

**GESTION OPTIMALE DES RESSOURCES EN EAU DE LA SOCIETE
AURIFERE ROXGOLD SANU (BURKINA FASO)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER

SPECIALITE : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 20/01/2020 par
Alex Karol NDONGMO TONLE (20120513)

Directeur de mémoire

Dr. FOWE TAZEN

Post-Doctorant (2iE)

Maître de stage

Mr. ZOUNDI Richard

Superviseur (ROXGOLD SANU)

Structure d'accueil : ROXGOLD SANU

Jury d'évaluation du stage :

Président :

Dr Dial NIANG

Membres et correcteurs

Dr Chaim Vivien DOTO

Mr Célestin OVONO MEZUI

Promotion [2019/2020]

DEDICACES

Je dédie ce travail, à mon père Mr NDONGMO TONLE Albert Bertin, à ma tendre et affectueuse mère Mme KENGUE DONGMO Méli Georgette à qui je dois un amour éternel.

Je vous aime.

CITATION

*Education is the most powerful weapon which you
Can use to change the world”*
Nelson Mandela (2009)

REMERCIEMENTS

Je voudrais rendre grâce à Dieu le Père Tout Puissant pour toutes ses grâces dans ma vie et les miracles qu'il ne cesse d'opérer pour moi. Ce travail est le résultat de la contribution de plusieurs organismes et personnes à qui j'adresse mes sincères remerciements.

Tout d'abord mes remerciements vont à l'endroit de la société ROXGOLD SANU pour l'opportunité qu'ils m'ont accordée de mettre en pratique les compétences académiques reçues au 2iE. A mes encadreurs, Dr Fowe TAZEN et Mr Richard ZOUNDI qui m'ont suivi de très près dans la réalisation de ce document. Je passe aussi mes remerciements aux grandes familles notamment : TAPSOBA, NGUIMEYA et KAZE FOLEFACK. Veuillez accepter mes remerciements pour tous vos conseils, vos critiques, vos orientations et votre soutien. Je vous exprime ma gratitude.

Mes remerciements vont également à ceux qui m'ont assisté et conseillé au cours de ce travail : Mr. Roland YONABA, Dr. Cheick ZOURE. Mes camarades et amis, Clara NGUEMATIO DONGMO, Jonas DJEMO, Harold HOYA, Sylvain RAMDE, Fabrice MBOUWE, Ulrich NGAPJANG, Éric KOHOUN, Armel NOUTEZA, Gavin NGUEMEN, Rodrigue MOUMOULA, Kader ISSOUFOU, Dorcas ILBOULDO, Hayath ZIME YERIMA, Emmanuel DARA, Vanessa NGNEPI, Audrey MAYOU, Maeva DJAMBOU, Lionel TSABDO, Emeric TCHIPSE, Téléphore TSUYANO, Olivia KAMTA, Aïna NANA, et Serge NGIFFO pour le partage fraternel et la considération.

Aux techniciens avec qui j'ai eu à travailler au sein de ROXGOLD SANU Mme YE Arlette, Mr ZABSONRE, Mr Charles SAWADOGO et Mr Jeremy SAWADOGO (*Machina*) pour leurs collaborations et leurs entière disponibilité.

Une pensée spéciale à mes frères et sœurs Emmanuel, Golda, ma jumelle Nathalie Estelle, Corine Leader et Armand Joseph pour leurs conseils et pour leurs encouragements.

Mes sincères remerciements aux parents, amis et tous ceux qui de près ou de loin m'ont assisté au cours de ces années d'apprentissage. Que ce modeste travail puisse rendre hommage aux regrettés Méli Ernestine DONGMO, papa Roger NONO, maman Eléonore NGUIMFACK, maman DJUIDJE épouse Yvette NGNOTUE, maman Angeline TONLE et maman Marthe KAMTO qui nous ont quitté et à qui je souhaite le repos éternel.

RESUME

L'eau, principale richesse mondiale est une ressource qui connaît de nos jours une difficulté d'accessibilité du fait de nombreuses pressions à la fois naturelles et anthropiques. Au Burkina Faso, l'augmentation rapide de la demande en eau va de pair avec une diminution quantitative de la ressource en eau en raison d'une évolution climatique défavorable. Le déséquilibre entre l'offre et la demande en eau est réel dans certaines zones du pays et se traduit à certaines périodes par des situations de pénurie. L'entreprise minière ROXGOLD SANU implantée au Burkina Faso depuis 2015 n'a point échappé à cette pénurie en eau brute survenue sur son site d'exploitation en 2018 (mars à juin) d'une valeur annuelle de 19 923 m³ représentant 31% de ses besoins annuels. L'objectif de cette étude est de contribuer à la mise en place d'un système de gestion optimale des sources d'approvisionnements en eau brute de la mine ROXGOLD SANU. La caractérisation des sources d'approvisionnements en eau brute de la mine a permis de ressortir les paramètres physiques des ouvrages de mobilisation en eau de surface et en eau souterraine présents sur le site d'exploitation. La détermination des pertes potentielles en eau brute rencontrées sur les ouvrages de mobilisation du site d'exploitation a contribué à l'élaboration des stratégies pour une utilisation optimale des ouvrages suivis d'une estimation sommaire du coût de réalisation. Les résultats obtenus montrent que les pertes annuelles en eau par évaporation et par infiltration à l'endroit des ouvrages de mobilisation en eau de surface sur le site d'exploitation de la mine en année moyenne sont estimées respectivement à 84 095 m³ et 27 751 m³ et représentent 33% et 11% de la capacité mobilisable par ses sources. En considérant un cumul pluviométrique annuel de 458.7 mm correspondant à la décennale sèche, il ressort que le site d'exploitation connaîtra un déficit annuel estimé à 70 378 m³ qui correspond à 44% des besoins annuels en eau brute de ladite entreprise ROXGOLD SANU. Des stratégies ont été proposées pour faire face aux éventuels déficits. Il s'agirait entre autres de l'utilisation des ouvrages de mobilisation situés dans les environs de la mine (cas du barrage de SIPOHIN) et des aménagements sur le site pour limiter les pertes par évaporation sur le bassin de rétention à travers la construction d'un hangar dont le coût sommaire s'élèvera à 5 480 600 (cinq millions quatre cent quatre-vingt mille six cent Francs CFA).

Mots Clés :

1- Gestion optimale de l'eau ; 2- Ouvrages de mobilisation de l'eau ; 3- Sources d'approvisionnement ; 4- ROXGOLD SANU ; 5- Burkina Faso

ABSTRACT

Water, the world's main source of wealth, is a resource that is nowadays difficult to access due to numerous pressures, both natural and man-made. In Burkina Faso, the rapid increase in water demand goes hand in hand with a quantitative decrease in water resources due to unfavorable climatic conditions. The imbalance between water supply and demand is real in certain areas of the country and is sometimes interrupted by shortages. The mining company ROXGOLD SANU, which has been operating in Burkina Faso since 2015, has not escaped this raw water shortage that occurred at its site in early 2018 (March to June), representing 31% of its annual needs. The objective of this study is to contribute to the establishment of an optimal management system for the raw water supply sources of the ROXGOLD SANU mine. The characterization of the mine's raw water supply sources enabled to highlight the physical parameters of the surface water and groundwater mobilization structures present on the site. The determination of the potential losses in raw water encountered on the mobilization structures present on the site contributed to the development of the strategies for an optimal use of the works followed by a summary estimate of the cost of realization. The results obtained show that the annual losses of water by evaporation and infiltration at surface water mobilization structures on the mine site in the average year are estimated respectively at 84 095 m³ and 27 751 m³ and represent 33% and 11% of the capacity available from its sources. By considering an annual cumulative rainfall of 457.7 mm corresponding to the dry 10-year period, it appears that the exploitation site will experience an annual deficit estimated at 70 378 m³ which corresponds to 44% of the annual gross water requirements of the company ROXGOLD SANU. Strategies have been proposed to deal with any deficits. This would include the use of mobilization structures located in the vicinity of the mine (case of the SIPOHIN dam) and on-site developments to limit losses by evaporation on the retention basin through the construction of a shed whose summary cost will amount to 5 480 600 (five million four hundred and eighty thousand six hundred Francs CFA).

Key Words :

-
- 1- Optimal water management; 2- Water mobilization works; 3- Sources of supply;
 - 4- ROXGOLD SANU ; 5- Burkina Faso

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

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

BV : Bassin Versant

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

GPS : Global Position System

H_T : Profondeur totale

H_W : Profondeur d'eau

Ke : Coefficient d'écoulement

RP1 : Bassin de rétention 1

RP2 : Bassin de rétention 2

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

PEN : Plan d'eau Normal

Q : Débit d'exploitation

T : Temps de pompage

TSF : Parc à résidus miniers

WSD : Barrage de retenue d'eau

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION	1
I.1-	Contexte et problématique	1
I.2-	Objectifs de l'étude.....	2
I.3-	Présentation de la structure d'accueil	2
II.	MATERIEL ET METHODES DE TRAVAIL.....	4
II.1-	Présentation de la zone d'étude	4
II.1.1	Situation géographique	4
II.1.2	Végétation.....	5
II.1.3	Climat	5
II.1.4	Etat des lieux des ouvrages de mobilisation du site.....	5
II.2	Données de l'étude et outils de travail utilisé.....	7
II.2.1-	Données de base de l'étude	7
II.2.2	Outils de travail utilisés	7
II.3	Méthodologie de l'étude.....	8
II.3.1	Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau brute	8
II.3.2	Evaluation des pertes potentielles en eau brute de la mine	10
II.3.3	Evaluation de la dégradation spécifique des ouvrages de mobilisation des eaux de surface de la mine	13
II.3.4	Elaboration des stratégies de gestion des ouvrages de mobilisation.....	14
III.	RESULTATS ET DISCUSSIONS	16
III.1	Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau brute de la mine	16
III.1.1	Caractérisation volumétrique des ouvrages de mobilisation	16
III.1.2	Caractérisation hydrologique des ouvrages de mobilisation	18
III.1.3	Caractérisation climatique de la zone d'étude	21
III.2	Evaluation des pertes potentielles en eau brute de la mine	24

III.2.1 Pertes en eau brute par évaporation	24
III.2.2 Pertes en eau brute par infiltration.....	25
III.3 Evaluation de la dégradation spécifique des ouvrages.....	25
III.4 Elaboration des stratégies de gestion des ouvrages de mobilisation	26
III.4.1 Evaluation des apports des ouvrages de mobilisation	26
III.4.2 Evaluation des pertes en eau sur les ouvrages	26
III.4.3 Evaluation des prélèvements annuels en eau des ouvrages.....	28
III.4.4 Plan de gestion des ouvrages de mobilisation en eau brute de la mine.....	29
III.4.5 Estimation du coût de réalisation	33
IV. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	34
V. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	35
VI. ANNEXES	xii
Annexe 01 : Etudes hydrologiques.....	xii
Annexe 02 : Etudes de faisabilités financières	xxiii
Annexe 03 : Gestion des ouvrages d’approvisionnements en eau brute	xxiv

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de l'entreprise ROXGOLD SANU.....	3
Figure 2 : Carte de localisation de la zone d'étude.....	4
Figure 3 : Schéma de gestion des ouvrages de mobilisation en eau brute du site	6
Figure 4 : Méthodologie de travail pour l'élaboration des stratégies.....	15
Figure 5 : Courbe Hauteur-Volume du barrage de retenue d'eau (WSD)	16
Figure 6 : Courbe Hauteur-Volume du bassin de rétention (RP₁)	17
Figure 7 : Localisation des bassins versants des ouvrages de mobilisation des eaux de surface	20
Figure 8 : Quantiles pluviométriques en années sèches et humides	22
Figure 9 : Evolution des indices de précipitations standardisés sur la période de 1950 à 2018.....	23
Figure 10 : Evaporation et pluviométrie moyenne (2007 à 2017)	25
Figure 11 : Proposition de gestion des ouvrages de mobilisation en eau	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification de la sécheresse adoptée par l'OMM	10
Tableau 2 : Caractérisation physique du bassin de rétention (RP₂).....	18
Tableau 3 : Caractéristiques physiques du forage (GH009)	18
Tableau 4 : Caractérisation hydrologique et géomorphologique des bassins versants ...	19
Tableau 5 : Valeurs du Ke en saison pluvieuse (2017).....	21
Tableau 6 : Quantile pluviométrique annuel en année sèche et humide	21
Tableau 7 : Catégorie de sécheresse en période de retour 5 et 10 ans.....	24
Tableau 8 : Dégradation spécifique des ouvrages	25
Tableau 9 : Evaluation du volume mobilisé par les ouvrages	26
Tableau 10 : Pertes en eau par évaporation et par infiltration en quinquennale sèche ..	27
Tableau 11 : Pertes en eau par évaporation et par infiltration en décennale sèche.....	27
Tableau 12 : Déversements sur les ouvrages en eau de surface	28
Tableau 13 : Prélèvements d'eau sur les ouvrages de mobilisation	29
Tableau 14 : Contribution mensuelle des ouvrages de mobilisation en eau du site	29
Tableau 15 : Proposition des solutions de gestion des ouvrages	32

I. INTRODUCTION

I.1- Contexte et problématique

Le sous-sol de l'Afrique de l'Ouest regorge d'importantes ressources naturelles ce qui fait de cette région de l'Afrique un atout majeur pour les investisseurs à l'instar des entreprises minières dont leurs présences se font fortement ressentir. Le secteur minier a un fort impact industriel dans les pays en voie de développement (Boubakar, 2015). Outre l'apport des devises, l'ouverture d'une entreprise minière dans un pays constitue une source d'emploi pour les jeunes et un facteur de croissance pour le pays bénéficiaire. En tant que membre de la zone ouest-africaine et jouissant des richesses dont regorge son sous-sol, le Burkina Faso n'échappe guère à cette politique avec la présence effective de 14 entreprises minières sur son territoire (Boubakar, 2015). Parmi elles y figure ROXGOLD SANU, qui est une société d'exploitation aurifère canadienne dont le principal actif est l'exploitation de la mine d'or à haute teneur à Yara-moko (Bege, 2014). L'application des techniques d'optimisation du fonctionnement des réservoirs est devenue une préoccupation majeure dans le domaine de la gestion et la planification des ressources en eau (Fowe, 2015). Les besoins en eau moyens mensuels de l'entreprise pour son activité ont connu une augmentation de 6 730 m³ en l'année 2017 contre 13 254 m³ en 2018. Cette augmentation de presque 100% des besoins en eau nécessitera la mise en place de nouvelles stratégies pour une utilisation optimale des sources d'approvisionnement en eau brute présent sur le site d'exploitation. Durant la saison sèche de l'année 2018, l'entreprise a connu une pénurie en eau brute survenue sur son site d'exploitation représentant de 31% de ses besoins annuels en eau créant comme conséquence un ralentissement de ses activités et suivis d'une baisse de sa production. Pour pallier à ce déficit en eau, l'entreprise a eu recours à un approvisionnement en eau brute externe en provenance d'un barrage de retenue d'eau située dans une localité environnante (barrage de SIPOHIN). Ces prélèvements d'eau au niveau du barrage de SIPOHIN ont engendré des conflits d'usage avec la population riveraine. C'est dans l'optique d'apporter de l'éclairage à cette vision que le thème de mémoire intitulé « **GESTION OPTIMALE DES RESSOURCES EN EAU DE LA SOCIETE AURIFERE ROXGOLD SANU (BURKINA FASO)** » a été initié.

I.2- Objectifs de l'étude

Notre travail consiste à contribuer au développement d'un système de gestion optimale des sources d'approvisionnement en eau brute de la mine d'or ROXGOLD SANU.

Plus spécifiquement, elle vise à :

- Caractériser les différentes sources d'approvisionnement en eau brute de la mine ;
- Evaluer les pertes potentielles en eau brute de la mine ;
- Proposer des stratégies pour une meilleure gestion des sources en eau brute de la mine.

I.3- Présentation de la structure d'accueil

L'entreprise minière **ROXGOLD SANU** est une société canadienne d'exploration et de développement cotée à la Bourse de Toronto, où elle a son siège. Sa filiale Burkinabé, **ROXGOLD SANU Sarl**, a été créée en 2011. La Société détient un certain nombre de concessions minières en Afrique de l'Ouest et plus particulièrement au Burkina Faso où, elle compte à son actif cinq permis : Yaramoko, Solna (03) et Bouboulou (Bege, 2014). Elle est présente au Burkina Faso dans deux provinces : La province du centre (Ouagadougou) et la province du sud-ouest (Bales) dans la ceinture des roches vertes de Houndé. Sa gestion est assurée par son Directeur Général **Mr IAIN COX** responsable des deux sites. Pour assurer son bon fonctionnement, sa gestion est subdivisée en plusieurs départements avec des responsables par département : le département environnement, le département sécurité, le département du process, le département des mines et le département des finances tels que présenté dans la figure 1. Notre travail a été entrepris en étroite collaboration avec trois départements notamment : le département environnement qui s'occupe de tous les aspects d'entretien, de contrôle, d'installation et de suivis des équipements présents sur le site. Il est également responsable de tous les aspects liés à la sauvegarde de la biodiversité. Le département du Process qui s'occupe de l'entretien, du suivi et de la gestion des ouvrages de mobilisation en eau brute tandis que le département de sécurité s'occupe de la sécurité du personnel, des travailleurs et de toute autre personne présente sur le site d'exploitation. Ce dernier a pour mission le respect et la mise en pratique du dispositif de sécurité élaboré.

