

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'EAU
ET DE L'ASSAINISSEMENT

SECRETARIAT GENERAL

PROGRAMME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU
ET D'ASSAINISSEMENT

BURKINA FASO



Unité – Progrès - Justice

**ETUDES BATHYMETRIQUES DE QUATRE-VINGT-CINQ
(85) RETENUES D'EAU AU BURKINA FASO AU PROFIT
DU PROGRAMME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET
ASSAINISSEMENT (PAEA)**

**Lot 5 : Boucle du Mouhoun
Sites de : Léry, Pâ, Fara et Vy**

**RAPPORT D'ETUDE
(Version définitive)**



Compagnie Africaine d'Ingénierie - Burkina
06 BP 10489 Ouagadougou 06 Tél : 25 41 24 24
E-Mail: cafis2000@yahoo.fr

Juin 2023

SOMMAIRE

I.	Introduction	6
II.	Mandat du consultant	7
III.	Objectifs de l'étude.....	7
3.1.	Objectif général	7
3.2.	Objectifs spécifiques	7
3.3.	Résultats de l'étude.....	7
IV.	Aperçu de la zone d'étude	8
4.1.	Localisation	8
4.2.	Le relief	8
4.3.	Climat.....	8
4.4.	Hydrographie.....	9
4.5.	Végétation (ressources forestières et halieutiques)	9
4.6.	Accès aux sites	10
V.	Rappel du bilan préliminaire	18
5.1.	Description du site de Pâ.....	18
5.2.	Description du site de Vy.....	20
5.3.	Description du site de Fara.....	21
VI.	HYDROLOGIE	22
6.1.	Climatologie	22
6.2.	Pluviométrie	22
6.3.	L'évaporation et la température	27
6.4.	Caractéristiques physiques des bassins versants	29
VII.	Evaluation des dépôts solides	41
7.1.	Méthode théorique 1 : Exploitation des données sur la capacité initiale et actuelle des retenues.....	41
7.2.	Méthode théorique 2 : Estimation du volume des sédiments par les formules empiriques.....	56
7.3.	Interprétations des résultats et conclusion.....	58
VIII.	Bibliographie	59
IX.	ANNEXES	60
	ANNEXE 1 : DONNEES CLIMATIQUES A LA STATION DE BOROMO	61
	ANNEXE 2 : CALCUL DES PARAMETRES DES BASSINS VERSANTS.....	63
	ANNEXE 3 : CORRESPONDANCES ECHANGEES	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Coordonnées UTM du site de Lery (Complexe Barrage Mouhoun- Vannes de Lery)	10
Tableau 2: Coordonnées UTM du site de Pâ	12
Tableau 3: Coordonnées UTM du site de Vy	14
Tableau 4: Coordonnées UTM du site de Fara	16
Tableau 5: Synthèse des observations sur le site de Pâ	18
Tableau 6: Synthèse des observations sur le site de Vy	20
Tableau 7: Synthèse des observations sur le site de Fara	21
Tableau 8 synthèse des paramètres climatologiques	22
Tableau 9: statistique de base des pluies moyennes annuelles à la station de Boromo	25
Tableau 10 : Synthèse des analyses des séries de pluies annuelles	25
Tableau 11: statistique de base des pluies journalières maximales	27
Tableau 12: synthèse des analyses des séries de pluies maximales	27
Tableau 13: valeurs moyennes de l'évaporation d'un plan d'eau libre à partir de l'évaporation bac A	28
Tableau 14 : Coordonnées des exutoires des bassins versants en UTM (30 P)	29
