d'électricité $E_j(Wh) = \frac{CH(kg.s.h/m^2) \times HMT(m) \times Q(m^3/h)}{\eta}$
- la puissance de l'onduleur choisi $S = \frac{P_{pompes}}{\cos \varphi}$
- la capacité de batteries choisies $C_{bat\ min} = \frac{E_j \times J_{raut}}{V_{bat} \times R_{bat} \times DM}$
- le nombre d'accumulateur en série $N_{as} = \frac{V_{bat}}{V_{acc}}$
- le nombre d'accumulation en parallèle $N_{ap} = \frac{C_{bat}}{V_{acc}}$

Pour que le système photovoltaïque puisse fonctionner même les mois les moins ensoleillé, l'ensoleillement moyen journalier du mois le moins ensoleillé sera utilisé pour le calcul de la puissance du champ photovoltaïque.

En fin le nombre de modules en série et en parallèle est déterminé (Cf. ANNEXE VII).

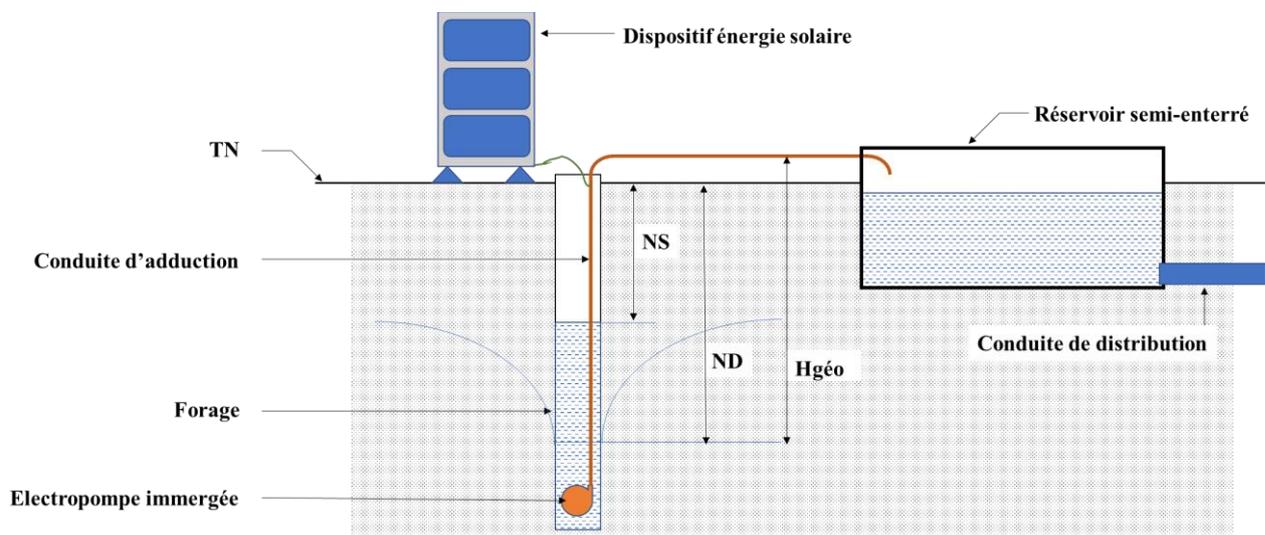


Figure 10 : Schéma du système de pompage photovoltaïque

IV.2.3.5 Réseau de drainage et de circulation

Le réseau de drainage est conçu dans le but d'évacuer les eaux brutes et les eaux en excès provenant des parcelles. Dans notre site, la nappe est suffisamment profonde (plus de 2 m de profondeur), il n'est donc pas nécessaire de prévoir un drainage souterrain. Le réseau sera composé de drain primaire qui collecte les eaux brutes et les eaux des drains secondaires. Les drains secondaires reçoivent les eaux des drains tertiaires et les tertiaires drainent les eaux des parcelles.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Le débit décennal de ORSTOM a été utilisé pour dimensionner les drains principaux afin de calibrer au mieux le lit mineur du cours d'eau. Pour l'évaluation du débit décennal nous prions de voir en annexe.

IV.2.4 Etudes d'impact environnemental et social

Selon le décret d'application du dernier code de l'environnement au Burkina Faso N°2015/1187/PRES/TRANS/PM/MERHI/MATD/MME/MS/MARHASA/MRA/MICA/MHU/MIDT/MCT portant conditions et procédures de réalisation et de validation de l'évaluation environnementale stratégique, de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social), sont sujet à étude d'impact environnemental et social (EIES) tout projet d'aménagement hydroagricole se trouvant dans l'un des cas suivants :

- aménagement et équipement de périmètre irrigué agricole ou sylvicole de superficie supérieure à 50 ha y compris le drainage ;
- périmètre irrigué à l'eau souterraine supérieure à 10 ha ;
- aménagement de bas-fonds et de plaines alluviales en maîtrise partielle d'eau de superficie supérieure à 50 ha ;
- aménagement de bas-fonds et de plaines alluviales en maîtrise totale d'eau de superficie supérieure à 25 ha ;

La réalisation de l'EIES consistera à recenser d'abord les impacts négatifs du projet sur l'environnement et ensuite à proposer des mesures d'atténuation. Enfin nous proposerons des mesures d'accompagnement à l'endroit des bénéficiaires. La méthode utilisée pour évaluer l'importance des impacts est celle de FECTEAU. Cette méthode est utilement complétée et renforcée par la méthode générale d'évaluation des impacts permettant d'apprécier l'importance de l'impact en tant que résultante de l'agrégation de cinq critères que sont la nature de l'impact, la valeur de la composante de l'environnement affectée, l'intensité de l'impact, son étendue et sa durée.

IV.2.5 Etudes économiques de l'aménagement hydroagricole

Le coût de l'aménagement sera fait à partir du métré de toutes les activités à mener et les coûts unitaires des différentes désignations. L'évaluation de la rentabilité du périmètre consistera à l'analyse de compte d'exploitation et l'estimation de la durée de retour sur investissement.

V. RESULTATS ET DISCUSSION

V.1 État des lieux physiques du périmètre.

V.1.1 Détail topographique du périmètre,

Les données collectées et traitées ont permis de générer un détail topographique du périmètre. La figure ci-dessous met en évidence l'ensemble des ouvrages hydrauliques, les canaux d'irrigation et de drainage, et les sources alimentant le périmètre qui ont été tracés à partir du parcours GPS.

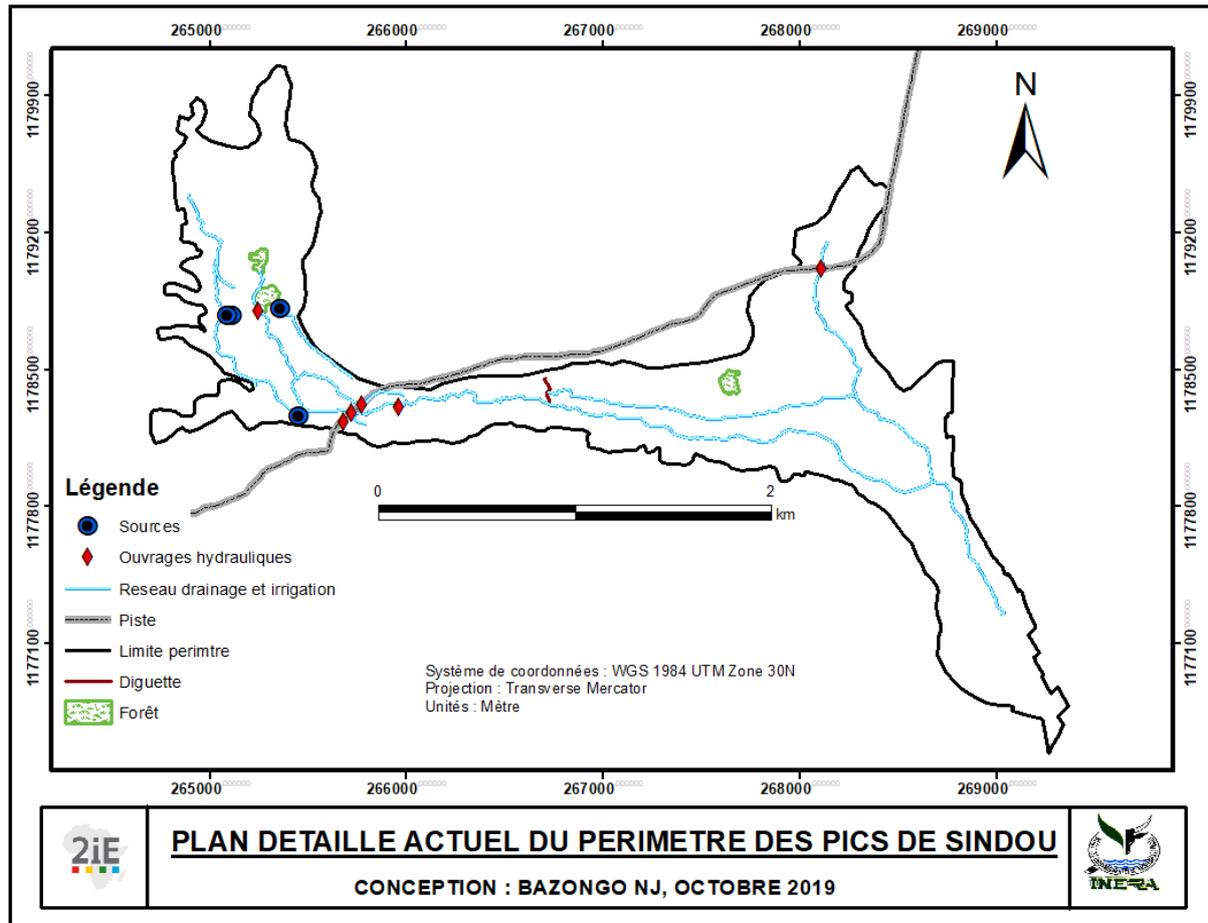


Figure 11 : Plan détaillé actuel du périmètre des pics de Sindou

Comparativement au premier plan d'aménagement du périmètre (SAKA, 1991), le réseau d'irrigation et de drainage a fondamentalement changé de 1991 à 2019 (Cf. Figure 12). Selon l'enquête réalisée durant nos travaux de terrain, les causes de ces changements profonds sont diversement partagées. Néanmoins les causes principales sont dues d'un côté aux crues brutales lors des inondations sur le périmètre. Selon les enquêtés, les crues submergent les canaux d'irrigation et de drainage et emportent les digues des parcelles agricoles. Et d'un autre côté, la recherche d'eau pendant la saison sèche pour les cultures de contresaison, pousse certains enquêtés installés loin des canaux d'irrigation à modifier le réseau d'irrigation et de drainage.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

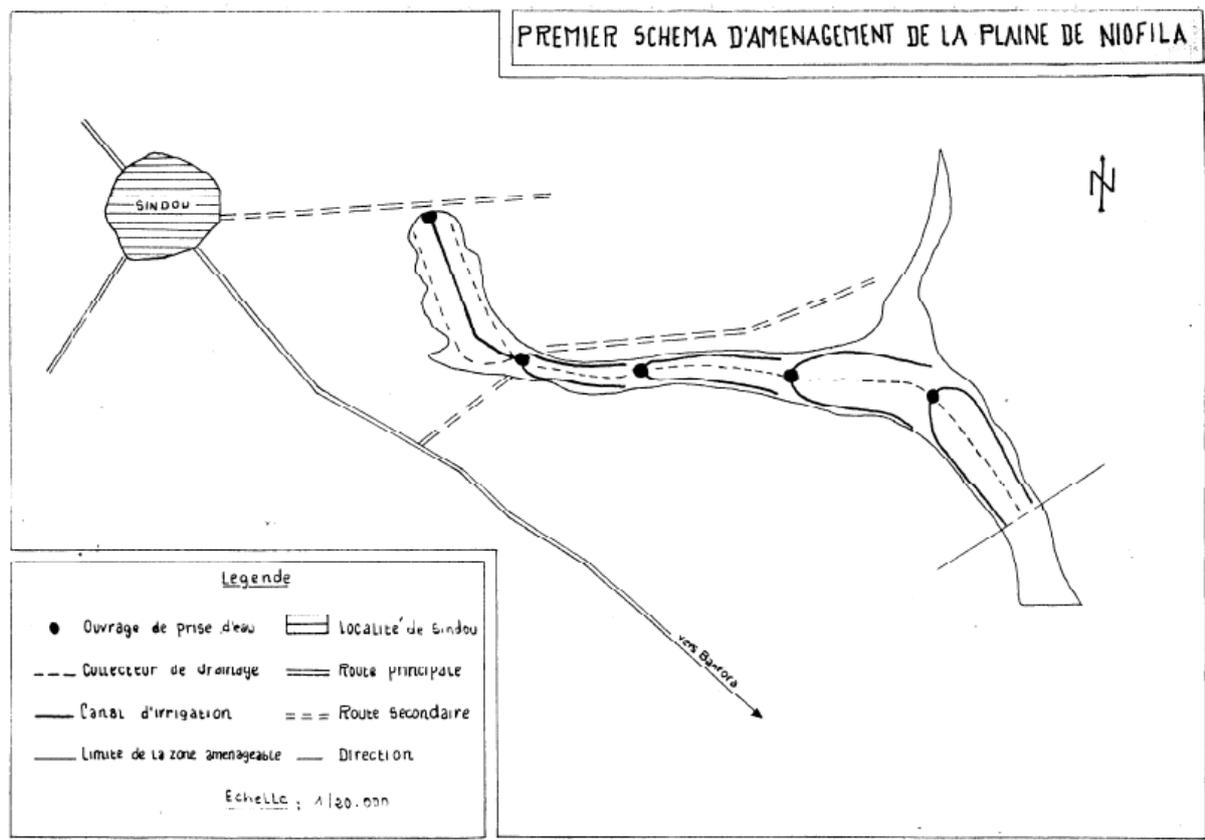


Figure 12 : Premier schéma d'aménagement du périmètre des pics de Sindou

Source : (SAKA, 1991)

V.1.2 Description des ouvrages de l'aménagement

Le périmètre des pics de Sindou au stade actuel est de type gravitaire. La source d'alimentation en eau, en saison sèche, sont les eaux souterraines qui affleurent dont quatre ont été identifiées. Force est de constater qu'un intérêt particulier a été accordé à la source d'eau principal. En effet, elle a été protégée par le Comité Local de l'Eau (CLE) NOULA, avec l'aide de l'Agence de l'Eau des Cascades (AEC) en 2016. Les mesures de débits effectuées sur les quatre sources nous donnent une somme moyenne d'environ **6 L/s** dans le mois de mai 2019.

Les canaux observés, jouent à la fois le rôle d'irrigation et de drainage. Le parcours au GPS nous a permis d'avoir 12 km de réseau d'irrigation et de drainage. Ces canaux sont non revêtus, de forme rectangulaire par endroit et trapézoïdale en d'autre endroit. Fortement enherbés, ils ne disposent pas de cavalier sur l'ensemble du périmètre (Cf. Figure 14).

Nous avons identifié deux ouvrages de prises constitués de batardeaux fortement délabrés. Ils ne jouent plus leur rôle premier de prise d'eau dans les canaux (Cf. Figure 15). Ces derniers poussent les exploitants à l'utilisation accrue des motopompes sur le périmètre. Comparativement aux études de (SAKA, 1991) menées sur le même périmètre, nous notons l'absence trois ouvrages de prise sur 5 qu'il a fait cas.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.



Figure 13 : Source d'eau principale protégée par le CLE NOULA



Figure 14 : Canal central enherbé



Figure 15 : Batardeau sur le canal principal



Figure 16 : Dalot fragilisé par les arbres

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Le seul ouvrage de régulation que nous avons identifié sur le périmètre, est une digue à courbe de niveau (DCN) en perré maçonné, d'une longueur de 25 m. Insubmersible, la DCN a ses parties devant disposer des pertuis, détériorées (Cf. Figure 17).



Figure 17 : Diguette à courbe de niveau détériorée

L'unique piste du périmètre dument réalisée est celle menant sur le barrage de Niofila. Large de 6 m, la piste traverse le périmètre en partant de Sindou au barrage par le truchement d'un radier, d'un pont dalot, d'une buse et d'un dalot. Ces derniers constituent les uniques ouvrages de franchissement du périmètre. Ainsi la mobilité sur le périmètre constitut-elle un véritable parcours du combattant pour la majeure partie des exploitants du périmètre. Car il n'en existe pas.

V.2 SYNTHÈSE DES ÉTUDES DE BASES

V.2.1 Études hydrologiques

V.2.1.1 Délimitation du bassin versant

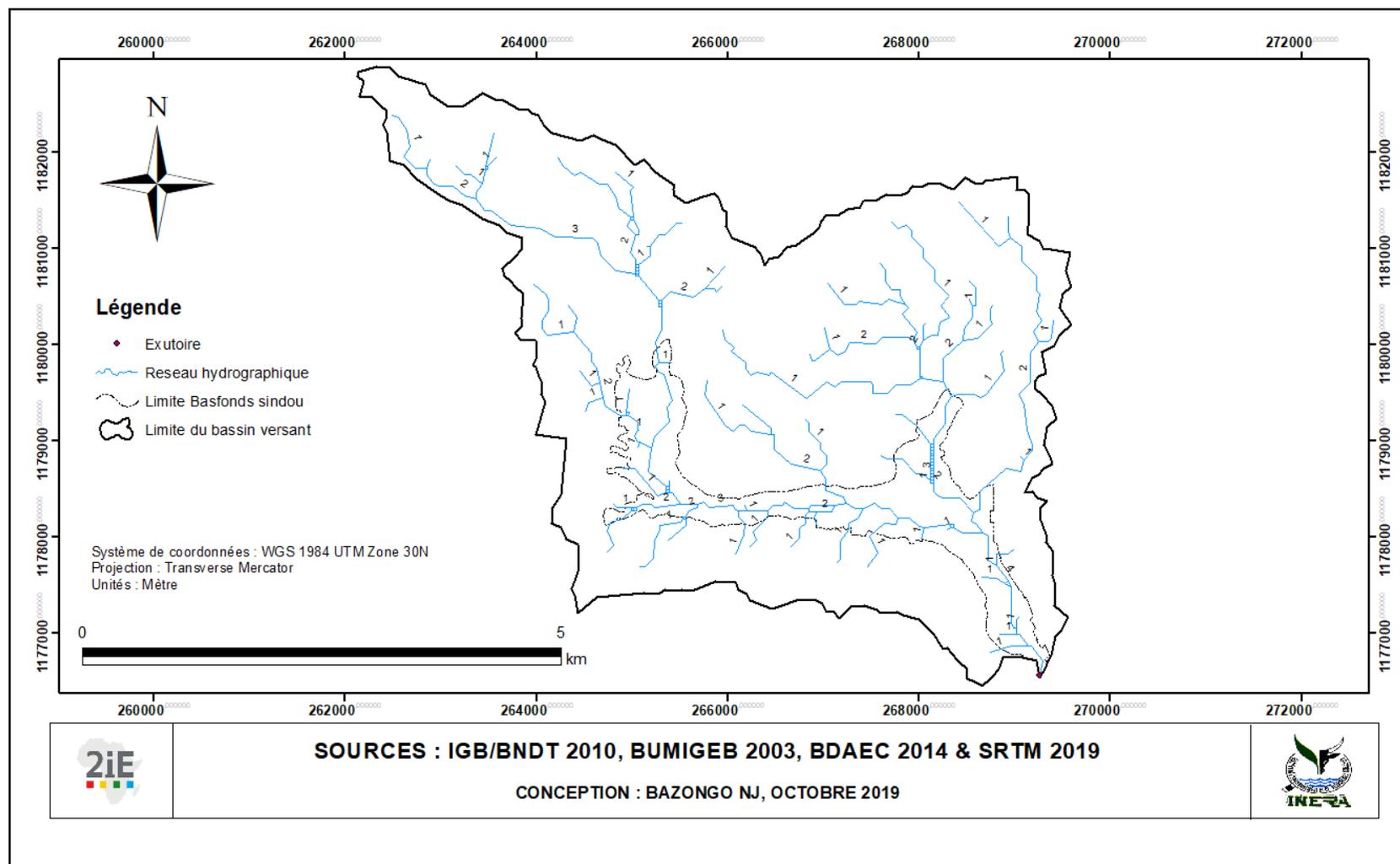


Figure 18 : Limite du bassin versant du périmètre des pics de Sindou

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Le bassin versant du périmètre des pics de Sindou est de forme allongée car $I_{comp} > 1$, et drainé par un cours d'eau d'ordre 4 selon la classification de STRALER. Au regard de la nature du substratum et du sol, on peut le classer dans la classe d'infiltration P3 ou RI qui désigne un bassin versant relativement imperméable, suivant la classification de Rodier et Auvrey. Si nous considérons la répartition générale des différents cours d'eau du bassin nous pouvons conclure que le réseau hydrographique est dendritique. La figure ci-dessous représente la courbe hypsométrique du bassin. Et le constat est que le bassin versant relativement plat. Les autres détails des résultats sont en annexe. (ANNEXE I).

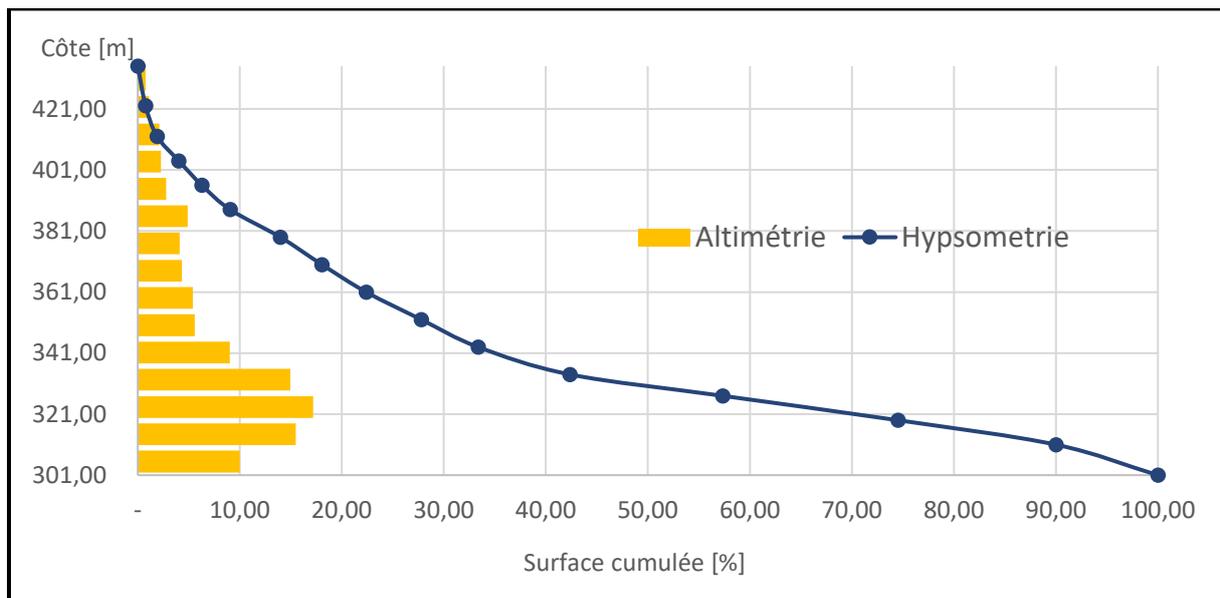


Figure 19 : Courbe hypsométrique du bassin versant du périmètre des pics de Sindou

La délimitation du bassin versant du périmètre des pics de Sindou a permis d'estimer la superficie du bassin à 25 km². Par contre SAKA dans ces études a estimé la superficie à 21,8 km². Cette différence est certainement due aux outils utilisés pour la délimitation et à la résolution du fond topographique utilisé. On retrouve les éléments de justification de cette différence chez YIRA & al. qui ont montré en 2019, que la résolution du fond topographique y est pour une grande importante. Plus la résolution du fond topographique faible et plus la précision dans la délimitation du bassin est précise avec l'aide des outils SIG. (YIRA, et al., 2019).

V.2.1.2 Etude pluviométrique

Les résultats après traitement sont consignés en annexe (Cf. ANNEXE I). Il ressort que pour la période de 1986 à 2018, la pluviométrie annuelle moyenne de 1042 mm contre une journalière maximale moyenne de 75 mm. Ce qui place la zone dans la zone climatique correspond au climat tropical sec avec une pluie journalière décennale de 100mm. Nous

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

obtenons pratique les mêmes résultats de traitement des données pluviométrique qu'avec les études de GBANE, portant sur la période de 1986 à 2016.

La pluie décanale journalière sera utilisée pour le dimensionnement et le calibrage du lit mineur traversant le périmètre jouant à la fois le rôle de canal de drainage et d'irrigation.

V.2.2 Etudes des sols

Les sondages et les essais d'infiltration menés sur le périmètre, nous a permis de caractériser le sol. Il est de type argileux et limono-argileux avec une vitesse d'infiltration moyenne de 6,25mm/h. les humidités caractéristiques moyennes sont de 34,9% pour l'humidité à la capacité champ et 19,6% pour l'humidité au point de flétrissement (Cf. ANNEXE IV). Après recoupage avec la BNDT du Burkina Faso (BNDT, 2010), les résultats obtenus sont conformes aux données de la BNDT. En effet, comme le montre la carte ci-dessous **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, le bassin versant du périmètre comporte des sols hydromorphes à Pseudogley développés sur matériau limono-argileux présentant une faible capacité de drainage. Ce qui est aussi confirmé par les études de de SAKA conduites en 1991.

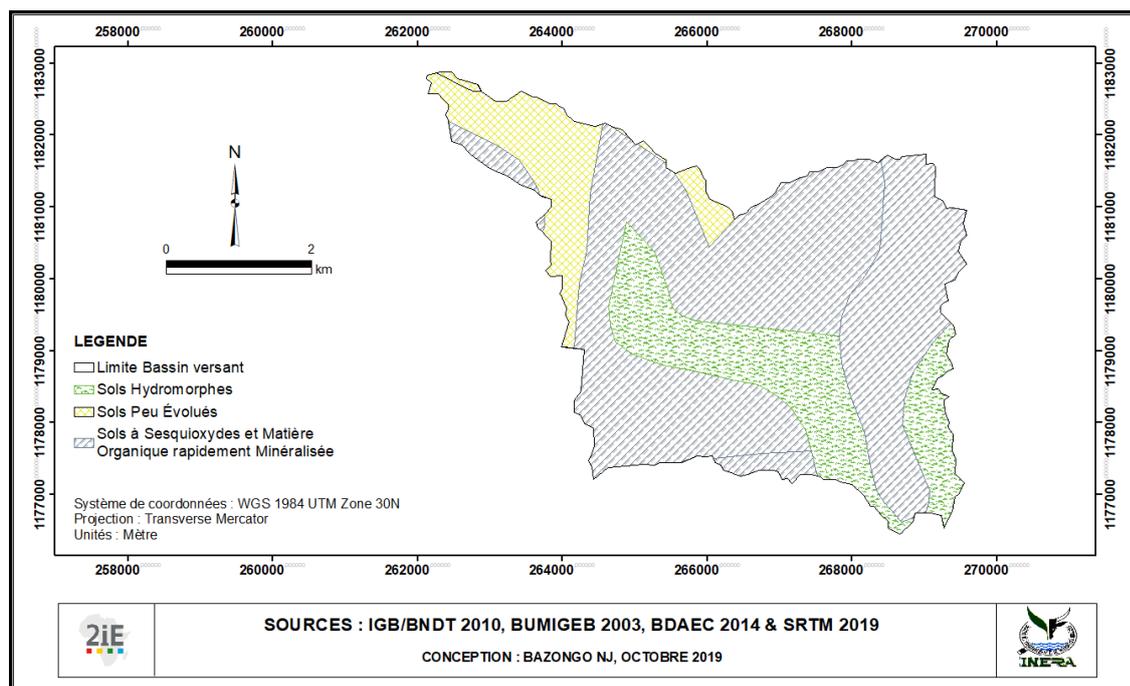


Figure 20 : Sol du bassin versant du périmètre

De ce qui précède vu la composition du sol du bassin versant et du périmètre, les aptitudes du sol pour l'agriculture sont présentées comme suit :

*Cultures irriguées : le sol est marginalement apte au riz irrigué, très apte à moyennement apte aux cultures maraîchères, au blé, au maïs-grain, aux cultures fourragères, aux cultures fruitières.