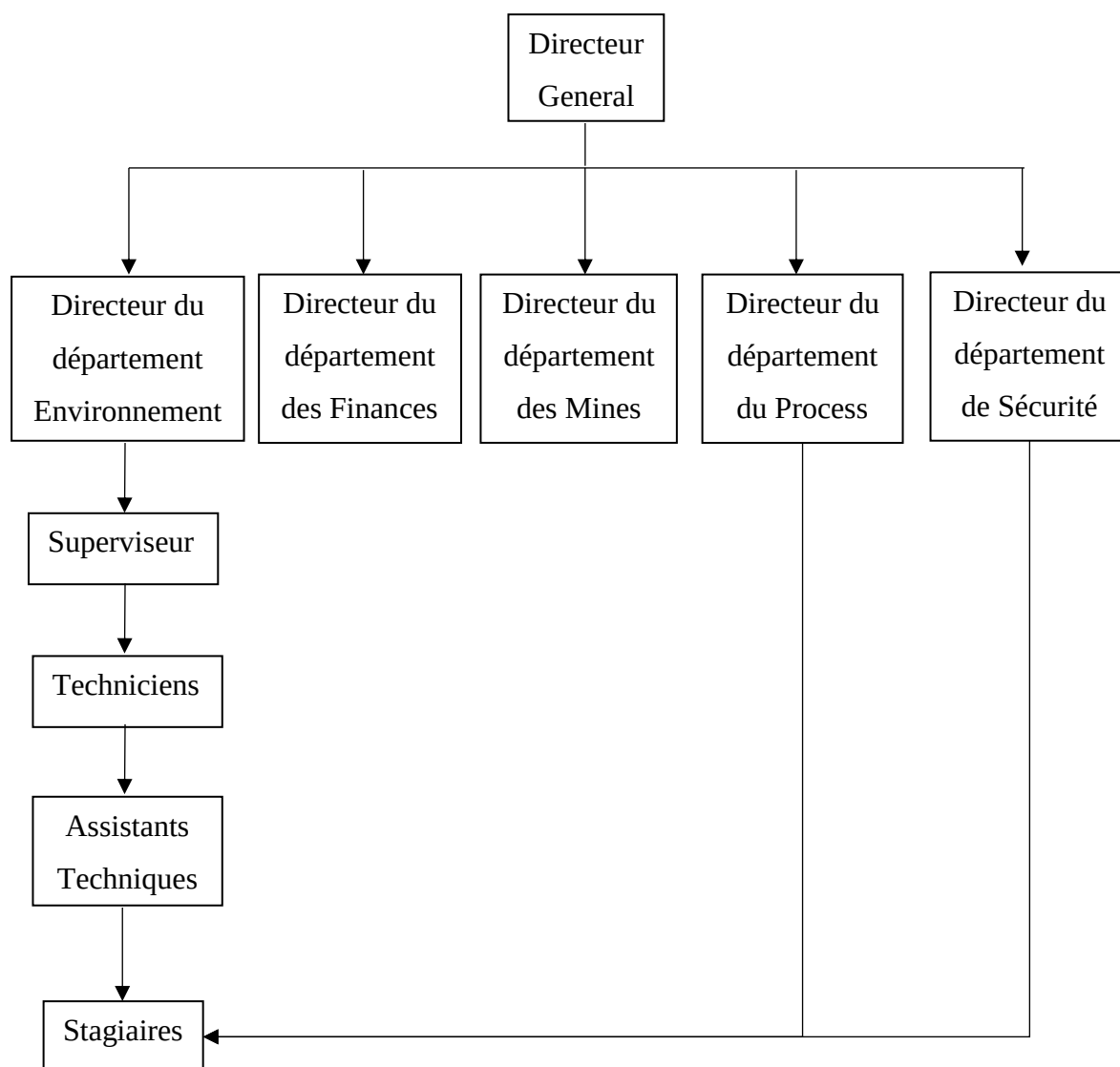


Figure 1 : Organigramme de l'entreprise ROXGOLD SANU

II. MATERIEL ET METHODES

II.1- Présentation de la zone d'étude

II.1.1 Situation géographique

Le site minier ROXGOLD SANU est représenté dans la région du centre à Ouagadougou par ses bureaux administratifs, et dans la région du sud-ouest du Burkina Faso dans la boucle du MOUHOUN à Bagassi par son site d'exploitation (Zone 55) où elle réalise la quasi-totalité de ses activités aurifères. Le site est situé dans la province de BALES dans la commune de Boromo et il est distant de Ouagadougou d'environ 225 km et couvre une superficie de 168 km². Ses coordonnées géographiques sont comprises entre les longitudes et 3°16 - 3°15 Ouest et les latitudes 11°45 - 11°46 Nord. La figure 2 présente une carte de localisation de la zone d'étude.

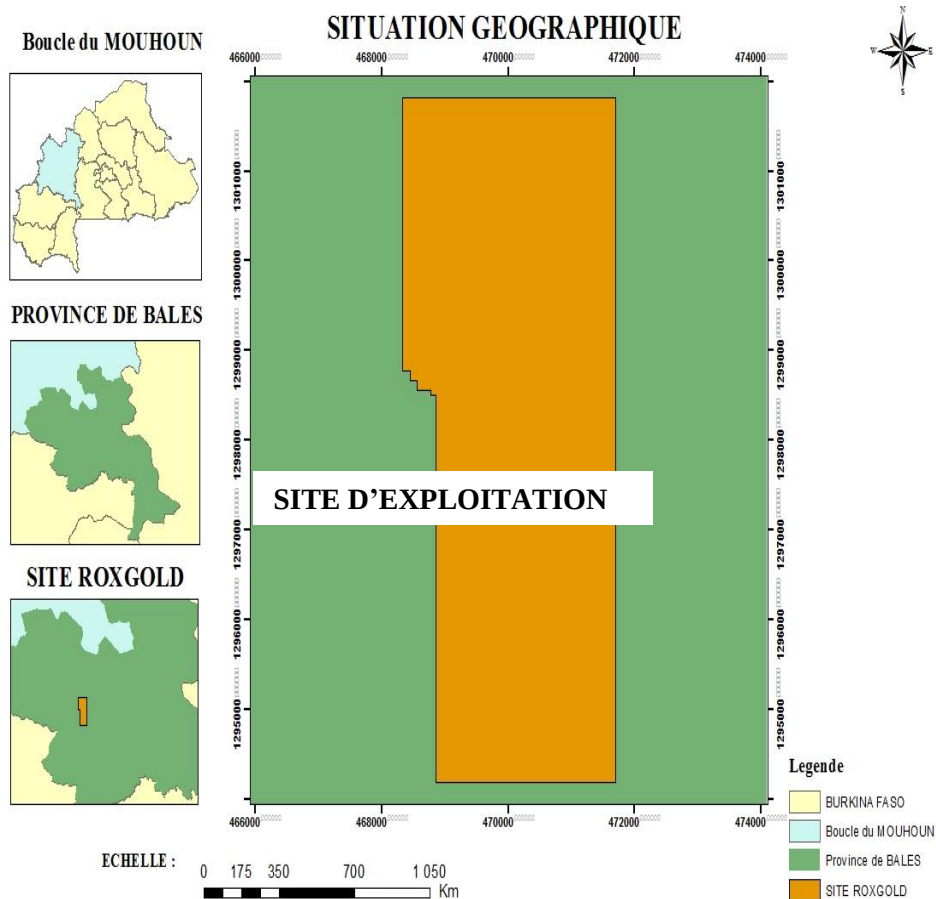


Figure 2 : Carte de localisation de la zone d'étude

II.1.2 Végétation

La commune rurale de Bagassi est située sur une zone de socle. Elle regorge d'un potentiel floristique important et compte 52 espèces végétales appartenant à 21 familles. Les niveaux d'abondance sont variés et laissent apparaître trois groupes. Le premier groupe comporte les espèces les plus abondantes avec un taux de 25% ; celles qui sont peu abondantes représentent 29% et 46% d'espèces rares. Les taux de régénération dans la zone sont plus importants en jachère (23%), suivis de la savane arbustive (18%). Les deux savanes (arborée et boisée) et la steppe totalisent chacune 15%. Le plus faible taux de régénération (13%) a été enregistré au niveau des champs. Ceci dû aux pratiques culturales qui ne favorisent pas la régénération (Bege, 2014).

II.1.3 Climat

La commune rurale de Bagassi est située dans la zone soudano-sahélienne. Elle est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle de 912.6 mm (1950 à 2018). On distingue deux saisons : une saison sèche allant du mois de novembre au mois de mars (5 mois) et une saison des pluies allant du mois d'avril au mois d'octobre (7 mois). Les périodes de l'année les plus fortement arrosées se situent entre les mois de juin à septembre. Les températures annuelles minimales et maximales se situent entre 16°C et 39°C.

II.1.4 Etat des lieux des ouvrages de mobilisation du site

Le site minier **ROXGOLD SANU** dispose de deux catégories de sources d'approvisionnements en eau brute qui concourent à l'alimentation en eau pour ses activités minières. Il s'agit des ouvrages de mobilisation en eau de surface et des ouvrages de mobilisation en eau souterraine. Pour les ouvrages de mobilisation en eau de surface, nous avons un barrage de retenue d'eau (WSD) construit en 2015 qui a subi une excavation en mai 2018 dans le but d'augmenter sa capacité de rétention et, un bassin de rétention en eau (RP₁) construit en mai 2018. Pour les ouvrages de mobilisation en eau souterraine, l'entreprise **ROXGOLD SANU** dispose d'un forage (GH009) et de 07 piézomètres en utilisation permettant d'analyser la qualité de l'eau, d'apprécier la recharge et la décharge des eaux du souterrain à travers des sondages effectués périodiquement. Il existe aussi un mini bassin de rétention (RP₂) qui recueille les eaux pompées du bassin de rétention (RP₁) et du forage (GH009) pour le refouler à l'usine de traitement pour son opération d'extraction du minerai via une pompe immergée. Le bassin de rétention (RP₂) n'est pas soumis à des apports par ruissellement contrairement aux ouvrages tels que barrage de retenue d'eau (WSD) et le bassin de rétention (RP₁). L'image 1 présente une vue du bassin de rétention (RP₂) durant le

mois de novembre 2018.



Image 1 : Bassin de rétention (RP₂)

Le système de gestion mis en place est muni de quelques compteurs volumétriques qui permettent d'avoir une maîtrise des prélèvements effectués. La figure 3 présente le principe de fonctionnement des ouvrages de mobilisation en eau brute du site d'exploitation de **ROXGOLD SANU**.

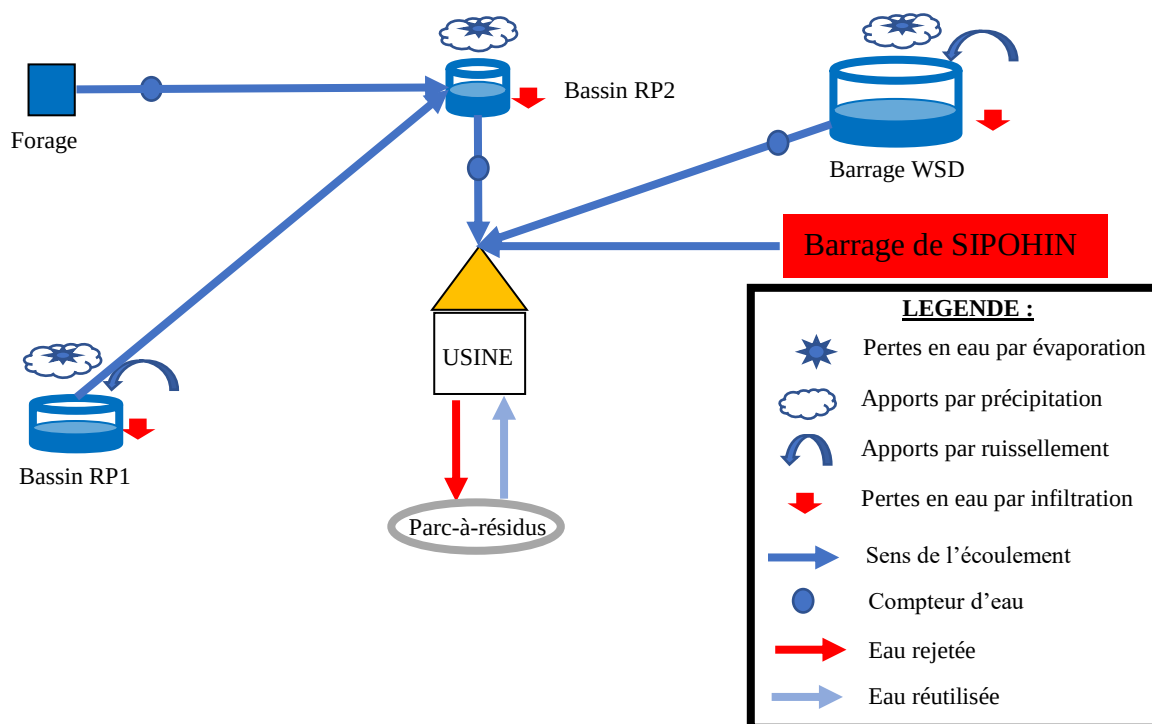


Figure 3 : Schéma de gestion des ouvrages de mobilisation en eau brute du site

II.2 Données de l'étude et outils de travail utilisé

II.2.1-Données de base de l'étude

Dans le cadre de cette étude, les données suivantes ont été utilisées. Il s'agit :

- ❖ Des données pluviométriques mensuelles de 1950 à 2018 de la station météorologique de Boromo. Ces données ont permis de faire l'analyse fréquentielle des pluies ;
- ❖ Des données d'évaporation bac au pas de temps mensuel sur la période de 2010 à 2017 : elles ont été obtenues à la station météorologique de Boromo et nous ont permis de quantifier les pertes en eau par évaporation au niveau des ouvrages de mobilisation en eau de surface du site d'exploitation ;
- ❖ Des données du bilan d'eau des ouvrages du site ROXGOLD SANU : ce sont des données de mesure effectuées hebdomadairement par les agents de l'entreprise et stockées dans leurs bases de données. Ces données ont servi de base dans la détermination des paramètres hydrologiques ainsi que dans la quantification des pertes en eau par infiltration en l'endroit des ouvrages de mobilisation en eau de surface.
- ❖ Des données topographiques et la fiche d'essai de pompage du forage (GH009) : qui ont été obtenues par des agents du site et nous ont permis de ressortir les caractéristiques volumétriques des ouvrages de mobilisation en eau de surface et en eau souterraine.

II.2.2 Outils de travail utilisés

Plusieurs outils ont permis de réaliser cette étude. Il s'agit :

- ❖ Des logiciels de cartographie et traitement des données géospatiales. Nous pouvons citer : ArcGIS (version 10.3.1), Global Mapper, Google Earth ;
- ❖ Du logiciel Hyfran Plus pour l'analyse fréquentielle des données climatiques ;
- ❖ Le GPS de type Garmin qui nous a permis de géolocaliser certains objets ;
- ❖ Les jumelles de type Bushnell qui nous ont servi dans les opérations de suivi des ouvrages de Novembre à Janvier 2019 ;
- ❖ Un appareil photo pour la prise des images ;
- ❖ Microsoft Office qui a servi aux traitements des données et à la rédaction du mémoire.