Tableau 15 : Pente du bassin-versant	33
Tableau 16 : classe de relief du bassin versant	33
Tableau 17 : Classification qualitative adoptée par Rodier (l'indice placé entre parenthèses correspond à l'ancienne nomenclature utilisée par Rodier et Auvray, 1965)	34
Tableau 18: calcul de l'indice de compacité du bassin-versant	35
Tableau 19: calcul de la longueur du rectangle équivalent	35
Tableau 20 : résultats du calcul de l'indice global de pente et l'indice global de pente corrigé	37
Tableau 21 : résultats du calcul de la dénivelée spécifique (DS)	37
Tableau 22: type de relief en fonction de la dénivelée spécifique	37
Tableau 23: Fiches synthétique des caractéristiques physiques du bassin versant de Fara	38
Tableau 24: Fiches synthétique des caractéristiques physiques du bassin versant de Pâ	39
Tableau 25: Fiches synthétique des caractéristiques physiques du bassin versant de Vy	40
Tableau 26: Capacités et années de réalisation des barrages	41
Tableau 27: Données hauteur-surface-volume du barrage de Fara	43
Tableau 28: Données hauteur-surface-volume du barrage de Vy	47
Tableau 29: Données hauteur-surface-volume du barrage de Pâ	51
Tableau 30 : Evaluation des dépôts solides (méthode1)	55
Tableau 31 : <i>Estimation des apports solides annuels sur le barrage de Fara</i>	56
Tableau 32 : <i>Estimation des apports solides annuels sur le barrage de Vy</i>	57
Tableau 33 : <i>Estimation des apports solides annuels sur le barrage de Pâ</i>	57
Tableau 34 : Evaluation des dépôts solides actuels (méthode2)	57
Tableau 35 : Comparaison des résultats des deux (02) méthodes	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation du site de la Lery	11
Figure 2 : Carte de localisation du site de la Pâ.....	13
Figure 3 : Carte de localisation du site de Vy.....	15
Figure 4 : Carte de localisation du site de Fara	17
Figure 5 : Carte des zones climatiques.....	23
Figure 6 : Carte pluviométrie moyenne annuelle.....	23
Figure 7 : Variabilité de la pluviométrie moyenne annuelle à la station de Boromo.....	24
Figure 8 : Ajustement de la pluviométrie annuelle à la loi normale	25
Figure 9 : Ajustement de a pluie maximale journalière.....	26
Figure 10 : Température moyenne maximale et minimale à la station de Boromo	28
Figure 11: Bassin versant du barrage de Fara.....	30
Figure 12: Bassin versant du barrage de Pâ.....	31
Figure 13: Bassin versant du barrage de Vy.....	32
Figure 14 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Fara.....	36
Figure 15 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Pâ.....	36
Figure 16 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Vy.....	37
Figure 17 : Représentation 3D de la cuvette du barrage de Fara	46
Figure 18 : Représentation 3D de la cuvette du barrage de Vy.....	50
Figure 19 : Représentation 3D de la cuvette du barrage de Pâ	54