*Cultures pluviales : le sol est marginalement apte au riz pluvial et très apte en moyenne aux autres céréales, aux cultures fourragères et aux légumineuses.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

V.2.3 Etudes de la source d'eau pour l'irrigation

Selon l'état des lieux du bassin versant de la Comoé (COWI, 2012), la partie nord du bassin versant du périmètre regorge d'importantes sources d'eau souterraine dont le débit peut dépasser les 200 m³/h. La carte ci-dessous montre que le bassin versant du périmètre contient une importante partie du bassin hydrogéologique du Kawara-Sindou. D'après les études menées par DAKOURE en 2003, la nappe des grès de Kawara-Sindou est fortement captive (DAKOURE, 2003). Le niveau statique de la nappe a une valeur moyenne de l'ordre de 10 mètres sous le sol. De plus la plupart des forations étudiées par DAKOURE sur le bassin, la première venue d'eau n'a été recoupée qu'à 70 mètres de profondeur. L'identification et l'évaluation des 4 sources d'eau sur le périmètre viennent confirmer l'importance de la ressource en eau souterraine dans la zone du projet sur lesquelles l'exploitation pour l'irrigation du périmètre est bien possible. Nous rappelons que le débit total estimé des 4 sources vaut 21,6 m³/h, en saison sèche n'est cependant pas suffisant pour satisfaire les besoins en eau du périmètre.

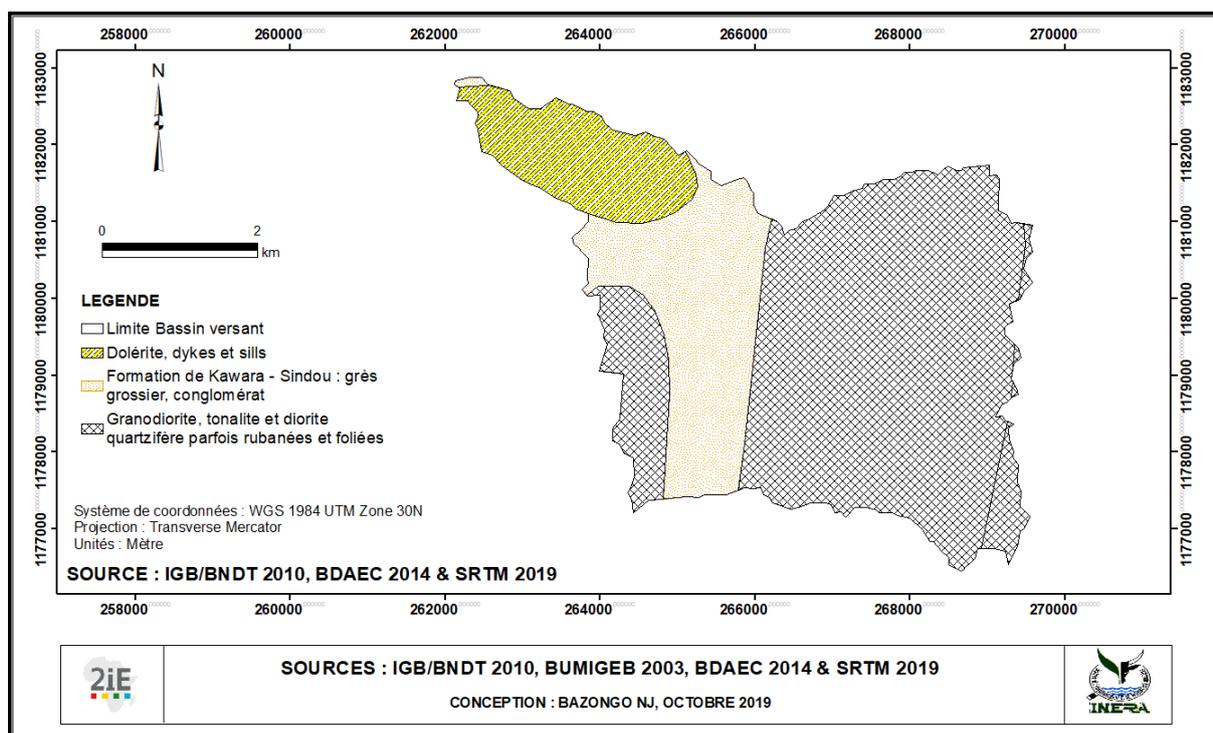


Figure 21 : Géologie et hydrogéologie du bassin versant du périmètre

D'un autre côté, la présence de la retenue d'eau du barrage de Niofila situé à 7km à l'Est du périmètre, avec un volume de 50 millions de m³, est exploité par le périmètre aménagé de Niofila-Douna depuis sa création. Ainsi, afin d'éviter un probable conflit des usagers d'eau du barrage, nous avons plutôt proposé l'utilisation des eaux souterraines du bassin du Kawara-Sindou.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

V.3 Etudes de la conception de l'aménagement hydroagricole

V.3.1 Choix du type d'irrigation et des spéculations

Plusieurs types d'irrigation existent avec leurs avantages et inconvénients (ANNEXE II). Compte tenu de l'analyse du type de sol, la disponibilité de la ressource en eau, la disponibilité de l'énergie solaire, et surtout des habitudes culturelles des producteurs du périmètre, pour notre étude nous ferons un dimensionnement pour une irrigation par micro-aspersion à rampe fixe pour ce périmètre. Cela parce que c'est une solution innovante au Burkina Faso, économe d'eau avec une efficacité très grande (entre 70 et 85 % selon le climat) au niveau parcelle, moins sensible au bouchage, pas trop complexe en termes de maintenance et une basse pression (1 à 2 bars), adapté à tous les types de sol.

En ce qui concerne les spéculations, le riz, le maïs, la tomate et l'oignon ont été retenus. Aussi, la disponibilité de la ressource en eau en toute période l'année, nous amène à proposer un calendrier sur toute l'année. En effet, selon les études menées en 2007, par le Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH, 2007), l'oignon avec un rendement de 30 t/ha constitue la production la plus rentable sur le plan national. La tomate donne un rendement de 45 t/ha et est classé parmi les meilleures cultures maraichères à haut rendement. Le maïs et riz sont consommés en grande partie dans les ménages, ils sont très sollicités sur le plan national. Nous avons donc pris comme hypothèse de travail ces spéculations pour faire une simulation des besoins en eau afin de prendre la plus contraignante pour notre dimensionnement. Les données culturales sur ces plantes sont les suivantes :

Tableau 3 : Données culturales des spéculations

Cultures		Stade initial	Stade de croissance	Stade de mi-saison	Stade d'arrière saison	Durée du cycle	Profondeur maximale (m)
Oignon	Durée (jours)	25	35	40	20	120	0,5
	Kc	0,7	0,75	1,05	0,85		
Tomate	Durée (jours)	20	35	35	30	120	1,5
	Kc	0,6	0,75	1,15	0,8		
Maïs	Durée (jours)	20	30	30	10	90	1,7
	Kc	0,35	0,75	1,15	0,6		
Maïs	Durée (jours)	20	30	35	25	110	0,6
	Kc	1,01	1,12	1,2	1,1		

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

V.3.2 Calendrier culturel

Les échanges avec les producteurs nous ont permis de dégager 3 campagnes de 4 mois :

- la première couvre la période d'octobre à janvier. Elle est sèche froide,
- la deuxième couvre la période de février à mai. Elle sèche chaude et
- la dernière couvre de juin à septembre et c'est la campagne hivernale.

Conformément au tableau ci-dessous, et selon les propositions et habitudes culturelles des producteurs du périmètre, les activités sur le périmètre concerneront les trois campagnes et les 4 spéculations.

Tableau 4 : Calendrier culturel du périmètre

Culture	Activité	Campagne sèche froide				Campagne sèche chaude				Campagne hivernale			
		Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept
Oignon	Pépinière	■				■				■			
	repiquage	■				■				■			
	Cultture	■				■				■			
	recolte				■				■				■
Tomate	Pépinière	■				■				■			
	repiquage	■				■				■			
	Cultture	■				■				■			
	recolte				■				■				■
Maïs	Sémis direct	■				■				■			
	Cultture	■				■				■			
	recolte			■				■			■		
Riz	Pépinière	■				■				■			
	repiquage	■				■				■			
	Cultture	■				■				■			
	recolte				■				■				■

V.3.3 Dimensionnement préliminaire de l'aménagement

Les calculs faits suivant la méthodologie énoncée nous ont permis de dresser le tableau ci-dessous (Cf. ANNEXE III). On constate que les besoins journaliers maximums de pointe du riz, du maïs, de la tomate et de l'oignon sont respectivement observés en mars (riz et maïs) et en avril (tomate et oignon). La détermination du débit spécifique d'alimentation de chaque spéculation nous a permis de choisir celui du riz pour la conception de l'aménagement final. Le tour d'eau est pris égal à 5 jours du fait des activités économiques et de commerce qui s'organisent tous les 5 jours à Douna et tous les lundis à Sindou où la participation des producteurs est essentielle pour la commercialisation de leur production. (SAKA, 1991).

Le nombre de postes par jour est fixé à 2 pour un temps de poste de 10h30 et un temps de déplacement pour l'ouverture des vannes des rampes de 1h30 afin de permettre à l'exploitant d'être autonome et de vaquer à d'autres occupations notamment d'entretien de la parcelle.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 5 : Paramètres du dimensionnement préliminaire

Paramètres	Riz	Maïs	Tomate	Oignon
<i>P</i>	0,67	0,67	0,67	0,67
<i>H_{pf} [%]</i>	34,90	34,90	34,90	34,90
<i>H_{wp} [%]</i>	19,60	19,60	19,60	19,60
<i>RU [mm/m]</i>	153,00	153,00	153,00	153,00
<i>Zr (m)</i>	0,60	1,70	1,50	0,50
<i>Dp (mm)=RFU [mm]</i>	61,20	173,40	153,00	51,00
<i>A (ha)</i>	288,00	288,00	288,00	288,00
<i>Vp (m3)</i>	176 256	499 392	440 640	146 880
<i>BMP (mm/j)</i>	8,94	6,70	7,54	6,74
<i>F (j)</i>	6,84	25,90	20,30	7,57
<i>T (j)</i>	5,00	5,00	5,00	5,00
<i>Dr (mm)</i>	44,71	33,48	37,69	33,70
<i>Pr</i>	0,49	0,13	0,16	0,44
<i>Vr (m3)</i>	128 772	96 412	108 540	97 056
<i>Ea</i>	0,70	0,70	0,70	0,70
<i>Db (mm)</i>	63,88	47,82	53,84	48,14
<i>Ts(h/j)</i>	11,00	11,00	11,00	11,00
<i>Ns</i>	2,00	2,00	2,00	2,00
<i>qe (l/s/ha)</i>	1,61	1,21	1,36	1,22
<i>Q_{tot} (l/s)</i>	464,55	347,81	391,56	350,13

V.3.4 Dimensionnement final de l'aménagement

V.3.4.1 Plan d'installation des parcelles

La délimitation finale du périmètre nous a permis de dégager une superficie totale de 320 ha. Dont 10% sont utilisés pour l'assainissement du périmètre, les ouvrages annexes, les pistes et les airs de séchage. Pour des raisons de flexibilité et de design, le périmètre a été subdivisé en 13 blocs agricoles comme le montre la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

D'autre part les enquêtes sur le terrain ont montré que la superficie parcellaire varie de 0,15 ha à 0,25 ha au maximum par producteur sur une superficie de total de 130 ha et le nombre d'exploitants ne dépasse guère les 250 personnes. Ce qui est corroboré par les études de SAKA sur le même périmètre. Aussi les producteurs n'ayant pas de parcelle sur le périmètre essaient d'en prendre en location auprès des détenteurs de parcelles sur le périmètre pour une année d'exploitation renouvelable. (SAKA, 1991).

Ce nouveau plan parcellaire permettra d'augmenter le nombre et la superficie des parcelles à 566 parcelles pour 566 exploitants avec 0,5 ha par exploitant.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

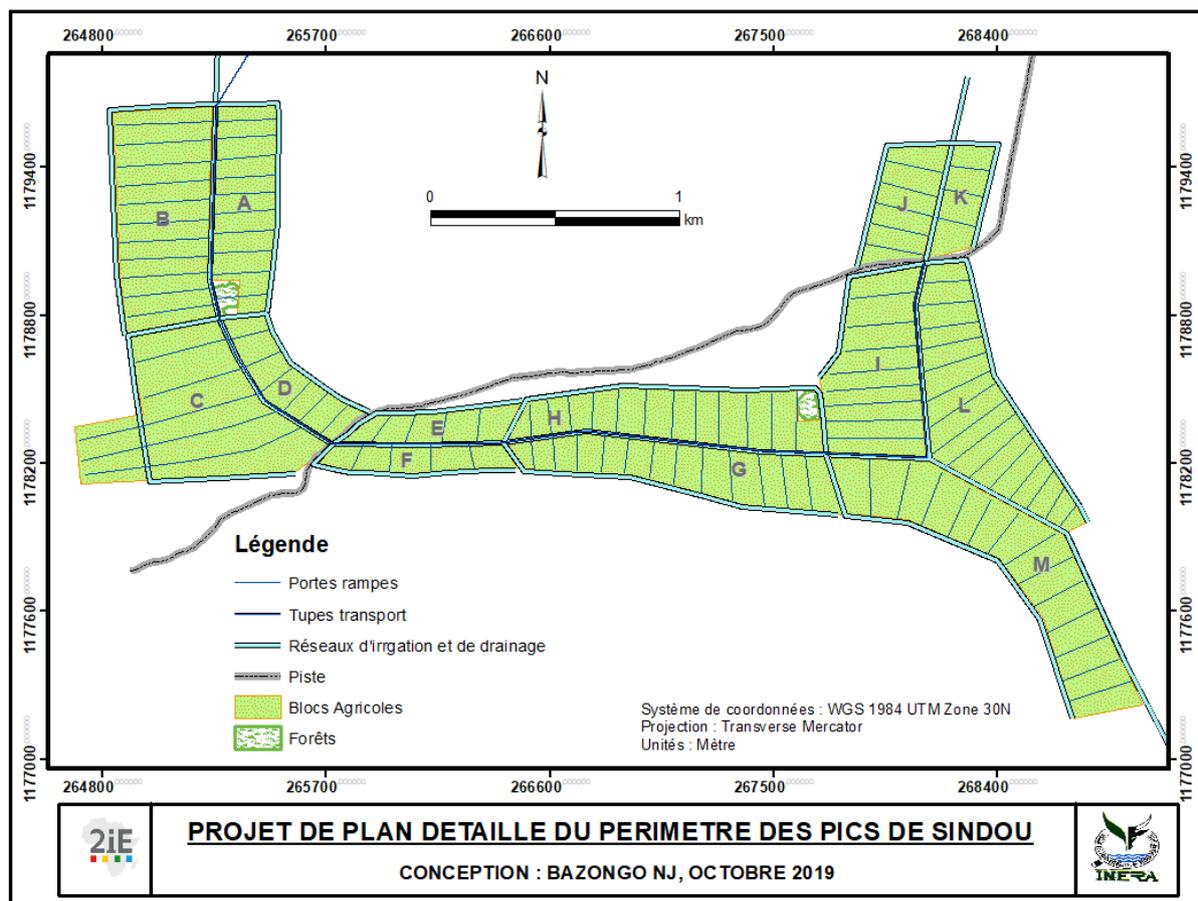


Figure 22 : Plan détaillé du périmètre des pics de Sindou

V.3.4.2 Choix des asperseurs

Le tableau ci-dessous présente l'asperseur retenu pour l'aménagement du périmètre irrigué.

Tableau 6 : Paramètre de l'asperseur choisi.

Désignation	Valeur	
Catalogue de choix	NETAFIM V0.1 2019	
Caractéristiques asperseur	MEGANET 15 D	
Débit de l'asperseur (l/h)	605	
Diamètre mouillé (m)	16	
Pression nominale (bar)	2,3	
Coefficient d'Uniformité CU= ou >	92%	
Dispositif	Carré	
Ecartement (m)	10x10	
Pluviométrie de l'asperseur (mm/h)	6,05	
Infiltration du sol (mm/h)	6,25	

Source : Catalogue NETAFIM 2019

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Le débit d'équipement issu du dimensionnement est de **1,68 l/s/ha**. Qui est sensiblement proche de la valeur issue du dimensionnement préliminaire qui est de **1,61 l/s/ha**. Soit une différence de **0,07 l/s/h**.

Notre choix de micro-asperseurs s'est porté sur le modèle MEGANET 15 D du constructeur NETAFIM. Car utilisé pour l'irrigation des cultures maraîchères en plein champ, les pépinières et l'horticulture, aspersion sur et sous frondaison en arboriculture, la lutte antigel, le refroidissement en vergers ou sur toiture, ce modèle :

- assure un rendement élevé et uniforme
 - trajectoire à double jets assurant des performances élevées sans déséquilibres susceptibles de faire basculer l'arroseur.
 - très bonne uniformité d'émission.
- augmente du pourcentage de germination
 - fines gouttes permettant un apport d'eau progressif et homogène, en limitant les phénomènes de tassement, ruissellement, lessivage et sur-arrosage.
- réduit des coûts de maintenance
 - la structure escamotable protège les mécanismes sensibles de l'arroseur contre toutes les agressions extérieures et empêche l'intrusion d'insectes
 - un filtre démontable est placé dans la tête de l'arroseur en amont de la buse, évitant ainsi les risques de colmatage et facilitent la maintenance.
 - matières premières extrêmement résistantes aux UV, à tous les produits chimiques agricoles et aux conditions météorologiques.
- s'installe facilement sur des piquets et des supports standards 1/2'' taraudés femelle Netafim.

V.3.4.3 Choix des conduites du réseau d'irrigation

Le choix des conduites s'est à l'aide du catalogue (SOTICI(a), 2017) de la Société de Transformation Industrielle en Côte d'Ivoire (SOTICI). Le choix s'est porté sur la gamme du Tubes Polyéthylène Haute Densité (PEHD), conçu pour l'adduction en eau potable et l'irrigation. Nous avons choisi la PE80 PN6. En effet, après avoir identifié la rampe la plus défavorable (Bloc C), nous avons procédé au dimensionnement de l'ensemble des conduites partant des rampes aux conduites de transport en passant par les porte-rampes et les conduites principales des différents blocs agricoles. Les données obtenues sont simulées sur Epanet. La figure 21 présente la distribution de pression aux différents nœuds du réseau et la figure 22 la distribution des vitesses dans les conduites.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Les résultats montrent que la pression aux différents nœuds donc dans les conduites, est comprise entre 20 et 52 m (2 à 5,2 bars) et que la vitesse d'écoulement dans les conduites ne dépasse guère la limite autorisée qui est de **1,7 m/s**. Ce qui justifie donc le choix des tuyaux de pression nominale 6 bars. Les résultats de dimensionnement du réseau d'irrigation sont en annexe

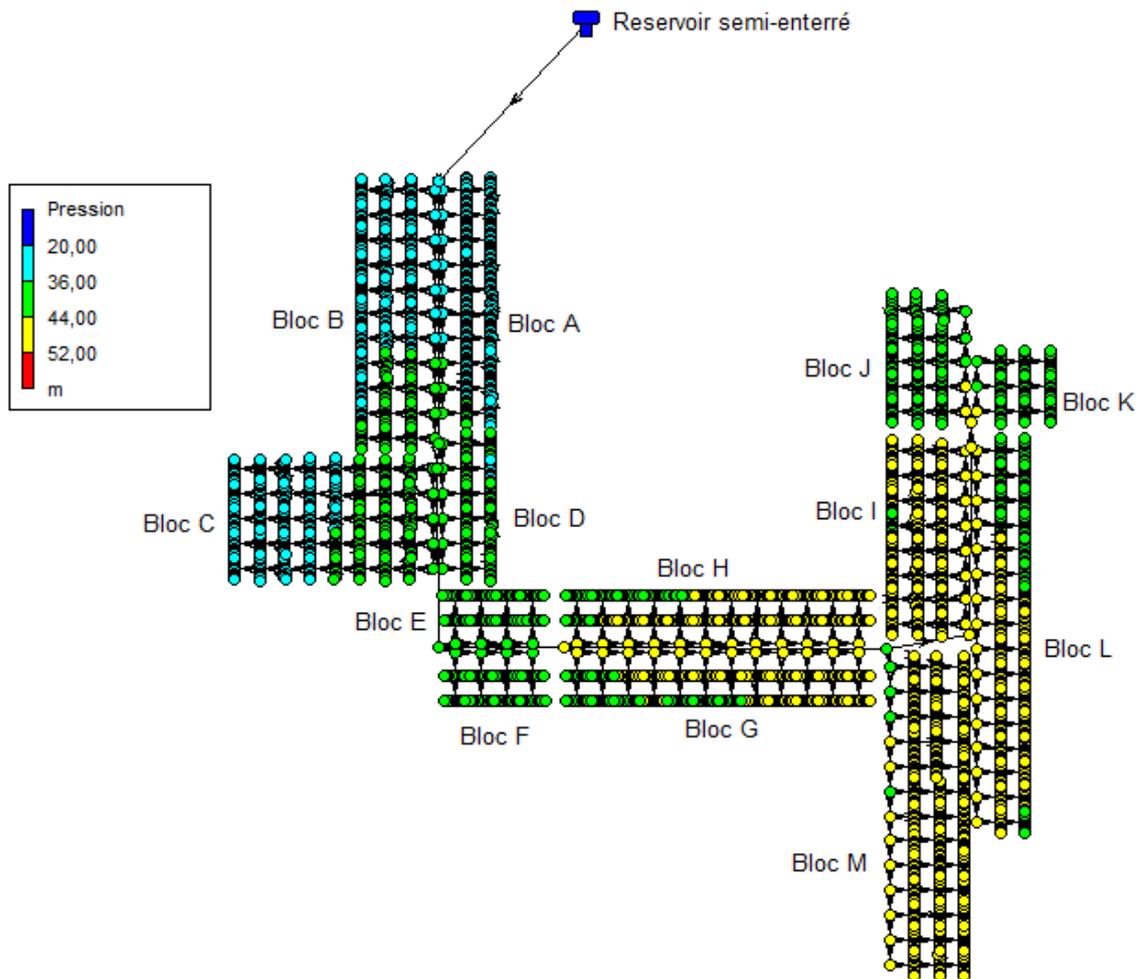


Figure 23 : Schéma du réseau d'irrigation avec distribution de pression

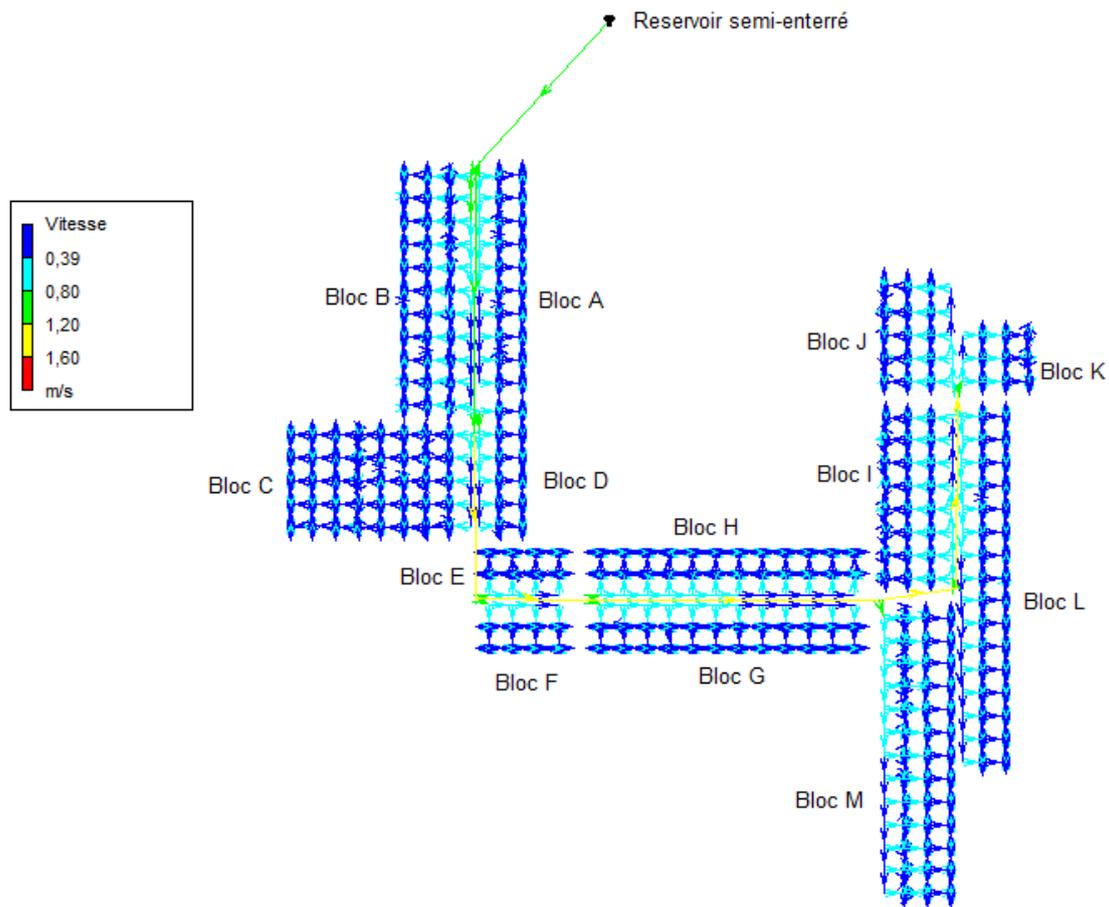


Figure 24 : Schéma du réseau d'irrigation avec distribution de vitesse

V.3.4.4 Dimensionnement de la station de pompage

Les résultats des calculs sont en annexe. Cependant retenons que la station de pompage est constituée des éléments suivants :

- Un réservoir rectangulaire semi-enterré dont le radier est calé à la cote 364 m. il est constitué de deux cuves en béton-armé de longueur 50 m, largeur 40 m et hauteur 6,5m, couvertes par des panneaux de dalles reposés sur les parois des murs du réservoir et des poteaux implanter à l'intérieur des cuves.
- Un champ de 30 forages d'eau souterraine équipés chacun d'une pompe immergée GRUNFOS SP 125-2 Qnominal 122 m³/h à HMT 41 mCE code produit 17A01902.
- Et d'une centrale solaire pour le fonctionnement des forages avec une capacité de 8,57MWc en période estivale ce qui permet d'éviter le rejet de 1 805,17 tonnes CO₂ dans l'environnement.

V.4 Etudes d'impact environnemental et social

V.4.1 Les activités susceptibles d'impacter sur l'environnement

Les éléments sensibles de l'environnement qui seront les plus affectés par les travaux de chantier sont le sol, les ressources en eau, la végétation (faune et flore), l'air, l'environnement acoustique, les populations riveraines.

V.4.2 Activités pouvant générer des impacts négatifs sur l'environnement

Les principales sont :

- les travaux de préparation et de terrassement dans les diverses superficies,
- l'aménagement des installations de chantier,
- l'ouverture des carrières,
- les déplacements d'engins lourds et des véhicules, les emprunts et le transport des matériaux.
- les batteries usées du système solaire

V.4.3 Composantes du Plan de Gestion Social et Environnemental

Dans l'optique de protéger l'ensemble des ressources naturelles et d'impacter un minimum sur l'écosystème, le plan de gestion mis en place se définit sur trois axes :

- des mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification des impacts du projet
- un programme de surveillance environnemental,
- un plan de suivi environnemental.

Le programme de surveillance environnemental devra impliquer plusieurs acteurs, à savoir la Directions provinciales en charge de l'eau, en charge de l'agriculture et en charge de l'environnement, le Haut le Commissariat, le Bureau National des Evaluations Environnementales (BUNEE), les bénéficiaires du projet, les autorité coutumières et religieuses, le CLE-Noula, et les entreprises en charge des travaux, la mission de contrôle des travaux.