II.3 Méthodologie de l'étude

II.3.1 Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau brute

La caractérisation des sources d'approvisionnement en eau brute de la mine **ROXGOLD SANU** a consisté à ressortir les caractéristiques volumétriques, hydrologiques et climatiques de la zone d'étude. La caractérisation volumétrique a permis de déterminer (à partir des courbes hauteurs-volumes obtenues par l'entreprise sur les ouvrages de mobilisation en eau de surface) les volumes d'eau stockés par ses ouvrages. La caractérisation volumétrique s'est poursuivie par la détermination du volume d'eau mobilisable par le forage (GH009) grâce à sa fiche d'essai de pompage ainsi que quelques paramètres physiques de cet ouvrage notamment sa profondeur totale (H_T), sa profondeur d'eau (H_w), son débit d'exploitation (Q) et son temps de pompage (T). Cette fiche d'essai de pompage nous a également permis d'identifier le type de nappe auquel est soumis ce forage. La caractérisation hydrologique a consisté à ressortir les paramètres physiques et géomorphologiques des bassins versants qui ont une influence sur les écoulements qui sont: la superficie (S), le périmètre (P), l'indice de compacité (I_{comp}), l'indice global de pente (I_g), le relief et leurs classifications (FAO, 1996). Nous avons poursuivi par la détermination des coefficients d'écoulements au pas de temps mensuels (K_e) sur le bassin versant du barrage de retenue d'eau (WSD) à partir des données issues du bilan d'eau du barrage (WSD) en 2017. Exprimé en pourcentage, ce coefficient d'écoulement représente le rapport du volume d'eau écoulé à l'exutoire d'un bassin versant au volume d'eau précipité sur la superficie de ce bassin versant. Ce coefficient d'écoulement est fonction du volume des apports et du volume d'eau précipité par la formule (FAO, 1996) :

$$K_e = \frac{V_{app}}{V_p} \quad (1)$$

Où

$$V_p = S \times P \times 1000 \quad (2)$$

Avec

V_{app} = Volume des apports en eau par ruissèlement sur le bassin versant du barrage (m^3) ;

V_p = Volume d'eau précipité sur le bassin versant du barrage (m^3) ;

S = Superficie du bassin versant du barrage (km^2) ;

P = Pluie mensuelle (mm)

K_e = Coefficient d'écoulement mensuelle précipitée

Nous avons par la suite estimé le volume des apports en eau dans la retenue à son exutoire telle que décrite à l'équation 3.

$$V_{\text{retenue}} = V_{\text{app}} + V_{\text{pl}} \quad (3)$$

Où

$$V_{\text{Pl}} = S_{\text{PEN}} \times P \times 1000 \quad (4)$$

Avec

V_{retenue} = Volume des apports en eau dans la retenue (m^3) ;

V_{app} = Volume des apports en eau par ruissèlement sur le bassin versant du barrage (m^3) ;

V_{Pl} = Volume des apports par précipitation sur la superficie du plan d'eau du barrage (m^3) ;

S_{PEN} = Superficie du plan d'eau normal (km^2) ;

P = Pluie mensuelle (mm)

Remarque 1 : En l'absence des données du bilan d'eau du bassin de rétention (RP_1) pour la détermination du coefficient d'écoulement (K_e), nous considérerons les valeurs du coefficient d'écoulement obtenu du barrage de retenue d'eau (WSD) sur le bassin de rétention (RP_1) en vue de déterminer le V_{retenue} de cet ouvrage. Cependant, sa détermination (V_{retenue}) du bassin de rétention (RP_1) suivra la même procédure que celle du barrage de retenue d'eau (WSD) par la formule mentionnée ci-dessus.

Pour la caractérisation climatique, nous avons eu à faire une analyse fréquentielle de pluies annuelles de la station météorologique de Boromo sur la période de 1950 à 2018. Cette analyse fréquentielle a permis de déterminer les quantiles de pluies pour les périodes de retour données en années sèche et humide à travers un ajustement de la loi normale ou la loi de GAUSS. Nous avons également fait une analyse de la variabilité de ces pluies annuelles à partir de l'indice pluviométrique standardisé (IPS) ou indice de NICHOLSON (Fossou et al., 2004). Cet indice permet de catégoriser les années en terme de sécheresse (tableau 1) (Fossou et al., 2004) et s'exprime par l'équation 5.

$$\text{IPS}_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (5)$$

Avec

IPS_i = Indice pluviométrique standardisé de l'année i

x_i = Cumul pluviométrique de l'année i [mm]

$\bar{x}$ = Pluviométrie moyenne interannuelle sur la période considérée (1950-2018) [mm]

σ = Ecart-type sur les cumuls pluviométriques annuels sur la période considérée [mm]

Tableau 1 : Classification de la sécheresse adoptée par l'OMM (FOSSOU et al.,2018)

Valeurs de l'IPS	Catégorie de sécheresse
2.0 et plus	Extrêmement humide
1.50 à 1.99	Très humide
1.0 à 1.49	Humide
-0.99 à 0.99	Normal
-1.0 à -1.49	Modérément sec
-1,50 à -1,99	Sévèrement sec
-2.0 et moins	Extrêmement sec

II.3.2 Evaluation des pertes potentielles en eau brute de la mine

Les pertes en eau susceptibles d'être rencontrées depuis les sources de prélèvements jusqu'au réservoir du process pour l'opération d'extraction du minerai sont diverses. Après avoir établi un diagnostic succinct des ouvrages de mobilisation, des conduites d'adduction et des conduites de refoulement, nous avons constaté que les pertes les plus prépondérantes ne sont entre autres que les pertes en eau par évaporation et par infiltration au niveau des ouvrages de mobilisation en eau de surface. Les différents prélèvements effectués par l'entreprise sont mesurés par des compteurs d'eaux présents à la sortie du barrage de retenue (WSD) et à l'entrée du réservoir de l'usine (Process). Les images 2 et 3 présentent le compteur d'eau à la sortie du barrage de retenue d'eau (WSD) et les conduites assurant le transport des eaux brutes prélevées et recyclées de ce même barrage et du parc à résidus.



Image 2 : Compteur d'eau du barrage de retenue d'eau (WSD)



Image 3 : Conduites d'adduction et de refoulement des eaux brutes du WSD et TSF

➤ Pertes en eau par infiltration

Les pertes en eau par infiltration ont été estimées en faisant une restriction de l'équation de continuité ou de conservation de masse (équations 6 à 8) des ouvrages de mobilisation des eaux de surface sur la période sèche (principalement sur le barrage de retenue d'eau du site d'exploitation). Elle correspond à la période pendant laquelle il n'y a ni apports par ruissellement, ni précipitation et ni déversement au sein de cet ouvrage. Ainsi, le volume d'eau infiltré s'obtient à partir de la connaissance de la variation des stocks d'eau, du volume d'eau évaporé et du volume d'eau prélevé. La détermination de la lame d'eau infiltrée s'est faite au pas de temps mensuel selon les équations 6 à 8 (FAO, 1996) :

$$\Delta V = V_{ap} + V_{pl} - (V_{Evap} + V_{Prel} + V_{inf} + V_{Dév}) \quad (6)$$

$$V_{inf} = -\Delta V - V_{Evap} - V_{prel} \quad (7)$$

$$Inf = \frac{V_{inf}}{S_m} \times 10^{-4} \quad (8)$$

Avec

ΔV = Variation de stock d'eau (m³) ;

V_{pl} = Volume de la pluie directe sur le plan d'eau du barrage (m³) ;

$V_{Dév}$ = Volume d'eau déversé du barrage (m³) ;

V_{Evap} = Volume d'eau évaporé du barrage (m³) ;

V_{Prel} = Volume d'eau prélevé du barrage (m³) ;

V_{inf} = Volume d'eau infiltré du barrage (m^3)

S_m = Surface moyenne de plan d'eau (km^2) ;

inf = lame d'eau infiltrée (mm)

La surface moyenne du plan d'eau de chaque mois a été estimée à partir des surfaces du plan d'eau au début et à la fin du mois. Ces surfaces sont obtenues à partir de la loi hauteur – surface du barrage de retenue (WSD).

Remarque 2 : En l'absence des données du bilan d'eau du bassin de rétention (RP₁) pour la détermination de la lame d'eau infiltrée sur cet ouvrage, nous considérerons la valeur de l'infiltration journalière obtenue du barrage de retenue d'eau (WSD) sur le bassin de rétention (RP₁).

➤ Pertes en eau par évaporation

Les pertes en eau par évaporation ont été estimées en utilisant la méthode indirecte à partir des données du bac évaporatoire « classe A » collectées à la station météorologique de Boromo. Pour cette méthode, il se pose le problème de transposition des données du bac à évaporation au plan d'eau du barrage de retenue d'eau (WSD) dont les valeurs varient de 0.50 à 0.68 dans les conditions climatiques sahélienne et tropicale sèche (Durand et al., 1999). Les pertes en eau par évaporation dépendent des caractéristiques physiques des ouvrages telles que la superficie et la profondeur occupée par l'eau (Durand et al., 1999). Le volume évaporé pendant un intervalle de temps Δt est estimé comme le produit du taux d'évaporation par la surface moyenne du plan d'eau durant l'intervalle de temps considéré. La lame évaporée sur le plan d'eau du barrage de retenue d'eau (WSD) et les volumes d'eau perdus par évaporation au pas de temps mensuel sont obtenus par les équations 9 et 10 (Durand et al., 1999).

$$E_{WSD} = 1.664 \times E_{Bac A}^{0.602} \quad (9)$$

$$V_{WSD} = S_m \times E_{WSD} \times 1000 \quad (10)$$

Avec

E_{WSD} = Lame d'eau évaporée sur le barrage (mm) ;

V_{WSD} = Volume évaporé du barrage (m^3)

S_m = Surface de plan d'eau moyenne (Km^2) ;

E_{bac} = Evaporation bac (mm)

II.3.3 Evaluation de la dégradation spécifique des ouvrages de mobilisation des eaux de surface de la mine

L'eau qui ruissèle sur les bassins versants lors des événements pluviométriques entraîne avec elle des matériaux solides qu'elle arrache tout au long de son parcours pour le déposer dans les endroits de faible altitude. Ces matériaux se déposent au fond des retenues entraînant ainsi la réduction de leur capacité mobilisable et leur durée de vie. Ce phénomène tient compte de plusieurs facteurs : les caractéristiques physiques du bassin versant (superficie, classe de relief, etc...), la nature du réseau hydrographique, les caractéristiques géologiques (nature de la roche mère), l'environnement climatique (pluviométrie) et le couvert végétal (Durand et al., 1999). Cependant, la quantification de ces matériaux solides reste difficile à estimer. Il existe des formules empiriques qui permettent de les estimer de manière plus ou moins fiable notamment les formules de GOTTSCHALK et GRESILLON (Durand et al., 1999).

➤ La formule de GOTTSCHALK

Cette formule tient compte d'un paramètre notamment la superficie du bassin versant et, elle est exprimée par l'équation 11.

$$D = 260 \times S^{-0.1} \quad (11)$$

Avec

D = Dégradation spécifique ($m^3 / km^2 / an$)

S = Superficie du bassin versant (Km^2)

➤ La formule de GRESILLON

Cette formule tient compte de deux paramètres notamment la pluviométrie moyenne annuelle et la superficie du bassin versant. Elle est exprimée par l'équation 12.

$$D = 700 \times \left(\frac{P}{500}\right)^{-2.2} \times S^{-0.1} \quad (12)$$

Avec

D = Dégradation spécifique ($m^3 / km^2 / an$) ;

S = Superficie du bassin versant (Km^2) ;

P = Pluviométrie moyenne annuelle (mm)

II.3.4 Elaboration des stratégies de gestion des ouvrages de mobilisation

L'élaboration des stratégies a consisté à apprécier le comportement de ses ouvrages à travers un calendrier hydrologique annuel sous 2 scénarios pluviométriques déficitaires notamment en décennale et quinquennale sèches. Le calendrier hydrologique sera marqué par l'alternance de deux saisons à savoir une saison sèche et une saison pluvieuse. A partir des lois volumétriques des ouvrages (courbes hauteurs-volumes), nous allons étudier la dynamique de remplissage et de vidange des ouvrages de mobilisation en eau de surface sous les 2 scénarios en faisant une interpolation en début et en fin du mois après avoir effectué des prélèvements en eau brute (pour la satisfaction des besoins en eau de l'entreprise) et des prélèvements dus aux pertes générées notamment les pertes par évaporation et par infiltration. Parallèlement aux prélèvements dans les ouvrages de mobilisation des eaux de surface, des prélèvements sur l'ouvrage de mobilisation en eau souterraine principalement le forage (GH009) sera fait en cas de nécessité en vue de satisfaire les besoins mensuels en eau de l'entreprise pour son activité. Nous aurons par la suite à proposer des solutions pour une utilisation optimale des sources suivies des recommandations et nous finirons par une estimation du coût financier des propositions élaborées. Cette proposition de gestion sera effectuée en tenant compte du scénario le plus contraignant (scénario au cours duquel on aura un déficit important). La figure 4 présente schématiquement la méthodologie à suivre pour cette partie.

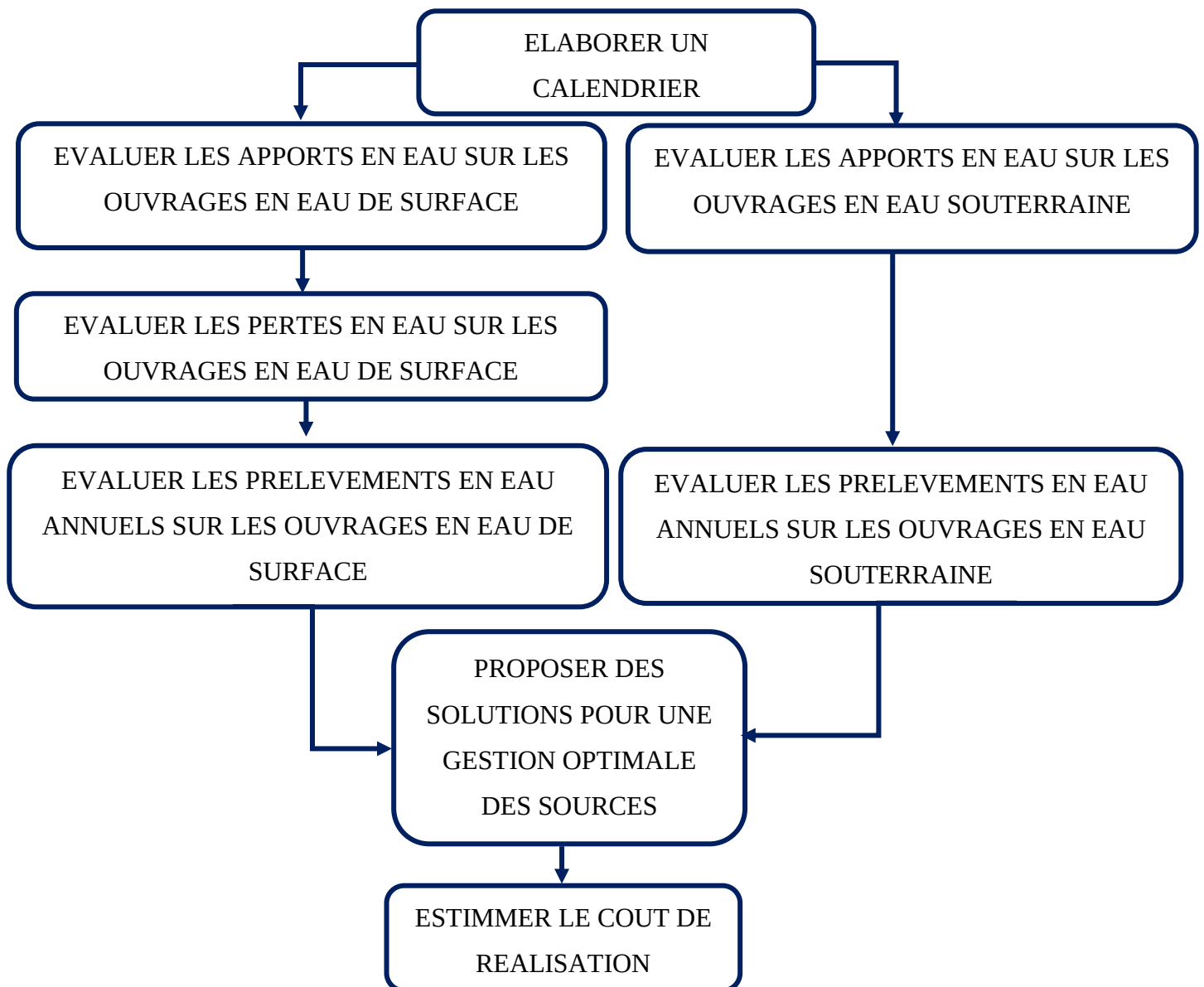


Figure 4 : Méthodologie de travail pour l'élaboration des stratégies

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau brute de la mine

III.1.1 Caractérisation volumétrique des ouvrages de mobilisation

❖ Ouvrages de mobilisation en eau de surface

• Barrage de retenue d'eau (WSD)

La figure 5 présente les courbes hauteurs-volumes du barrage de retenue d'eau (WSD) avant et après excavation. Cette excavation a permis d'accroître la capacité de mobilisation du barrage d'environ 50 000 m³ modifiant sa capacité à environ 250 000 m³. Cet ouvrage est muni d'un déversoir en tranchée de forme circulaire pouvant évacuer le trop plein à la cote de déversement de 315 m. La cote minimale de cet ouvrage après excavation est de 309 m, ce qui lui confère une hauteur de 6 m. La cote de calage de la pompe est estimée à 311.5 m afin de la protéger en évitant sa détérioration.