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Etendue de la retenue du barrage, CAFI-B avril 2021	18
Photo 2 : Vue sur le talus amont de la digue du barrage colonisé par les arbustes, CAFI-B avril 2021.....	18
Photo 3 : Seuil déversant couplé avec un dalot de 8x4x1,5, CAFI-B avril 2021	19
Photo 4 : Etendue de la cuvette du barrage, CAFI-B avril 2021.....	20
Photo 5 : Echelles limnimétriques installées sur le talus amont de la digue du barrage, CAFI-B avril 2021	20
Photo 6 : Vue sur le déversoir du barrage, CAFI-B avril 2021.....	20
Photo 7 : Vue sur la crête de la digue et le talus amont colonisé par les arbustes, CAFI-B avril 2021.....	20
Photo 8 : Cuvette du barrage asséchée, CAFI-B avril 2021.....	21
Photo 9 : Occupation anarchique des berges, CAFI-B avril 2021	21
Photo 10 : Perré amont dégradé, CAFI-B avril 2021.....	21
Photo 11 : Dégradation sur le béton du déversoir, CAFI-B avril 2021	21

SIGLES ET ABREVIATIONS

APD	: Avant-Projet Détaillé
BNDT	Base Nationale de Donnée Topographique
CAFI-B	: Compagnie Africaine d'Ingénierie-Burkina
DAO	Dossier d'Appel d'Offres
DEIE	: Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau
DGRE	: Direction Générale des Ressources en Eau
DREA	: Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GNSS	: Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites
GPS	: Global Positionning System
IGB	: Institut Géographique du Burkina
MEEA	: Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
NGB	: Nivellement Général du Burkina
ONBI	: Office National des Barrages et de l'Irrigation
PAEA	: Programme d'Approvisionnement en Eau et d'Assainissement
PEN	: Plan d'Eau Normal
PHE	: Plus Hautes Eaux
RD	Route Départementale
RN	: Route Nationale
RTK	: Real Time Kinematic
SOGETHA	: Société Générale Des Techniques Hydro-Agricoles
TDR	: Termes de Références
TN	: Terrain Naturel
UGP	: Unité de Gestion du Projet
UTM	: Universal Transverse Mercator

I. Introduction

Contexte et justification de l'étude

Le Burkina Faso est un pays enclavé, une pluviométrie mal répartie soumise aux effets de changements climatiques. Plus de la moitié du pays repose sur du socle cristallin dont les aquifères donnent en général des débits faibles. Les ressources en eau souterraines sont donc difficilement exploitables. Le comblement des retenues d'eau constitue un problème majeur. Cette sédimentation conduit directement à la réduction de la capacité de stockage. En effet, les connaissances sur la problématique de connaissance de comblement des plans d'eau sont insuffisantes. Cela ne permet pas d'envisager des solutions durables. Aussi, les conditions hydrogéologiques n'étant pas très favorables et la topographie plane font qu'une partie importante des eaux de pluies n'est pas disponible. C'est en sens que la gestion durable de ses ressources en eau constitue une préoccupation majeure. En effet, le pays compte plus d'un millier de retenues dont les volumes stockés sont mal connus du fait des phénomènes d'envasement et d'ensablement. Une meilleure connaissance des ressources en eau permettrait au Burkina Faso d'en faire une gestion efficiente.

Suite à ces constats, le Gouvernement burkinabè avec l'appui de la Banque Mondiale, a mis en place le Programme d'Adduction en Eau et d'Assainissement (PAEA). Ce programme permettra, à travers sa composante DR.3 qui vise l'« amélioration de l'accès à des informations fiables sur les ressources en eau », de mener des études dans le but de renforcer les connaissances sur les ressources en eau de manière générale et en particulier sur la capacité de stockage des retenues d'eau.

Le bureau d'études CAFI-B a donc été recruté pour les études bathymétriques du lot 5 qui concernent quatre (04) retenues d'eau dans la région de la Boucle du Mouhoun.

Le présent document constitue la version définitive du rapport d'étude pour l'évaluation des dépôts solides dans les retenues.

II. Mandat du consultant

Il est attendu du consultant une investigation afin d'obtenir pour chaque retenue d'eau :

- Le levé topographique de la cuvette sous forme de plan ;
- La capacité de la cuvette ;
- Le volume des sédiments ;
- Les courbes Hauteurs-Surfaces et Hauteurs-Volumes ;

Le consultant devra garder le secret sur les informations et la documentation fournies par le maître d'ouvrage. Aussi le consultant devra produire les livrables qui seront soumis à une validation par le comité de suivi conformément aux TDRs. Les livrables attendus sont :

- Un rapport de démarrage de l'étude ;
- Un rapport provisoire de l'étude ;
- Un rapport final ;
- L'ensemble des données acquises, des résultats et des outils de traitement et de visualisation sur clé USB.

En outre, un transfert de compétence sera assuré aux agents de l'administration tout le long des études.

III. Objectifs de l'étude

3.1. Objectif général

L'objectif général de l'étude pour le lot 5, est de permettre au Burkina Faso d'avoir l'état réel des volumes des retenues (Pâ, Vy, Fara et Lery) à une date donnée en vue d'une exploitation plus efficiente.