Quant au plan de suivi environnemental (Tableau 33 en annexe), il s'agira ici de suivre un certain nombre de récepteurs d'impacts (indicateurs) jugés préoccupants. Ce plan se décompose en activités menés de concert avec les travaux de chantier. L'ensemble des mesures mises en place pour la réalisation du PGES ont été chiffrés, de manière indicative, à hauteur de 121 304 000 FCFA.

V.5 L'évaluation du coût de l'aménagement et sa rentabilité

V.5.1 Devis quantitatif et estimatif

L'évaluation du coût total des travaux de l'aménagement nous donne un montant total en hors taxe de 947 798 473 FCFA soit 1 118 402 198 FCFA toutes taxes comprises. A l'hectare ce coût est estimé à 3 290 967 FCFA Hors taxes soit 3 883 341 FCFA toutes taxes comprises.

V.5.2 Compte d'exploitation et rentabilité du périmètre

Les deux produits maraîchers les plus vendus au Burkina Faso et prisés dans la localité sont l'oignon et la tomate donc en faisant le compte d'exploitation d'un hectare de tomate et un hectare d'oignon (en faisant une rotation de culture pendant la saison sèche), nous obtenons une marge de 3 212 490 FCFA pour l'oignon et de 4 739 338 FCFA pour la tomate soit un bénéfice brut de 7 951 828 FCFA pour l'ensemble de la campagne sèche. En prenant en compte l'amortissement sur 30 ans des pompes et des équipements photovoltaïques, on obtient un bénéfice net de 1 451 828 FCFA. Donc au vu du coût à l'hectare, le retour sur investissement sera atteint en 2 ans et demi.

VI. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Le système d'irrigation par aspersion utilisant de l'énergie solaire étant une nouvelle technologie méconnue des exploitants, il est souhaitable de renforcer leurs capacités par des formations pendant les travaux d'aménagement et durant les premières campagnes d'exploitation pour :

- Leur permettre de comprendre le fonctionnement des ouvrages et équipements ainsi que les travaux d'entretien nécessaires ;
- Leur transmettre les itinéraires techniques des cultures ;
- Qu'ils s'approprient les techniques de conservation de l'oignon afin de leur permettre de mieux conserver leur production et d'en tirer un meilleur prix ;
- Une gestion financière adaptée ;
- Renforcer la capacité d'organisation des producteurs en groupement leur permettant de mieux faire face à la pression des revendeurs ;
- Le Respect de la rotation de culture sera un atout en ce qui concerne la fertilité du sol en place.

CONCLUSION

L'eau joue un rôle primordial dans le développement de l'agriculture. Donc sa non maîtrise entraîne des effets non négligeables. Du diagnostic, il ressort que la maîtrise de l'eau dans le périmètre des pics de Sindou n'est pas au rendez-vous, avec la baisse de la performance en toute saison due en grande partie aux aléas climatiques surtout lorsque les crues surviennent ou que de longues poches de sécheresse se font observer.

La valorisation des eaux souterraines, des systèmes d'irrigation économe d'eau telle que l'irrigation par aspersion et l'utilisation des énergies renouvelables dans le secteur agricole, est un meilleur moyen d'adaptation aux impacts des changements climatiques.

Ainsi, l'aménagement proposé, permettra d'évacuer une crue décennale de 35 m³/s. L'assainissement de l'aménagement se fera avec des canaux trapézoïdaux servant à calibrer le lit mineur du cours d'eau. Il permettra, de plus d'irriguer 566 parcelles de 0,5 ha chacune avec de l'eau souterraine en toute période de l'année. Enfin l'irrigation par aspersion a été retenue pour l'aménagement avec un débit d'équipement maximal de 1,68 l/s/ha. Le coût de l'aménagement hydroagricole est de 1 118 402 198 FCFA TTC soit 3 883 341 F CFA/ha, pour une durée de retour sur investissement de deux ans et demi.

Au terme de notre étude nous retenons la pertinence de l'utilisation des réservoirs semi-enterrés qui limitent considérablement l'évaporation. Nous recommandons fortement son utilisation dans les zones où le relief le permet, afin de réduire considérablement le coût d'investissement lié à réalisation des barrages hydroagricole.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- ALBERGEL, J., LAMACHERE, J.-M., LIDON, B., MOKADEM, A., & VAND DRIEL, W. (1993). *Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles*. Rapport final d'un projet CORAF-R3S, CIEH, Ouagadougou.
- ANDRIANISA, H. A. (2014). *Cours de des pompes et stations de pompage*. Ouagadougou.
- BATTESTI, A. (1957). *Turka et Goin des villages de Douna et de Goindougouba (Région de Banfora)*.
- BLEGNE, S. (2016, Février 29). (Médiaterre) Consulté le mai 02, 2019, sur Agriculture au Burkina Faso : des solutions simples pour des résultats probants: <https://www.mediaterre.org/afrique-ouest/actu,20160229103526.html>
- BROWER, M. (1974). *Etude morpho-pédologique de reconnaissance pour l'implantation des périmètres irrigués : région de Bagré-Sud*. Montpellier: IRAT.
- CILSS. (2002). *Catalogue régional des variétés de semences vulgarisées*. Ouagadougou.
- COWI. (2012). *Etat des lieux du bassin de la Comoé*. Agence de l'Eau des Cascades. Banfora: MCA-BF.
- DAKOURE, D. (2003). *Etudes Hydrogéologique et Géochimique de la bordure Sud-Est du Bassin Sédimentaire de TAOUDENI (BURKINA FASO - MALI) - Essai de modélisation*. Thèse de doctorat.
- DEMBELE, Y. (2010). *Cartographie des zones socio-rurales du Burkina Faso : Un outil d'aide à la planification pour la gestion de l'eau en agriculture*. FAO, Ouagadougou.
- DOORENDOS, J., & KASSAM, A. (1987). Réponse des rendements à l'eau. (FAO, Éd.) *Bulletin FAO d'irrigation et drainage*, 33, p. 235. Consulté le Août 2019
- EVANS, A. E., GIORDANO, M., & CLAYTON, T. (2012). *Investir dans la gestion de l'eau en agriculture au profit des petits exploitants*. Rapport national de synthèse du projet AgWater, Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI), Colombo, Sri Lanka. doi:10.5337/2012.216
- FAO. (1996). Crues et apports, Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. Dans FAO (Éd.), *Bulletin FAO d'Irrigation et de drainage* (Vol. 54, p. 244). Rome, ITALIE.
- FAO. (1996). *Crues et apports*. Consulté le février 2018

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

- FOURNIER, J., & DURAND, J.-M. (1998, Juillet 12). Le diagnostic rapide des bas-fonds soudano-sahéliens. *Sud Sciences & Technologies*(2), pp. 12-21. Consulté le Mai 2019
- GBANE, M. (2018). *Conception et réalisation participatives d'aménagements de bas-fonds suivant l'approche smart-valleys en zone sud soudanienne : cas des sites pilotes de Sindou et de Banflagouè-fon*. Memoire de Master, 2iE, Ouagadougou.
- GRUNDFOS. (2019). *GRUNDFOS*. Récupéré sur GRUNDFOS PRODUCT CENTER: <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?qcid=732320346&sizeType=adv>
- HERRERA, R., & ILBOUDO, L. (2012, 1). Les défis de l'agriculture paysanne : le cas du Burkina Faso. *L'Homme & la Société*(183-184), pp. 83-95. doi:10.3917/lhs.183.0083
- INERAFLASH. (2013, juin 19). *INERAFLASH*. Consulté le mars 3, 2019, sur INERAFLASH: <https://celinfoinera.wordpress.com/2013/06/19/presentation/>
- KABORE, P. N., OUEDRAOGO, A., SANON, M., YAKA, P., & SOME, L. (2017). Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015. *Climatologie*, 14.
- KAMBOU, D. (2019). *Évaluation des performances techniques de l'irrigation au Burkina Faso*. Essai présenté en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique, University of Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux.
- KEITA, A. (2015). *Subsurface Drainage of Valley Bottom Irrigated rice schemes in Tropical Savannah: Case studies of Tiefora and Moussodougou in Burkina Faso*. Thesis for specialised PhD training.
- KILLIAN, J., & TEISSER. (1973). Méthodes d'investigation pour l'analyse et le classement des bas-fonds dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest : proposition de classification d'aptitudes des terres à la riziculture. *Agron. Trop.*, 28(2), pp. 156-172.
- LABEY, Y., OLSON, M., GALAND, A., & TSIOURTIS, N. (1996). *Conception et optimisation des reseaux d'irrigation*. (FAO, Éd.)
- LAVIGNE DELVILLE, P., & ROBIN, J. (2019). Aménagement de bas-fonds, politique de l'aménageur et recompositions foncières. Le cas de Lofing au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, 28(18), p. 8. doi:<https://doi.org/10.1051/cagri/2019018>
- LOYE, A. S., TINGUERI, R. K., ZIDA, Y., & ZOMA, L. (2009). *Monographie de la Région des Cascades*.
- MAHRH. (2007). *Analyse de la filière maraichage au Burkina Faso*. Ouagadougou.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

- NETAFIM. (2019). *Micro-aspersion : Catalogue produits & solutions* (Vol. 0.1-2019). NETAFIM.
- OFAB. (2019). *Forum Ouvert sur la Biotechnologie Agricole*. Consulté le septembre 15, 2019, sur OFAB-BURKINA FASO: <https://www.ofab-burkina.com/centres-et-instituts-de-recherche/inera/>
- OUEDRAOGO, S. (2009). *Recueil de cours de statistique*. Ouagadougou.
- PIEYNS, A. S. (2017). *Amélioration de la connaissance et de la gestion des eaux au Burkina Faso : Evaluation des ressources en eau et des demandes sectorielles Bilan besoins-ressources*.
- PILOT, G., & CARTIER, G. (s.d.). *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées : Digue et barrage en terre de faible hauteur*.
- RODIER, J. (1975). Prédétermination des débits de crues en Afrique occidentale sur les petits bassins versants. (ORSTOM, Éd.) *L'hydrologie des crues.*, p. 15.
- RODIER, J. (1978). *Analyse de l'eau* (éd. 6e). Paris.
- SAKA, P. (1991). *Etudes d'un aménagement hydroagricole en milieu rural : le cas de la plaine de Niofila dans la province de la Comoé*.
- SALACK, S. (2006). *Évaluation de l'incidence des changements climatiques sur la culture du riz pluvial et irrigué dans les pays du CILSS*. Niamey.
- SANDER, Z. (2019). *A transformative agenda for water*. Consulté le Août 17, 2019, sur International Water Management Institute: <http://www.iwmi.cgiar.org/what-we-do/projects/show-projects/?C=999>
- SOTICI(a). (2017). *Documentation Technique : Tubes Polyéthylène Haute Densité- Adduction d'eau potable* (Vol. 1.6). Abidjan, Côte d'Ivoire. Récupéré sur <http://sotici.com/WordPresSotici/wp-content/uploads/2017/10/PEHD-eau-potable-V1.6.pdf>
- SOTICI(b). (2017). *Documentation Technique : Tubes PV-Forage* (Vol. 1.10). Abidjan, COTE D'IVOIRE. Récupéré sur <http://sotici.com/WordPresSotici/wp-content/uploads/2017/10/Forage-PVC-V1.10.pdf>
- SOUTTER, M., MERMOUD, A., & MUSY, A. (2007). *Ingénierie des eaux et du sol : Processus et aménagements*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. doi:2880747244, 9782880747244

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

YIRA, Y., BOSSA, Y., KEITA, A., FUSILLIER, J.-L., SERPENTIE, G., YAMEOGO, B., . . .
LIDON, B. (2019). Failure of inland valleys development: a hydrological diagnosis
of the Bankandi valley in Burkina Faso. *Modeling Earth Systems and Environment*.

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

ANNEXES

<i>ANNEXE I. ETUDES HYDROLOGIQUES.....</i>	<i>VII</i>
<i>Annexe 1.1. Synthèse de l'analyse fréquentielle des pluies</i>	<i>VII</i>
<i>Annexe 1.1.1. Ajustement à la loi de GAUSS</i>	<i>VII</i>
<i>Annexe 1.1.2. Ajustement à la loi de GUMBEL.....</i>	<i>VII</i>
<i>Annexe 1.2. Paramètres géomorphologiques du bassin versant</i>	<i>IX</i>
<i>Annexe 1.2.1. Délimitation du bassin versant du périmètre</i>	<i>IX</i>
<i>Annexe 1.2.1. Détermination de la crue de projet.....</i>	<i>XI</i>
<i>ANNEXE II. LES DIFFERENTS DES SYSTEMES D'IRRIGATION</i>	<i>XV</i>
<i>ANNEXE III. DIMENSIONNEMENT PRELIMINAIRE DE L'AMENAGEMENT.....</i>	<i>XVI</i>
<i>ANNEXE IV. ESSAI D'INFILTRATION DE MUNTZ SUR LE PERIMETRE.....</i>	<i>XVII</i>
<i>ANNEXE V. DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION.....</i>	<i>XIX</i>
<i>ANNEXE VI. DIMENSIONNEMENT DE LA STATION DE POMPAGE</i>	<i>XXXII</i>
<i>ANNEXE VII. DIMENSIONNEMENT DU CHAMPS PHOTOVOLTAIQUE</i>	<i>XXXIII</i>
<i>ANNEXE VIII. PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....</i>	<i>XXXIV</i>
<i>ANNEXE IX. DESCRIPTION DES TRAVAUX ET DEVIS ESTIMATIF</i>	<i>XXXVIII</i>
<i>Annexe 9.1. Les travaux liés à l'assainissement du périmètre des pics de Sindou.....</i>	<i>XXXVIII</i>
<i>Annexe 9.2. Les travaux d'aménagement par aspersion du périmètre.....</i>	<i>XL</i>
<i>Annexe 9.3. Compte d'exploitation pour la production de la Tomate par hectare.....</i>	<i>XLIII</i>
<i>ANNEXE X. ETUDE DU RESERVOIR.....</i>	<i>XLV</i>
<i>Annexe 10.1. Calcul de dimensionnement des parois.....</i>	<i>XLV</i>
<i>Annexe 10.2. Pré dimensionnement des parois</i>	<i>XLV</i>
<i>Annexe 10.3. Stabilité externe des parois.</i>	<i>XLVI</i>
<i>Annexe 10.3.1. Première combinaison : réservoir vide avec remblai.....</i>	<i>XLVI</i>
<i>Annexe 10.3.1.1. Stabilité vis-à-vis du renversement :</i>	<i>XLVII</i>
<i>Annexe 10.3.1.2. Stabilité vis-à-vis de glissement :</i>	<i>XLIX</i>
<i>Annexe 10.3.1.3. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement.....</i>	<i>XLIX</i>
<i>Annexe 10.3.2. Deuxième combinaison : réservoir plein sans remblai</i>	<i>LI</i>
<i>Annexe 10.3.2.1. Etude de stabilité vis-à-vis du renversement :</i>	<i>LI</i>
<i>Annexe 10.3.2.2. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement.....</i>	<i>LII</i>
<i>Annexe 10.3.3. Troisième combinaison : réservoir plein avec remblai</i>	<i>LIV</i>
<i>Annexe 10.3.3.1. Etude de stabilité vis-à-vis du renversement :</i>	<i>LIV</i>
<i>Annexe 10.3.3.2. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement.....</i>	<i>LV</i>
<i>Annexe 10.4. Stabilité interne des parois et calcul des armatures :</i>	<i>LVI</i>
<i>Annexe 10.4.1. Calcul des sollicitations</i>	<i>LVI</i>
<i>Annexe 10.4.1.1. Première combinaison : réservoir vide avec remblai.....</i>	<i>LVII</i>
<i>Annexe 10.4.1.2. Deuxième combinaison : réservoir plein sans remblai.....</i>	<i>LIX</i>
<i>Annexe 10.4.1.3. Troisième combinaison : réservoir plein avec remblais.....</i>	<i>LX</i>
<i>Annexe 10.4.2. Calcul des sections d'armature</i>	<i>LXI</i>
<i>Annexe 10.4.2.1. Calcul des armatures longitudinales.....</i>	<i>LXI</i>
<i>Annexe 10.4.2.1.1. Cas de flexion composée :</i>	<i>LXI</i>
<i>Annexe 10.4.2.1.2. Cas flexion simple</i>	<i>LXIII</i>

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

Annexe 10.4.2.2. Calcul des armatures transversales.....	LXIII
Annexe 10.4.2.3. Les armatures de répartition.....	LXIV
Annexe 10.4.2.4. Ferrailage définitif des parois.....	LXIV
Annexe 10.4.2.4.1. Ferrailage du fut	LXIV
Annexe 10.4.2.4.2. Ferrailage du talon.....	LXV
Annexe 10.4.2.4.3. Ferrailage du patin.....	LXV

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE I. ETUDES HYDROLOGIQUES

Annexe 1.1. Synthèse de l'analyse fréquentielle des pluies

La série de données utilisée pour la zone du projet provient de la station agrométéorologique de Bérégadougou (Banfora). Elle couvre la période 1986-2018. Soit 33 années de données utilisées, ce qui respect le minimum de données nécessaires à l'analyse fréquentielle qui est de 30 années (Cf. Tableau 9). Pour la série des pluies annuelles (33 valeurs), nous appliquerons l'ajustement à la loi de GAUSS. Car sur ladite série, le mode, la médiane et la moyenne sont proches. Et pour la série des pluies maximales journalières (33 valeurs) nous avons opté pour l'ajustement à la loi de GUMBEL, qui se justifie par la nature extrême du phénomène caractérisé par les données (maximales journalières).

Annexe 1.1.1. Ajustement à la loi de GAUSS

Tableau 7 : Résultats de l'analyse fréquentielle des pluies annuelles

Période sèche		Duré de retour (ans)	Période humide	
Fréquence	Pluie [mm]		Pluie [mm]	Fréquence
0,0001	465	10000	1620	0,9999
0,0005	531	2000	1550	0,9995
0,001	563	1000	1520	0,999
0,005	642	200	1440	0,995
0,01	681	100	1400	0,99
0,02	723	50	1360	0,98
0,05	787	20	1300	0,95
0,1	843	10	1240	0,9
0,2	912	5	1170	0,8
0,3	961	3	1110	0,6667
0,5	1040	2	1040	0,5

Annexe 1.1.2. Ajustement à la loi de GUMBEL

Tableau 8 : Résultats de l'analyse fréquentielle des pluies journalières maximales

Période sèche		Duré de retour (ans)	Période humide	
Fréquence	Pluie [mm]		Pluie [mm]	Fréquence
0,0001	32,7681	10000	203,078	0,9999
0,0005	35,6297	2000	179,095	0,9995
0,001	37,0544	1000	168,764	0,999
0,005	41,0066	200	144,755	0,995
0,01	43,0956	100	134,39	0,99
0,02	45,5261	50	123,987	0,98
0,05	49,5023	20	110,104	0,95
0,1	53,4232	10	99,3791	0,9
0,2	58,7594	5	88,1981	0,8
0,3	63,0841	3	79,2998	0,6667
0,5	71,3106	2	71,3106	0,5

*Pour le dimensionnement, la pluie humide de période de retour 10 ans sera maintenue.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 9 : Données pluviométriques de la station agrométéorologique de Bérégadougou

Année	Pluie annuelle [mm]	Pluie journalière maximale [mm]
1986	1152,8	70,2
1987	977	84,7
1988	1228,7	73,1
1989	949,1	62,9
1990	1139,2	95,2
1991	1131,1	74,4
1992	677	73,9
1993	1089,4	72,7
1994	1149,7	85,5
1995	1171,6	82,6
1996	979,6	55,9
1997	1083,2	106,4
1998	1170,5	99,9
1999	994,9	68,2
2000	1258,4	61,6
2001	817	83,6
2002	959,2	74,7
2003	1225	77,0
2004	961,9	85,0
2005	843,1	81,8
2006	1253,9	61,6
2007	1089,7	95,1
2008	1135,8	76,5
2009	861,4	46,0
2010	1107,8	59,7
2011	893,4	56,8
2012	1089,8	48,0
2013	957,5	76,7
2014	1026,2	54,9
2015	935,4	71,1
2016	1077,4	141,6
2017	703	44,0
2018	1306	70,0
Moyenne	1042,2939	74,9
Ecart-type	155,24674	19,231594
Coefficient de variation	0,1489472	0,2568052
Maximun	1306	141,6
Minimum	677	44

Source : Agence Nationale de la Météorologie - Burkina Faso (ANAM)

La valeur moyenne de la pluviométrie annuelle est de l'ordre de 1042 mm/an. La zone du projet est située entre les isohyètes 750 et 1200 mm. Cette zone climatique correspond au climat tropical sec.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Annexe 1.2. Paramètres géomorphologiques du bassin versant

Annexe 1.2.1. Délimitation du bassin versant du périmètre

Les paramètres géomorphologiques sont calculés après la détermination des dimensions du bassin versant. Le bassin versant a été délimité à partir d'un point aval du site rizicole et précisément sur l'axe du lit mineur à la frontière avec le périmètre aménagé de la plaine de Niofila-Douna (Cf. Figure 25). Les outils logiciels tels que Google Earth, Global Mapper et ArcGIS ont été utilisés pour identifier les limites du bassin versant et déterminer ainsi géomorphologiques du bassin versant du périmètre des pics de Sindou (Cf. Tableau 10).

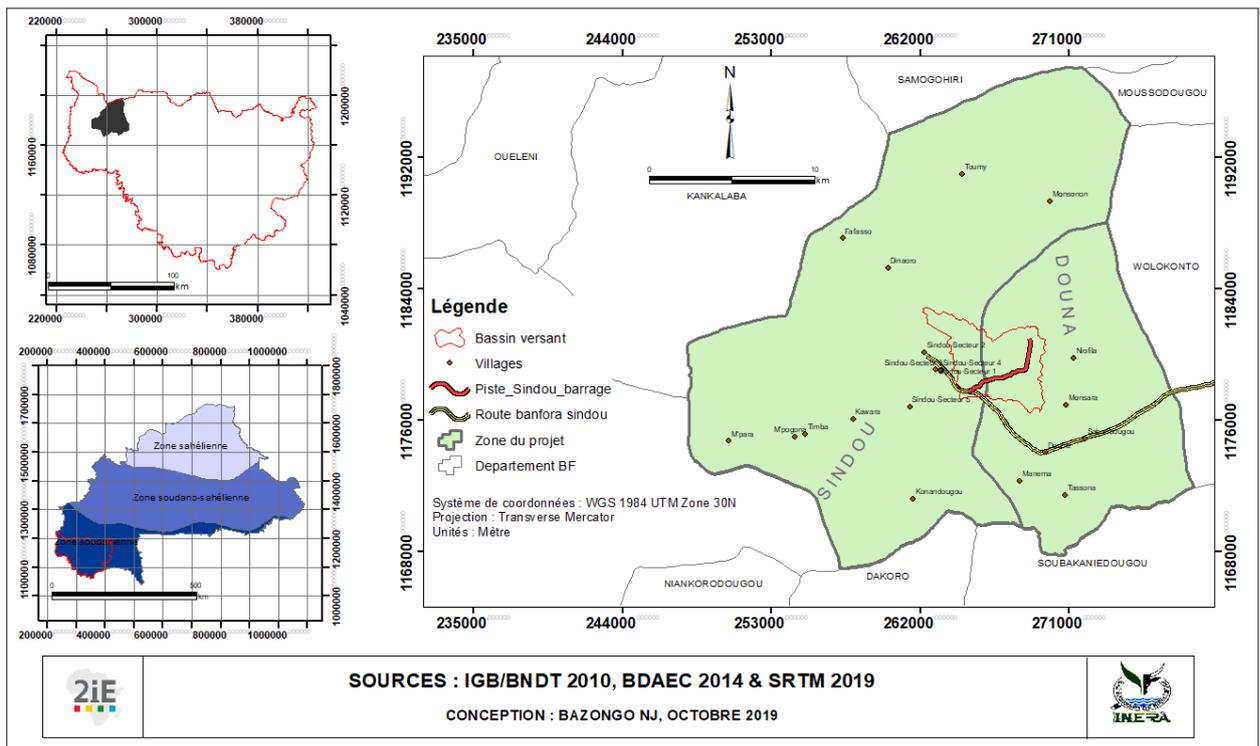


Figure 25 : Localisation du bas-fond des pics de Sindou

Tableau 10 : Synthèse des paramètres géomorphologiques du bassin versant

Termes	Symboles	Unités	Valeur	Formules
Surface	S	km ²	25,13	-
Périmètre	P	km	28,67	-
Indice de forme (GRAVELIUS)	Kg	-	1,61	$\frac{P}{2\sqrt{\pi \times S}}$
Forme du bassin	-	-	Allongée	-
Longueur de rectangle équivalent	Léq	km	12,29	$\frac{P + \sqrt{P^2 - 16 \times S}}{4}$
l*	n	-	3	-
Altitude 5%	H5%	m	400,53	-

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Termes	Symboles	Unités	Valeur	Formules
Altitude 95%	H95%	m	306,00	-
Indice global de pente	Ig	m/km	7,69	$\frac{H5\% - H95\%}{L}$
Pente transversale (obtenue sur 4 transects)	It	m/km	2,46	-
Indice global de pente corrigé	Igcorr	m/km	5,95	$\frac{(n - 1)Ig + It}{n}$
Indice global de pente par la formule de Grésillon	Ig	m/km	5,19	$\frac{1000 \times 0,026}{\sqrt{S(km^2)}}$
Longueur du réseau hydrographique	Lres	km	54,83	-
Densité de drainage	Dd	Km/km ²	2,18	$\frac{Lres}{S}$
Dénivelée spécifique	Ds	m	29,82	$Igcorr \times \sqrt{S}$
2* Typologie du relief	-	-	Relief faible	-
Pluie annuelle	Pan	mm	1042,29	-
3* Type de climat	-	-	Tropical sec	-
4* Vitesse d'infiltration moyenne	Vinf	mm/h	1-13,6	-
4* Type de sol dominant	-	-	Argileux à argilo-limoneux	-
5*Classe d'infiltrabilité	-	-	RI (P3)	-

1* n est un coefficient fonction de la longueur du rectangle équivalent et intervenant dans la correction de l'indice global de pente (FAO, 1996).

- n = 2 pour Léq < 5 km
- n = 3 pour 5 km < Léq < 25 km
- n = 4 pour 25 km < Léq < 50 km
- n = 5 pour Léq > 50 km

2*Relief en fonction de la dénivelée spécifique

Relief faible	Ds < 50 m
Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
Relief fort	100 m < Ds

Source : Bulletin FAO N°54, page 5.

3* Climat en fonction du module annuel

Type de climat	Pluie annuelle
Régime désertique	Moins de 300 mm
Régime sahélien	Entre 300 mm et 750 mm
Régime tropical sec	Entre 750 mm et 1200 mm

Source : Bulletin FAO N°54, page 22.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

4*Valeurs approximatives des vitesses d'infiltration de base

Type de sol	Vitesse d'infiltration de base (mm/h)
Argile	1-7
Argilo-limoneux	7-15
Sable fin-limoneux	15-25
Sablo-limoneux	25-40
Sableux	>40

Source : A. Keïta, 2016 : Cours d'irrigation par aspersion, page 48.