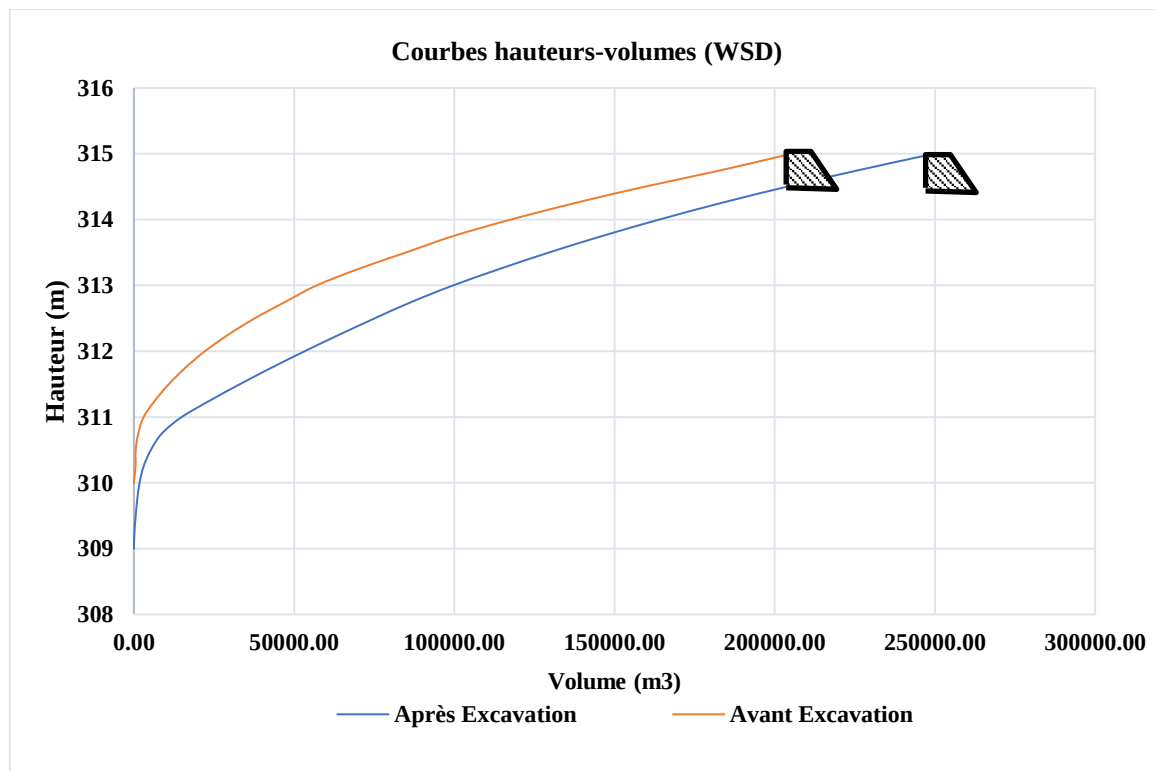


Figure 5 : Courbe Hauteur-Volume du barrage de retenue d'eau avant et après excavation (WSD)

- **Bassin de rétention (RP₁)**

La figure 6 présente la courbe hauteur-volume du bassin de rétention (RP₁). Cet ouvrage a une cote minimale de 296.2 m et une cote maximale de 297.8 m pour une hauteur de 1.6 m. La cote de calage de la pompe est estimée à 296.5 m. Ce bassin de rétention de faible capacité situé à proximité de la centrale électrique du site a été conçu pour servir d'appoint au barrage de retenue d'eau (WSD) et peut mobiliser un volume de 2 061 m³.

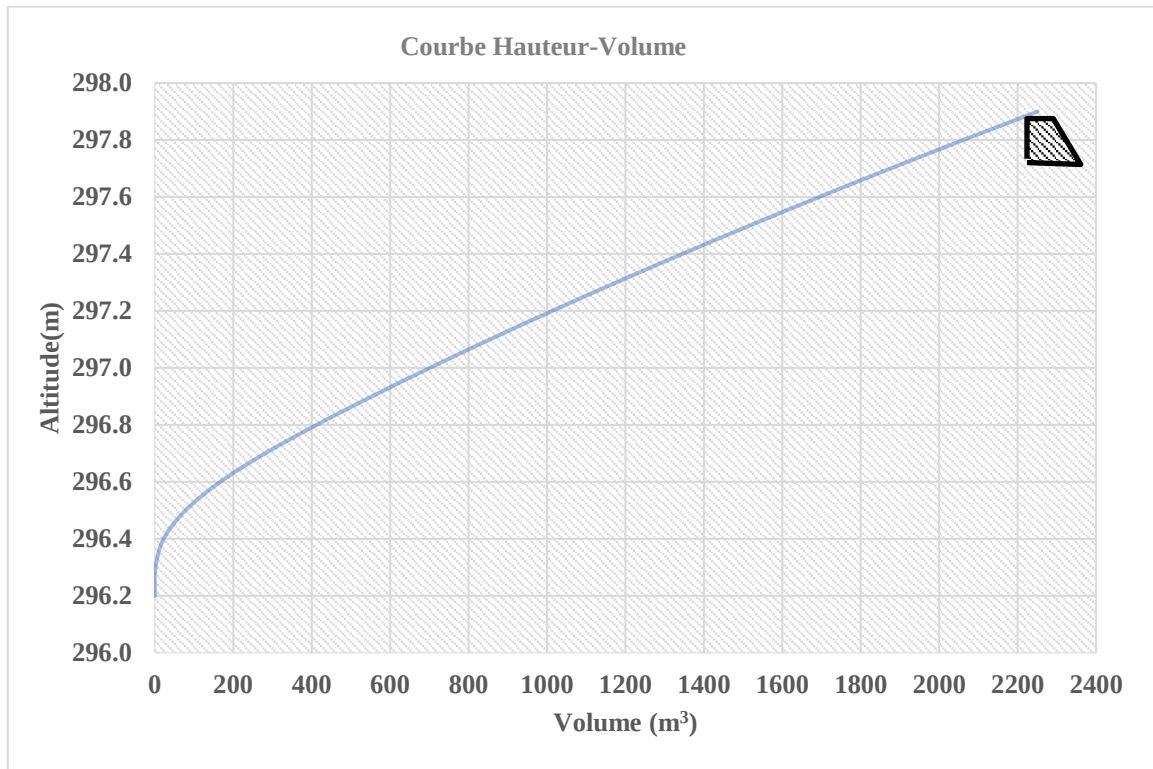


Figure 6 : Courbe Hauteur-Volume du bassin de rétention (RP₁)

- **Bassin de rétention (RP₂)**

Cet ouvrage réceptionne les eaux en provenance du forage (GH009) et du bassin de rétention (RP₁) pour être acheminées à l'usine de traitement pour les opérations minières via une pompe à surface. Cependant, il ne dispose pas des caractéristiques volumétriques (courbe hauteur-volume) permettant de quantifier les pertes dues par évaporation et par infiltration. Le tableau 2 montre une estimation des caractéristiques physiques de cet ouvrage.

Tableau 2 : Caractérisation physique du bassin de rétention (RP₂)

Paramètres	Valeurs	Unités
Longueur	7.5	m
Largeur	7	m
Hauteur	6	m
Volume	315	m ³

❖ Ouvrages de mobilisation en eau souterraine

- **Forage (GH009)**

Le forage (GH009) est la seule source d'eau souterraine utilisée pour l'opération minière de l'entreprise. Les caractéristiques physiques du forage (GH009) obtenues à partir de la fiche des essais de pompage du forage sont présentées dans le tableau 3. De la fiche d'essai par pompage obtenu, nous pouvons conclure que la nappe alimentant cet ouvrage est une nappe captive car le matériau couvrant la nappe est un matériau imperméable.

Tableau 3 : Caractéristiques physiques du forage (GH009)

Caractéristiques physiques	Symboles	Valeurs	Unité
Profondeur totale	H _T	105	m
Profondeur d'eau	H _W	18.78	m
Niveau piézométrique	H	86.22	m
Débit d'exploitation	Q	6.43	m ³ /h
Temps de pompage	T	14	h
Volume journalier	V	90.02	m ³

III.1.2 Caractérisation hydrologique des ouvrages de mobilisation

Les caractéristiques hydrologiques des bassins versants ont été obtenues par la détermination des paramètres tels que mentionnés dans le tableau 4. Les superficies des bassins versants alimentant le barrage de retenue d'eau (WSD) et le bassin de rétention (RP₁) sont inférieures à 10 km². De ce fait, ils peuvent être considérés comme de très petits bassins versants avec des formes allongées (Coefficients de GRAVELIUS supérieurs à 1). Ces bassins versants sont caractérisés par un relief faible (dénivelées spécifiques inférieures à 50 m) et une pente très forte (de type R6) (FAO, 1996).

Tableau 4 : Caractérisation hydrologique et géomorphologique des bassins versants

Caractéristiques	Paramètres	Symboles	WSD	RP ₁	Unité
Hydrologique	Superficie	S	2.04	1.22	Km ²
	Périmètre	P	9.76	7.33	Km
	Dénivelée spécifique	D	8.87	8.07	m
	Pente	I _g	6.21	7.30	m/km
	Indice de compacité	K _G	1.91	1.87	Km ²
Géomorphologie	Forme	-	Allongée	Allongée	-
	Typologie des BV	-	Très petit	Très petit	-
	Relief	-	Faible	Faible	-
	Pente	-	R6 (Forte)	R6 (Forte)	-

La figure 7 présente le réseau hydrographique du site d'exploitation (Zone 55) ainsi que l'emplacement des ouvrages de mobilisation des eaux souterraines et les exutoires des ouvrages de mobilisation des eaux de surface. Le réseau hydrographique drainant le site d'exploitation minière est de type d'arêtes de poisson (FAO, 1996).

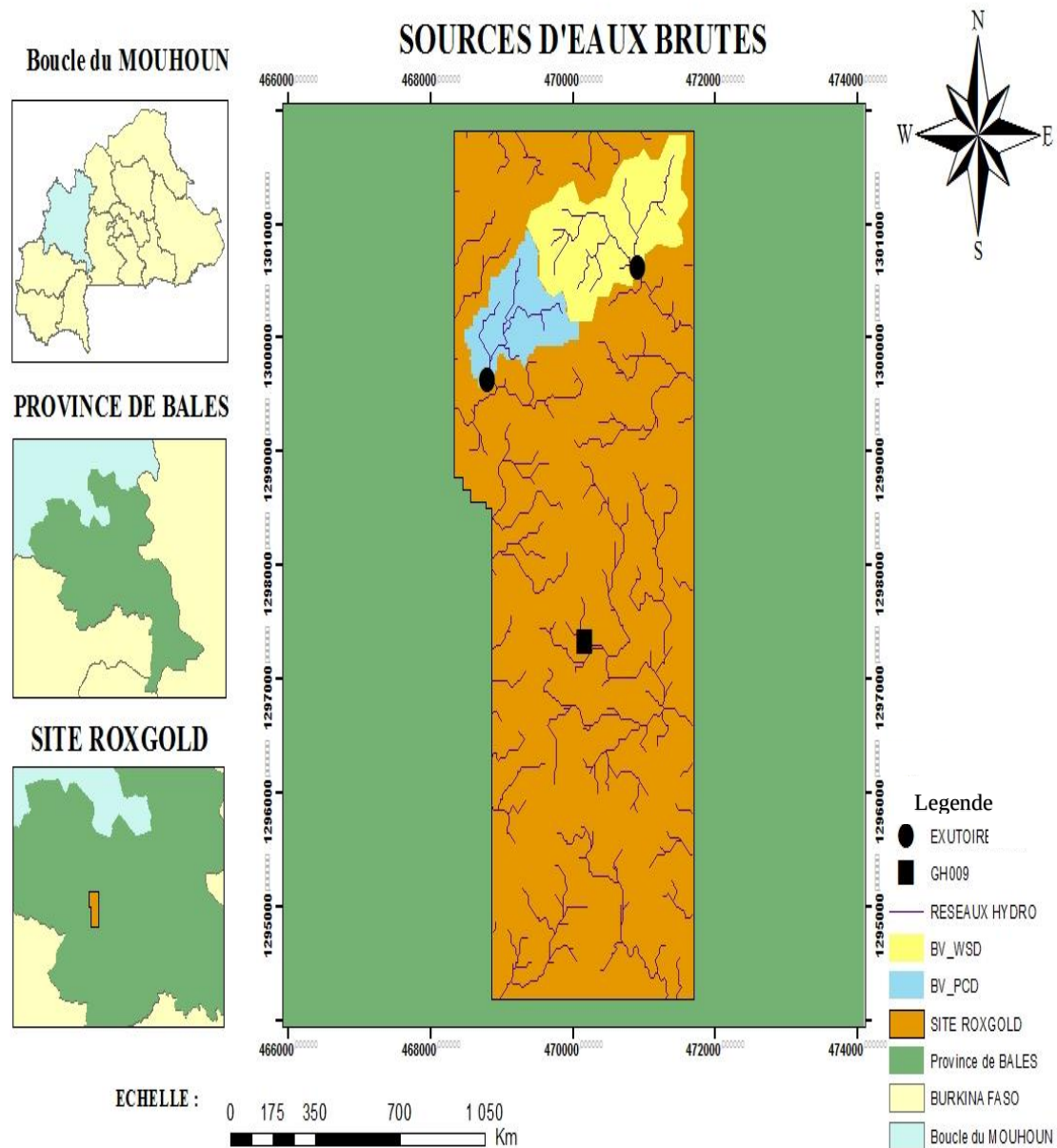


Figure 7 : Localisation des bassins versants des ouvrages de mobilisation des eaux de surface

Les valeurs mensuelles du coefficient d'écoulement (K_e) obtenues sur le bassin versant alimentant le barrage de retenue d'eau (WSD) en saison pluvieuse durant l'année 2017 sont présentées dans le tableau 5. On observe que tous les mois pluvieux ne sont pas susceptibles de produire un ruissellement à l'exutoire du barrage de retenue d'eau (WSD). En 2017, les apports en eau du bassin versant au niveau du barrage étaient essentiellement pendant les mois de juillet, août et septembre avec un pic observé en août.

Tableau 5 : Valeurs du Ke en saison pluvieuse (2017)

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Ke (%)	0	0	0	7	8	5	0

III.1.3 Caractérisation climatique de la zone d'étude

❖ Analyse fréquentielle des pluies mensuelles

De l'analyse fréquentielle des pluies mensuelles, nous avons estimé les quantiles pluviométriques en années sèche et humide pour des périodes de retour respectivement 5 et 10 ans tels que présentés dans la figure 8. Le tableau 6 présente les cumuls pluviométriques annuels de la commune de Bagassi pour les périodes de retour en année sèche et en année humide.

Tableau 6 : Quantile pluviométrique annuel en année sèche et humide

Période de retour	Année	Quantile (mm)
5	Sèche	603.2
	Humide	1236.3
10	Sèche	458.7
	Humide	1405.6

De la figure 8, nous remarquons que les quantiles de pluies annuelles diffèrent toutes selon la période de retour en année sèche et humide. De ses différents graphes mentionnés, nous remarquons de variations importantes sur les périodes allant de mai à septembre qui représentent la pluie tombée.

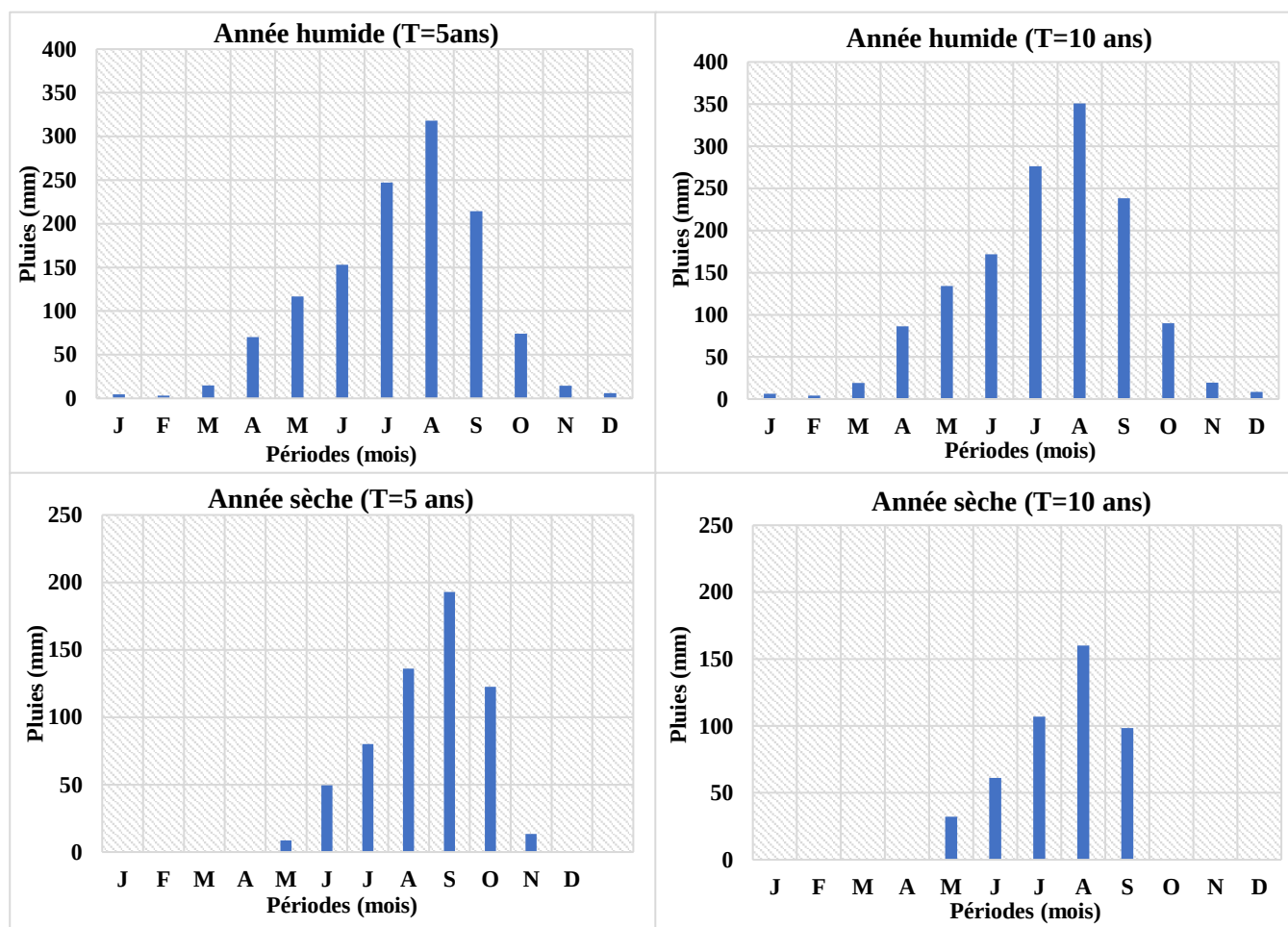


Figure 8 : Quantiles pluviométriques en années sèches et humides

❖ Analyse de l'indice de NICHOLSON

La figure 9 montre l'évolution des indices de précipitations standardisés de la station météorologique de Boromo sur la période 1950 à 2018. La pluviométrie moyenne annuelle est de 912.6 mm sur la période 1950-2018.