3.2. Objectifs spécifiques

Il s'agira spécifiquement de :

- Faire un levé topographique du fond des cuvettes sous eaux ;
- Faire une représentation graphique avec précision de tous les levés topographiques ;
- Déterminer la capacité de stockage actuelle de ces retenues ;
- Evaluer les volumes dépôts de sédiments ;
- Etablir les courbes Hauteurs-Volumes et Hauteurs-Surfaces de chaque retenue

3.3. Résultats de l'étude

Il est attendu de ces études bathymétriques les résultats suivants :

- Une carte bathymétrique présentant le relief de la cuvette sous-eau est disponible ;
- La capacité de stockage réelle de chaque retenue d'eau est connue ;
- Le volume de dépôts de sédiments est évalué ;
- Les courbes Hauteurs-Volumes et Hauteurs-Surfaces de chaque retenue d'eau sont établies.

IV. Aperçu de la zone d'étude

Les sites du lot 5, objet de la présente étude sont localisés dans la région de la boucle du Mouhoun.

4.1. Localisation

Située au Nord-Ouest du Burkina Faso, la région de la Boucle du Mouhoun couvre une superficie de 34 145 km² soit 12,59 % du territoire national. La population de la région est estimée en 2006 à 1 442 749 habitants (10,3% de la population du Burkina Faso), soit une densité de 42 habitants au km². La région est composée de six (6) provinces qui sont : les Balé, les Banwa, la Kossi, le Mouhoun, le Nayala et le Sourou. Le chef-lieu de la région est Dédougou.

La région de la Boucle du Mouhoun est limitée :

- au nord par la région du Nord et la République du Mali ;
- au sud par la région du Sud-ouest et celle des Hauts Bassins ;
- à l'est par la région du Centre Ouest ;
- à l'ouest par la République du Mali.

4.2. Le relief

La région de la Boucle du Mouhoun est peu accidentée. Le relief est assez monotone même si par endroit, cette monotonie est interrompue par des affleurements de grès parfois fortement escarpés (sud du Mouhoun, nord-est des Balé et le centre des Banwa). Ces collines constituent ce qu'on appelle les hauts ensembles et leur altitude varie généralement entre 340 et 458 m. Le pic de Konkoliko (dans les Balé) est le plus haut sommet de la région et culmine à 621 m d'altitude.

Le haut glacis est constitué par les plateaux d'altitude moyenne de 300 à 340m, qui jouxtent les hauts ensembles.

Quant aux plaines, elles couvrent plus de 70% de la superficie régionale et correspondent à la partie inférieure du glacis. Elles s'étendent :

- au Nord sur les deux rives du fleuve Sourou ;
- au Centre sur toute la haute vallée du fleuve Mouhoun, à cheval sur les provinces de la Kossi, des Banwa et du Mouhoun.

L'altitude dans ces plaines est généralement inférieure à 300 m et atteint son plus bas niveau dans les zones d'inondation des cours d'eau.

4.3. Climat

La région de la Boucle du Mouhoun est située dans la zone soudano-sahélienne avec cependant trois (3) variantes qui sont :

- au Nord, le secteur sub-sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 550 à 750 mm. Il représente de 15,53% de la superficie de la Région et couvre la province du Sourou et une partie de la province de la Kossi.
- au Centre, le secteur nord-soudanien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 700 à 900 mm. Il s'étend sur la partie sud de la province de la Kossi, sur toute la province du Nayala et les parties septentrionales des provinces du Mouhoun, et des Banwa. il représente une superficie estimée à 50,67% de celle de la région.

- au Sud, le secteur sud-soudanien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1 000 à 1 100 mm qui couvre entièrement la province des Balé et la partie Sud des Banwa et du Mouhoun. Il représente près de 33,80% de la superficie régionale.

La région connaît deux (2) saisons :

- une saison sèche dure de 7 à 9 mois dans le Nord de la région et 4 à 6 mois dans le Sud. Elle est marquée par l'harmattan, vent sec et frais jusqu'en fin janvier avec des températures douces autour de 27°C, sec et chaud de février à avril avec de fortes températures dépassant 40°C et
- une saison pluvieuse s'étale sur 3 à 5 mois. Elle est annoncée par la mousson, vent frais et humide avec des températures oscillant entre 24 et 28°C.