*5 Classes d'infiltrabilité des sols (Bulletin FAO N°54, page 11)

I (P2) : bassin imperméable. Pas moins de 85 à 90 % de la surface sont constitués par des sols imperméables : roche très saine et sans trop de rugosité, regs (plaines d'argiles et de cailloux très vite saturées), glacis (surfaces planes à faible pente aux sols les plus divers, mais à forte propension à engendrer des formations pelliculaires), colluvions argileuses, argiles pouvant parfois présenter des fentes de retrait telles que celles rencontrées fréquemment dans les bas-fonds (vertisols par exemple). Les sols argilo-sableux, sablo-argileux, voire sableux peuvent également être classés dans cette catégorie, s'ils sont recouverts d'une pellicule superficielle imperméable stable ;

RI (P3) : bassin relativement imperméable. Mélange en proportions à peu près égales de sols imperméables (I) et de sols perméables (P, voir ci-après). Si au contraire, le bassin est relativement homogène, il peut être constitué de sols imperméables avec une couverture végétale non négligeable qui gêne la formation de pellicules imperméables, de sols à recouvrement gravillonnaire continu d'épaisseur notable, de certaines arènes granitiques et, enfin, de sols avec des formations pelliculaires fragiles ;

P (P4) : bassin perméable, constitué d'éboulis rocheux avec produits de décomposition assez perméables, de cuirasses ferrugineuses très disloquées, d'affleurements rocheux tectonisés et diaclasés avec des pentes non négligeables, de sols sableux sans pellicule imperméable ou avec un couvert végétal significatif et de sables grossiers ;

TP : bassin très perméable, formé d'affleurements rocheux très diaclasés et disloqués avec de faibles pentes, de dunes et d'arènes épaisses, et de carapaces latéritiques excessivement fissurées.

Annexe 1.2.1. Détermination de la crue de projet

❖ Méthode ORSTOM (Méthode de Rodier)

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

Termes	Symboles	Unités	Valeurs	Formules
Surface	S	km ²	25,13	-
Pluie annuelle moyenne	Pan	mm	1044,73	-
Coefficient d'abattement (Vuillaume, 1974)	A	-	0,84	$1 - \frac{161 - 0.042 \times Pan}{1000} \times \log S$
Précipitation journalière décennale	P10	mm	99,38	-
Précipitation journalière décennale moyenne sur le bassin	Pm10	mm	83,07	$A \times P10$
1* Coefficient de ruissellement décennal	Kr10	%	27,09	-
2* Temps de base de la crue décennale	Tb10	mn	735,96	-
Débit moyen ruisselé décennal	Qmr10	m ³ /s	12,81	$\frac{Pm10 \times Kr10 \times S}{Tb10}$
3* Coefficient de point	α	-	2,6	-
Débit maximal décennal	Qr10	m ³ /s	33,30	$\alpha \times Qmr10$
4* Débit d'écoulement retardé décennal	Qret10	m ³ /s	1,67	$0,05 \times Qr10$
Débit maximal de pointe décennal	Q10	m ³ /s	34,97	$Qr10 + Qret10$
5* Temps de montée	Tm10	mn	245,32	$T_{m10} = \frac{T_{b10}}{3}$

1* Calcul de Kr10

Kr10 est obtenu par interpolation linéaire entre Kr70 (coefficient de ruissellement pour P10=70mm) et Kr100 (coefficient de ruissellement pour P10=100mm).

$$Kr10 = Kr100 - \frac{(Kr100 - Kr70) \times (100 - P10)}{100 - 70}$$

Et : $Kr70$ ou $Kr100 = \frac{a}{S+b} + c$

Où : S = Superficie du bassin en km²

a, b et c sont des coefficients fonction de la zone climatique, de la classe d'infiltrabilité et de l'indice global de pente. Le choix se fera dans le tableau situé à la page 41 du Bulletin FAO N°54.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 11 : Détermination Kr10

Indice de pente global		3	5,95	7
Régime climatique		Tropical sec	Tropical sec	Tropical sec
Classe d'infiltrabilité		RI	RI	RI
P10		99,38	99,38	99,38
Kr70	a	150	-	200
	b	20	-	20
	c	15	-	18,5
		18,32	-	27,52
Kr100	a	200	-	240
	b	30	-	30
	c	17	-	22
		20,63	-	29,46
Kr10		20,58	27,09	29,42

2* Graphe des temps de base en zone tropicale sèche (Bulletin FAO N°54, page 48)

Il existe des formules pour le calcul du temps de base. Cependant, l'utilisation du graphe est moins fastidieuse.

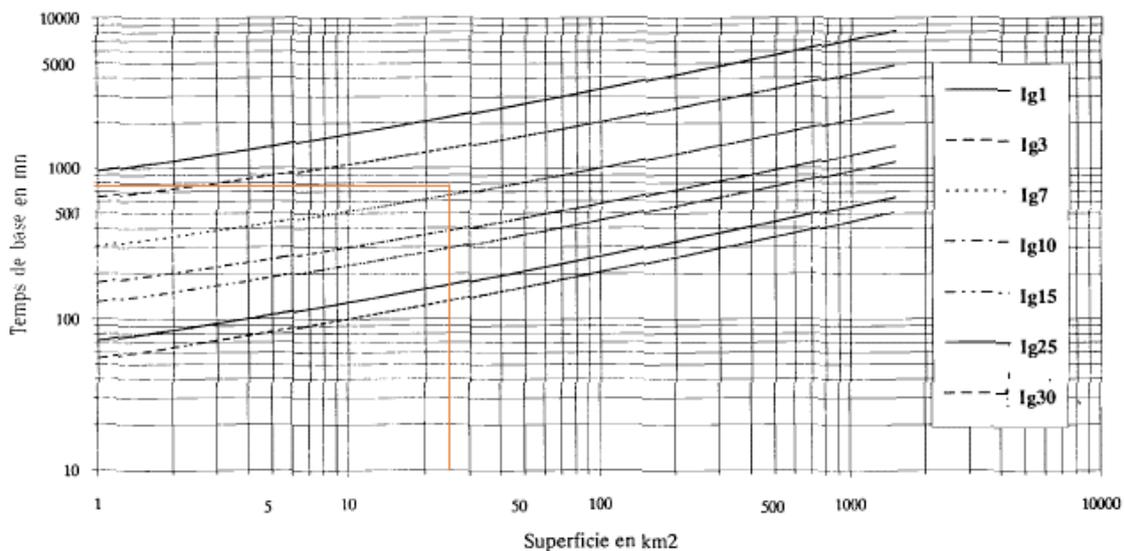


Figure 26 : Détermination du temps de base en zone tropicale sèche

3* Choix du coefficient de pointe

Le coefficient de pointe (α) est généralement pris égal à 2,6.

4* Débit d'écoulement retardé décennal (Bulletin FAO N°54, page 50)

Le débit de pointe ou débit maximal total Q_{10} comprend le débit maximal de ruissellement Q_{r10} et le débit dû à l'écoulement retardé Q_{ret10} .

$$Q_{10} = Q_{r10} + Q_{ret10}$$

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

5* Temps de montée de la crue décennale

Pour la détermination, on prend le tiers du temps de base. (**Bulletin FAO N°54, page 53**).

❖ Méthode CIEH (Méthode statistique)

Cette méthode donne des résultats satisfaisants pour des bassins présentant des conditions de perméabilité et de relief « moyennes », des valeurs extrêmes pouvant biaiser fortement les calculs

$$Q_{10} = a \times S^b \times Ig^c \times Pan^d \times Pm10^e \times Kr10^f \times Dd^g$$

Où a, b, c, d, e, f et g sont des coefficients à choisir (**Bulletin FAO N°54, page 70**) et S, Pan, Ig,

Kr10, Dd et Pm10 apparaissent dans une équation selon leur importance. En effet, les équations sont d'abord choisies en fonction de la zone climatique. Puis, choisir parmi elles celles qui ont <<une valeur élevée de r² (coefficient de corrélation multiple) en favorisant les échantillons pour lesquels n est élevé>>. Q10 est obtenu en faisant la moyenne des équations retenues.

Tableau 12 : Détermination du débit décennal par la méthode du CIEH

Termes	Symboles	Unités	Valeurs	Formules
Equation 39	Q39	m ³ /s	33,92	$0,410 \times S^{0,425} \times Kr10^{0,923}$
Equation 40	Q40	m ³ /s	33,76	$0,250 \times S^{0,462} \times Ig^{0,101} \times Kr10^{0,976}$
Débit de crue décennale	Q10	m ³ /s	33,84	Moyenne des Qi

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE II. LES DIFFERENTS DES SYSTÈMES D'IRRIGATION

Système d'irrigation	Avantages	Inconvénients
Irrigation de Surface	<ul style="list-style-type: none"> -Besoins en énergie faibles ou nuls Insensibilité au vent -Bonne adaptation à l'épandage des eaux usées -Les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire. 	<ul style="list-style-type: none"> -Besoin important en main-d'œuvre -Efficience d'arrosage faible -Inadaptation aux sols très filtrant -Nécessité de planage des parcelles -Surface consommée par les canaux et rigoles
Irrigation par aspersion	<ul style="list-style-type: none"> -Absence de nivellement préalable, -Possibilité d'arroser tout type de sol, -Grande flexibilité du design avec possibilité de réaliser des installations mobiles -Possibilité de réaliser des arrosages à faible dose et cadence rapide -Consomme moins d'eau que l'irrigation de surface -N'exige aucune compétence particulière de la part des irrigants -Elimine le besoin de faire des canaux, des diguettes, de seuils -Moins sensibles au bouchage - Convient bien à l'irrigation de complément, aux nouvelles cultures, à la protection contre le gel 	<ul style="list-style-type: none"> -Consomme plus d'eau que le goutte à goutte - Peut consommer une quantité importante d'énergie pour les asperseurs de grande pression -Difficulté d'utilisation et efficience réduit en régions ventées - En aspersion sur frondaison, des maladies des cultures peuvent être favorisées
Irrigation goutte à goutte ou localisée	<ul style="list-style-type: none"> -Excellente efficience d'arrosage à la parcelle -Excellent rendement des cultures -Insensibilité au vent -Les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire -Ne mouille le sol que très partiellement -Consomme très peu d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> -Coût globalement élevé, -Exige une bonne connaissance du mode de fonctionnement du périmètre de la part des acteurs, -Nécessite une maintenance rigoureuse, en raison des risques liés à une éventuelle interruption des arrosages - Nécessite de la filtration de l'eau

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE III. DIMENSIONNEMENT PRELIMINAIRE DE L'AMENAGEMENT

Tableau 13 : Résultats du calcul des besoins journaliers maximums de pointe

Culture	Parametres	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
	ETo (mm/j)	5,03	5,69	6,36	7,26	7,81	8,11	7,25	6,44	5,25	4,38	3,69	3,98
P(mm/j)	57,00	6,00	1,00	1,00	4,00	17,00	40,00	94,00	125	205	289	187	
Pe (mm/j)	1,10	0,12	0,02	0,02	0,09	0,33	0,80	2,43	3,33	5,29	7,46	4,99	
Oignon	Kc	0,71	0,76	1,05	0,91	0,71	0,75	1,04	0,92	0,71	0,76	1,05	0,91
	ETM (mm/j)	3,57	4,32	6,68	6,59	5,51	6,08	7,54	5,93	3,72	3,33	3,87	3,61
	BMP (mm/j)	2,47	4,20	6,66	6,57	5,42	5,75	6,74	3,51	0,39	-1,96	-3,58	-1,38
Tomate	Kc	0,65	0,83	1,13	0,85	0,64	0,80	1,15	0,86	0,65	0,83	1,13	0,85
	ETM (mm/j)	3,29	4,72	7,19	6,17	5,02	6,50	8,34	5,54	3,41	3,62	4,17	3,38
	BMP (mm/j)	2,18	4,60	7,17	6,15	4,94	6,17	7,54	3,11	0,08	-1,67	-3,29	-1,60
Maïs	Kc	0,49	0,90	0,96		0,46	0,87	0,99	0,60	0,48	0,89	0,96	
	ETM (mm/j)	2,47	5,10	6,11		3,63	7,02	7,14	3,86	2,54	3,91	3,54	
	BMP (mm/j)	1,37	4,98	6,09		3,54	6,70	6,34	1,44	-0,80	-1,38	-3,91	
Riz	Kc	1,05	1,15	1,20	1,10	1,04	1,14	1,19	1,10	1,05	1,15	1,18	1,10
	ETM (mm/j)	5,28	6,54	7,63	7,99	8,13	9,27	8,60	7,08	5,50	5,03	4,34	4,38
	BMP (mm/j)	4,17	6,42	7,61	7,97	8,05	8,94	7,80	4,66	2,16	-0,26	-3,11	-0,61

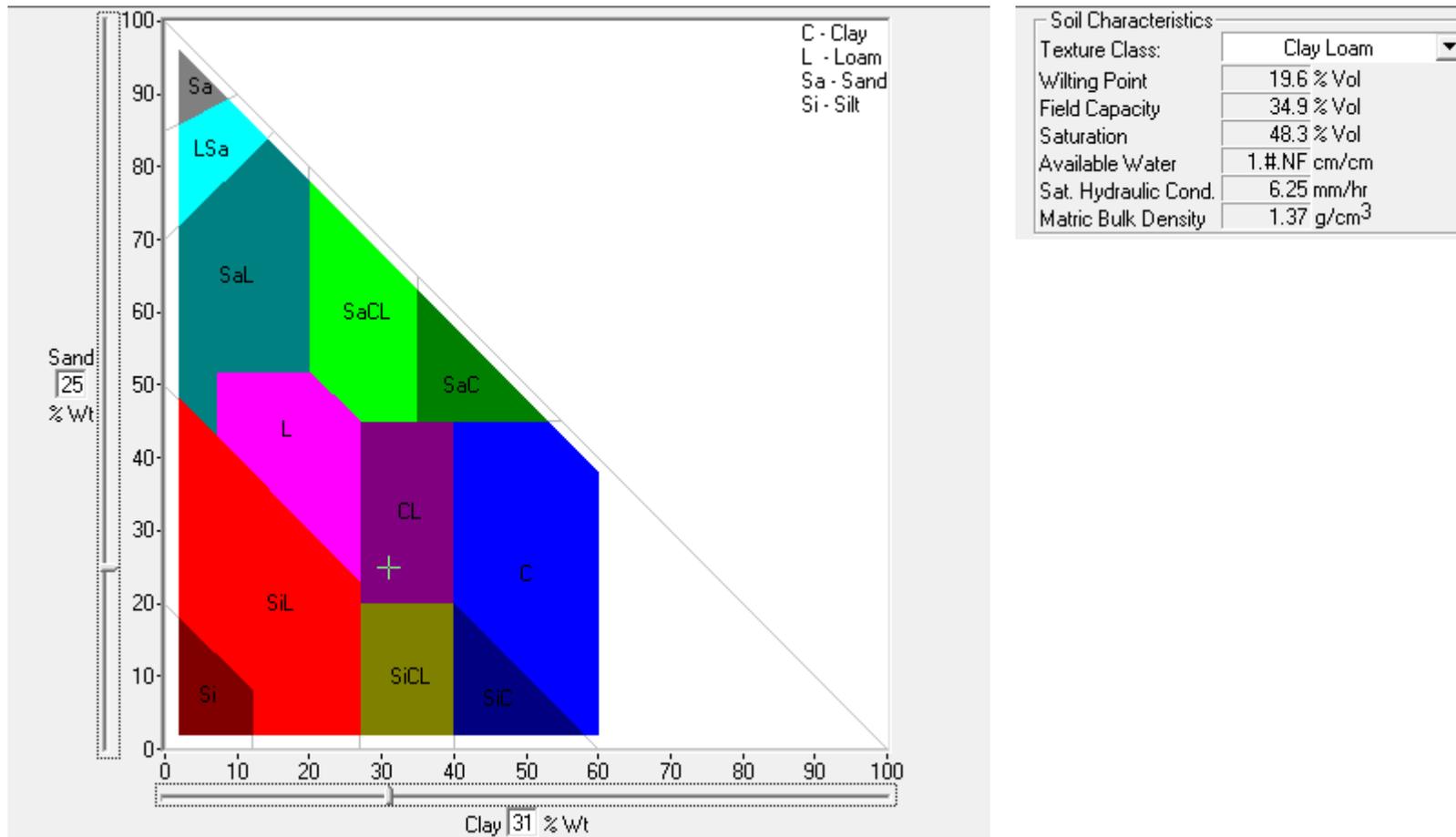
Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE IV. ESSAI D'INFILTRATION DE MUNTZ SUR LE PERIMETRE

Les points de mesure	Coordonnées		Durée de mesure	Ksat [mm/h]		b [h ⁻¹]		i0 [mm/h]	
	X [m]	Y [m]	Heure	Ksat	SE	b	SE	i0	SE
M1	265197,00	1178751,00	7,50	7,5	0,3	1,4	0,2	49,9	3,2
M2	265209,08	1178777,37	7,50	1,3	0,3	0,5	0,1	6,8	0,4
M3	265650,60	1178261,65	7,50	3,4	0,2	1,4	0,2	29,9	2,0
M4	265877,62	1178381,79	7,50	1,0	0,2	0,7	0,1	8,1	0,4
M5	265232,00	1178329,00	35,83	7,3	0,1	1,3	0,3	51,1	9,3
M6	264955,00	1178654,00	7,00	3,3	0,3	1,1	0,3	15,9	2,0
M7	265005,00	1179376,00	8,50	3,4	0,1	0,9	0,2	9,6	0,6
M8	265308,00	1179389,00	7,58	5,92	0,04	1,5	0,3	9,5	0,6
M9	265435,00	1178536,00	19,67	5,3	0,3	0,24	0,01	32,7	0,6
M10	266747,00	1178366,00	37,00	8,6	0,1	0,29	0,02	32,5	1,1
M11	268017,00	1178892,00	12,00	13,6	0,5	0,74	0,08	69,3	3,7
M12	268268,00	1178199,00	9,50	7,3	0,4	0,55	0,02	66,3	1,0
M13	268904,00	1177275,00	8,50	10,4	0,5	0,79	0,07	56,3	2,2
M14	267743,00	1178418,00	8,50	5,9	0,1	1,99	0,55	19,2	2,9
M15	268246,00	1179151,00	9,50	9,5	0,2	0,91	0,05	50,5	1,5

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 14 : Caractérisation du sol



Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE V. DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION

Tableau 15 : Dimensionnement des conduites du Bloc C

Dimensionnement des rampes					
$P_{nom}(m)$	30,000				
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000				
$L_{rp}(m)$	50,000	Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc C	
$E_{asp}(m)$	10,000	ΔP reliquat (m)	5,559	ΔP reliquat (m)	4,793
$N_{asp/rp}$	5,000	$L_{porte\ rampe}(m)$	814,000	$L_{cp\ C}(m)$	518,000
$Q_{asp}(l/h)$	605,000	$N_{rp\ desservies}$	16,000	$N_{prp\ desservies}$	5,000
$Q_{rp}(m^3/h)$	3,025	Debit $Q_{-prp}(m^3/h)$	48,400	Debit $Q_{-prp}(m^3/h)$	242,000
Vitesse limite (m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700
$D_{th}(mm)$	25,093	$D_{th}(mm)$	100,371	$D_{th}(mm)$	224,437
Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI
Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6
DN	50,000	DN	225,000	DN	450,000
D_{int}	45,200	D_{int}	203,400	D_{int}	407,000
$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,009	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,001	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,001
Nombre d'orifices	5,000	Nombre d'orifices	16	Nombre d'orifices	5,000
Facteur F	0,457	Facteur F	0,382	Facteur F	0,457
$\Delta H_{simple}(m)$	0,441	$\Delta H_{simple}(m)$	0,766	$\Delta H_{simple}(m)$	0,319
$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000
$\Delta H_{rampe}(m)$	0,202	$\Delta H_{rampe}(m)$	0,293	$\Delta H_{rampe}(m)$	0,146
Variation Pression. $\Delta P(m)$	0,441	Variation Pression. $\Delta P(m)$	0,766	Variation Pression. $\Delta P(m)$	0,319
ΔP reliquat (m)	5,559	ΔP reliquat (m)	4,793	ΔP reliquat (m)	4,474
Vitesse réelle (m/s)	0,524	Vitesse réelle (m/s)	0,414	Vitesse réelle (m/s)	0,517

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 16 : Dimensionnement des conduites de transport du Réservoir au Bloc C

Dimensionnement Conduite transport bief C-D		Dimensionnement Conduite transport bief D-A		Dimensionnement Conduite transport bief A-R	
<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,474	<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,384	<i>ΔP reliquat (m)</i>	2,937
<i>L ct (m)</i>	102	<i>L ct (m)</i>	1500	<i>L ct (m)</i>	1000
<i>Nprp desservies</i>	1,000	<i>Nprp desservies</i>	1,000	<i>Nprp desservies</i>	1,000
<i>Debit Q-m3/h</i>	1349,15	<i>Debit Q-m3/h</i>	1421,75	<i>Debit Q-m3/h</i>	1742,40
<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700
<i>Dth (mm)</i>	529,929	<i>Dth (mm)</i>	544,000	<i>Dth (mm)</i>	602,229
<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI
<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6
<i>DN</i>	800,000	<i>DN</i>	800,000	<i>DN</i>	800,000
<i>Dint</i>	723,800	<i>Dint</i>	723,800	<i>Dint</i>	723,800
<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,001	<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,001	<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,001
<i>Nombre d'orifices</i>	1,000	<i>Nombre d'orifices</i>	1,000	<i>Nombre d'orifices</i>	1,000
<i>Facteur F</i>	1,000	<i>Facteur F</i>	1,000	<i>Facteur F</i>	1,000
<i>.ΔHsimple(m)</i>	0,089	<i>.ΔHsimple(m)</i>	1,447	<i>.ΔHsimple(m)</i>	1,403
<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000
<i>ΔHrampe (m)</i>	0,089	<i>ΔHrampe (m)</i>	1,447	<i>ΔHrampe (m)</i>	1,403
<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	0,089	<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	1,447	<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	1,403
<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,384	<i>ΔP reliquat (m)</i>	2,937	<i>ΔP reliquat (m)</i>	1,535
<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,911	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,960	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	1,176

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 17 : Dimensionnement des conduites du Bloc A

Dimensionnement des rampes		Dimensionnement des porte-rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc A	
$P_{nom}(m)$	30,000	ΔP reliquat (m)	5,559	ΔP reliquat (m)	4,265
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000	$L_{porte\ rampe}(m)$	202,000	$L_{cpA}(m)$	1038,000
$L_{rp}(m)$	50,000	$N_{rp\ desservies}$	4,000	$N_{prp\ desservies}$	10,000
$E_{asp}(m)$	10,000	Debit $Q_{-prp}(m^3/h)$	12,100	Debit $Q_{-prp}(m^3/h)$	121,000
$N_{asp/rp}$	5,000	Vitesse limite(m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700
$Q_{asp}(l/h)$	605,000	$D_{th}(mm)$	50,186	$D_{th}(mm)$	158,701
$Q_{rp}(m^3/h)$	3,025	Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI
Vitesse limite (m/s)	1,700	Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6
$D_{th}(mm)$	25,093	DN	90,000	DN	250,000
Catalogue	SOTICI	D_{int}	81,400	D_{int}	226,200
Tube	PE80PN6	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,006	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,003
DN	50,000	Nombre d'orifices	4	Nombre d'orifices	10,000
D_{int}	45,200	Facteur F	0,486	Facteur F	0,402
$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,009	$\Delta H_{simple}(m)$	1,294	$\Delta H_{simple}(m)$	3,139
Nombre d'orifices	5,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000
Facteur F	0,457	$\Delta H_{rampe}(m)$	0,629	$\Delta H_{rampe}(m)$	1,262
$\Delta H_{simple}(m)$	0,441	Variation Pression. $\Delta P(m)$	1,294	Variation Pression. $\Delta P(m)$	3,139
$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	ΔP reliquat (m)	4,265	ΔP reliquat (m)	1,126
$\Delta H_{rampe}(m)$	0,202	Vitesse réelle (m/s)	0,646	Vitesse réelle (m/s)	0,836
Variation Pression. $\Delta P(m)$	0,441				
ΔP reliquat (m)	5,559				
Vitesse réelle (m/s)	0,524				

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 18 : Dimensionnement des conduites du Bloc B

Dimensionnement des rampes					
$P_{nom}(m)$	30,000				
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000				
$L_{rp}(m)$	50,000	Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc B	
$E_{asp}(m)$	10,000	ΔP reliquat (m)	5,559	ΔP reliquat (m)	4,009
$N_{asp/rp}$	5,000	$L_{porte\ rampe}(m)$	304,000	$L_{cpB}(m)$	1142,000
$Q_{asp}(l/h)$	605,000	$N_{rp\ desservies}$	6,000	$N_{prp\ desservies}$	11,000
$Q_{rp}(m^3/h)$	3,025	$Debit\ Q_{-prp}(m^3/h)$	18,150	$Debit\ Q_{-prp}(m^3/h)$	199,650
Vitesse limite (m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700
$D_{th}(mm)$	25,093	$D_{th}(mm)$	61,465	$D_{th}(mm)$	203,855
Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI
Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6
DN	50,000	DN	110,000	DN	315,000
D_{int}	45,200	D_{int}	99,400	D_{int}	285,000
$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,009	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,005	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,002
Nombre d'orifices	5,000	Nombre d'orifices	6	Nombre d'orifices	11,000
Facteur F	0,457	Facteur F	0,435	Facteur F	0,398
$\Delta H_{simple}(m)$	0,441	$\Delta H_{simple}(m)$	1,549	$\Delta H_{simple}(m)$	2,810
$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000
$\Delta H_{rampe}(m)$	0,202	$\Delta H_{rampe}(m)$	0,674	$\Delta H_{rampe}(m)$	1,118
Variation Pression. $\Delta P(m)$	0,441	Variation Pression. $\Delta P(m)$	1,549	Variation Pression. $\Delta P(m)$	2,810
ΔP reliquat (m)	5,559	ΔP reliquat (m)	4,009	ΔP reliquat (m)	1,199
Vitesse réelle (m/s)	0,524	Vitesse réelle (m/s)	0,650	Vitesse réelle (m/s)	0,869

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 19 : Dimensionnement des conduites du Bloc D

Dimensionnement des rampes					
<i>Pnom(m)</i>	30,000				
<i>ΔHadm(m)</i>	6,000				
<i>Lrp(m)</i>	50,000				
<i>Easp(m)</i>	10,000				
<i>Nasp/rp</i>	5,000				
<i>Qasp(l/h)</i>	605,000				
<i>Qrp(m³/h)</i>	3,025				
<i>Vitesse limite (m/s)</i>	1,700				
<i>Dth (mm)</i>	25,093				
<i>Catalogue</i>	SOTICI				
<i>Tube</i>	PE80PN6				
<i>DN</i>	50,000				
<i>Dint</i>	45,200				
<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,009				
<i>Nombre d'orifices</i>	5,000				
<i>Facteur F</i>	0,457				
<i>.ΔHsimple(m)</i>	0,441				
<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000				
<i>. ΔHrampe (m)</i>	0,202				
<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	0,441				
<i>ΔP reliquat (m)</i>	5,559				
<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,524				
		Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc D	
		<i>ΔP reliquat (m)</i>	5,559	<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,265
		<i>Lporte rampe(m)</i>	202,000	<i>L cp D (m)</i>	622,000
		<i>Nrp desservies</i>	4,000	<i>Nprp desservies</i>	6,000
		<i>Debit Q-prp(m³/h)</i>	12,100	<i>Debit Q-prp(m³/h)</i>	72,600
		<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700
		<i>Dth (mm)</i>	50,186	<i>Dth (mm)</i>	122,929
		<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI
		<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6
		<i>DN</i>	90,000	<i>DN</i>	180,000
		<i>Dint</i>	81,400	<i>Dint</i>	162,800
		<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,006	<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,006
		<i>Nombre d'orifices</i>	4	<i>Nombre d'orifices</i>	6,000
		<i>Facteur F</i>	0,486	<i>Facteur F</i>	0,435
		<i>.ΔHsimple(m)</i>	1,294	<i>.ΔHsimple(m)</i>	3,658
		<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000
		<i>ΔHrampe (m)</i>	0,629	<i>ΔHrampe (m)</i>	1,591
		<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	1,294	<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	3,658
		<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,265	<i>ΔP reliquat (m)</i>	0,607
		<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,646	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,969

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 20 : Dimensionnement des conduites des Blocs E et F