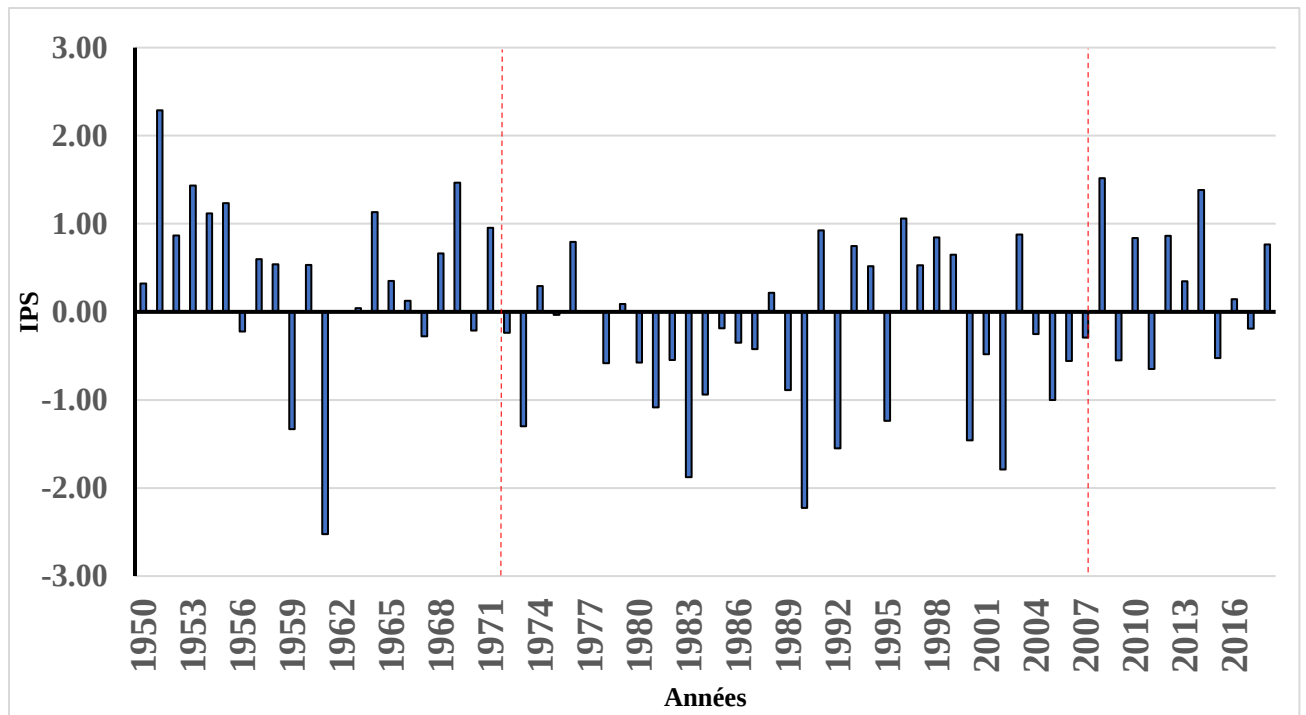


Figure 9 : Evolution des indices de précipitations standardisés sur la période de 1950 à 2018

A partir de la figure 9, les précipitations observées sur la commune de Boromo entre 1950 et 2018 ont en moyenne un IPS compris entre -0.99 et 0.99. Cependant, les résultats de la série de données obtenues peuvent être subdivisées en trois phases respectives :

- ❖ Une phase 01 comprise entre 1950 et 1971 caractérisé par une pluie moyenne annuelle correspondante à 974.8 mm qui est supérieure à la pluie moyenne annuelle observée sur tout au long de la série. De cette différence de valeur, nous pouvons conclure que cette phase a été marquée par des précipitations abondantes.
- ❖ Une phase 02 comprise entre 1971 et 2007 caractérisé par une pluie moyenne annuelle correspondante à 859.2 mm qui est inférieure à la pluie moyenne annuelle observée sur tout au long de la série. De cette différence de valeur, nous pouvons conclure que cette phase a été marquée par des précipitations faible.
- ❖ Une phase 03 comprise entre 2007 et 2018 caractérisé par une pluie moyenne annuelle correspondante à 963.8 mm qui est supérieure à la pluie moyenne annuelle observée sur tout au long de la série. De cette différence de valeur, nous pouvons conclure que cette phase a été marquée par des précipitations abondantes.

Le tableau 7 catégorise la sécheresse suivant les périodes de retour de 5 et 10 ans en année sèche et humide de la commune de Boromo. De ces résultats, nous pouvons conclure que les quantiles pluviométriques obtenues par analyse fréquentielle en année sèche et humide représentent les valeurs maximales et minimales qui peuvent survenir sur la commune durant leurs périodes de retour respectives.

Tableau 7 : Catégorie de sécheresse en période de retour 5 et 10 ans

Période de retour	Année	Valeurs de l'IPS	Catégorie de sécheresse
5	Sèche	-2.14	Extrêmement sèche
	Humide	2.23	Extrêmement humide
10	Sèche	-3.14	Extrêmement sèche
	Humide	3.41	Extrêmement humide

III.2 Evaluation des pertes potentielles en eau brute de la mine

III.2.1 Pertes en eau brute par évaporation

La figure 10 présente l'évolution de l'évaporation et de la pluviométrie moyenne mensuelle sur la période 2007 à 2017 dans la commune de Boromo. Les cumuls moyens annuels de l'évaporation et des précipitations sont respectivement de 1 702.3 mm et 951.8 mm. Nous remarquons que les pertes en eau par évaporation sont importantes entre novembre et mars qui correspond à la saison sèche. Par contre, d'avril à octobre, l'évaporation diminue tandis que la pluviométrie augmente entre avril et août avant de diminuer jusqu'à octobre. Ces variations s'expliquent par la présence d'une saison pluvieuse. Dans les régions sahéliennes, les pertes en eau par évaporation rencontrées sur les retenues d'eau s'élèvent à 2 m par an en moyenne (Durand et al., 1999). De ce fait, dans ces régions, toute retenue dont la hauteur ne dépasse pas 2 à 3 m sera forcément vide avant la prochaine saison des pluies. Avec des ouvrages de hauteurs 1.6m pour le bassin de rétention (RP₁) et 6m pour le barrage de retenue d'eau (WSD), il en ressort donc que le bassin de rétention (RP₁) se videra plus vite que celui du barrage de retenue d'eau (WSD).

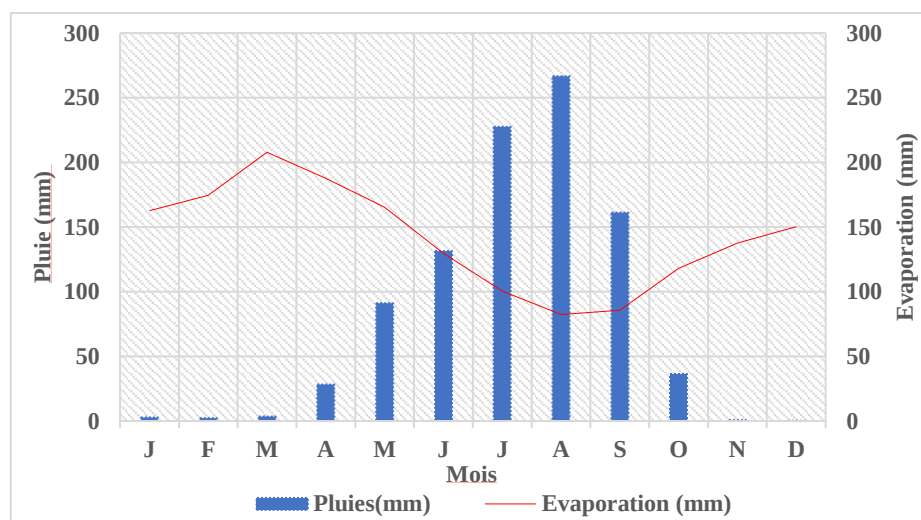


Figure 10 : Evaporation et pluviométrie moyenne (2007 à 2017)

III.2.2 Pertes en eau brute par infiltration

Un taux d'infiltration a été estimé à environ 1.5 mm par jour dans la cuvette du barrage de retenue d'eau (WSD). Cette valeur obtenue se rapproche de la marge recommandée et sera utilisée dans l'élaboration des scénarios afin de quantifier mensuellement les pertes rencontrées sur le barrage de retenue d'eau (WSD) et le bassin de rétention (RP₁). L'infiltration diminue normalement au fil des années et à mesure que les argiles colloïdales se déposent au fond de la cuvette. Elles sont souvent difficiles à quantifier. Les valeurs usuelles retenues pour l'infiltration en phase d'avant-projet vont de 1 à 3 mm (Durand et al., 1999).

III.3 Evaluation de la dégradation spécifique des ouvrages

Le tableau 8 présente les taux de dégradation spécifique du barrage de retenue d'eau (WSD) et du bassin de rétention (RP₁) en termes de comblement annuel. Les comblements annuels ont été estimés à 424.63 m³ et 203.27 m³ respectivement pour le barrage de retenue d'eau (WSD) et le bassin de rétention (RP₁). Au regard de ces taux de comblement, le bassin de rétention (RP₁) aura une durée de vie relativement courte par rapport au barrage WSD.

Tableau 8 : Dégradation spécifique des ouvrages

FORMULES EMPIRIQUES	Dégradation spécifique (m ³ /km ² /an)		Pertes en capacité (m ³ /an)	
	WSD	RP ₁	WSD	RP ₁

GRESILLON	173.43	182.02	354.48	229.35
GOTTSCALK	242.06	254.06	494.77	320.12
Moyenne	207.74	218.04	424.63	203.27

III.4 Elaboration des stratégies de gestion des ouvrages de mobilisation

III.4.1 Evaluation des apports des ouvrages de mobilisation

Le tableau 9 présente les volumes annuels retenus par les ouvrages de mobilisation en eau de surface estimés à 121 089 m³ et 39 908 m³ en quinquennale sèche respectivement pour le barrage de retenue d'eau (WSD) et le bassin de rétention (RP₁). Ces valeurs sont plus faibles en décennale sèche de l'ordre de 95 256 m³ (WSD) et 32 226 m³ (RP₁). Ces volumes d'eaux résultent des précipitations annuelles estimées à 603.2 mm et 458.7 mm respectivement en quinquennale sèche et en décennale sèche. Il en ressort donc que le volume d'eau annuel retenu en quinquennale par les ouvrages de mobilisation en eau de surface sont plus importantes qu'en décennale sèche ceci due aux précipitations qui sont plus importantes en quinquennale sèche qu'en décennale sèche.

Tableau 9 : Evaluation du volume mobilisé par les ouvrages

Période de retour	Quinquennale sèche		Décennale sèche	
Sources	WSD	RP ₁	WSD	RP ₁
Apports par ruissèlement (m ³)	62 742	38 677	50 881	31 365
Apports par pluie directe (m ³)	58 347	1 132	44 375	861
Volume retenus (m ³)	121 089	39 808	95 256	32 226

III.4.2 Evaluation des pertes en eau sur les ouvrages

Les pertes en eau par évaporation et par infiltration rencontrées sur les ouvrages de mobilisation en eau de surface ont un impact important sur les volumes d'eau mobilisés par les ouvrages de l'entreprise. Les tableaux 10 et 11 présentent les valeurs annuelles des pertes en eau par évaporation et par infiltration sur le barrage de retenue d'eau (WSD) et le bassin de rétention (RP₁) en quinquennale et décennale sèche. En quinquennale sèche, sur le barrage de

retenue d'eau (WSD), ces pertes par évaporation et infiltration représentent respectivement 59.3% et 19.4% du volume annuel mobilisé tandis que ces pertes représentent moins de 3% du volume annuel mobilisé par le bassin de rétention (RP₁). Par contre, en décennale sèche, les pertes par évaporation et par infiltration représentent respectivement 67.4% et 22% du volume d'eau mobilisé par le barrage de retenue d'eau (WSD) et sont de l'ordre de 3% du volume annuel mobilisé par le bassin de rétention (RP₁).

Tableau 10 : Pertes en eau par évaporation et par infiltration en quinquennale sèche

Sources	WSD		RP ₁	
	Evaporation	Infiltration	Evaporation	Infiltration
Mois				
Avril	7 251	1 739	26	6
Mai	6 274	1 707	70	19
Juin	4 933	1 712	91	32
Juillet	3 959	1 771	109	49
Août	3 669	2 004	143	78
Septembre	4 934	2 594	158	83
Octobre	6 941	2 644	68	26
Novembre	6 719	2 196	21	7
Décembre	6 594	1 975	0	0
Janvier	6 587	1 823	0	0
Février	6 592	1 699	0	0
Mars	7 368	1 595	0	0
TOTAL (m³)	71 820	23 460	685	299

Tableau 11 : Pertes en eau par évaporation et par infiltration en décennale sèche

Sources	WSD		RP ₁	
	Evaporation	Infiltration	Evaporation	Infiltration
Mois				
Avril	7 221	1 732	0	0
Mai	6 190	1 685	53	14

Juin	4 813	1 671	73	25
Juillet	3 830	1 713	93	42
Août	3 504	1 914	102	56
Septembre	3 976	2 090	154	81
Octobre	5 440	2 072	56	22
Novembre	5 920	1 935	13	4
Décembre	5 927	1 775	0	0
Janvier	6 051	1 675	0	0
Février	6 123	1 578	0	0
Mars	5 173	1 120	0	0
TOTAL (m³)	64 168	20 960	546	244

Durant les périodes de remplissage des ouvrages de mobilisation en eau de surface en quinquennale et décennale sèche, des déversements ont été observés uniquement sur le bassin RP₁ (tableau 12). Les volumes déversés représentent 16.5% et 7.2% du volume annuel mobilisé par le bassin RP₁ respectivement en années quinquennale et décennale sèches.

Tableau 12 : Déversements sur les ouvrages en eau de surface

Période de retour	Quinquennale sèche		Décennale sèche	
	WSD	RP ₁	WSD	RP ₁
Déversements (m³)	0	6 573	0	2 310

III.4.3 Evaluation des prélèvements annuels en eau des ouvrages

Le tableau 13 présente les prélèvements annuels effectués sur les ouvrages en vue de satisfaire les besoins annuels en eau de l'entreprise pour ses activités en différentes saisons (saison pluvieuse et saison sèche). Durant l'année 2018, le volume mobilisé par le barrage de retenue d'eau (WSD) a réussi à satisfaire les besoins en eau de l'entreprise durant la saison sèche. Cependant, en quinquennale et décennale sèche, des déficits en eau seront observés sur le site

d'exploitation. Ces déficits sont estimés annuellement à 56 824 m³ et 70 378 m³ respectivement en quinquennale sèche et en décennale sèche. Ils représentent 36% et 44% des besoins annuels en eau de l'entreprise respectivement en années quinquennale et décennale sèches.