Dimensionnement des rampes					
$P_{nom}(m)$	30,000				
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000				
$L_{rp}(m)$	50,000	Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc E	
$E_{asp}(m)$	10,000	$\Delta P_{reliquat} (m)$	5,559	$\Delta P_{reliquat} (m)$	4,265
$N_{asp/rp}$	5,000	$L_{porte\ rampe}(m)$	202,000	$L_{cp\ D} (m)$	414,000
$Q_{asp}(l/h)$	605,000	$N_{rp\ desservies}$	4,000	$N_{prp\ desservies}$	4,000
$Q_{rp}(m^3/h)$	3,025	$Debit\ Q-prp(m^3/h)$	12,100	$Debit\ Q-prp(m^3/h)$	48,400
Vitesse limite (m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700
$D_{th} (mm)$	25,093	$D_{th} (mm)$	50,186	$D_{th} (mm)$	100,371
Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI
Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6
DN	50,000	DN	90,000	DN	160,000
D_{int}	45,200	D_{int}	81,400	D_{int}	144,600
$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,009	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,006	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,005
Nombre d'orifices	5,000	Nombre d'orifices	4	Nombre d'orifices	4,000
Facteur F	0,457	Facteur F	0,486	Facteur F	0,486
$\Delta H_{simple}(m)$	0,441	$\Delta H_{simple}(m)$	1,294	$\Delta H_{simple}(m)$	2,059
$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000
$\Delta H_{rampe} (m)$	0,202	$\Delta H_{rampe} (m)$	0,629	$\Delta H_{rampe} (m)$	1,001
Variation Pression. $\Delta P(m)$	0,441	Variation Pression. $\Delta P(m)$	1,294	Variation Pression. $\Delta P(m)$	2,059
$\Delta P_{reliquat} (m)$	5,559	$\Delta P_{reliquat} (m)$	4,265	$\Delta P_{reliquat} (m)$	2,205
Vitesse réelle (m/s)	0,524	Vitesse réelle (m/s)	0,646	Vitesse réelle (m/s)	0,819

E et F

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 21 : : Dimensionnement des conduites des Blocs G et H

Dimensionnement des rampes					
<i>Pnom(m)</i>	30,000				
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000				
<i>Lrp(m)</i>	50,000	Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc G	
<i>Easp(m)</i>	10,000	<i>ΔP reliquat (m)</i>	5,559	<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,265
<i>Nasp/rp</i>	5,000	<i>Lporte rampe(m)</i>	202,000	<i>L cp G (m)</i>	1246,000
<i>Qasp(l/h)</i>	605,000	<i>Nrp desservies</i>	4,000	<i>Nprp desservies</i>	12,000
<i>Qrp(m3/h)</i>	3,025	<i>Debit Q-prp(m3/h)</i>	12,100	<i>Debit Q-prp(m3/h)</i>	145,200
<i>Vitesse limite (m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700
<i>Dth (mm)</i>	25,093	<i>Dth (mm)</i>	50,186	<i>Dth (mm)</i>	173,848
<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI
<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6
<i>DN</i>	50,000	<i>DN</i>	90,000	<i>DN</i>	280,000
<i>Dint</i>	45,200	<i>Dint</i>	81,400	<i>Dint</i>	253,200
<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,009	<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,006	<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,002
<i>Nombre d'orifices</i>	5,000	<i>Nombre d'orifices</i>	4	<i>Nombre d'orifices</i>	12,000
<i>Facteur F</i>	0,457	<i>Facteur F</i>	0,486	<i>Facteur F</i>	0,394
<i>.ΔHsimple(m)</i>	0,441	<i>.ΔHsimple(m)</i>	1,294	<i>.ΔHsimple(m)</i>	3,040
<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000
<i>ΔHrampe (m)</i>	0,202	<i>. ΔHrampe (m)</i>	0,629	<i>ΔHrampe (m)</i>	1,198
<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	0,441	<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	1,294	<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	3,040
<i>ΔP reliquat (m)</i>	5,559	<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,265	<i>ΔP reliquat (m)</i>	1,225
<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,524	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,646	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,801

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 22 : Dimensionnement des conduites du Bloc I

Dimensionnement des rampes					
<i>Pnom(m)</i>	30,000				
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000				
<i>Lrp(m)</i>	50,000	Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc I	
<i>Easp(m)</i>	10,000	ΔP reliquat (m)	5,559	ΔP reliquat (m)	4,009
<i>Nasp/rp</i>	5,000	<i>Lporte rampe(m)</i>	304,000	<i>Lcp (m)</i>	830,000
<i>Qasp(l/h)</i>	605,000	<i>Nrp desservies</i>	6,000	<i>Nprp desservies</i>	8,000
<i>Qrp(m3/h)</i>	3,025	<i>Debit Q-prp(m3/h)</i>	18,150	<i>Debit Q-prp(m3/h)</i>	145,200
<i>Vitesse limite (m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700
<i>Dth (mm)</i>	25,093	<i>Dth (mm)</i>	61,465	<i>Dth (mm)</i>	173,848
<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI
<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6
<i>DN</i>	50,000	<i>DN</i>	110,000	<i>DN</i>	280,000
<i>Dint</i>	45,200	<i>Dint</i>	99,400	<i>Dint</i>	253,200
$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,009	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,005	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,002
<i>Nombre d'orifices</i>	5,000	<i>Nombre d'orifices</i>	6	<i>Nombre d'orifices</i>	8,000
<i>Facteur F</i>	0,457	<i>Facteur F</i>	0,435	<i>Facteur F</i>	0,415
$\Delta H_{simple}(m)$	0,441	$\Delta H_{simple}(m)$	1,549	$\Delta H_{simple}(m)$	2,025
<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000
$\Delta H_{rampe} (m)$	0,202	$\Delta H_{rampe} (m)$	0,674	$\Delta H_{rampe} (m)$	0,840
<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	0,441	<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	1,549	<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	2,025
ΔP reliquat (m)	5,559	ΔP reliquat (m)	4,009	ΔP reliquat (m)	1,985
<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,524	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,650	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,801

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 23 : Dimensionnement des conduites du Bloc J

Dimensionnement des rampes					
$P_{nom}(m)$	30,000				
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000				
$L_{rp}(m)$	50,000	Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc J	
$E_{asp}(m)$	10,000	$\Delta P_{reliquat} (m)$	5,559	$\Delta P_{reliquat} (m)$	4,009
$N_{asp/rp}$	5,000	$L_{porte\ rampe}(m)$	304,000	$L_{cp} (m)$	414,000
$Q_{asp}(l/h)$	605,000	$N_{rp\ desservies}$	6,000	$N_{rp\ desservies}$	5,000
$Q_{rp}(m^3/h)$	3,025	$Debit\ Q_{-prp}(m^3/h)$	18,150	$Debit\ Q_{-prp}(m^3/h)$	90,750
Vitesse limite (m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700
$D_{th} (mm)$	25,093	$D_{th} (mm)$	61,465	$D_{th} (mm)$	137,439
Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI
Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6
DN	50,000	DN	110,000	DN	225,000
D_{int}	45,200	D_{int}	99,400	D_{int}	203,400
$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,009	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,005	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,003
Nombre d'orifices	5,000	Nombre d'orifices	6	Nombre d'orifices	5,000
Facteur F	0,457	Facteur F	0,435	Facteur F	0,457
$\Delta H_{simple}(m)$	0,441	$\Delta H_{simple}(m)$	1,549	$\Delta H_{simple}(m)$	1,238
$E_{amt}-E_{avl}(m)$	0,000	$E_{amt}-E_{avl}(m)$	0,000	$E_{amt}-E_{avl}(m)$	0,000
$\Delta H_{rampe} (m)$	0,202	$\Delta H_{rampe} (m)$	0,674	$\Delta H_{rampe} (m)$	0,566
Variation Pression. $\Delta P(m)$	0,441	Variation Pression. $\Delta P(m)$	1,549	Variation Pression. $\Delta P(m)$	1,238
$\Delta P_{reliquat} (m)$	5,559	$\Delta P_{reliquat} (m)$	4,009	$\Delta P_{reliquat} (m)$	2,771
Vitesse réelle (m/s)	0,524	Vitesse réelle (m/s)	0,650	Vitesse réelle (m/s)	0,776

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 24 : Dimensionnement des conduites du Bloc K

Dimensionnement des rampes		Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc K	
$P_{nom}(m)$	30,000	ΔP reliquat (m)	5,559	ΔP reliquat (m)	4,009
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000	$L_{porte\ rampe}(m)$	304,000	$L_{cp} (m)$	310,000
$L_{rp}(m)$	50,000	$N_{rp\ desservies}$	6,000	$N_{prp\ desservies}$	3,000
$E_{asp}(m)$	10,000	Debit $Q_{-prp}(m^3/h)$	18,150	Debit $Q_{-prp}(m^3/h)$	54,450
N_{asp}/rp	5,000	Vitesse limite(m/s)	1,700	Vitesse limite(m/s)	1,700
$Q_{asp}(l/h)$	605,000	$D_{th} (mm)$	61,465	$D_{th} (mm)$	106,460
$Q_{rp}(m^3/h)$	3,025	Catalogue	SOTICI	Catalogue	SOTICI
Vitesse limite (m/s)	1,700	Tube	PE80PN6	Tube	PE80PN6
$D_{th} (mm)$	25,093	DN	110,000	DN	160,000
Catalogue	SOTICI	D_{int}	99,400	D_{int}	144,600
Tube	PE80PN6	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,005	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,006
DN	50,000	Nombre d'orifices	6	Nombre d'orifices	3,000
D_{int}	45,200	Facteur F	0,435	Facteur F	0,535
$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,009	$\Delta H_{simple}(m)$	1,549	$\Delta H_{simple}(m)$	1,915
Nombre d'orifices	5,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000
Facteur F	0,457	$\Delta H_{rampe} (m)$	0,674	$\Delta H_{rampe} (m)$	1,025
$\Delta H_{simple}(m)$	0,441	Variation Pression. $\Delta P(m)$	1,549	Variation Pression. $\Delta P(m)$	1,915
$E_{amt-Eavl}(m)$	0,000	ΔP reliquat (m)	4,009	ΔP reliquat (m)	2,094
$\Delta H_{rampe} (m)$	0,202	Vitesse réelle (m/s)	0,650	Vitesse réelle (m/s)	0,921
Variation Pression. $\Delta P(m)$	0,441				
ΔP reliquat (m)	5,559				
Vitesse réelle (m/s)	0,524				

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 25: Dimensionnement des conduites du Bloc L

Dimensionnement des rampes					
<i>Pnom(m)</i>	30,000				
$\Delta H_{adm}(m)$	6,000				
<i>Lrp(m)</i>	50,000				
<i>Easp(m)</i>	10,000				
<i>Nasp/rp</i>	5,000				
<i>Qasp(l/h)</i>	605,000				
<i>Qrp(m3/h)</i>	3,025				
<i>Vitesse limite (m/s)</i>	1,700				
<i>Dth (mm)</i>	25,093				
<i>Catalogue</i>	SOTICI				
<i>Tube</i>	PE80PN6				
<i>DN</i>	50,000				
<i>Dint</i>	45,200				
$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,009				
<i>Nombre d'orifices</i>	5,000				
<i>Facteur F</i>	0,457				
$\Delta H_{simple}(m)$	0,441				
<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000				
$\Delta H_{rampe} (m)$	0,202				
<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	0,441				
$\Delta P_{reliquat} (m)$	5,559				
<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,524				
		Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc L	
		$\Delta P_{reliquat} (m)$	5,559	$\Delta P_{reliquat} (m)$	4,265
		<i>Lporte rampe(m)</i>	202,000	<i>Lcp (m)</i>	1662,000
		<i>Nrp desservies</i>	4,000	<i>Nprp desservies</i>	16,000
		<i>Debit Q-prp(m3/h)</i>	12,100	<i>Debit Q-prp(m3/h)</i>	193,600
		<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700
		<i>Dth (mm)</i>	50,186	<i>Dth (mm)</i>	200,743
		<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI
		<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6
		<i>DN</i>	90,000	<i>DN</i>	355,000
		<i>Dint</i>	81,400	<i>Dint</i>	321,200
		$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,006	$\Delta H_{simp}(m/m)$	0,001
		<i>Nombre d'orifices</i>	4	<i>Nombre d'orifices</i>	16,000
		<i>Facteur F</i>	0,486	<i>Facteur F</i>	0,382
		$\Delta H_{simple}(m)$	1,294	$\Delta H_{simple}(m)$	2,156
		<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000
		$\Delta H_{rampe} (m)$	0,629	$\Delta H_{rampe} (m)$	0,824
		<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	1,294	<i>Variation Pression. $\Delta P(m)$</i>	2,156
		$\Delta P_{reliquat} (m)$	4,265	$\Delta P_{reliquat} (m)$	2,108
		<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,646	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,664

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 26 : Dimensionnement des conduites du Bloc M

Dimensionnement des rampes					
<i>Pnom(m)</i>	30,000				
<i>ΔHadm(m)</i>	6,000				
<i>Lrp(m)</i>	50,000				
<i>Easp(m)</i>	10,000				
<i>Nasp/rp</i>	5,000				
<i>Qasp(l/h)</i>	605,000				
<i>Qrp(m3/h)</i>	3,025				
<i>Vitesse limite (m/s)</i>	1,700				
<i>Dth (mm)</i>	25,093				
<i>Catalogue</i>	SOTICI				
<i>Tube</i>	PE80PN6				
<i>DN</i>	50,000				
<i>Dint</i>	45,200				
<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,009				
<i>Nombre d'orifices</i>	5,000				
<i>Facteur F</i>	0,457				
<i>ΔHsimple(m)</i>	0,441				
<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000				
<i>ΔHrampe (m)</i>	0,202				
<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	0,441				
<i>ΔP reliquat (m)</i>	5,559				
<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,524				
		Dimensionnement des portes rampes		Dimensionnement Conduite Principale Bloc M	
		<i>ΔP reliquat (m)</i>	5,559	<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,009
		<i>Lporte rampe(m)</i>	304,000	<i>L cp (m)</i>	1350,000
		<i>Nrp desservies</i>	6,000	<i>Nrp desservies</i>	13,000
		<i>Debit Q-prp(m3/h)</i>	18,150	<i>Debit Q-prp(m3/h)</i>	235,950
		<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700	<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700
		<i>Dth (mm)</i>	61,465	<i>Dth (mm)</i>	221,614
		<i>Catalogue</i>	SOTICI	<i>Catalogue</i>	SOTICI
		<i>Tube</i>	PE80PN6	<i>Tube</i>	PE80PN6
		<i>DN</i>	110,000	<i>DN</i>	355,000
		<i>Dint</i>	99,400	<i>Dint</i>	321,200
		<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,005	<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,002
		<i>Nombre d'orifices</i>	6	<i>Nombre d'orifices</i>	13,000
		<i>Facteur F</i>	0,435	<i>Facteur F</i>	0,391
		<i>ΔHsimple(m)</i>	1,549	<i>ΔHsimple(m)</i>	2,520
		<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000
		<i>ΔHrampe (m)</i>	0,674	<i>ΔHrampe (m)</i>	0,984
		<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	1,549	<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	2,520
		<i>ΔP reliquat (m)</i>	4,009	<i>ΔP reliquat (m)</i>	1,489
		<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,650	<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	0,809

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 27 : Dimensionnement des conduite de transport des Biefs C-F-G-M-I-J

Dimensionnement	Bief J-L	Bief L-I	Bief I-M	Bief M-G	Bief G-F	Bief F-C
<i>ΔP reliquat (m)</i>	2,771	2,708	-0,548	-1,723	-7,218	-8,392
<i>L ct (m)</i>	5,000	500,000	300,000	1200,000	400,000	500,000
<i>Nprp desservies</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>Débit Q-prp(m3/h)</i>	145,200	338,800	484,000	719,950	1010,350	1107,150
<i>Vitesse limite(m/s)</i>	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
<i>Dth (mm)</i>	173,848	265,558	317,402	387,114	458,589	480,055
<i>Catalogue</i>	SOTICI	SOTICI	SOTICI	SOTICI	SOTICI	SOTICI
<i>Tube</i>	PE80PN6	PE80PN6	PE80PN6	PE80PN6	PE80PN6	PE80PN6
<i>DN</i>	200,000	315,000	400,000	450,000	560,000	560,000
<i>Dint</i>	180,800	285,000	361,800	407,000	506,600	506,600
<i>ΔH simp(m/m)</i>	0,013	0,007	0,004	0,005	0,003	0,003
<i>Nombre d'orifices</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>Facteur F</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>ΔH simple(m)</i>	0,063	3,255	1,175	5,495	1,174	1,737
<i>Eamt-Eavl(m)</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>ΔH rampe (m)</i>	0,063	3,255	1,175	5,495	1,174	1,737
<i>Variation Pression. ΔP(m)</i>	0,063	3,255	1,175	5,495	1,174	1,737
<i>Vitesse réelle (m/s)</i>	1,571	1,475	1,308	1,537	1,392	1,526

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE VI. DIMENSIONNEMENT DE LA STATION DE POMPAGE

Tableau 28 : Calcul de la capacité utile du réservoir

Intervalle de temps	00h00--07h30	07h30--10h30	10h30--12h00	12h00--17h30	17h30--22h30	22h30--24h00
Durée (h)	7,50	3,00	1,50	5,50	5,00	1,50
Q entrant dans le réservoir m ³ /h	0	3659,04	3659,04	3659,04	0	0
Volume entrant dans le réservoir	0,00	10977,12	5488,56	20124,72	0,00	0,00
Volume cumule entrant dans le réservoir m ³	-	10 977	16 466	36 590	36 590	36 590,4
Q distribué a partir du réservoir m ³ /h	1742,40	1742,40	0,00	1742,40	1742,40	0,00
Volume distribué m ³	13068,00	5227,20	0,00	9583,20	8712,00	0,00
Volume cumulé sortant du réservoir	13068,00	18295,20	18295,20	27878,40	36590,40	36 590,4
Volume cumulé entrant - volume cumulé sortant	-13 068,00	-7 318,08	-1 829,52	8 712,00	-	-

: Période d'irrigation

: Période d'arrêt de l'irrigation

: Période de pompage des forages

: Période d'arrêt des pompages des forage

Débit d'irrigation $Q_{irr} = 1\,742,40\text{ m}^3/\text{h}$

Débit d'adduction $Q_{ad} = 3\,659,04\text{ m}^3/\text{h}$

Capacité utile = $21\,780\text{ m}^3$

30 forages avec un débit d'exploitation de $130\text{ m}^3/\text{h}$

Le réservoir sera composé de 2 cuves de dimensions 50x40x6,5

Zasp	Hsup	Pnom	Patm	DhFiltr	Dhconduite	Zradier
340	0,5	23	10,33	5	5,67	364,41

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE VII. DIMENSIONNEMENT DU CHAMPS PHOTOVOLTAÏQUE

• **Besoin journalier (Wh)**

$CJT(kWh) = \frac{P(kW).H(h)}{k_{onduleur}} = \frac{30 \times 26,92 \times 10}{0,97}$	$CJT(Wh) = 8\ 324,39$
---	-----------------------

• **Puissance calculée du champ photovoltaïque**

$P_c(kWc) = \frac{CJT}{K.E_j} = \frac{8\ 324,39}{0,15 \times 5,43}$	$P_c(kWc) = 10\ 271,50$
---	-------------------------

• **Nombre de modules**

$N_s = \frac{U_c}{U_{mod}} = \frac{480}{48}$	$N_s = 10$	$N = N_s \cdot N_p$
$N_p = \frac{P_c}{N_s \cdot P_{mod}} = \frac{10\ 271,50}{10 \times 0,5}$	$N_p = 2\ 054$	$N = 20\ 540$

Soit au total 20 540 modules sur environ 5 ha avec une puissance installée de 10 272 kWc.

• **Capacité de stockage de la batterie**

$C(Ah) = \frac{CJT.N_j}{U_c.K_{ond}.K_{bat}.d_M} = \frac{8\ 324,39 \times 3}{480 \times 0,97 \times 0,85 \times 0,60}$	$C(Ah) = 105\ 170$
--	--------------------

• **Nombre de batteries tubulaires**

$N_s = \frac{U_c}{U_{\acute{e}lt}} = \frac{480}{2}$	$N_s = 240$	$N = N_s \cdot N_p$
$N_p = \frac{C}{C_{\acute{e}lt}} = \frac{105\ 170}{4600}$	$N_p = 23$	$N = 5\ 520$

Soit au total 5520 batteries tabulaires.

Tableau 29 : Synthèse des composants sélectionnés

DESIGNATION DU COMPOSANT	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES
Module	Module mono cristallin, Puissance 500 Wc, $U_{nominale} = 48\ V$, Rendement 19,51% ; $U_{opt} = 58,95\ V$; $I_{nom} = 10,28\ A$. Dimension 1956*1310*45mm
Onduleur	Type triphasé ; tension d'entrée 480 Vcc ; Tension de sortie 400 V _{AC} ; Rendement $K_{ond} = 0,97$; Puissance de 10 270 kW.
Batterie	Type plomb/acide ; en éléments de 2 V, KACC = 0,85 ; profondeur de décharge $d_M = 60\%$. Capacité nominale (C120) : 4600 Ah ; Durée de vie : 2000 cycles.
Régulateur	Régulateur de charge/décharge ; $K_{reg} = 0,90$; Puissance de 10 270 kW

Tableau 30 : Quantité de CO₂ évitée

E (kWh/j)	Densité du gasoil (kg/dm ³)	Consommation spécifique (l/kWh)	Teneur en carbone	Masse de CO ₂ (kg)	Masse de CO ₂ (Tonne)
8 324,39	0,83	0,28	0,836	2164507,61	2 164,51

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE VIII. PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

Tableau 31 : Grille d'évaluation des impacts

Sources d'impacts		Récepteurs d'impacts												
		Milieu physique et biologique							Milieu humain					
		Qualité de l' air	Eaux de surface	Eaux souterraines	Sols	Végétation	Faune/ Microfaune	Paysage	Santé publique	Emploi	Circulation	Activité économiques	Patrimoine culturel	Qualité de vie
Phase de démarrage	Installation chantier	N	O	O	N	N	O	N	N	P	O	P	O	O
	Transport et circulation de main d'œuvre, machines et matériaux	N	O	O	N	N	N	N	N	P	N	P	O	N
	Déblais, mise en dépôt tout venants	N	O	O	N	N	N	N	N	O	O	O	O	N
	Exploitation emprunts et carrières	N	O	O	N	N	N/P	N	N	P	N	O	O	N
	Déblaiement des aires du réservoir et des canaux de drainage	N	N	N	N	N	N/P	N	N	P	P	P	P	O
	Remblaiement des digues	N	N	O	N	N	N	N	N	O	N	P	O	O
Phase de travaux	Dessouchage dans l'aire du réservoir et du périmètre	N	O	O	N	N	N	N	O	P	N	O	O	O
	Maçonnerie des ouvrages	N	N	O	-	N	O	N	N	P	N	P	O	O
	Construction ouvrages connexes (drains, protections)	N	N/P	O	N	N	N	N	N	P	N	O	O	O
Phase de travaux	Repli de chantier	N	N	O	N	N	N	N	O	O	O	O	O	O
	Plantation d'arbres	O	O	O	N	P	P	P	O	P	O	P	O	P
	Déplacement et réinstallation des populations	O	O	N	N	N	O	N	N	P	O	N/P	O	N/P
Phase d'exploitation	Entretien courant	N	N	O	N	O	O	O	N	P	N	O	O	N/P

Légende : N = Négatif, P = Positif, N/P = Positif et Négatif, O = Nul ou négligeable

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 32 : Plan de mise en œuvre des mesures d'atténuation

Impacts (positifs et négatifs)	Mesures d'atténuation	Responsabilités		Phase de projet
		Planification	Mise en œuvre	
Risques d'accidents lors du débroussaillage, dessouchage, remblaiement, déblaiement	Sensibiliser les ouvriers, les doter d'équipement de protection et de trousse de soins	BUNEE/Entreprise	Entreprise	Pendant les travaux
Transmissions de MST	Sensibilisation du personnel de chantier et des populations	Direction de la Santé, Direction de l'Agriculture, Entreprise	DPAHA, entreprise	Avant et pendant les travaux
Nuisances diverses,	Gestion efficace des déchets solides et liquides, arrêt des travaux de nuit sauf dérogation	Entreprise, population	Entreprise	Avant et pendant les travaux
Détérioration de la qualité de l'air ambiant	Arrosage périodique des pistes	BUNEE, Direction de l'Environnement, Entreprise	Entreprise	Pendant les travaux
Destruction de la végétation	Sensibiliser le personnel de chantier sur le respect de l'environnement, reboisement en guise de compensation sur les barrages du barrage en fin de travaux, Restaurations des carrières et zones d'emprunts	BUNEE, Direction de l'Environnement, Entreprises, population bénéficiaire	BUNEE, DPAH, CLE Noula, Entreprise, population	Pendant et après les travaux
Braconnage	Interdiction d'abattage des animaux	Direction de l'environnement, Direction de l'Agriculture, BUNEE, Entreprise	Direction de l'environnement, Entreprise	Pendant les travaux
Diminution de la ressource en eau exploitée	Prélèvements interdits sur les points d'eau sensibles pour les travaux	Direction de l'Eau, Direction de l'Agriculture, BUNEE, CLE Noula, entreprise et populations	Entreprise, CLE Noula	Pendant les travaux et après les travaux
Pollution du milieu par les activités de chantier	Sensibilisation du personnel de chantier, plan de gestion des déchets	Direction de la Santé, Direction de l'Eau, Direction de l'Environnement, BUNEE.	MAH, entreprise	Pendant les travaux
Perte de plantations, maisons et terrains	Indemnisation des propriétaires Réinstallation sur d'autres sites	Direction de l'Agriculture, Commune, Autorité Coutumière, entreprise	Commune, entreprise	Démarrage des travaux

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 33 : Plan de Suivi Environnemental et Social

Composante du milieu	Activité à mener	Paramètres et indicateurs de suivi	Période	Responsabilité
Santé publique et sécurité	<p>Campagne de sensibilisation sur les IST/VIH- SIDA</p> <p>Sensibilisation sur l'hygiène et l'assainissement</p> <p>Mise en place d'une unité de santé pour la prise en charge rapide des accidents de chantier</p> <p>Mise en place de balises, de signalisations et de panneaux de chantier</p> <p>Dotation d'équipements adéquats</p> <p>Interdictions de travaux de nuits, de consommations d'alcool et excitants par le personnel</p> <p>Information et sensibilisation des populations sur les risques liés à la présence du chantier</p>	<p>Maladies respiratoires</p> <p>Qualité de l'air ambiant</p> <p>Nombre d'accidents observés</p> <p>Aptitude à la prise en charge des accidents de chantier</p> <p>Nombre de séances de sensibilisation</p>	Avant, pendant et après les travaux	Direction de la Santé, Comité de suivi
Patrimoine culturel	<p>Respect des lieux de culte</p> <p>Signalisation de tout vestige culturel ou archéologique découvert</p>	<p>Adhésion des autorités coutumières</p> <p>Nombre de site profanés</p>	Pendant les travaux	Autorités coutumières, Comité de suivi
Emploi	<p>Recrutement de la main d'œuvre locale</p> <p>Développement du petit commerce</p>	<p>Nombre de personnes embauchées</p>	Pendant et après les travaux	Entreprise, CLE Noula, Comité d'irrigant
Circulation	<p>Signalisations de chantier (balises et panneaux)</p> <p>Imposition d'une vitesse minimale aux engins de chantier</p>	<p>Existence d'une signalisation</p> <p>Nombre d'accidents</p> <p>Respect des limitations</p>	Pendant les travaux	Comité de suivi

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Tableau 34 : Evaluation du coût du PGES

Mesure	Détail d'évaluation	Unité	Quantité	Coût unitaire (FCFA)	Coût total (FCFA)
Etudes complémentaires	Evaluation précise des biens affectés et des enquêtes complémentaires	U	FF		3 000 000
Suivi environnemental	Suivi mensuel de la mise en œuvre du PGES par le service forestier	Mois	24	100 000	2 400 000
Remise en état du site et des carrières	Remise en état du site avec l'aide des populations, végétalisation des sites	Ha	FF		5 000 000
Sensibilisation	Santé, sécurité				2 000 000
Protection des berges	Aménagement et plantation des berges avec les espèces locales	Ha	FF		15 000 000
Reboisement compensatoire	Reboisement pour composer les arbres abattus lors des travaux par des pépinières				6 000 000
Clôture du périmètre par une haie vive		ml	FF		2 000 000
Clôture de périmètre en grillage	Protection des sources d'eau composé de grillage et de cornières.	ml			
Indemnisations	Expropriations (plantations, habitations)				20 000 000
Réalisation de forages	4 forages pour les villages riverains	U	4	8 000 000	32 000 000
	Cahier de charges				1 400 000
Total HT					102 800 000
TVA (18%)					18 504 000
Total TTC					121 304 000

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

ANNEXE IX. DESCRIPTION DES TRAVAUX ET DEVIS ESTIMATIF

Annexe 9.1. Les travaux liés à l'assainissement du périmètre des pics de Sindou

Tableau 35 : Devis estimatif de l'assainissement du périmètre des pics de Sindou

No	Désignation	Unité	Dimensions			Quantité	Prix unitaire	Prix total
			L	I	H			
I	Réalisation des études et services divers							
1.1	Diagnostic du périmètre	ENS				1	5 000 000	5 000 000
1.2	Etude technique d'aménagement	ENS				1	20 000 000	20 000 000
1.3	Contrôle des travaux et plan de récolement	ENS				1	10 000 000	10 000 000
	Sous total I							35 000 000
II	Installation et replis du chantier							
2.1	Diagnostic du périmètre	ENS				1	10 000 000	10 000 000
2.2	Diagnostic du périmètre	ENS				1	5 000 000	5 000 000
	Sous total II							15 000 000
III	Terrassement et démolition ouvrages existant							
3.1	Ouvrage de franchissement							
3.1.1	Démolition et transport des ouvrages de franchissement au niveau du canal primaire					3	150 000	450 000
3.1.2	Démolition et transport du Dalot cadre de 3×100×100 à la position					1	450 000	450 000
3.2	Réseau de drainage et d'irrigation							
3.2.1	Excavation et mise en forme pour la réalisation de drains primaire (rivière)	ml	7 701			7701	2 000	15 402 000
3.2.2	Excavation et mise en forme pour la réalisation de réseau d'irrigation	ml	14 806			14806	2 000	29 612 000
3.2.3	Mise en forme et compactage pour la réalisation de cavalier de protection	ml	29 612			29612	1 500	44 418 000
	Sous total III							90 332 000
IV	Réseaux de drainage et d'irrigation, ouvrages de prises et de régulation							
4.1	Canaux d'irrigation							
4.1.1	Béton armé pour la réalisation des canaux de drainage					7 701	2 500	19 252 500
4.1.2	Béton armé pour la réalisation panneaux dans les canaux d'irrigation					14 806	1 200	17 767 200
4.2	Ouvrage de prises et de régulation							
4.2.1	Béton armé pour la construction des ouvrages de prise en tête de périmètre					2	818 400	1 636 800
4.2.2	Béton armé pour la réalisation de 13 prises TOR primaires simples					13	750 000	9 750 000
4.2.3	Béton armé pour la construction de déversoirs type Giraudet					2	750 000	1 500 000
4.2.4	Béton armé pour la réalisation de 23 ouvrages de chute					23	25 000	575 000

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

	Sous total IV							50 481 500	
V	Ouvrage sur le reseau de drainage								
5.1	Ouvrage sur la piste primaire								
5.1.1	Construction du Dalot cadre de 3×100×100 démoli					1	2 500 000	2 500 000	
5.1.2	Tapissage en gabion aval du Dalot Ouvrage de franchissement sur la piste principale					2	500 000	1 000 000	
5.2	Ouvrage sur le réseau de drainage								
5.2.1	Tapissage en gabion en amont et en aval des ouvrages de dissipation					2	250 000	500 000	
5.2.2	Béton armé pour la construction de 12 ouvrages de franchissement					12	500 000	6 000 000	
	Sous total V							10 000 000	
VI	Ouvrage annexes								
6.1	Air de séchages	FF					3	450 000	1 350 000
6.2	Magasin de stockage	FF					2	7 500 000	15 000 000
	Sous total VI							16 350 000	
	TOTAL							217 163 500	
	Imprévu (5% du montant total)	FF						10 858 175	
	TOTAL HORS TAXES-HORS DOUANE (1)							228 021 675	
	TAXE (18% de (1)) = (2)							41 043 902	
	TOTAL TOUTES TAXES COMPRISES							269 065 577	

Le tableau ci-dessus donne le devis estimatif détaillé des travaux de réalisation physique du périmètre des pics de Sindou. Ces réalisations servent essentiellement à limiter les effets des crues brutales dont sont victime les producteurs du périmètre.

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Annexe 9.2. Les travaux d'aménagement par aspersion du périmètre

Tableau 36 : Devis estimatif des travaux d'aménagement d'irrigation par aspersion

No	Désignation	Unité	Dimensions			Quantité	Prix unitaire	Prix total
			L	l	H			
I	Installation de chantier							
1.1	Amener du matériel	ENS				1	6 887 550	6 887 550
1.2	Repli du matériel	ENS				1	3 443 775	3 443 775
	Sous total							10 331 325
II	Aspersion							
2.1	Micro asperseur -Meganet "tête haut"- embase fileté angle 24° 2-3 bars (636000-001700-MEG24200)	U				800	3 300	2 640 000
2.2	Support avec 120 cm de PES 6/8 Noir et raccords Conique M + F (64520-002050 - SUPPOW120)	U				800	1 630	1 304 000
2.3	Fourniture et pose	ENS				1	369 965	369 965
	Sous total							4 313 965
III	Réseau							
3.1	Conduite (SOTICI-PE 80 DN50 PN 6)	50ml/rouleau	288000			5760	22 360	128 793 600
3.2	Conduite (SOTICI-PE 80 DN90 PN 6)	50ml/rouleau	12800			256	31 635	8 098 560
3.3	conduite (SOTICI-PE 80 DN110 PN 6)	50ml/rouleau	12000			240	95 235	22 856 400
3.4	conduite (SOTICI-PE 80 DN225 PN 6)	50ml/rouleau	4000			80	95 235	7 618 800
3.4	conduite (SOTICI-PE 80 DN225 PN 6)	12ml/barre	3400			285	143 895	41 010 075
3.5	Fourniture et pose	ml	320200			17350	200	3 470 000
	Sous total							211 847 435
VI	Accessoires de raccordements							
4.2	Rampes-porte rampes-conduite							
4.2.1	croix taraudée 2"×2"×2"(INTERPLAST-S633630)	U				1581	52 060	82 306 860
4.2.2	Manchon réduction Male/Male 2"×1" (NETAFIM-RMM21)	U				6324	1 020	6 450 480
4.2.3	Manchon réduction Femelle/Male 1"×3/4"(NETAFIM-RFM(234)	U				3162	435	1 375 470
4.2.4	Manchon Taraudé 25×1" (NETAFIM-MATA251E)	U				3162	935	2 956 470

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

4.2.5	Manchon Taraudé 20×3/4" (NETAFIM-MATA2034E)	U				3162	895	2 829 990
4.2.6	Manchon Taraudé 20×3/4" (NETAFIM-MATA2034E)	U				203	935	189 805
4.2.7	Manchon reduction Male/Male 1"1/2"×1" (NETAFIM-RMM1121)	U				6	750	4 500
4.2.8	Té Taraudé 63x2" (NETAFIM-TETA632E)	U				176	8 555	1 505 680
4.2.9	Manchon Reduction Male/Male 2"×1" (NETAFIM-RMM21)	U				176	1 020	179 520
4.2.10	Manchon Taraudé 25×1" (NETAFIM-MATA251E)	U				176	965	169 840
4.2.11	Té réduit 160x63 PEHD PN 6,3 (INTERPLAST- TEL90FF)					27	77 720	2 098 440
4.2.12	Bouchon Ø 20 mm (NETAFIM-BO20E)	U				176	10 055	1 769 680
4.2.13	Bouchon Ø 25 mm (NETAFIM-BO25E)	U				176	1 090	191 840
4.2.14	Bouchon Ø 63 mm (NETAFIM-BO63E)	U				27	3 340	90 180
4.2.15	Joints de Raccords Ø 20 mm (NETAFIM-BO20E)	U				176	125	22 000
4.2.16	Joints de Raccords Ø 25 mm (NETAFIM-BO25E)	U				176	160	28 160
4.2.17	Joints de Raccords Ø 63 mm (NETAFIM-BO63E)	U				27	495	13 365
4.3	Refolement							
4.3.1	Coude égale 75 (NETAFIM-COEG75E)	U				4	12 270	49 080
4.3.3	Manchon filetés 75×3" (NETAFIM-MAFI753E)	U				8	8 200	65 600
4.3.4	Manchon taraudé 75×3" (NETAFIM-MATA753E)	U				12	8 200	98 400
4.3.5	Manchon Male/Male 3" (NETAFIM-MM3E)	U				4	3 035	12 140
4.3.6	Manchon réduits 110×75 (NETAFIM-MARE11075E)	U				2	21 130	42 260
4.3.7	Fourniture et pose	ENS				1	10 082 220	10 082 220
	Sous total							112 531 980
V	Accessoires de robinetterie							
5.1	Robinetteries							
5.1.1	Vanne 1/4 de tour P.L. Ø 2" FF (NETAFIM-VPP2)	U				176	28 595	5 032 720
5.1.2	Vanne a opercule femelle PN 16-3" (NETAFIM-VAOP103)	U				4	54 420	217 680
5.2	Filtration							
5.2.1	Filtres ARKAL 3"TWiN liTE 3" Double Male 3" - PN8 / SURFACE 1900 CM/Débit (50m3/h).série 70640-006758 modèle AR3MDI6	U				5	204 315	1 021 575

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

5.3	Dispositif de mesure							
5.3.1	COMPTEURS D'EAU WMR 5 Qnominal 15 m3/h-WMR fileté 2'' unions compris (NETAFIM-CO2FIL)	U				4	76 915	307 660
5.3.2	DOSE-O-MAT 3'' KB + TOTALISEUR - PN10 volume de 0-400 m3 graduation 10 m3 Q 3-65 m3/h (NETAFIM - VV31)	U				4	219 520	878 080
5.3.3	Manomètre Glycérine - 63 boîtiers inox 0-6 bars (NETAFIM-MANO6)	U				4	168 150	672 600
5.3.4	Aiguille prise de pression 1/4'' F (NETAAIGIN)	U				4	16 600	66 400
5.4	Dispositifs de protection							
5.4.1	CLAPETS ANTI-RETOUR EUROPA SIEGE + GUIDE METAL - AGREMENT ACS 3" FF (NETAFIM-CLAR3)	U				4	24 325	97 300
	Fourniture et pose	ENS						2 278 230
	Sous total							10 572 245
VI								Pompage
6.1	Pompe immergées LEROY SOMER Qnominal 130 m3/h à HMT 102,5 mCE code produit POM 801 08 (45kW 90A)	U				30	1 500 000	45 000 000
6.2	Construction des locaux de pompage et du reservoirs semi-enterré	ens				2	5 000 000	10 000 000
6.3	Réalisation de forages	U				30	1 100 000	33 000 000
6.4	Acquisition et installation de la centrale solaire	FF				1	150 000 000	150 000 000
	Sous total VI							238 000 000
	TOTAL							587 596 950
	Imprevu (5% du total)							29 379 848
	TOTAL HORS TAXES-HORS DOUANE (1)							616 976 798
	TAXE (18% de (1))=(2)							111 055 824
	TOTAL TOUTES TAXES COMPRISES							728 032 621

Le tableau ci-dessus donne le devis estimatif détaillé des travaux de réalisation de l'aménagement hydroagricole irrigué par aspersion. L'eau d'irrigation provient des forages des eaux souterraines du bassin sédimentaire.

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

Annexe 9.3. Compte d'exploitation pour la production de la Tomate par hectare

Tableau 37 : Compte d'exploitation pour la production de la Tomate par hectare

Charges	Unité	Qté	Prix unitaire	Valeur FCFA/ha
Préparation du sol				
Offsetage	Ha	1	30 000	30 000
Billonnage	Ha	1	25 000	25 000
<i>Sous total préparation du sol</i>				55 000
Intrants				
Semences :	Kg			
Tout venant Sélectionnées	Kg	1 500	1 000	1 500 000
Engrais :				
NPK	sac	13	16 000	208 000
Urée	sac	5	17 000	85 000
Produits phytosanitaires	Lot	1	120 000	120 000
<i>Sous total Intrants</i>				1 913 000
Irrigation				
Redevance entretien infrastructures	FF	1	44 000	44 000
Amortissement station pompage	FF	1	96 000	96 000
<i>Sous total irrigation</i>				140 000
Main d'œuvre				
Affinage labour et billons	HJ	15	1 200	18 000
Pépinière / Repiquage	HJ	55	1 200	66 000
Irrigation, entretien, désherbage	HJ	104	1 200	124 800
Récolte	HJ	75	1 200	90 000
transport / Conditionnement	caisse	1 000	50	50 000
gardiennage/tri	HM	4	40 000	160 000
<i>Sous total main d'œuvre</i>				508 800
Autres charges				
Amortissement petit matériel d'exploitation	Lot	1	10 000	10 000
Caisse	Unité	300	3 000	900 000
<i>Sous total autres charges</i>				910 000
Frais financiers				
12% sur 6 mois				233 862
<i>Sous total frais financiers</i>				233 862
TOTAL CHARGES				3 760 662
Produits				
Produits récoltés	Kg	40 000		
Pertes et autoconsommation (15%)	Kg	6 000		
Produits commercialisés***	Kg	34 000		
Prix faible (20%)	Kg	6 800	175	1 190 000

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Prix moyen (60%)	Kg	20 400	225	4 590 000
Prix élevé (20%)	Kg	6 800	400	2 720 000
Total Produits				8 500 000
MARGE NETTE				
Produit brut				8 500 000
Charges totales				3 760 662
MARGE NETTE				4 739 338

**Estimés sur la base d'un crédit CT équivalent à 100% des charges de production avec un taux d'intérêt annuel de 12% sur une durée de 6 mois

***Produits commercialisés : 20% au prix faible, 60% au prix moyen et 20% au prix élevé

ANNEXE X. ETUDE DU RESERVOIR

Annexe 10.1. Calcul de dimensionnement des parois.

Les parois sont des murs voiles fondés sur des semelles filantes, ils ont un comportement d'un mur de soutènement. Pour leur dimensionnement, on néglige les déformations dans le sens longitudinal, ce qui suppose un état de déformation plane, ainsi on étudie un mètre de longueur de mur. Pour dimensionner les parois on va considérer le réservoir pour différentes situations :

- Lors de la période de vidange et d'entretien : le réservoir est vide, dans ce cas juste la poussée des terres qui agit.
- Lors du test d'étanchéité : le réservoir est plein sans remblais, cette situation s'applique aussi pour les parois qui ne sont pas couverts de remblais.
- Pendant le fonctionnement normal : le réservoir est plein avec poussée des terres, dans ce cas la poussée des terres et celle d'eau agissent simultanément.

Ainsi on va calculer les parois pour trois combinaisons fondamentales :

- Réservoir vide avec remblai.
- Réservoir plein sans remblai.
- Réservoir plein avec remblai.

Annexe 10.2. Pré dimensionnement des parois

On va adopter pour les parois la géométrie représentée sur la figure ci-dessous.

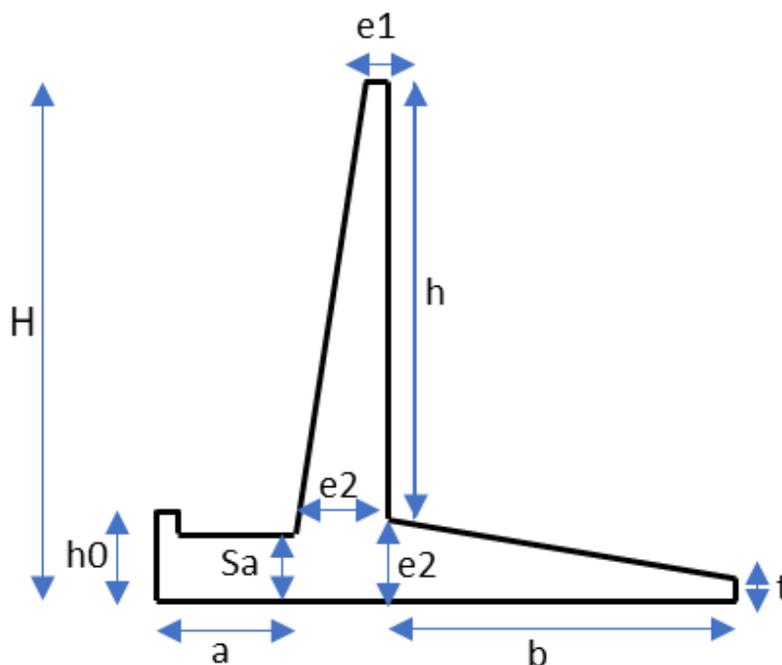


Figure 27 : La géométrie des parois

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Le dimensionnement des parois et leurs vérifications demandent une succession de calculs longs et itératifs. Pour arriver de la façon la plus rapide aux bons résultats, il est important de pré-dimensionner de la manière la plus juste possible les caractéristiques géométriques du mur.

Tableau 38 : Les valeurs de prédimensionnement

Grandeur géométrique	Valeur de prédimensionnement
e_1	$\frac{H}{24}$ Minimum 15 cm
e_2	$\frac{H}{12} \times 1.15$
a	$\frac{H}{8} \times 1.15$
b	$\frac{H}{6} \times 1.15$
t	$\frac{H}{14}$
S_a	$\frac{H}{13}$

Annexe 10.3. Stabilité externe des parois.

La stabilité externe des parois permet de trouver les dimensionnes minimales des parois qui vérifient la stabilité, vis-à-vis de renversement, et de poinçonnement, sous l'effet des charges extérieurs, durant toute la durée de vie prévisible de l'ouvrage. Les dimensionnes retenues pour les parois sont celles qui vérifient, à la fois, les trois combinaisons fondamentales :

- réservoir vide avec remblai
- réservoir plein sans remblai
- réservoir plein avec remblai.

Si par après, on a un problème d'enrobage des armatures, on peut augmenter ces dimensionnes.

Annexe 10.3.1. Première combinaison : réservoir vide avec remblai

Dans ce cas les parois sont soumises aux efforts extérieurs suivants :

- la poussée des terres : P_1
- la poussée due à la charge d'exploitation q , uniformément répartie sur remblais : P_2
- le poids des terres : N_1
- leurs poids propres : $N_2 + N_3 + N_4 + N_5$

Ces efforts sont représentés sur la figure suivant :

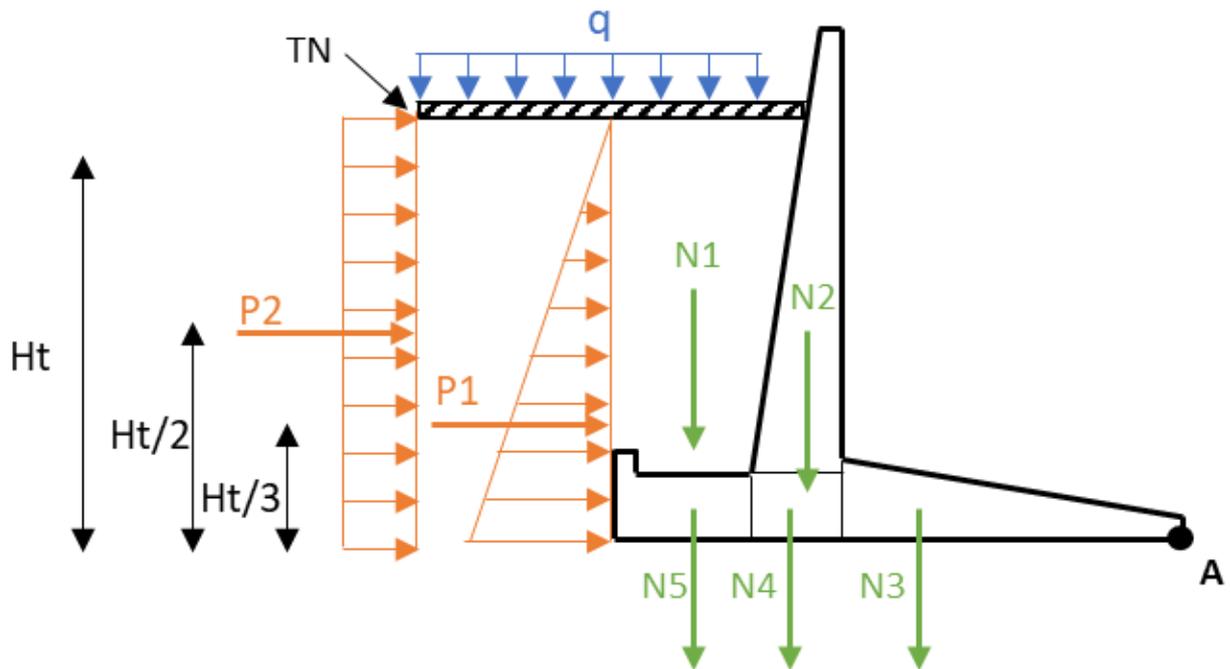


Figure 28 : Les efforts extérieurs appliqués sur le mur-Réservoir vide avec remblai

Annexe 10.3.1.1. Stabilité vis-à-vis du renversement :

- **Calcul des efforts renverseurs :**

Les efforts renverseurs appliqués sur le mur sont :

- la poussée des terres : P_1
- la poussée due à la charge d'exploitation q , uniformément répartie sur remblais : P_2

La poussée des terres P_1 :

La poussée des terres est une charge triangulaire répartie sur la paroi, dont la résultante P_1 est appliquée à $\frac{H_t}{3}$ à partir de la base du mur, voir la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Soit k le coefficient de poussée. Cette poussée est calculée par la formule :

$$P_1 = \frac{\gamma_s H_t^2}{2} \times k$$

Avec γ_s le poids volumique total du sol en remblai.

Par la méthode de RANKINE, on montre que :

$$k = \left(\tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right)^2$$

Avec φ l'angle de frottement interne du sol.

La poussée P_2 due à la charge d'exploitation q :

La poussée due à la charge d'exploitation, uniformément répartie sur le remblai, est une charge rectangulaire uniformément répartie sur la hauteur du remblai H_t .

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

La résultante P_2 est appliqué à $\frac{H_t}{2}$ à partir de la base du mur, voire la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** On a :

$$P_2 = H_t \times q \times k$$

avec k le coefficient de poussée utilisé pour calculer P_1 .

• **Calcul des efforts stabilisateurs :**

Soit γ_b le poids volumique du béton armé ($\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$). Les efforts stabilisateurs appliqués sur le mur sont :

- le poids propre des terres au-dessus de la semelle arrière du mur : N1
- le poids propre des parois (y compris la semelle) : N2+N3+N4+N5.

D'après la géométrie des parois, on a :

Le poids propre des terres N1 est donné par:

$$N_1 = \gamma_s \times \left[a(H_t - S_a) + \frac{(e_2 - e_1)(H_t - S_a)}{2h} \right]$$

Appliquée à la distance x_1 du point A.

$$x_1 = (a + b + c) - \frac{a^2 + a \times l + l^2}{3(a + l)}$$

Avec

$$l = a + \frac{(H_t - S_a)(e_1 - e_2)}{h}$$

Pour le poids propre du mur N2 :

$$N_2 = \gamma_b \times \frac{(c - e_1)(H - S_a)}{2}$$

Avec

$$c = e_2 + \frac{(e_2 - e_1)(e_2 - S_a)}{h}$$

N2 est appliquée à une distance x_2 du point A

$$x_2 = b + \frac{e_1^2 + e_1 \times c + c^2}{3(e_1 + c)}$$

Le poids propre N3 est donné par la formule suivante :

$$N_3 = \left(\frac{e_2 + t}{2} \right) b \times \gamma_b$$

$$x_3 = \left(1 - \frac{e_2 + 2t}{3(e_2 + t)} \right) b$$

Le poids propre N4

$$N_4 = S_a \times c \times \gamma_b$$

$$x_4 = b + \frac{c}{2}$$

Pour le poids propre N5

$$N_5 = (0.15(h_0 - S_a) + a \times S_a)\gamma_b$$

$$x_5 = b + c + \frac{a}{2}$$

Le moment des efforts renverseurs par rapport au point A :

$$M_A(\text{renverseurs}) = P_1 \times \frac{H_t}{3} + P_2 \times \frac{H_t}{2}$$

Le moment des efforts stabilisateur par rapport au point A :

$$M_A(\text{stabilisateurs}) = \sum_{i=1}^5 N_i \times x_i$$

Le coefficient de sécurité vis-à-vis de renversement

$$F = \frac{M_A(\text{stabilisateurs})}{M_A(\text{renverseurs})}$$

Pour que la stabilité au renversement soit vérifiée, soit en ELS ou ELU, il faut que

$$F \geq 1,5$$

Annexe 10.3.1.2. Stabilité vis-à-vis de glissement :

Vue la forme de l'ouvrage, le problème de glissement n'est pas posé.

Annexe 10.3.1.3. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement

Soit

$$e = \frac{a + b + c}{2} - \frac{M_A}{N}$$

Avec

$$M_A = M_A(\text{stabilisateurs}) - M_A(\text{renverseurs})$$

$$N = \sum_{i=1}^5 N_i$$

Soit σ_{adm} la contrainte admissible du sol de fondation sur laquelle est fondé le mur,

On distingue deux cas :

- Si $0 \leq e \leq \frac{b+a+c}{6}$, on a une réaction trapézoïdale de la réaction du sol

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

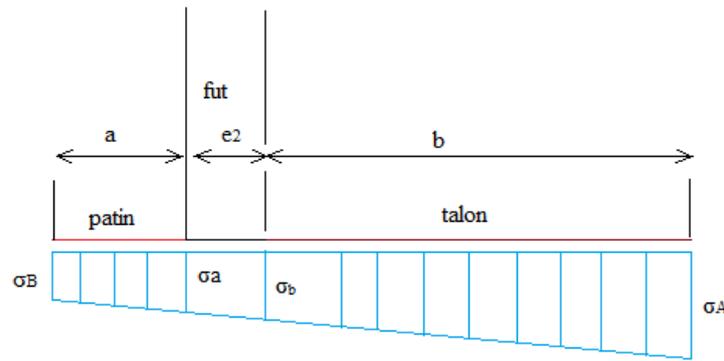


Figure 29 : Répartition trapézoïdale de la réaction du sol-Réservoir vide avec remblai

On a

$$\sigma_A = \frac{N}{a + b + c} \left(1 + \frac{6e}{a + b + c} \right)$$

$$\sigma_b = \frac{N}{a + b + c} \left(1 - \frac{6e}{a + b + c} \right)$$

Le non poinçonnement de la semelle des parois, est vérifié si la relation suivante est vérifiée

$$\frac{3\sigma_A - \sigma_B}{4} < \sigma_{adm}$$

- Si $\frac{b+a+c}{6} \leq e \leq \frac{b+a+c}{2}$, dans ce cas on a une répartition triangulaire de la réaction du sol, et s'étend sur une distance de $3e$

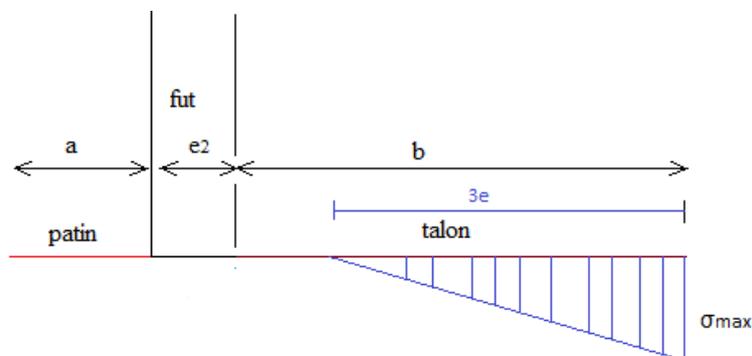


Figure 30 : Répartition triangulaire de la réaction du sol-Réservoir vide avec remblai

$$\sigma_{max} = \frac{2N}{3 \left(\frac{a + b + e_2}{2} - e \right)}$$

Le non poinçonnement de la semelle des parois, est vérifié si la relation suivante est vérifiée

$$\frac{3\sigma_{max}}{4} < \sigma_{adm}$$

On veillera toujours à ce que la répartition de la réaction du sol sur la semelle soit trapézoïdale,

c'est à dire que $0 \leq e \leq \frac{b+a+c}{6}$

Annexe 10.3.2. Deuxième combinaison : réservoir plein sans remblai

Les parois sont soumises aux efforts extérieurs suivants :

- la poussée de l'eau : P_e
- le poids d'eau au-dessus du talon : N_e
- leurs poids propre : $N_2+N_3+N_4+N_5$

Ces efforts sont représentés sur la figure suivante.