Tableau 13 : Prélèvements d'eau sur les ouvrages de mobilisation

Période	Annuelle 20018	Quinquennale sèche		Décennale sèche	
Saison	Sèche	Pluvieuse	Sèche	Pluvieuse	Sèche
WSD (m ³)	66 270	14 258	33 088	21 800	16 754
RP1 (m ³)	0	32 042	0	28 516	0
GH009 (m ³)	0	14 816	8 100	10 800	10 800
Déficit (m ³)	0	31 662	25 162	31 662	38 716

III.4.4 Plan de gestion des ouvrages de mobilisation en eau brute de la mine

Les déficits annuels en eau brute estimés sur le site d'exploitation minier sont de l'ordre de 56 824 m³ et 70 378 m³ respectivement en années quinquennale et décennale sèches. Le tableau 14 présente la contribution mensuelle des ouvrages de mobilisation en eau de surface et en eau souterraine du calendrier hydrologique en vue de satisfaire les besoins en eau de l'entreprise durant la décennale sèche ou le déficit en eau observé est le plus important. De façon plus précise, nous constatons un déficit de 70 378 m³ répartis mensuellement comme suit : 31 662 m³ d'avril à juin et 38 716 m³ de décembre à mars.

Tableau 14 : Contribution mensuelle des ouvrages de mobilisation en eau du site

Mois	WSD (m³)	RP₁ (m³)	GH009 (m³)	Déficit (m³)
Avril	0	0	2 700	10 554
Mai	0	0	2 700	10 554
Juin	0	0	2 700	10 554
Juillet	874	9 680	2 700	0

Août	2 008	11 246	0	0
Septembre	5 664	7 590	0	0
Octobre	13 254	0	0	0
Novembre	13 254	0	0	0
Décembre	3 500	0	2 700	7 054
Janvier	0	0	2 700	10 554
Février	0	0	2 700	10 554
Mars	0	0	2 700	10 554
Total (m³)	38 554	28 516	21 600	70 378

Pour faire face à ces éventuels déficits en eau et permettre à l'entreprise de satisfaire ses besoins en eau, il s'avère nécessaire de mettre en place des stratégies de gestion des ouvrages hydrauliques. Le tableau 15 présente les options de solutions proposées en vue de combler ces déficits en eau. Il présente également les avantages et les inconvénients des propositions de solutions préconisées tant sur les ouvrages de mobilisation en eau interne (site d'exploitation) que sur les ouvrages externes. Il en est de même des contraintes de faisabilité des solutions. Au travers des options de solutions proposées, l'utilisation du barrage de SIPOHIN semble être la plus favorable en termes d'investissement et de réalisation car, l'entreprise dispose déjà d'un permis d'exploitation délivré par l'Etat Burkinabé qui lui permet de prélever un volume d'eau de 90 000 m³ sur la période de janvier à Juin. Cependant, un déficit de 7 054 m³ se fait ressentir durant le mois de décembre de la décennale sèche. Pour ce fait, le permis d'exploitation octroyée par l'Etat Burkinabé à l'entreprise sur la période de janvier à juin s'emble ne pas couvrir le déficit observé durant la décennale sèche. La modification de ce permis tant sur la période de prélèvement que sur la quantité de prélèvement devrait être revue de décembre à juin pour une consommation de 80 000 m³. La nouvelle proposition de gestion des ouvrages de mobilisation pour une utilisation optimale des sources d'approvisionnement après analyse tiendra compte de :

- La mise en place d'un hangar sur le bassin de rétention (RP₂) dans le but de limiter les pertes en eau par évaporation sur cet ouvrage
- La mise en place d'un compteur d'eau en aval du bassin de rétention (RP₁) et d'une batterie d'échelle de lecture en vue d'avoir une maîtrise sur la recharge , décharge et les prélèvements en eau effectué sur cet ouvrage.

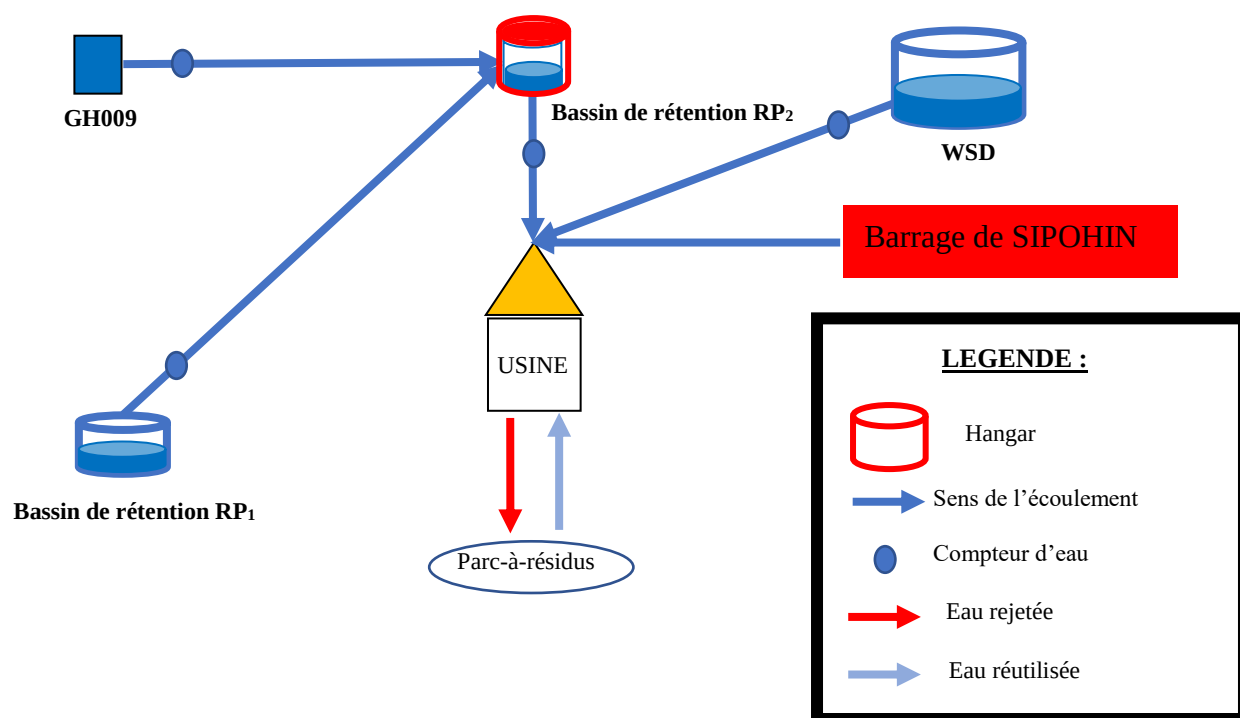


Figure 11 : Proposition de gestion des ouvrages de mobilisation en eau

Tableau 15 : Proposition des solutions de gestion des ouvrages

SOURCES	SOLUTIONS	PRPOSITIONS	AVANTAGES	INCONVENIENTS
INTERNE	EAUX SOUTERRAINES	Mise en place de 4 forages de caractéristiques identiques au (GH009)	Pas de pertes en eau par évaporation et par infiltration	Coût de réalisation et de maintenance élevé
	EAUX DE SURFACES	Augmentation de la capacité de retenue d'eau (WSD)	Satisfaction des besoins en eau de l'entreprise pour son activité	
		Mise en place de plusieurs bassins de rétention		
EXTERNE	EAUX SOUTERRAINES	Mise en place de 5 réservoirs cylindriques de 15 000 m ³ chacun alimentés par le barrage de SIPOHIN	Pas de pertes en eau par évaporation et par infiltration	• Coût de réalisation et de maintenance élevé • Risque potentiel de conflits
	EAUX DE SURFACES	Barrage de SIPOHIN	Satisfaction des besoins en eau de l'entreprise pour son activité	• Risque potentiel de conflits

III.4.5 Estimation du coût de réalisation

Pour une utilisation optimale des sources d'approvisionnements en eau brute de la mine ROXGOLD SANU présent sur le site d'exploitation, des aménagements afin de limiter ses pertes s'avère indispensable. Entre autres, il s'agit de : la mise en place d'un hangar sur le bassin de rétention (RP₂) dans le but de limiter les pertes en eau par l'évaporation, la mise en place d'une échelle de lecture et d'un compteur d'eau en aval du bassin de rétention (RP₁) en vue d'avoir une maîtrise sur sa charge et sa décharge et enfin la protection des parois du bassin de rétention (RP₁) par la pose des gabions en vue de limiter les pertes dues à sa dégradation lors des événements pluvieux. Le devis estimatif sommaire nécessaire pour la mise en service de ses aménagements s'élève à **5 480 600 FCFA** (cinq millions quatre cent quatre-vingt mille six cent Francs CFA).

IV. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Parvenu au terme de notre travail où il était question pour nous de contribuer au développement d'un système de gestion optimale des sources d'approvisionnement en eau brute de la mine d'or ROXGOLD SANU suivant un scénario critique observé en décennale sèche par une analyse fréquentielle, nous avons eu à apprécier le comportement des ouvrages de mobilisation en eau présent sur le site d'exploitation en vue de satisfaire ses besoins en eau s'évaluant annuellement à 159 048 m³. Ce scénario de la décennale sèche nous a permis de ressortir la contribution des ouvrages de mobilisation en eau de surface qui représente 54 % des apports en eau contre 66% des apports pour les ouvrages en eau souterraine. Malgré leurs contributions annuelles, un déficit s'est fait ressentir s représentant 44 % des besoins en eau annuels de l'entreprise. Afin d'y remédier, des propositions de solutions ont été élaborées en tenant compte des sources en eau interne et externe du site d'exploitation dont le choix s'est porté sur l'utilisation du barrage de SIPOHIN ou une étude a abouti à l'octroiement d'un permis d'exploitation délivré par l'Etat Burkinabé pour une période de 6 mois allant de janvier à juin pour une consommation annuelle de 90 000 m³. Cependant des recommandations ont été apportées sur le permis d'exploitation et sur le principe de gestion des ouvrages en eau présent sur le site d'exploitation. Pour les ouvrages du site d'exploitation nous avons recommandé la mise en place d'un hangar sur le RP2 afin de limiter les pertes en eau par évaporation et par infiltration sur cet ouvrage chargé de réceptionner les eaux en provenance du GH009 et du RP1. Pour l'ouvrage du RP1, nous recommandons la mise en place d'un compteur d'eau supplémentaire en aval de cet ouvrage et la mise en place d'une batterie d'échelle limnimétrique afin de mieux apprécier la recharge la décharge et les prélèvements en eau effectués sur cet ouvrage. Nous proposons également sur cet ouvrage la mise en place d'es gabions en vue de limiter les pertes dues à l'érosion par la dégradation de ses parois et un curage annuel sur cet ouvrage. Pour le permis d'exploitation nous recommandons sa modification sur sa durée que sur la quantité de prélèvement de 80 000 m³ contre 90 000 m³ initialement prévue contre un période allant de décembre à juin con janvier à juin prévu. Le coût global des recommandations mentionnées s'élève à 5 480 600 (cinq millions quatre cent quatre-vingt mille six cent Francs CFA).

V. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bamba Y. (2012), « Evaluation des impacts de l'exploitation de la mine d'or de BONIKRO (Cote d'Ivoire) sur les ressources en eau ». Mémoire de master en Eau et de l'Environnement. Ouagadougou : Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), p.55.
- Boubakar B. (2015), « Annuaire statistique du ministère des mines et de l'énergie », décembre, p.63.
- Brunel J.P., et Bouron B. (1992), Evaporation des nappes d'eaux libre en Afrique sahélienne et tropicale. ORSTM, p.413.
- Durand, Jean-Maurice, Paul R., et Patrice M. (1999), Technique des petits barrages en Afrique Sahélienne et Equatoriale. Editions Quae, p.401.
- Bege. (2014), « Etude d'impact environnemental et social du projet aurifère de YARAMOKO ». Rapport. BAGASSI : ROXGOLD SANU, p.316.
- FAO. (1996), Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petites bassins versants non jauges de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche : Bulletin FAO d'irrigation et de drainage 54. Vol. 54, p.54.
- Fossou R., Traore V.B., Lasm T., Sambou S., Soro T., Kane A. (2014), Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la cote d'Ivoire en Afrique de l'Ouest. Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie, 10(4), p.118-134.
- Iwaco D.H., et Bro C. (2001), Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leurs cadres de gestion (Burkina Faso), p.252.
- Karambiri H. (1998), « Etude de l'envasement des barrages au Burkina Faso ». Mémoire de master en Eau et de l'Environnement. Ouagadougou : Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), p.99.
- Panthou. (2013), « Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et leurs évolutions au cours des 60 dernières années ». Thèse de doctorat, Université de GRENOBLE, p.283.
- Saggai, et Boutoutaou. (2011), Réduction de l'évaporation des plans d'eau par les films moléculaires en zones arides (cas de HASSIBENADELLAH). Annales des Sciences et Technologie, 3(2), p.114-118.
- Saouto A. (2016), « Optimisation des allocations des eaux de surfaces dans une vision prospective : application du modèle WEAP21 au complexe MOUHOUN-SOUROU au Burkina Faso ». Mémoire de master en Eau et de l'Environnement. Ouagadougou :

Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), p79.

Sabbrina, Taibi, Meddi M., Souag D., et Mahe G. (2013), « Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936-2009) », janvier 2013, Article de journal édition.

Fowe T. (2015), « Simulation et optimisation du fonctionnement du barrage de Boura en zone soudanienne du Burkina Faso ». Thèse de doctorat, Ouagadougou : Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), p.313.

Yerima M. (2017), « Optimisation de l'allocation des eaux de surface dans une vision prospective : Application du modèle WEAP21 dans la vallée du SOUROU au Burkina Faso ». Mémoire de master en Eau et de l'Environnement. Ouagadougou : Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), p.78.

VI. ANNEXES

Annexe 01 : Etudes hydrologiques

1- Analyse fréquentielle des pluies annuelles

a- Détermination des paramètres de description de l'échantillon

Les paramètres de description de l'échantillon sont la moyenne ($\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i$), l'écart-type ($\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2}$), et les pluies annuelles minimales et maximales. Ils seront récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Paramètres de description des données pluviométriques

Station	Moyenne	Ecart-type	Pluies minimales	Pluies maximales
BOROMO	912,6	144,532	539,3	1247,9

b- Courbes des fréquences cumulées expérimentales

Les fréquences cumulées $F(x)$ sont données par la loi de Hazen dont la formule est :

$F(x_i) = \frac{i-0,5}{n}$. Les tableaux suivants nous donnent les fréquences cumulées pour quelques mois pluvieux (Juin à Septembre) :

Tableau 2 : Analyse fréquentielle du mois de Juin

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1950,00	79,50	23,60	1,00	0,01	-2,44
1951,00	199,00	48,60	2,00	0,02	-2,02
1952,00	55,90	54,10	3,00	0,04	-1,80
1953,00	83,30	54,20	4,00	0,05	-1,64
1954,00	145,40	54,30	5,00	0,07	-1,51
1955,00	97,10	55,90	6,00	0,08	-1,41
1956,00	89,00	62,50	7,00	0,09	-1,32
1957,00	161,40	72,70	8,00	0,11	-1,23
1958,00	76,10	75,30	9,00	0,12	-1,16
1959,00	54,10	76,10	10,00	0,14	-1,09
1960,00	121,70	77,00	11,00	0,15	-1,03
1961,00	133,40	79,30	12,00	0,17	-0,97
1962,00	130,90	79,50	13,00	0,18	-0,91

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1963,00	133,80	81,50	14,00	0,20	-0,86
1964,00	259,90	82,20	15,00	0,21	-0,81
1965,00	154,80	83,30	16,00	0,22	-0,76
1966,00	108,60	83,60	17,00	0,24	-0,71
1967,00	83,60	83,80	18,00	0,25	-0,66
1968,00	107,90	87,10	19,00	0,27	-0,62
1969,00	111,90	89,00	20,00	0,28	-0,58
1970,00	105,20	91,20	21,00	0,30	-0,53
1971,00	77,00	94,30	22,00	0,31	-0,49
1972,00	94,70	94,70	23,00	0,33	-0,45
1973,00	54,30	95,40	24,00	0,34	-0,41
1974,00	75,30	97,10	25,00	0,36	-0,37
1975,00	98,70	98,70	26,00	0,37	-0,33
1976,00	141,30	100,30	27,00	0,38	-0,29
1977,00	110,00	101,30	28,00	0,40	-0,26
1978,00	107,60	105,20	29,00	0,41	-0,22
1979,00	182,30	107,30	30,00	0,43	-0,18
1980,00	100,30	107,60	31,00	0,44	-0,15
1981,00	107,30	107,90	32,00	0,46	-0,11
1982,00	139,30	107,90	33,00	0,47	-0,07
1983,00	116,00	108,60	34,00	0,49	-0,04
1984,00	101,30	109,00	35,00	0,50	0,00
1985,00	156,10	110,00	36,00	0,51	0,04
1986,00	83,80	111,90	37,00	0,53	0,07
1987,00	149,70	114,00	38,00	0,54	0,11
1988,00	91,20	116,00	39,00	0,56	0,15
1989,00	79,30	119,40	40,00	0,57	0,18
1990,00	128,60	119,60	41,00	0,59	0,22
1991,00	194,70	121,70	42,00	0,60	0,26
1992,00	150,00	122,60	43,00	0,62	0,29
1993,00	124,20	124,20	44,00	0,63	0,33
1994,00	145,70	128,60	45,00	0,64	0,37