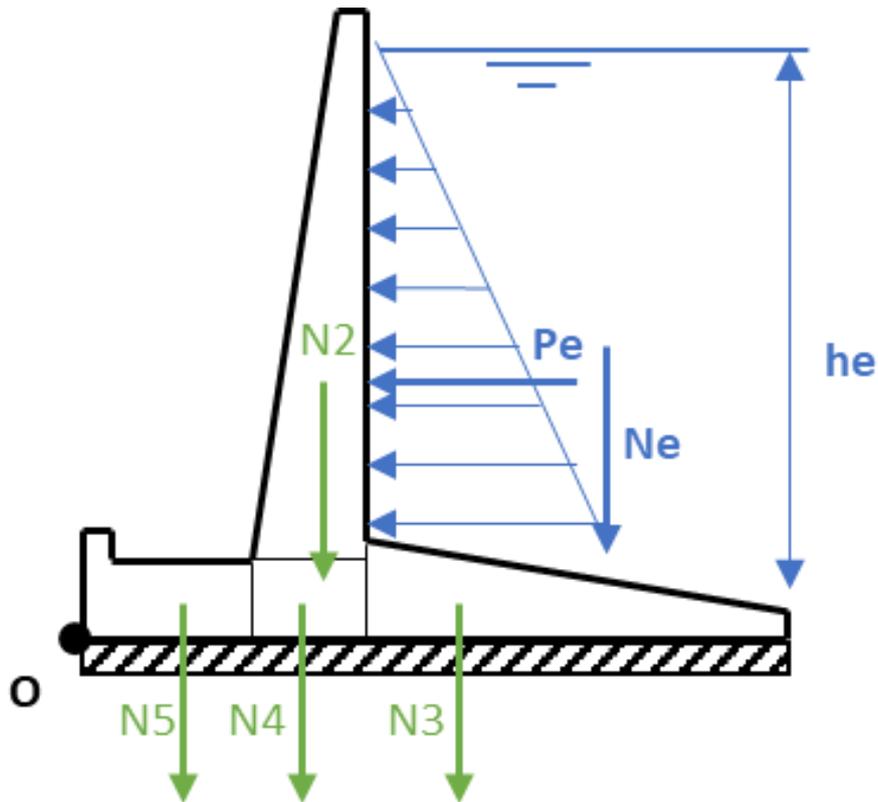


Figure 31 : Les efforts appliqués sur le mur-Réservoir plein sans remblai

Annexe 10.3.2.1. Etude de stabilité vis-à-vis du renversement :

On va vérifier la stabilité du mur vis-à-vis du renversement par rapport au point O

- **Calcul des efforts renverseurs :**

Le seul effort renverseur appliqué sur le mur est la poussée de l'eau P_e .

$$P_e = \frac{(h_e - e_2 + t)^2}{2} \times \gamma_e$$

Appliquée $\frac{h_e - e_2 + t}{3}$ à partir de la base du voile.

γ_e est le poids volumique de l'eau.

- **Calcul des efforts stabilisateurs :**

Les efforts stabilisateurs appliqués sur le mur sont :

- le poids propre de l'eau au-dessus de la semelle avant du mur : N_e

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

-le poids propre de la paroi (y compris la semelle) : $N_2+N_3+N_4+N_5$.

Le poids propre de l'eau

$$N_e = \frac{2h_e + t - e_2}{2} \times b \times \gamma_e$$

$$x_e = a + b + c - \frac{3h_e + 2(t - e_2)}{3(2h_e + t - e_2)} \times b$$

Le moment des efforts renverseurs par rapport au point O

$$M_O(\text{renverseur}) = P_e \times \left(\frac{h_e - e_2 + t}{3} + e_2 \right)$$

Le moment des efforts stabilisateurs par rapport au point O

$$M_O(\text{Stabilisateur}) = \sum_{i=2}^6 N_i \times x_i$$

Le coefficient de sécurité vis-à-vis de renversement

$$F = \frac{M_O(\text{stabilisateurs})}{M_O(\text{renverseurs})}$$

Pour que la stabilité au renversement soit vérifiée, soit en ELS ou ELU, il faut que

$$F \geq 1,5$$

Annexe 10.3.2.2. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement

Soit

$$e = \frac{a + b + c}{2} - \frac{M_O}{N}$$

Avec

$$M_O = M_O(\text{stabilisateurs}) - M_O(\text{renverseurs})$$

$$N = \sum_{i=2}^6 N_i$$

Soit σ_{adm} la contrainte admissible du sol de fondation sur laquelle est fondé le mur,

On distingue deux cas :

- Si $0 \leq e \leq \frac{b+a+c}{6}$, on a une réaction trapézoïdale de la réaction du sol

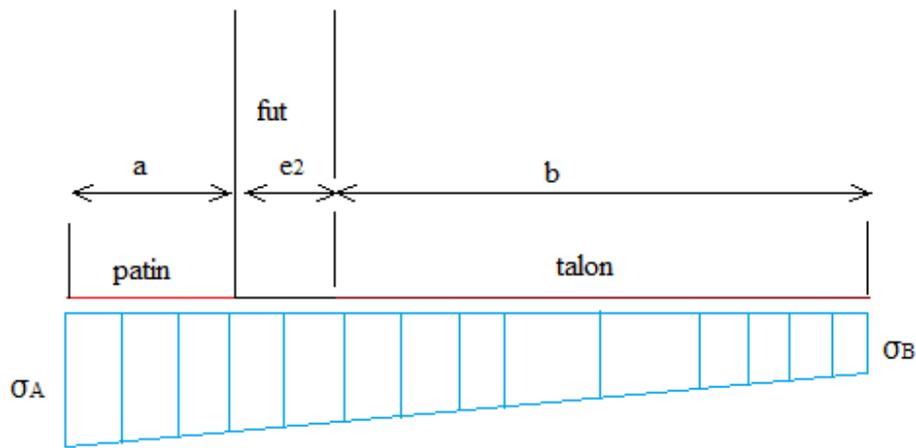


Figure 32 : La répartition de la réaction du sol ; cas réservoir plein sans remblais

$$\sigma_A = \frac{N}{a + b + c} \left(1 + \frac{6e}{a + b + c} \right)$$

$$\sigma_B = \frac{N}{a + b + c} \left(1 - \frac{6e}{a + b + c} \right)$$

Le non poinçonnement de la semelle des parois, est vérifié si la relation suivante est vérifiée

$$\frac{3\sigma_A - \sigma_B}{4} < \sigma_{adm}$$

- Si $\frac{b+a+c}{6} \leq e \leq \frac{b+a+c}{2}$, dans ce cas on a une répartition triangulaire de la réaction du sol, et s'étend sur une distance de $3e$

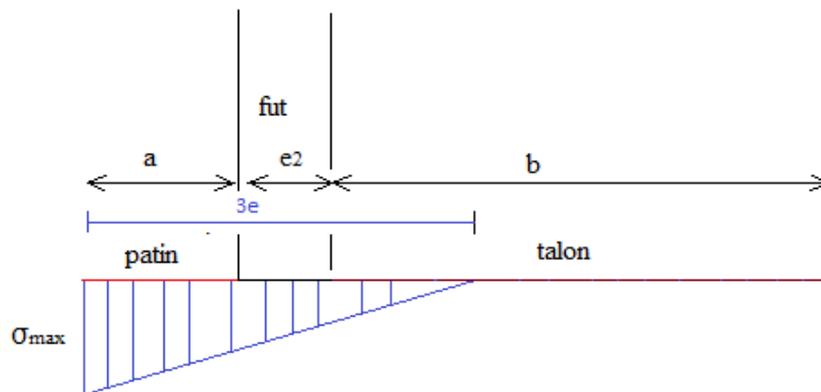


Figure 33 : répartition triangulaire de la réaction du sol ; cas réservoir plein sans remblai

$$\sigma_{max} = \frac{2N}{3 \left(\frac{a + b + e_2}{2} - e \right)}$$

Le non poinçonnement de la semelle des parois, est vérifié si la relation suivante est vérifiée

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

$$\frac{3\sigma_{max}}{4} < \sigma_{adm}$$

On veillera toujours à ce que la répartition de la réaction du sol sur la semelle soit trapézoïdale,

c'est à dire que $0 \leq e \leq \frac{b+a+c}{6}$

Annexe 10.3.3. Troisième combinaison : réservoir plein avec remblai

Les parois sont soumises aux efforts extérieurs suivants :

- la poussée de l'eau : P_e
- la poussée des terres : P_1
- la poussée du à la charge d'exploitation: P_2
- le poids d'eau au-dessus du talon : $N_e=N_6$
- le poids des terres au-dessus de la semelle arrière : N_1
- leurs poids propres : $N_2+N_3+N_4+N_5$

Ces efforts sont représentés sur la figure suivant

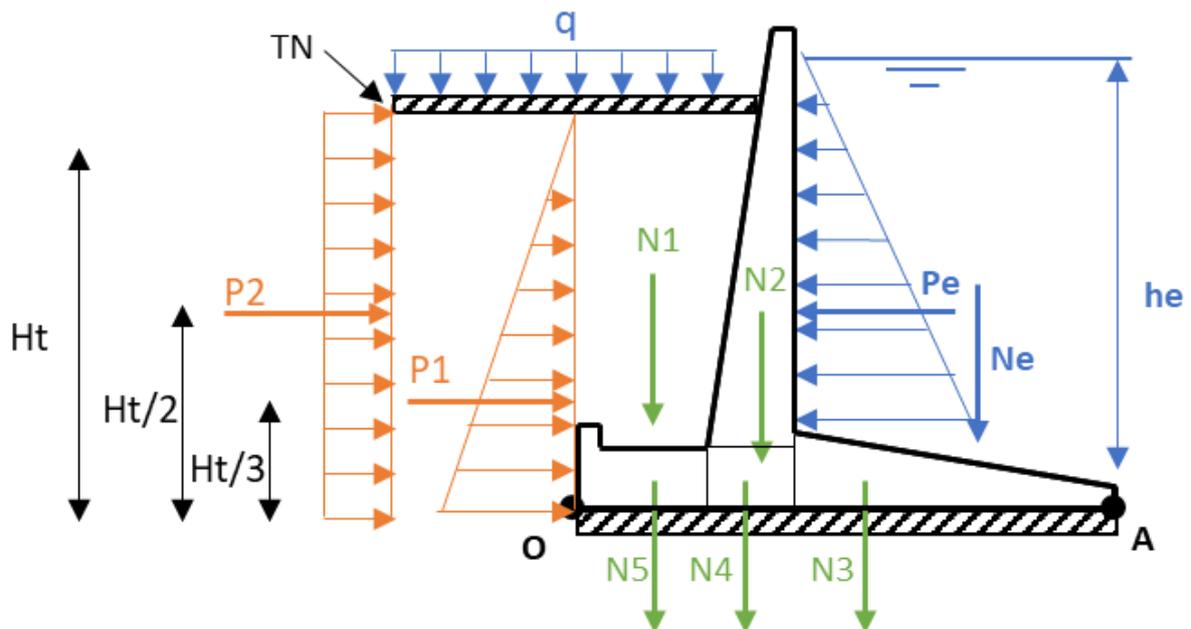


Figure 34 : les efforts appliqués sur le mur ; cas réservoir plein avec remblai

Annexe 10.3.3.1. Etude de stabilité vis-à-vis du renversement :

On va vérifier la stabilité du mur vis-à-vis du renversement par rapport au point O.

Les efforts renverseurs : le seul effort renverseur appliqué sur le mur est la poussée d'eau P_e .

Les efforts stabilisateurs : les efforts stabilisateurs appliqués sur le mur sont :

- les poussées P_1 et P_2 .
- le poids propre d'eau au-dessus de la semelle avant du mur : N_6 .

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

- le poids propre des terres au-dessus de la semelle arrière du mur : N1
- le poids propre de la paroi (y compris la semelle) : N2+N3+N4+N5.

Tous les efforts sont déjà calculés dans la première et la deuxième combinaison.

Le moment des efforts renverseurs par rapport au point O :

$$M_O(\text{renverseur}) = P_e \times \left(\frac{h_e - e_2 + t}{3} + e_2 \right)$$

Le moment des efforts stabilisateurs par rapport au point O

$$M_O(\text{Stabilisateur}) = \sum_{i=1}^6 N_i \times x_i + P_1 \times \frac{H_t}{3} + P_2 \times \frac{H_t}{2}$$

Le coefficient de sécurité vis-à-vis de renversement

$$F = \frac{M_O(\text{stabilisateurs})}{M_O(\text{renverseurs})}$$

Pour que la stabilité au renversement soit vérifiée, soit en ELS ou ELU, il faut que

$$F \geq 1,5$$

Annexe 10.3.3.2. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement

Soit

$$e = \frac{a + b + c}{2} - \frac{M_O}{N}$$

Avec

$$M_O = M_O(\text{stabilisateurs}) - M_O(\text{renverseurs})$$

$$N = \sum_{i=2}^6 N_i$$

Soit σ_{adm} la contrainte admissible du sol de fondation sur laquelle est fondé le mur,

On distingue deux cas :

- Si $0 \leq e \leq \frac{b+a+c}{6}$, on a une réaction trapézoïdale de la réaction du sol

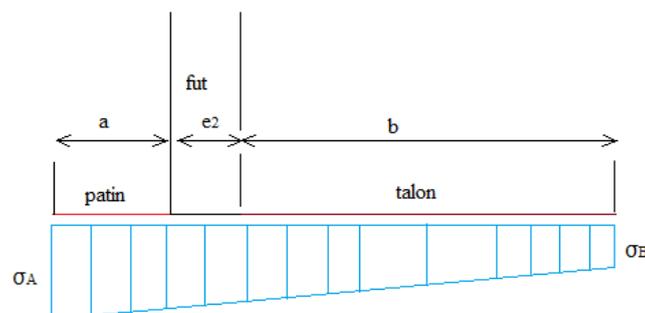


Figure 35 : La répartition de la réaction du sol ; cas réservoir plein avec remblais

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

$$\sigma_A = \frac{N}{a + b + c} \left(1 + \frac{6e}{a + b + c} \right)$$

$$\sigma_B = \frac{N}{a + b + c} \left(1 - \frac{6e}{a + b + c} \right)$$

Le non poinçonnement de la semelle des parois, est vérifié si la relation suivante est vérifiée

$$\frac{3\sigma_A - \sigma_B}{4} < \sigma_{adm}$$

- Si $\frac{b+a+c}{6} \leq e \leq \frac{b+a+c}{2}$, dans ce cas on a une répartition triangulaire de la réaction du sol, et s'étend sur une distance de $3e$

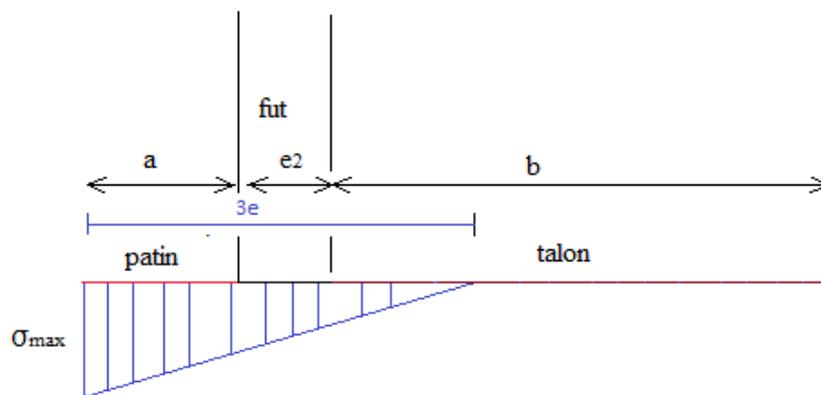


Figure 36 : répartition triangulaire de la réaction du sol ; cas réservoir plein avec remblai

$$\sigma_{max} = \frac{2N}{3 \left(\frac{a + b + e_2}{2} - e \right)}$$

Le non poinçonnement de la semelle des parois, est vérifié si la relation suivante est vérifiée

$$\frac{3\sigma_{max}}{4} < \sigma_{adm}$$

On veillera toujours à ce que la répartition de la réaction du sol sur la semelle soit trapézoïdale,

c'est à dire que $0 \leq e \leq \frac{b+a+c}{6}$

Annexe 10.4. Stabilité interne des parois et calcul des armatures :

Annexe 10.4.1. Calcul des sollicitations

Pour le calcul des sollicitations et les sections d'armatures, on va étudier des sections critiques de calcul, jugées nécessaires et suffisantes pour déterminer le ferrailage complet du mur. Ces sections de calcul sont choisies par l'utilisateur, pour notre projet nous avons choisi les sections suivantes :

- S1 = encastrement du voile sur la semelle : section d'acier A1

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

- S2 = encastrement du patin sur le voile : section d'acier A2
- S3 = encastrement du talon sur le voile : section d'acier A3
- S4 = section du voile au tiers de sa hauteur : section d'acier A4
- S5 = section du voile à la moitié de sa hauteur : section d'acier A5
- S6 = section du voile aux deux tiers de sa hauteur : section d'acier A6

Ces sections de calcul sont représentées sur la figure suivante :

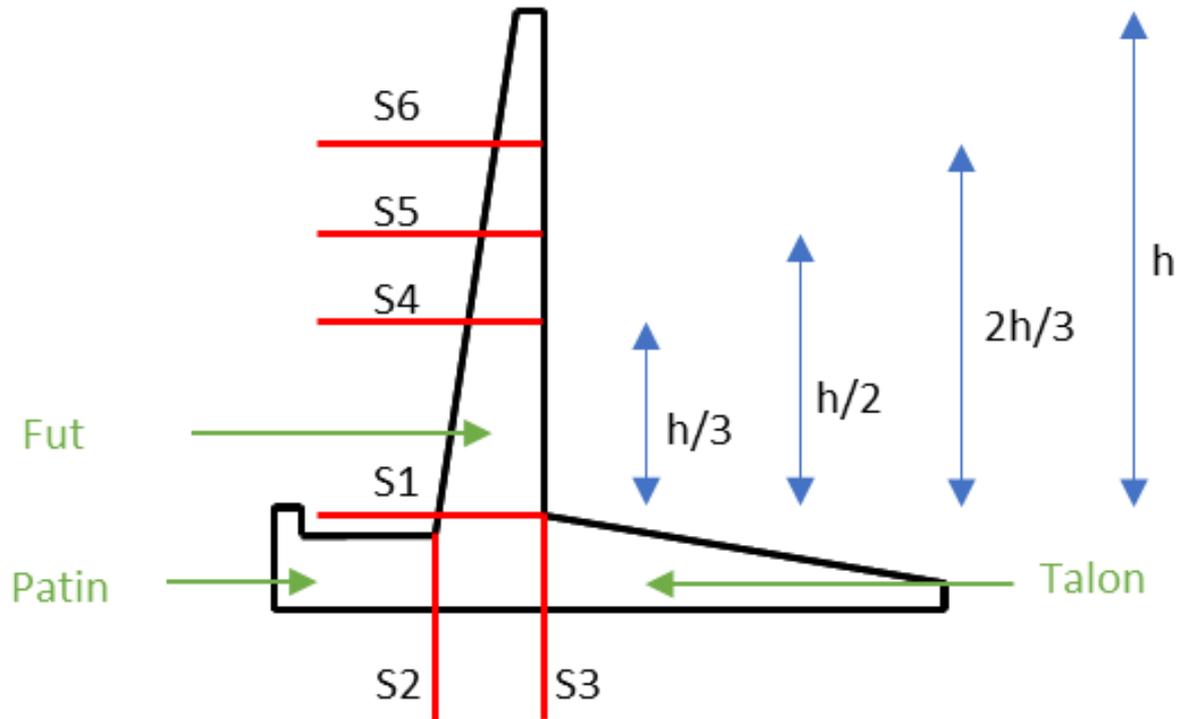


Figure 37 : Les sections critiques dans les parois (y compris la semelle)

Annexe 10.4.1.1. Première combinaison : réservoir vide avec remblai

- **Pour le fut**

Les sollicitations au niveau des sections de calcul définies dans le fut, sont calculées en fonction des grandeurs géométriques qui définissent la géométrie des parois et la hauteur du remblai H_t ainsi que les poids volumiques γ_b et γ_s .

Tableau 39 : Localisation des sections par rapport au terrain naturel et effort normal

Section	Z/TN	N(kN)
S6	$H_t - e_2 - \frac{2h}{3}$	$\frac{(e_2 + 5e_1)h\gamma_b}{18}$
S5	$H_t - e_2 - \frac{h}{2}$	$\frac{(e_2 + 3e_1)h\gamma_b}{8}$

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

S4	$H_t - e_2 - \frac{h}{3}$	$\frac{(2e_2 + 4e_1)h\gamma_b}{9}$
S1	$H_t - e_2$	$\frac{(e_2 + e_1)h\gamma_b}{2}$

Tableau 40 : détermination des efforts tranchant et des moments

Sollicitation	Effort tranchant	Moment
Sollicitation dû à la charge q	$T = qK_a Z$	$M = \frac{qK_a Z^2}{2}$
Sollicitation due à la poussée des terres	$T = \frac{\gamma_s K_a Z^2}{2}$	$M = \frac{\gamma_s K_a Z^3}{2}$

• **Pour le patin et talon :**

Le patin et le talon travaillent comme des poutres consoles encastree respectivement au niveau des sections S2 et S3.

Les efforts extérieurs exercés sur le patin :

- le poids des terres au-dessus : $q_s = \gamma_s(H_t - S_a)a$
- son poids propre : $q_p = a\gamma_b S_a$
- l'effet de la charge q : $Q_q = \frac{qa}{(a+H_t-S_a)(1+H_t-S_a)}$
- la réaction du sol

Les efforts extérieurs exercés sur le talon :

- Le poids propre du talon : $P(x) = \gamma_b \left(e_2 - \frac{(e_2-t)}{b} x \right)$
- Le revêtement : q_r
- La réaction du sol.

Les sollicitations au niveau des sections S2 et S3 sont montrées sur les tableaux suivant.

Dans le cas où $0 \leq e \leq \frac{b+a+c}{6}$.

Section	Effort tranchant $T(kN)$	Moment $M(kN.m)$
S2	$\left(\frac{\sigma_a + \sigma_B}{2} - (Q_q + q_s + q_p) \right) a$	$\left(\frac{\sigma_a + 2\sigma_B}{3} - (Q_q + q_s + q_p) \right) \frac{a^2}{2}$
S3	$\left(\frac{\sigma_b + \sigma_A}{2} - (Q_q + q_s + q_p) \right) b$	$\left(\frac{\sigma_b + 2\sigma_A}{3} - (Q_q + q_s + q_p) \right) \frac{b^2}{2}$

Avec

$$\sigma_a = \sigma_B + a \frac{\sigma_A - \sigma_B}{a + b + c} \quad \text{et} \quad \sigma_b = \sigma_A + (a + c) \frac{\sigma_A - \sigma_B}{a + b + c}$$

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Annexe 10.4.1.2. Deuxième combinaison : réservoir plein sans remblai

- **Pour le fut**

Pour calculer les sollicitations dans les sections définies dans le fut on détermine d'abord la position de ces sections par rapport au niveau d'eau dans le réservoir ; ces positions sont montrées sur le tableau suivant :

Tableau 41 : Localisation des sections par rapport au niveau de l'eau

Section	Z/NE
S6	$h_e + t - e_2 - \frac{2h}{3}$
S5	$h_e + t - e_2 - \frac{h}{2}$
S4	$h_e + t - e_2 - \frac{h}{3}$
S1	$h_e + t - e_2$

NE : niveau supérieur de l'eau dans le réservoir

L'effort normal dans chaque section se calcule comme dans la première combinaison.
Sollicitations due à la poussée d'eau :

$$\text{L'effort tranchant : } T = \frac{\gamma_e Z^2}{2}$$

$$\text{Le moment : } M = \frac{\gamma_e Z^3}{6}$$

- **Pour le patin et talon :**

Les efforts extérieurs exercés sur le patin :

- Son poids propre $q_p = a\gamma_b S_a$
- La réaction du sol

Les efforts extérieurs exercés sur le talon :

- Le poids propre du talon : $P(x) = \gamma_b \left(e_2 - \frac{(e_2-t)}{b} x \right)$
- Le revêtement : q_r
- Le poids du fluide emmagasiné : q_e
- La réaction du sol.

Pour la section S2

$$T(kN) = \left(\frac{\sigma_a + \sigma_A}{2} - q_p \right) a$$

$$M(kN.m) = \left(\frac{\sigma_a + 2\sigma_A}{3} - q_p \right) \frac{a^2}{2}$$

Pour la section S3

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

$$T(kN) = \left(q_r + \frac{2h_e + t - e_2}{2} \gamma_e + \frac{e_2 + t}{2} \gamma_b - \frac{\sigma_b + \sigma_B}{2} \right) b$$

$$M(kN.m) = \left(-q_r - \frac{3h_e + t - e_2}{3} \gamma_e - \frac{e_2 + 2t}{3} \gamma_b + \frac{\sigma_b + 2\sigma_B}{3} \right) \frac{b^2}{2}$$

Annexe 10.4.1.3. Troisième combinaison : réservoir plein avec remblais

• **Pour le fut**

Les sollicitations au niveau des sections de calcul se calculent comme la première et la deuxième combinaison. Mais dans ce cas l'eau agit dans un sens inverse par rapport à la poussée des terres. La sollicitation totale résultante dans une section donnée sera :

$$S_t = S_{pt} - S_{pe}$$

S_{pt} sollicitation due à la poussée des terres et la charge q.

S_{pe} sollicitation due à la poussée d'eau.

• **Pour le patin et talon**

Les sollicitations sont les suivantes :

Pour la section S2

$$M(kN.m) = \left(\frac{\sigma_a + 2\sigma_A}{3} - (Q_q + q_s + q_p) \right) \frac{a^2}{2}$$

$$T(kN) = \left(\frac{\sigma_a + \sigma_A}{2} - (Q_q + q_s + q_p) \right) a$$

Pour la section S3

$$M(kN.m) = \left(\frac{\sigma_b + \sigma_B}{3} - \gamma_b \frac{(e_2 + 2t)}{3} - \gamma_e \frac{3h_e + t - e_2}{3} - q_r \right) \frac{b^2}{2}$$

$$T(kN) = \left(q_r + \frac{2h_e + t - e_2}{3} \gamma_e + \frac{e_2 + t}{2} \gamma_b - \frac{\sigma_b + \sigma_B}{2} \right) b$$

Avec

$$\sigma_a = \sigma_A + a \frac{\sigma_B - \sigma_A}{a + b + c}$$

Et

$$\sigma_b = \sigma_A + (a + c) \frac{\sigma_B - \sigma_A}{a + b + c}$$

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Annexe 10.4.2. Calcul des sections d'armature

Annexe 10.4.2.1. Calcul des armatures longitudinales

Le fut des parois est sollicité en flexion composée : flexion simple due à la poussée d'eau et de remblai, et compression simple due au poids propre du fut. Tandis que le patin et le talon sont sollicités en flexion simple.