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1995,00	143,30	130,90	46,00	0,66	0,41
1996,00	82,20	133,40	47,00	0,67	0,45
1997,00	109,00	133,80	48,00	0,69	0,49
1998,00	23,60	139,30	49,00	0,70	0,53
1999,00	114,00	141,30	50,00	0,72	0,58
2000,00	87,10	143,30	51,00	0,73	0,62
2001,00	81,50	143,30	52,00	0,75	0,66
2002,00	119,40	145,40	53,00	0,76	0,71
2003,00	160,70	145,70	54,00	0,78	0,76
2004,00	54,20	146,70	55,00	0,79	0,81
2005,00	107,90	149,70	56,00	0,80	0,86
2006,00	122,60	150,00	57,00	0,82	0,91
2007,00	72,70	154,80	58,00	0,83	0,97
2008,00	119,60	156,10	59,00	0,85	1,03
2009,00	143,30	159,80	60,00	0,86	1,09
2010,00	62,50	160,70	61,00	0,88	1,16
2011,00	195,50	161,40	62,00	0,89	1,23
2012,00	48,60	182,30	63,00	0,91	1,32
2013,00	95,40	186,30	64,00	0,92	1,41
2014,00	209,40	194,70	65,00	0,93	1,51
2015,00	94,30	195,50	66,00	0,95	1,64
2016,00	186,30	199,00	67,00	0,96	1,80
2017,00	159,80	209,40	68,00	0,98	2,02
2018,00	146,70	259,90	69,00	0,99	2,44

Tableau 3 : Analyse fréquentielle du mois de Juillet

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1950,00	354,70	63,90	1,00	0,01	-2,44
1951,00	153,40	81,40	2,00	0,02	-2,02
1952,00	275,40	83,60	3,00	0,04	-1,80
1953,00	361,90	84,80	4,00	0,05	-1,64
1954,00	297,60	85,20	5,00	0,07	-1,51

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1955,00	200,70	92,00	6,00	0,08	-1,41
1956,00	182,70	115,00	7,00	0,09	-1,32
1957,00	141,10	127,10	8,00	0,11	-1,23
1958,00	182,10	127,10	9,00	0,12	-1,16
1959,00	92,00	128,80	10,00	0,14	-1,09
1960,00	190,20	132,50	11,00	0,15	-1,03
1961,00	115,00	134,60	12,00	0,17	-0,97
1962,00	63,90	135,00	13,00	0,18	-0,91
1963,00	179,30	138,20	14,00	0,20	-0,86
1964,00	157,30	140,00	15,00	0,21	-0,81
1965,00	309,30	141,10	16,00	0,22	-0,76
1966,00	127,10	144,00	17,00	0,24	-0,71
1967,00	152,50	145,80	18,00	0,25	-0,66
1968,00	206,60	145,90	19,00	0,27	-0,62
1969,00	263,60	152,50	20,00	0,28	-0,58
1970,00	189,40	153,10	21,00	0,30	-0,53
1971,00	261,10	153,40	22,00	0,31	-0,49
1972,00	145,80	154,40	23,00	0,33	-0,45
1973,00	183,00	155,50	24,00	0,34	-0,41
1974,00	205,60	157,30	25,00	0,36	-0,37
1975,00	134,60	173,20	26,00	0,37	-0,33
1976,00	219,40	175,80	27,00	0,38	-0,29
1977,00	**	177,10	28,00	0,40	-0,26
1978,00	214,40	179,10	29,00	0,41	-0,22
1979,00	232,90	179,30	30,00	0,43	-0,18
1980,00	177,10	181,20	31,00	0,44	-0,15
1981,00	81,40	182,10	32,00	0,46	-0,11
1982,00	192,20	182,40	33,00	0,47	-0,07
1983,00	135,00	182,70	34,00	0,49	-0,04
1984,00	83,60	183,00	35,00	0,50	0,00
1985,00	215,00	185,50	36,00	0,51	0,04
1986,00	154,40	186,20	37,00	0,53	0,07

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1987,00	199,10	189,40	38,00	0,54	0,11
1988,00	245,10	190,20	39,00	0,56	0,15
1989,00	155,50	192,20	40,00	0,57	0,18
1990,00	132,50	199,10	41,00	0,59	0,22
1991,00	144,00	200,70	42,00	0,60	0,26
1992,00	85,20	203,70	43,00	0,62	0,29
1993,00	185,50	205,60	44,00	0,63	0,33
1994,00	182,40	206,60	45,00	0,64	0,37
1995,00	84,80	214,40	46,00	0,66	0,41
1996,00	175,80	215,00	47,00	0,67	0,45
1997,00	173,20	218,20	48,00	0,69	0,49
1998,00	237,00	219,40	49,00	0,70	0,53
1999,00	153,10	222,00	50,00	0,72	0,58
2000,00	127,10	223,60	51,00	0,73	0,62
2001,00	290,30	232,90	52,00	0,75	0,66
2002,00	218,20	235,00	53,00	0,76	0,71
2003,00	186,20	237,00	54,00	0,78	0,76
2004,00	292,50	245,10	55,00	0,79	0,81
2005,00	128,80	258,70	56,00	0,80	0,86
2006,00	181,20	261,10	57,00	0,82	0,91
2007,00	179,10	263,60	58,00	0,83	0,97
2008,00	279,00	275,40	59,00	0,85	1,03
2009,00	138,20	277,20	60,00	0,86	1,09
2010,00	235,00	279,00	61,00	0,88	1,16
2011,00	140,00	290,30	62,00	0,89	1,23
2012,00	277,20	292,50	63,00	0,91	1,32
2013,00	258,70	297,60	64,00	0,92	1,41
2014,00	222,00	309,30	65,00	0,93	1,51
2015,00	145,90	318,50	66,00	0,95	1,64
2016,00	318,50	354,70	67,00	0,96	1,80
2017,00	223,60	361,90	68,00	0,98	2,02
2018,00	203,70	**	69,00	0,99	2,44

Tableau 4 : Analyse fréquentielle du mois d'Aout

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1950,00	274,40	94,50	1,00	0,01	-2,44
1951,00	361,70	108,60	2,00	0,02	-2,02
1952,00	268,80	130,60	3,00	0,04	-1,80
1953,00	388,70	145,30	4,00	0,05	-1,64
1954,00	233,00	150,40	5,00	0,07	-1,51
1955,00	286,20	154,20	6,00	0,08	-1,41
1956,00	202,00	154,90	7,00	0,09	-1,32
1957,00	214,50	163,10	8,00	0,11	-1,23
1958,00	274,00	165,50	9,00	0,12	-1,16
1959,00	258,00	167,10	10,00	0,14	-1,09
1960,00	226,80	172,20	11,00	0,15	-1,03
1961,00	108,60	186,00	12,00	0,17	-0,97
1962,00	344,10	188,50	13,00	0,18	-0,91
1963,00	245,70	190,80	14,00	0,20	-0,86
1964,00	282,00	197,70	15,00	0,21	-0,81
1965,00	130,60	201,20	16,00	0,22	-0,76
1966,00	188,50	201,80	17,00	0,24	-0,71
1967,00	310,10	202,00	18,00	0,25	-0,66
1968,00	167,10	204,80	19,00	0,27	-0,62
1969,00	290,80	209,90	20,00	0,28	-0,58
1970,00	274,10	214,50	21,00	0,30	-0,53
1971,00	333,60	219,40	22,00	0,31	-0,49
1972,00	326,50	220,20	23,00	0,33	-0,45
1973,00	204,80	220,80	24,00	0,34	-0,41
1974,00	292,10	223,30	25,00	0,36	-0,37
1975,00	308,30	224,50	26,00	0,37	-0,33
1976,00	150,40	226,80	27,00	0,38	-0,29
1977,00	265,30	232,00	28,00	0,40	-0,26
1978,00	224,50	233,00	29,00	0,41	-0,22
1979,00	154,20	233,10	30,00	0,43	-0,18
1980,00	324,90	238,30	31,00	0,44	-0,15

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1981,00	308,90	244,70	32,00	0,46	-0,11
1982,00	172,20	245,70	33,00	0,47	-0,07
1983,00	223,30	252,30	34,00	0,49	-0,04
1984,00	252,30	252,40	35,00	0,50	0,00
1985,00	232,00	258,00	36,00	0,51	0,04
1986,00	220,80	259,10	37,00	0,53	0,07
1987,00	220,20	265,30	38,00	0,54	0,11
1988,00	395,90	268,80	39,00	0,56	0,15
1989,00	219,40	274,00	40,00	0,57	0,18
1990,00	94,50	274,10	41,00	0,59	0,22
1991,00	274,10	274,10	42,00	0,60	0,26
1992,00	154,90	274,40	43,00	0,62	0,29
1993,00	292,20	282,00	44,00	0,63	0,33
1994,00	355,90	285,20	45,00	0,64	0,37
1995,00	209,90	286,20	46,00	0,66	0,41
1996,00	306,70	290,80	47,00	0,67	0,45
1997,00	165,50	292,10	48,00	0,69	0,49
1998,00	238,30	292,20	49,00	0,70	0,53
1999,00	424,20	293,20	50,00	0,72	0,58
2000,00	201,20	304,20	51,00	0,73	0,62
2001,00	190,80	306,70	52,00	0,75	0,66
2002,00	145,30	307,30	53,00	0,76	0,71
2003,00	304,20	308,30	54,00	0,78	0,76
2004,00	201,80	308,90	55,00	0,79	0,81
2005,00	197,70	310,10	56,00	0,80	0,86
2006,00	186,00	324,90	57,00	0,82	0,91
2007,00	350,80	326,50	58,00	0,83	0,97
2008,00	443,20	328,10	59,00	0,85	1,03
2009,00	233,10	333,60	60,00	0,86	1,09
2010,00	252,40	344,10	61,00	0,88	1,16
2011,00	259,10	350,80	62,00	0,89	1,23
2012,00	307,30	355,90	63,00	0,91	1,32

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
2013,00	285,20	361,70	64,00	0,92	1,41
2014,00	293,20	362,70	65,00	0,93	1,51
2015,00	328,10	388,70	66,00	0,95	1,64
2016,00	163,10	395,90	67,00	0,96	1,80
2017,00	244,70	424,20	68,00	0,98	2,02
2018,00	362,70	443,20	69,00	0,99	2,44

Tableau 5 : Analyse fréquentielle du mois de Septembre

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1950,00	162,80	77,80	1,00	0,01	-2,44
1951,00	220,30	82,90	2,00	0,02	-2,02
1952,00	260,70	84,40	3,00	0,04	-1,80
1953,00	119,70	84,80	4,00	0,05	-1,64
1954,00	145,00	89,20	5,00	0,07	-1,51
1955,00	235,10	90,90	6,00	0,08	-1,41
1956,00	251,00	94,00	7,00	0,09	-1,32
1957,00	225,30	98,60	8,00	0,11	-1,23
1958,00	286,60	100,40	9,00	0,12	-1,16
1959,00	188,50	107,30	10,00	0,14	-1,09
1960,00	210,00	108,00	11,00	0,15	-1,03
1961,00	131,50	108,80	12,00	0,17	-0,97
1962,00	243,10	116,90	13,00	0,18	-0,91
1963,00	108,80	119,70	14,00	0,20	-0,86
1964,00	184,00	121,40	15,00	0,21	-0,81
1965,00	226,40	122,40	16,00	0,22	-0,76
1966,00	272,60	125,40	17,00	0,24	-0,71
1967,00	214,90	125,80	18,00	0,25	-0,66
1968,00	223,70	130,00	19,00	0,27	-0,62
1969,00	248,80	130,40	20,00	0,28	-0,58
1970,00	158,80	131,30	21,00	0,30	-0,53
1971,00	173,40	131,50	22,00	0,31	-0,49
1972,00	131,60	131,60	23,00	0,33	-0,45
1973,00	108,00	138,00	24,00	0,34	-0,41

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
1974,00	188,60	138,50	25,00	0,36	-0,37
1975,00	237,20	141,50	26,00	0,37	-0,33
1976,00	157,50	143,50	27,00	0,38	-0,29
1977,00	125,40	144,10	28,00	0,40	-0,26
1978,00	90,90	145,00	29,00	0,41	-0,22
1979,00	213,90	150,10	30,00	0,43	-0,18
1980,00	84,40	157,20	31,00	0,44	-0,15
1981,00	131,30	157,50	32,00	0,46	-0,11
1982,00	77,80	158,20	33,00	0,47	-0,07
1983,00	98,60	158,80	34,00	0,49	-0,04
1984,00	130,40	160,50	35,00	0,50	0,00
1985,00	181,00	161,30	36,00	0,51	0,04
1986,00	210,80	162,80	37,00	0,53	0,07
1987,00	158,20	173,40	38,00	0,54	0,11
1988,00	84,80	180,60	39,00	0,56	0,15
1989,00	161,30	181,00	40,00	0,57	0,18
1990,00	125,80	184,00	41,00	0,59	0,22
1991,00	138,00	184,90	42,00	0,60	0,26
1992,00	160,50	187,30	43,00	0,62	0,29
1993,00	278,60	187,60	44,00	0,63	0,33
1994,00	116,90	188,50	45,00	0,64	0,37
1995,00	82,90	188,60	46,00	0,66	0,41
1996,00	184,90	195,40	47,00	0,67	0,45
1997,00	150,10	198,30	48,00	0,69	0,49
1998,00	224,90	200,50	49,00	0,70	0,53
1999,00	130,00	210,00	50,00	0,72	0,58
2000,00	122,40	210,60	51,00	0,73	0,62
2001,00	107,30	210,80	52,00	0,75	0,66
2002,00	121,40	213,90	53,00	0,76	0,71
2003,00	200,50	214,90	54,00	0,78	0,76
2004,00	138,50	220,30	55,00	0,79	0,81
2005,00	187,60	223,70	56,00	0,80	0,86

ANNEE	Valeurs Observées	Ordre croissant	Rang	Fréquence (Hazen)	u
2006,00	198,30	224,90	57,00	0,82	0,91
2007,00	89,20	225,30	58,00	0,83	0,97
2008,00	180,60	226,40	59,00	0,85	1,03
2009,00	187,30	235,10	60,00	0,86	1,09
2010,00	244,20	237,20	61,00	0,88	1,16
2011,00	94,00	243,10	62,00	0,89	1,23
2012,00	144,10	244,20	63,00	0,91	1,32
2013,00	157,20	248,80	64,00	0,92	1,41
2014,00	210,60	251,00	65,00	0,93	1,51
2015,00	195,40	260,70	66,00	0,95	1,64
2016,00	143,50	272,60	67,00	0,96	1,80
2017,00	100,40	278,60	68,00	0,98	2,02
2018,00	141,50	286,60	69,00	0,99	2,44

c- Proposition de la loi d'ajustement

Plusieurs lois permettent l'ajustement d'un échantillon. Il sera question de s'assurer que les valeurs obtenues de la station météorologique de Boromo suivent une loi normale de GAUSS. Nous illustrerons cela en présentant un ajustement graphique du mois d'août (le mois pluvieux) qui s'est fait avec le logiciel Hyfran PLUS. Les tableaux 6 ci-dessous présentent les valeurs des paramètres obtenus pour le mois de juin ainsi que les quantiles de pluies obtenus en années sèche et humide pour les périodes de retour de 5,10,20 et 50 ans.