Annexe 10.4.2.1.1. Cas de flexion composée :

- A l'état limite de service (ELS)

On procède comme suit :

L'excentricité de l'effort normal N_s :

$$e = e_s = \frac{M_s}{N_s}$$

$$\bar{\sigma}_s (MPa) = \min(0,5f_e; 90\sqrt{\eta f_{t28}})$$

$$\bar{\sigma}_b = 0,6f_{c28}$$

On a une section rectangulaire, on fait le calcul comme s'il s'agit d'une flexion simple, puis on diminue la valeur de la section de : $\frac{N_s}{\bar{\sigma}_s}$

$M_{1s} = N_s \cdot \left(e_s + d - \frac{e_h}{2} \right)$	$d = 0,9e_h$	si $M_{1s} \leq M_{rb} = \mu_{rb} \cdot b d^2 \bar{\sigma}_b$
---	--------------	---

Par itération successive on calcul α tel que

$$\alpha = \sqrt{\frac{90M_{1s}}{bd^2\bar{\sigma}_s} \cdot \frac{1-\alpha}{3-\alpha}}$$

ou on utilise la relation pratique

$$\bar{\alpha}_s = \frac{15\bar{\sigma}_b}{15\bar{\sigma}_b + \bar{\sigma}_s}$$

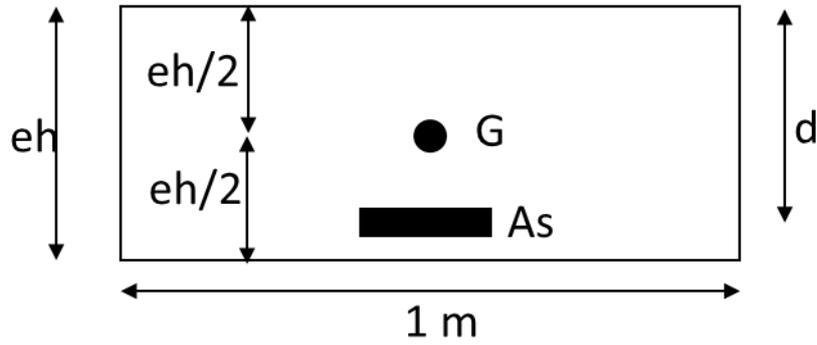
Puis on calcul

$$z = d \left(1 - \frac{\alpha}{3} \right) \text{ ou } z = \bar{z}_b = d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_s}{3} \right)$$

La section d'armature est donc :

$$A_s = \frac{\frac{M_{1s}}{z} - N_s}{\bar{\sigma}_s}$$

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**



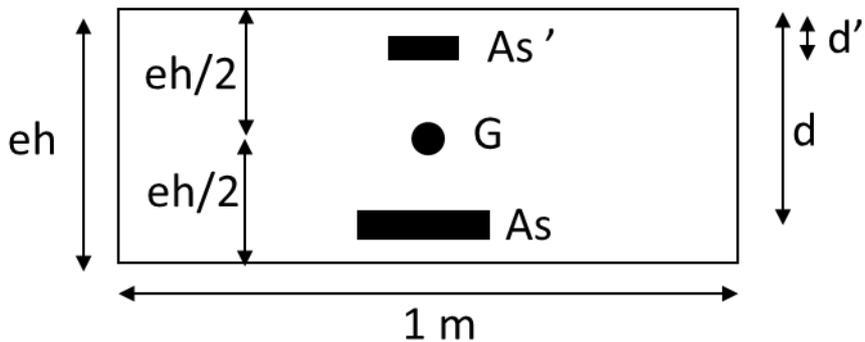
Sinon

$$M_{1s} > M_{rb} = \mu_{rb} \cdot b d^2 \bar{\sigma}_b$$

Il faut ajouter une section d'armature comprimée pour diminuer la contrainte de compression dans le béton. $d' = 0,1e_h$

$$M_{rb} = u_{rb} \cdot b d^2 \bar{\sigma}_b \quad u_{rb} = \frac{1}{2} \bar{\alpha}_s \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_s}{3}\right) \quad \bar{\alpha}_s = \frac{15 \bar{\sigma}_b}{15 \bar{\sigma}_b + \bar{\sigma}_s}$$

$$A_s = \frac{M_{1s} - M_{rb}}{(d - d') \bar{\sigma}_s} + \frac{M_{rb}}{\bar{z}_b \cdot \bar{\sigma}_s} - \frac{N}{\bar{\sigma}_s} \quad A'_s = \frac{M_{1s} - M_{rb}}{(d - d') \cdot \sigma'_s} \quad \sigma'_s = 15 \bar{\sigma}_b \cdot \frac{\bar{\alpha}_s \cdot d - d'}{\bar{\alpha}_s \cdot d}$$



• **A l'état limite ultime (ELU)**

$e_u = \frac{M_u}{N_u}$	$M_{1u} = N_u \left(e_u + d - \frac{e_h}{2} \right)$	
$\mu_u = \frac{M_{1u}}{b d^2 f_{bu}}$	$\alpha_u = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u} \right)$	
$\varepsilon_{es} = \frac{f_{es}}{\gamma_s E_s}$	$\alpha_l = \frac{3,5}{3,5 + 1000 \varepsilon_{es}}$	$\mu_l = 0,8 \alpha_l (1 - 0,4 \alpha_l)$

Si $\mu_u \leq \mu_l$ alors

$$A_u = \frac{M_{1u}}{z_u \frac{f_e}{\gamma_s}} - \frac{N_u}{\frac{f_e}{\gamma_s}}$$

$$z_u = d(1 - 4\alpha_u)$$

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

Sinon $\mu_u > \mu_l$

$$A_u = \left(\frac{M_{bl}}{d(1 - 0,4\alpha_l)} + \frac{M_{1u} - M_{bl}}{(d - d')} - N_u \right) \frac{\gamma_s}{f_s}$$

$$M_{bl} = \mu_l b d^2 f_{bu}$$

$$A'_u = \frac{M_{1u} - M_{bl}}{(d - d')\sigma'_s}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{3,5(\alpha_l d - d')}{1000\alpha_l d}$$

Si $\varepsilon'_s < \varepsilon_s$ alors

$$\sigma'_s = E \cdot \varepsilon'_s$$

Sinon $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_s$

$$\sigma'_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

Annexe 10.4.2.1.2. Cas flexion simple

Pour la flexion simple on suit la méthode suivante :

A l'état limite de service (ELS)

Soient M_s le moment sollicitant la section à l'ELS et M_{rb} le moment résistant du béton

Si $M_s \leq M_{rb} = \mu_{rb} \cdot b \cdot d^2 \cdot \bar{\sigma}_b$

$$\bar{\alpha}_s = \frac{15\bar{\sigma}_b}{15\bar{\sigma}_b + \sigma_s} \quad z = \bar{z}_b = d \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_s}{3} \right) \quad A_s = \frac{M_s}{z \cdot \alpha_s} \quad \mu_{rb} = \frac{1}{2} \bar{\alpha}_s \left(1 - \frac{\bar{\alpha}_s}{3} \right)$$

Sinon $M_{ser} > M_{rb}$

$$A_s = \frac{M_s - M_{rb}}{(d - d')\bar{\sigma}_s} + \frac{M_{rb}}{\bar{z}_b \cdot \bar{\sigma}_s} \quad A'_s = \frac{M_s - M_{rb}}{(d - d')\sigma'_s} \quad \sigma'_s = 15\bar{\sigma}_b \cdot \frac{\bar{\alpha}_s \cdot d - d'}{\bar{\alpha}_s \cdot d}$$

• **A l'état limite ultime (ELU)**

$\mu_u = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}}$	$\alpha_u = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$	$\varepsilon_{es} = \frac{f_{es}}{\gamma_s E_s}$
$\mu_l = 0,8\alpha_l(1 - 0,4\alpha_l)$	$z_u = d(1 - 4\alpha_u)$	$\alpha_l = \frac{3,5}{3,5 + 1000\varepsilon_{es}}$
Si $\mu_u \leq \mu_l$ alors	$A_u = \frac{M_{1u}}{z_u \frac{f_e}{\gamma_s}}$	
Sinon $\mu_u > \mu_l$	$A_u = \left(\frac{M_{bl}}{d(1 - 0,4\alpha_l)} + \frac{M_{1u} - M_{bl}}{(d - d')} \right) \frac{\gamma_s}{f_s}$	$A'_u = \frac{M_{1u} - M_{bl}}{(d - d')\sigma'_s}$
$M_{bl} = \mu_l b d^2 f_{bu}$		$\varepsilon'_s = \frac{3,5(\alpha_l d - d')}{1000\alpha_l d}$
Si $\varepsilon'_s < \varepsilon_s$ alors	$\sigma'_s = E \cdot \varepsilon'_s$	Sinon $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_s$
		$\sigma'_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$

Annexe 10.4.2.2. Calcul des armatures transversales

• **Vérification de l'effort tranchant**

On a des fissurations très préjudiciables donc la contrainte admissible de cisaillement est :

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

$$\bar{\tau}_u = \min \left(0,15 \cdot \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4MPa \right)$$

Soit V_u l'effort tranchant à l'état limite ultime dans la section. On doit vérifier

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 d} \leq \bar{\tau}_u$$

Avec : b_0 largeur de l'âme et d la hauteur utile de la section.

- **Calcul des armatures transversales**

Espacement maximal des armatures :

$$S_t \leq \min(0,9d; 40 \text{ cm})$$

On fixe un espacement S_t et on calcul la section d'armature A_t par :

$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{\gamma_s b_0 (\tau_u - 0,3 \cdot k \cdot f_{tj})}{0,9 \cdot f_{et}}$	$f_{et} = \min(f_{tj}; 3,33MPa)$	$k = 1, k = 1 + \frac{3N_u}{B \cdot f_{cj}}$ <p align="center"><i>pour flexion composée</i></p>
--	----------------------------------	---

$$B = b_0 \cdot e_h \text{ et } b_0 = 1m$$

Espacement minimale des armatures :

$$\frac{A_t \cdot f_{et}}{b_0 \cdot S_t} \geq 0,4 \text{ MPa}$$

Annexe 10.4.2.3. Les armatures de répartition

Il convient de disposer, dans les parois, des armatures horizontales de section :

Soit A_t la section d'armature vertical, alors

$$A_r = \frac{A_t}{4}$$

Annexe 10.4.2.4. Ferrailage définitif des parois

Annexe 10.4.2.4.1. Ferrailage du fut

Soient :

A_1 et A_1' les sections d'armature tendue et comprimée données par la première combinaison.

A_2 et A_2' les sections d'armature tendue et comprimée données par la deuxième combinaison.

A_3 et A_3' les sections d'armature tendue et comprimée données par la troisième combinaison.

Donc :

$$A = \max(A_1; A'_2; A'_3)$$

$$B = \max(A_2; A'_1; A_3)$$

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Annexe 10.4.2.4.2. Ferrailage du talon

Soient D_1 , C_2 et C_3 les sections tendues données respectivement par la première la deuxième et la troisième combinaison :

En fonctions des exemples étudiés, en fonction de la hauteur du remblai et la hauteur d'eau on a le ferrailage suivant :

$$C = \max(C_2; C_3) \text{ et } D = D_1$$

Annexe 10.4.2.4.3. Ferrailage du patin

Soit F_1 , E_2 et E_3 les sections d'armatures tendues données respectivement par la première la deuxième et la troisième combinaison.

On propose, en fonction des exemples étudiés, le ferrailage suivant,

$$F = F_1 \text{ et } E = \max(E_2; E_3)$$

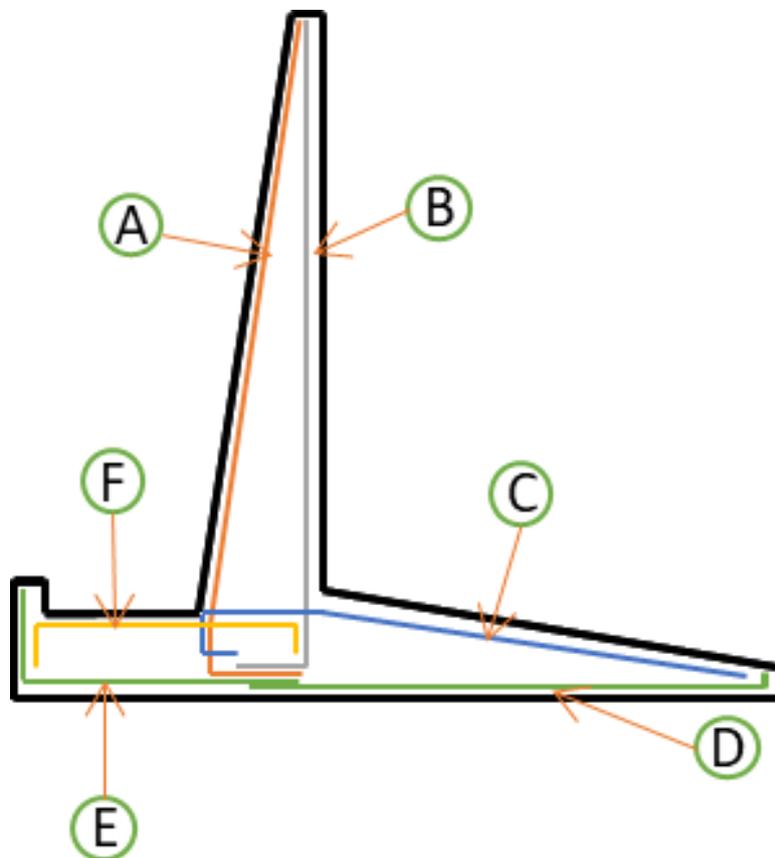


Figure 38 : Plan de ferrailage des parois

Annexe 10.5. Résultats des calculs

Annexe 10.5.1. Hypothèses de calcul

Tableau 42 : Données utilisées pour le calcul

Caractéristique de l'eau	
Hauteur max H_e [m]	5
Poids volumique γ_e [kN/m ³]	10
Caractéristique du remblai	
Hauteur du remblai H_t [m]	4
Poids volumique γ_s [kN/m ³]	18
Coefficient de poussée K	0,36
Angle de frottement interne ϕ	30
La contrainte admissible du sol de fondation σ_{adm} [Mpa]	0,3
Charge d'exploitation q [kN/m ²]	10
Caractéristique du béton	
Resistance caractéristique f_{c28} [MPa]	30
Module de déformation E_v [MPa]	11497
Poids volumique γ_b [kN/m ³]	25
Caractéristique de l'Acier	
Nuance d'acier haute adhérence FeE [MPa]	400

Annexe 10.5.2. Dimensions des parois

La vérification des critères de stabilité pour les trois combinaisons donne les dimensions suivantes :

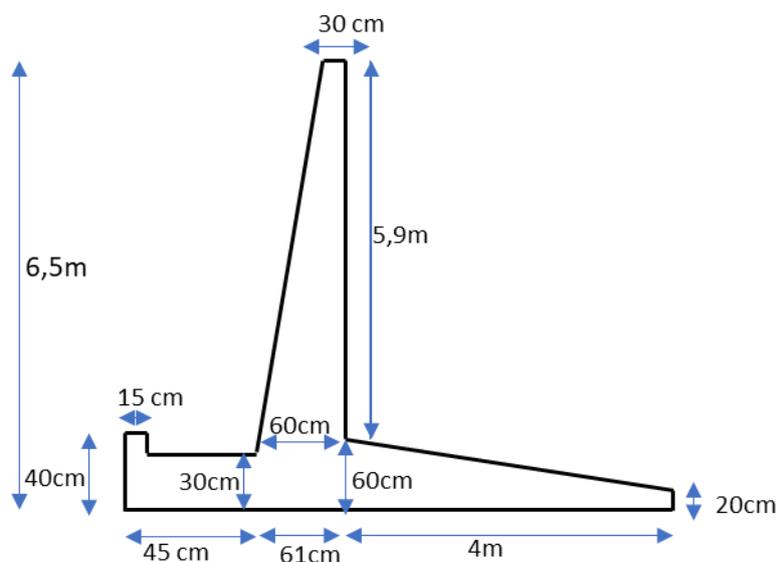


Figure 39 : Dimensions finales des parois

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

Annexe 10.5.3. Calcul de ferrailage

• **Ferrailage de fut : les armatures longitudinales**

		Section d'armature A (cm ² /m)		Section d'armature B (cm ² /m)	
S1	ELS	7,45	5HA16	24,2	10HA16
	ELU	7,45	5HA16	20,19	8HA16
S4	ELS	6,21	4HA16	7,59	4HA16
	ELU	6,21	4HA16	6,21	4HA16
S5	ELS	5,59	4HA16	5,59	4HA16
	ELU	5,59	4HA16	5,59	4HA16
S6	ELS	4,97	3HA16	4,97	3HA16
	ELU	4,97	3HA16	4,97	3HA16

• **Ferrailage du fut : les armatures de répartition**

Les armatures de répartition sont disposées sur les deux faces de mur, la face intérieure et extérieure, avec un espacement maximal de 20 cm.

		Section d'armature face intérieure (cm ² /m)		Section d'armature face extérieure (cm ² /m)	
S1	ELS	6,05	7HA10	1,86	3HA10
	ELU	5,05	5HA10	1,86	3HA10
S4	ELS	1,89	3HA10	1,55	3HA10
	ELU	1,55	3HA10	1,55	3HA10
S5	ELS	1,39	3HA10	1,39	3HA10
	ELU	1,39	3HA10	1,39	3HA10
S6	ELS	1,24	2HA10	1,24	2HA10
	ELU	1,24	2HA10	1,24	2HA10

• **Ferrailage des semelles : les armatures longitudinales**

		Section d'armature C (cm ² /m)		Section d'armature D (cm ² /m)	
Talon	ELS	25,74	12HA16	34,75	18HA16
	ELU	22,49	10HA16	29,8	14HA16

		Section d'armature F (cm ² /m)		Section d'armature E (cm ² /m)	
Talon	ELS	3,73	2HA16	4,58	3HA16
	ELU	3,73	2HA16	3,73	2HA16

• **Ferrailage des semelles : Les armatures transversales**

On disposera **4HA8** avec un espacement maximal des armatures de 20cm.

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
CITATIONS.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
SOMMAIRE	vii
LISTES DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES	x
INTRODUCTION.....	1
I. PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE.....	2
II. OBJECTIFS DU TRAVAIL.....	3
II.1 Objectif général.....	3
II.2 Objectifs spécifiques.....	3
II.3 Résultats attendus.....	3
III. PRESENTATION GENERALE.....	4
III.1 Présentation de la structure d'accueil.....	4
III.1.1 Historique	4
III.1.2 Missions et attributions.....	4
III.2 Présentation de la zone d'étude.....	5
III.2.1 Situation géographique.....	5
III.2.2 Climat.....	6
III.2.3 Population et activités socio-économiques	6
III.2.4 Réseau hydrographique	8
III.2.5 Contexte géologique et hydrogéologique.....	8
IV. MATERIEL ET METHODES	10
IV.1 Matériel.....	10
IV.1.1 Matériel de réalisation du diagnostic	10
IV.1.2 Matériel de réalisation sondage	10
IV.1.3 Matériel de mesure de l'infiltration.....	10
IV.1.4 Autre matériel	11
IV.2 Méthodes.....	11
IV.2.1 Diagnostics	11
IV.2.1.1 Les recherches documentaires	11
IV.2.1.2 La collecte de données sur le terrain.....	12

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

IV.2.1.3	La réalisation de l'état des lieux physiques du périmètre	12
IV.2.1.3.1	Levé de détail topographique du périmètre	12
IV.2.1.3.2	Etat descriptif de chaque ouvrage du périmètre.....	12
IV.2.1.3.3	Plan détaillé du périmètre	12
IV.2.2	<i>Etudes de base</i>	12
IV.2.2.1	Études hydrologiques.....	12
IV.2.2.1.1	Délimitation du bassin versant.....	13
IV.2.2.1.2	Etude pluviométrique.....	13
IV.2.2.2	Caractérisation du sol.....	13
IV.2.2.2.1	Sondage par la technologie tubewell	13
IV.2.2.2.2	Essai d'infiltration de MUNTZ.....	14
IV.2.3	<i>Etudes de la conception de l'aménagement hydroagricole</i>	14
IV.2.3.1	Choix du type d'irrigation et des spéculations.....	15
IV.2.3.2	Dimensionnement préliminaire de l'aménagement	15
IV.2.3.2.1	La réserve facilement utilisable	15
IV.2.3.2.2	Le besoin maximum de pointe.....	15
IV.2.3.2.3	La fréquence des arrosages	16
IV.2.3.2.4	Efficiéce d'application à la parcelle Ea	16
IV.2.3.2.5	Dose brute Db (mm)	16
IV.2.3.2.6	La durée de l'arrosage pour un ensemble de rampes.....	17
IV.2.3.2.7	Le débit total du système	17
IV.2.3.3	Dimensionnement final de l'aménagement	17
IV.2.3.3.1	Plan d'installation des parcelles.....	17
IV.2.3.3.2	Choix des asperseurs.....	18
IV.2.3.3.3	Dimensionnement des conduites	19
IV.2.3.3.3.1	Détermination des débits des conduites	19
IV.2.3.3.3.2	Diamètre de la conduite	19
IV.2.3.3.3.3	Les pertes de charges linéaires.....	19
IV.2.3.3.3.4	Détermination de la rampe la plus défavorisée.....	19
IV.2.3.4	Dimensionnement de la station de pompage	20
IV.2.3.4.1	Evaluation de la côte de calage du radier du réservoir	20
IV.2.3.4.2	Evaluation de la capacité du réservoir	20
IV.2.3.4.3	Dimensionnement du réservoir.....	21
IV.2.3.4.4	Dimensionnement des pompes pour les forages.....	21
IV.2.3.4.5	Dimensionnement du champ photovoltaïque	21
IV.2.3.5	Réseau de drainage et de circulation.....	22
IV.2.4	<i>Etudes d'impact environnemental et social</i>	23
IV.2.5	<i>Etudes économiques de l'aménagement hydroagricole</i>	23
V.	RESULTATS ET DISCUSSION.....	24
V.1	<i>État des lieux physiques du périmètre</i>	24
V.1.1	<i>Détail topographique du périmètre</i> ,	24
V.1.2	<i>Description des ouvrages de l'aménagement</i>	25
V.2	<i>SYNTHESE DES ETUDES DE BASES</i>	28
V.2.1	<i>Etudes hydrologiques</i>	28
V.2.1.1	Délimitation du bassin versant.....	28
V.2.1.2	Etude pluviométrique.....	29

**Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre
rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.**

V.2.2	<i>Etudes des sols</i>	30
V.2.3	<i>Etudes de la source d'eau pour l'irrigation</i>	31
V.3	<i>Etudes de la conception de l'aménagement hydroagricole</i>	32
V.3.1	<i>Choix du type d'irrigation et des spéculations</i>	32
V.3.2	<i>Calendrier cultural</i>	33
V.3.3	<i>Dimensionnement préliminaire de l'aménagement</i>	33
V.3.4	<i>Dimensionnement final de l'aménagement</i>	34
V.3.4.1	Plan d'installation des parcelles	34
V.3.4.2	Choix des asperseurs	35
V.3.4.3	Choix des conduites du réseau d'irrigation	36
V.3.4.4	Dimensionnement de la station de pompage	38
V.4	<i>Etudes d'impact environnemental et social</i>	39
V.4.1	<i>Les activités susceptibles d'impacter sur l'environnement</i>	39
V.4.2	<i>Activités pouvant générer des impacts négatifs sur l'environnement</i>	39
V.4.3	<i>Composantes du Plan de Gestion Social et Environnemental</i>	39
V.5	<i>L'évaluation du coût de l'aménagement et sa rentabilité</i>	40
V.5.1	<i>Devis quantitatif et estimatif</i>	40
V.5.2	<i>Compte d'exploitation et rentabilité du périmètre</i>	40
VI.	RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	41
	CONCLUSION	42
	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	I
	ANNEXES	V
	<i>ANNEXE I. ETUDES HYDROLOGIQUES</i>	VII
	<i>Annexe 1.1. Synthèse de l'analyse fréquentielle des pluies</i>	VII
	<i>Annexe 1.1.1. Ajustement à la loi de GAUSS</i>	VII
	<i>Annexe 1.1.2. Ajustement à la loi de GUMBEL</i>	VII
	<i>Annexe 1.2. Paramètres géomorphologiques du bassin versant</i>	IX
	<i>Annexe 1.2.1. Délimitation du bassin versant du périmètre</i>	IX
	<i>Annexe 1.2.1. Détermination de la crue de projet</i>	XI
	<i>ANNEXE II. LES DIFFERENTS DES SYSTEMES D'IRRIGATION</i>	XV
	<i>ANNEXE III. DIMENSIONNEMENT PRELIMINAIRE DE L'AMENAGEMENT</i>	XVI
	<i>ANNEXE IV. ESSAI D'INFILTRATION DE MUNTZ SUR LE PERIMETRE</i>	XVII
	<i>ANNEXE V. DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION</i>	XIX
	<i>ANNEXE VI. DIMENSIONNEMENT DE LA STATION DE POMPAGE</i>	XXXII
	<i>ANNEXE VII. DIMENSIONNEMENT DU CHAMPS PHOTOVOLTAIQUE</i>	XXXIII
	<i>ANNEXE VIII. PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL</i>	XXXIV
	<i>ANNEXE IX. DESCRIPTION DES TRAVAUX ET DEVIS ESTIMATIF</i>	XXXVIII
	<i>Annexe 9.1. Les travaux liés à l'assainissement du périmètre des pics de Sindou</i>	XXXVIII

Diagnostic et proposition de solutions d'amélioration des performances d'un périmètre rizicole : cas du périmètre des pics de Sindou.

<i>Annexe 9.2. Les travaux d'aménagement par aspersion du périmètre.....</i>	<i>XL</i>
<i>Annexe 9.3. Compte d'exploitation pour la production de la Tomate par hectare.....</i>	<i>XLIII</i>
ANNEXE X. ETUDE DU RESERVOIR.....	XLV
<i>Annexe 10.1. Calcul de dimensionnement des parois.....</i>	<i>XLV</i>
<i>Annexe 10.2. Pré dimensionnement des parois</i>	<i>XLV</i>
<i>Annexe 10.3. Stabilité externe des parois.....</i>	<i>XLVI</i>
Annexe 10.3.1. Première combinaison : réservoir vide avec remblai.....	XLVI
Annexe 10.3.1.1. Stabilité vis-à-vis du renversement :	XLVII
Annexe 10.3.1.2. Stabilité vis-à-vis de glissement :	XLIX
Annexe 10.3.1.3. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement.....	XLIX
Annexe 10.3.2. Deuxième combinaison : réservoir plein sans remblai	LI
Annexe 10.3.2.1. Etude de stabilité vis-à-vis du renversement :	LI
Annexe 10.3.2.2. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement.....	LII
Annexe 10.3.3. Troisième combinaison : réservoir plein avec remblai	LIV
Annexe 10.3.3.1. Etude de stabilité vis-à-vis du renversement :	LIV
Annexe 10.3.3.2. La stabilité vis-à-vis du poinçonnement.....	LV
<i>Annexe 10.4. Stabilité interne des parois et calcul des armatures :.....</i>	<i>LVI</i>
Annexe 10.4.1. Calcul des sollicitations	LVI
Annexe 10.4.1.1. Première combinaison : réservoir vide avec remblai.....	LVII
Annexe 10.4.1.2. Deuxième combinaison : réservoir plein sans remblai.....	LIX
Annexe 10.4.1.3. Troisième combinaison : réservoir plein avec remblais.....	LX
Annexe 10.4.2. Calcul des sections d'armature	LXI
Annexe 10.4.2.1. Calcul des armatures longitudinales.....	LXI
Annexe 10.4.2.1.1. Cas de flexion composée :	LXI
Annexe 10.4.2.1.2. Cas flexion simple	LXIII
Annexe 10.4.2.2. Calcul des armatures transversales.....	LXIII
Annexe 10.4.2.3. Les armatures de répartition	LXIV
Annexe 10.4.2.4. Ferrailage définitif des parois.....	LXIV
Annexe 10.4.2.4.1. Ferrailage du fut	LXIV
Annexe 10.4.2.4.2. Ferrailage du talon.....	LXV
Annexe 10.4.2.4.3. Ferrailage du patin.....	LXV
<i>Annexe 10.5. Résultats des calculs</i>	<i>LXVI</i>
Annexe 10.5.1. Hypothèses de calcul.....	LXVI
Annexe 10.5.2. Dimensions des parois	LXVI
Annexe 10.5.3. Calcul de ferrailage	LXVII