Tableau 6 : Paramètres d'ajustement des 12 mois

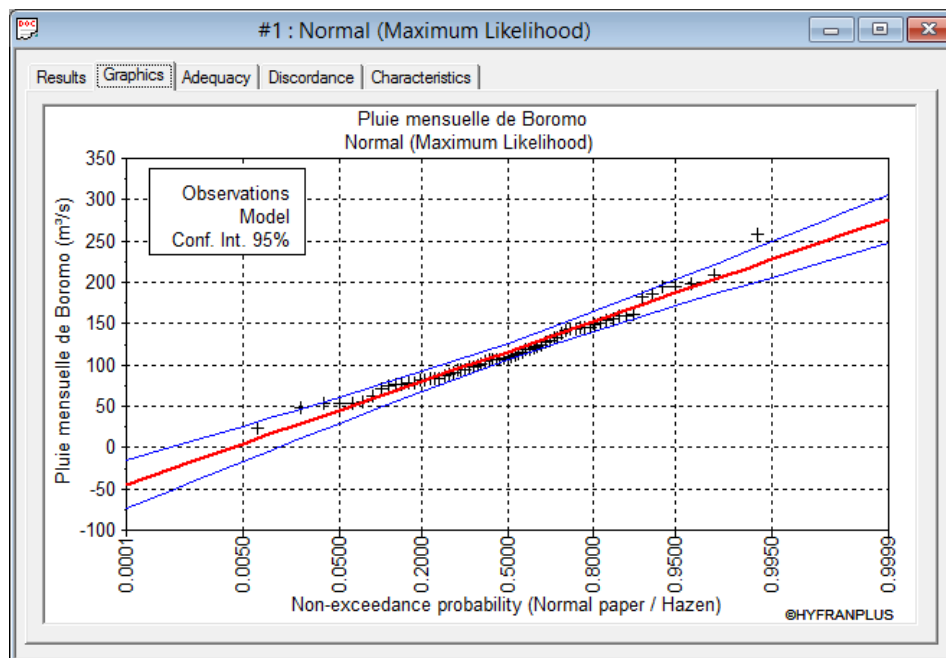
Moyenne ($\bar{x}$)	Ecart-type (σ)	Variable centrée réduite (U_p)	Intervalles de confiance (X_p)	Quantiles (X_p)
$\frac{1}{n} \sum x_i$	$\sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2\right)}$	$\frac{x - \bar{x}}{\sigma}$	$x_p \pm \frac{U_{1-\alpha}}{2} * \frac{\sigma}{\sqrt{2N}} * \sqrt{Up^2 + 2}$ Avec $\alpha=90\%$ et $\frac{U_{1-\alpha}}{2} = -1.64$	$\bar{x} + U_p \times \sigma$

Tableau 7 : Quantiles de pluies en années sèche

T	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
100	0	0	0	0	0	15,96	37,97	82,31	41,46	0	0	0
50	0	0	0	0	1,36	27,75	55,97	102,60	56,33	0	0	0
20	0	0	0	0	17,64	45,42	82,98	133,03	78,64	0	0	0
10	0	0	0	0	32,10	61,13	106,97	160,07	98,47	0	0	0
5	0	0	0	8,72	49,61	80,15	136,03	192,81	122,47	13,38	0	0

Tableau 8 : Quantiles de pluies en années humide

T	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
100	10,83	7,02	29,76	124,34	175,71	217,11	345,26	428,57	295,33	127,63	31,71	14,39
50	9,66	6,31	27,00	114,39	164,86	205,32	327,25	408,28	280,46	117,80	28,55	12,87
20	7,91	5,24	22,85	99,47	148,58	187,64	300,25	377,85	258,15	103,05	23,83	10,59
10	6,35	4,30	19,16	86,21	134,12	171,94	276,25	350,81	238,32	89,95	19,62	8,57
5	4,47	3,15	14,70	70,15	116,61	152,92	247,20	318,07	214,32	74,09	14,53	6,12

**Figure 01 : Ajustement mensuelle par la loi de GAUSS (aout)**

2- Evaluation des pertes en eau brute

a- Pertes par évaporation

Tableau 9 : Evaporation mensuelle

Mois	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Bac(mm)	229	241,3	299,5	267,1	209,1	154,9	147,5	129,4	136,9	197,8	201,9	208,8
Lac (mm)	155,72	164	204	182	142	105	100	88	93	135	137	142

Annexe 02 : Etudes de faisabilités financières

Suite aux scenarios ayant aboutis à la mise en place d'un hangar, d'une échelle de mesure ainsi que des opérations d'entretien du bassin de rétention (RP₁), nous avons estimé de façon sommaire le cout de la réalisation de ses aménagements à **5 480 600FCFA** (cinq millions quatre cent quatre huit mil six cent franc FCFA) dont les détails sont mentionnés dans le tableau ci-après :

Tableau 10 : Devis estimatif du cout de réalisation

N°	Désignation	U	Qté	Prix Unit.	Prix Total
I	CHAPITRE I : TERRASSEMENTS/REMBLAIS				
	Compris toutes sujétions de mise en œuvre, de démolition, d'évacuation ou de réemploi de déblais, de compactage des fonds de fouilles et des plateformes...				
1.1	Installation de chantier	ens	1	100000	100000
1.2	Implantation des ouvrages	ens	1	100000	100000
1.3	Fouilles en puits	m³	6	4000	24000
	SOUS TOTAL I				224000
II	CHAPITRE II : GROS OEUVRE				
2.1	BETONS - BETONS ARMES ET ACIERS				
	Compris toutes sujétions de mise en œuvre, de scellement de pièces diverses, de réservations, de coffrages, de ferrailages et attaches...etc				
2.1.1	Béton de propreté dosé à 150 kg/m3 de ciment classe 45 (5 cm)	m³	0,03	5000	150
2.1.2	Béton armé pour semelle filante dosé à 350 kg/m3 de ciment classe 45	m³	0,6	5000	3000
2.1.3	Profilés aciers galvanisé IPE 200 pour versants (poutres)	ml	36	15000	540000
	SOUS TOTAL II				543150
III	CHAPITRE III : CHARPENTE-COUVERTURE				
3.1	Panne en IPN de 120mm	ml	64	5000	320000
3.2	Couverture en tôle bac alu de 60/100	m²	112	5000	560000
	SOUS TOTAL III				880000
IV	Autres installations du bassin de rétention (RP₁)				
4.1	Echelle de lecture sur le bassin de rétention	ens	1	80000	80000
4.2	Protection des parois par des gabions	m²	1876,68	2000	3753360
	SOUS TOTAL IV				3833360
	TOTAL GENERAL (F CFA)				5480510

Annexe 03 : Gestion des ouvrages d'approvisionnements en eau brute

❖ **Scenario 00** : Gestion de mobilisation en eau de surface du site de l'annuelle 2018**Tableau 11 : Gestion annuelle du barrage de retenue d'eau (WSD)**

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Vol initial (m ³)	37359	31402	29286	39918	115645	201201	234568	223114	193607	164594	136481	109205
Cote initiale (m)	311.61	311.45	311.40	311.67	313.27	314.47	314.84	314.72	314.38	314.01	313.60	313.17
Pluies (mm)	30.0	62.0	183.0	337.4	373.5	224.6	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol précipité(m ³)	40261	37400	46988	72556	151775	222927	238292	223114	193607	164594	136481	109205
Cote pluies (m)	311.68	311.61	311.85	312.44	313.83	314.71	314.88	314.72	314.38	314.01	313.60	313.17
Evaporation(mm)	182	165	130	101	82	86	118	138	150	163	175	208
Infiltration (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cote restant(m)	311.45	311.40	311.67	312.30	313.70	314.58	314.72	314.53	314.18	313.80	313.39	312.91
Vol restant (m ³)	31402	29286	39917	66088	142934	211307	223114	206861	177848	149735	122459	95106
Valeur du Ke	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports (m ³)	0.00	0.00	0.00	49556.29	58266.62	23261.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prise WSD (m ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13254	13254	13254	13254	13254
Vol final(m ³)	31402	29286	39917	115644	201200	234568	223114	193607	164594	136481	109205	81852
Cote finale (m)	311.45	311.40	311.67	313.27	314.47	314.84	314.72	314.38	314.01	313.60	313.17	312.64
Déversements(m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 12 : Gestion annuelle du bassin de rétention (RP₁)

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Vol initial (m ³)	0	0	9	149	2061	2061	2061	11	0	0	0	0
Cote initiale (m)	296.20	296.20	296.33	296.58	297.80	297.80	297.80	296.34	296.20	296.20	296.20	296.20
Pluies (mm)	30.0	62.0	183.0	337.4	373.5	224.6	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol précipité(m ³)	0	116	352	782	2061	2061	2061	11	0	0	0	0
Cote pluies (m)	296.20	296.54	296.75	297.05	297.80	297.80	297.80	296.34	296.20	296.20	296.20	296.20
Evaporation(mm)	182	165	130	101	82	86	118	138	150	163	175	208
Infiltration (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cote restant(m)	296.20	296.33	296.58	296.91	297.67	297.67	297.64	296.16	296.20	296.20	296.20	296.20
Vol restant (m ³)	0	9	149	564	1826	1820	1761	0	0	0	0	0
Valeur du Ke	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports (m ³)	0	0	0	30548	35918	14339	0	0	0	0	0	0
Prise RP1 (m ³)	0	0	0	5551	5623	4827	1750	0	0	0	0	0
Vol final(m ³)	0	9	149	2061	2061	2061	11	0	0	0	0	0
Cote finale (m)	296.20	296.33	296.58	297.80	297.80	297.80	296.34	296.20	296.20	296.20	296.20	296.20
Déversements(m ³)												

❖ **Scenario 01** : Gestion des ouvrages de mobilisation en eau de surface du site en année moyenne**Tableau 13 : Gestion du barrage de retenue d'eau (WSD) : année moyenne**

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Vol initial (m³)	37359	32045	31846	36221	76831	134601	159342	138680	113540	88974	65885	43133
Cote initiale (m)	311.61	311.47	311.47	311.58	312.54	313.58	313.94	313.64	313.24	312.79	312.29	311.75
Pluies (mm)	39.4	83.1	116.5	191.6	255.4	168.4	43.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol précipité(m³)	41174	40085	43119	54756	101541	150890	163573	138680	113540	88974	65885	43133
Cote pluies (m)	311.70	311.68	311.75	312.03	313.03	313.82	314.00	313.64	313.24	312.79	312.29	311.75
Evaporation(mm)	182	165	130	101	82	86	118	138	150	163	175	208
Infiltration (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cote restant(m)	311.47	311.47	311.58	311.89	312.91	313.69	313.83	313.46	313.04	312.59	312.07	311.50
Vol restant (m³)	32045	31846	36221	48687	94751	141901	151934	126794	102228	79139	56387	33150
Valeur du Ke	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports (m³)	0	0	0	28144	39849	17441	0	0	0	0	0	0
Prise WSD (m³)	0	0	0	0	0	0	13254	13254	13254	13254	13254	0
Vol final(m³)	32045	31846	36221	76831	134601	159342	138680	113540	88974	65885	43133	33150
Cote finale (m)	311.47	311.47	311.58	312.54	313.58	313.94	313.64	313.24	312.79	312.29	311.75	311.50
Déversements(m³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 14 : Gestion du bassin de rétention (RP₁)

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Vol initial (m ³)	0	0	18	71	2061	2061	1325	21	0	0	0	0
Cote initiale (m)	296.20	296.20	296.38	296.49	297.80	300.07	297.39	296.39	296.20	296.20	296.20	296.20
Pluies (mm)	39.4	83.1	116.5	191.6	255.4	168.4	43.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol précipité(m ³)	74	156	237	430	2061	2061	1407	21	0	0	0	0
Cote pluies (m)	296.49	296.59	296.66	296.81	297.80	297.80	297.44	296.39	0.00	0.00	0.00	0.00
Evaporation(mm)	182	165	130	101	82	86	118	138	150	163	175	208
Infiltration (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cote restant(m)	296.20	296.38	296.49	296.67	297.67	297.67	297.27	296.20	296.20	296.20	296.20	296.20
Vol restant (m ³)	0	18	71	244	1826	1820	21	0	0	0	0	0
Valeur du Ke	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports (m ³)	0	0	0	17349	24565	10751	0	0	0	0	0	0
Prise RP1 (m ³)	0	0	0	11102	11246	11246	0	0	0	0	0	0
Vol final(m ³)	0	18	71	2061	2061	1325	21	0	0	0	0	0
Cote finale (m)	296.20	296.38	296.49	297.80	300.07	297.39	296.39	296.20	296.20	296.20	296.20	296.20
Déversements(m ³)	0	0	0	4429	13083	0	0	0	0	0	0	0

❖ **Scenario 02** : Gestion des ouvrages de mobilisation en eau de surface du site en quinquennale sèche**Tableau 15 : Gestion du barrage de retenue d'eau (WSD)**

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Vol initial (m ³)	37359	29212	26056	27206	54599	97670	113632	92173	69899	48063	33145	24881
Cote initiale (m)	311.61	311.40	311.31	311.34	312.03	312.96	313.24	312.86	312.38	311.87	311.50	311.28
Pluies (mm)	8.7	49.6	80.1	136.0	192.8	122.5	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol précipité(m ³)	38202	34011	33809	40364	73250	109517	114927	92173	69899	48063	33145	24881
Cote pluies (m)	311.63	311.52	311.52	311.68	312.46	313.17	313.26	312.86	312.38	311.87	311.50	311.28
Evaporation(mm)	182	165	130	101	82	86	118	138	150	163	175	208
Infiltration (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cote restant(m)	311.40	311.31	311.34	311.54	312.33	313.04	313.10	312.67	312.19	311.67	311.28	311.03
Vol restant (m ³)	29212	26056	27206	34620	67592	101952	105427	83153	61317	39645	24881	15914
Valeur du Ke	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports (m ³)	0	0	0	19980	30078	12684	0	0	0	0	0	0
Prise RP1 (m ³)	0	0	0	0	0	1004	13254	13254	13254	6500	0	0
Vol final(m ³)	29212	26056	27206	54599	97670	113632	92173	69899	48063	33145	24881	15914
Cote finale (m)	311.40	311.31	311.34	312.03	312.96	313.24	312.86	312.38	311.87	311.50	311.28	311.03
Déversements(m ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 16 : Gestion du bassin de rétention (RP₁)

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Vol initial (m ³)	0	0	3	29	1198	2061	89	18	0	0	0	0
Cote initiale (m)	296.20	0.00	296.20	296.31	296.41	297.31	297.80	296.51	296.38	296.20	296.20	296.20
Pluies (mm)	8.7	49.6	80.1	136.0	192.8	122.5	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol précipité(m ³)	16	93	154	284	1560	2061	114	18	0	0	0	0
Cote pluies (m)	296.37	296.52	296.59	296.70	297.52	297.80	296.54	296.38	296.20	296.20	296.20	296.20
Evaporation(mm)	182	165	130	101	82	86	118	138	150	163	175	208
Infiltration (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cote restant(m)	296.20	296.31	296.41	296.56	297.40	297.67	296.38	296.20	296.20	296.20	296.20	296.20
Vol restant (m ³)	0	3	29	128	1339	1820	18	0	0	0	0	0
Valeur du Ke	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports (m ³)	0	0	0	12316	18541	7819	0	0	0	0	0	0
Prise RP1 (m ³)	0	0	0	11246	11246	9550	0	0	0	0	0	0
Vol final(m ³)	0	3	29	1198	2061	89	18	0	0	0	0	0
Cote finale (m)	296.20	296.31	296.41	297.31	297.80	296.51	296.38	296.20	296.20	296.20	296.20	296.20
Déversements(m ³)	0	0	0	0	6573	0	0	0	0	0	0	0

❖ **Scenario 03 :** Gestion des ouvrages de mobilisation en eau de surface du site en décennale sèche**Tableau 17 : Gestion du barrage de retenue d'eau (WSD)**

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Vol initial (m³)	37359	28408	23607	22999	42697	75694	83717	62922	41820	30615	22864	15141
Cote initiale (m)	311.61	311.37	311.25	311.23	311.74	312.51	312.69	312.22	311.72	311.43	311.23	311.01
Pluies (mm)	0.0	32.1	61.1	107.0	160.1	98.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol précipité(m³)	37359	31513	29520	33347	59055	88078	86431	65636	44482	33210	25396	17563
Cote pluies (m)	311.61	311.46	311.40	311.51	312.13	312.78	312.74	312.29	311.79	311.50	311.29	311.08
Evaporation(mm)	182	165	130	101	82	86	118	138	150	163	175	208
Infiltration (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cote restant(m)	311.37	311.25	311.23	311.36	312.01	312.65	312.58	312.10	311.59	311.29	311.08	310.82
Vol restant (m³)	28408	23607	22999	27859	53582	81897	78890	57736	36710	25396	17563	10526
Valeur du Ke	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports (m³)	0	0	0	15712	24971	10198	0	0	0	0	0	0
Prise WSD (m³)	0	0	0	874	2008	5664	13254	13254	3500	0	0	0
Vol final(m³)	28408	23607	22999	43571	78553	86431	65636	44482	33210	25396	17563	10526
Cote finale (m)	311.37	311.25	311.23	311.76	312.57	312.74	312.29	311.79	311.50	311.29	311.08	310.82
Déversements(m³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 18 : Gestion du bassin de rétention (RP₁)

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Vol initial (m ³)	0	0	1	16	82	2 061	86	12	0	0	0	0
Cote initiale (m)	296.20	296.20	296.20	296.26	296.37	296.50	297.80	296.51	296.35	296.20	296.20	296.20
Pluies (mm)	0.0	32.1	61.1	107.0	160.1	98.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vol précipité(m ³)	0	60	116	217	382	2061	86	12	0	0	0	0
Cote pluies (m)	296.20	296.47	296.54	296.64	296.78	297.80	296.51	296.35	296.20	296.20	296.20	296.20
Evaporation(mm)	182	165	130	101	82	86	118	138	150	163	175	208
Infiltration (mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Cote restant(m)	296.20	296.26	296.37	296.50	296.65	297.67	296.35	296.20	296.20	296.20	296.20	296.20
Vol restant (m ³)	0	3	29	128	1339	1820	18	0	0	0	0	0
Valeur du Ke	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Apports (m ³)	0	0	0	9685	15393	6287	0	0	0	0	0	0
Prise RP1 (m ³)	0	0	0	9680	11246	7590	0	0	0	0	0	0
Vol final(m ³)	0	1	16	82	2061	86	12	0	0	0	0	0
Cote finale (m)	296.20	296.31	296.41	297.31	297.80	296.51	296.38	296.20	296.20	296.20	296.20	296.20
Déversements(m ³)	0	0	0	0	6573	0	0	0	0	0	0	0