Du point de vue pluviométrie, la Région est comprise entre les isohyètes 550/600mm au Nord et 1000 mm dans la partie Sud.

4.4. Hydrographie

La Région de la Boucle du Mouhoun est assez bien drainée avec un réseau hydrographique assez dense. Une grande partie de la Région fait partie du bassin versant du Mouhoun dont le principal tributaire actif est le fleuve Mouhoun qui est un cours d'eau permanent traversant la région sur 280 km. La Région est couverte essentiellement par trois sous-bassins versants rattachés au Bassin du Mouhoun :

- le Mouhoun supérieur qui couvre la Province des Banwa et la moitié Sud de la province de la Kossi ;
- le Mouhoun inférieur qui couvre les Provinces du Mouhoun, des Balé et du Nayala ;
- le Sourou qui couvre la Province du Sourou et la moitié Nord de la Province de la Kossi.

Autour du fleuve Mouhoun s'organisent des cours d'eau secondaires permanents comme le « Tuy » ou grand Balé (avec son affluent permanent), le « Son » ou petit Balé ainsi que ses affluents temporaires (le Labozéré, le Labozaba, le Bonboré, le Maboni, le Hinn, le Vohon, le Banou Yao, le Kidiaho...), le Sourou, le Nayala. En plus du fleuve Mouhoun et de ses affluents, il existe d'autres cours d'eau permanents comme le Nawaka, le Tibouzou et non permanents comme la Kossi, le Koin, le Zouma.

4.5. Végétation (ressources forestières et halieutiques)

La région de la Boucle du Mouhoun enregistre des nuances du nord au sud sur le plan des formations végétales. En effet :

- au Nord dans le secteur Sub-sahélien, la végétation évolue de la steppe arbustive au Nord à la steppe arborée et à la savane au sud.
- au Centre, dans le secteur Nord soudanien dominant les savanes arbustives à arborées, les formations mixtes des vallées associées aux cultures.
- au Sud, dans le secteur sud-soudanien s'étend la savane arborée à boisée avec des forêts galeries le long des cours d'eau.

Ces formations végétales servent de gîte à une faune qui est assez riche et variée. Elle est constituée en grande partie de petits gibiers (lièvres, antilopes de petite taille, rats, écureuils, tourterelles...).

Le gros gibier rencontré est essentiellement constitué de quelques troupeaux d'hippopotames, des buffles, des éléphants (espèce intégralement protégée), des phacochères, des hyènes des lions et des panthères.

Les aléas climatiques et les actions anthropiques diverses ont dégradé voire détruit l'habitat de la faune, l'exposant à l'assaut des braconniers et conduisant à la diminution et à la disparition de certaines espèces.

Les plans d'eau de la région constituent l'habitat des ressources halieutiques. Il n'existe pas de données précises sur le potentiel en ressources halieutiques de la région. Cependant, un rapprochement du lac Sourou avec d'autres cours d'eau (Niger, Sénégal) a permis d'estimer son potentiel entre 300 et 1000 tonnes selon l'importance de la crue.

En matière de forêts, la région comptait en 2007, 13 forêts classées avec une superficie totale de 212 743 ha. On note aussi la présence des forêts villageoises et des bois sacrés qui sont protégés par les populations locales.

4.6. Accès aux sites

❖ Site de Lery

Le village de Lery relève de la commune de Gassan dans la province du Nayala, région de la Boucle du Mouhoun. L'accès au village depuis Dédougou, chef-lieu de région se fait par :

- la N10 (Dédougou-Gassan) sur environ 57 km : voie bitumée
- Emprunter la R16 (Gassa-Lery) sur 23 km : Piste de mauvaise praticabilité,
- Continuer sur 7km à l'Ouest du centre le Lery pour arriver au site

Le site se trouve donc à 7 km de Lery (village du site) à 30 km de Gassan (chef-lieu de la commune), à 87 km de Dédougou (chef-lieu de la province).

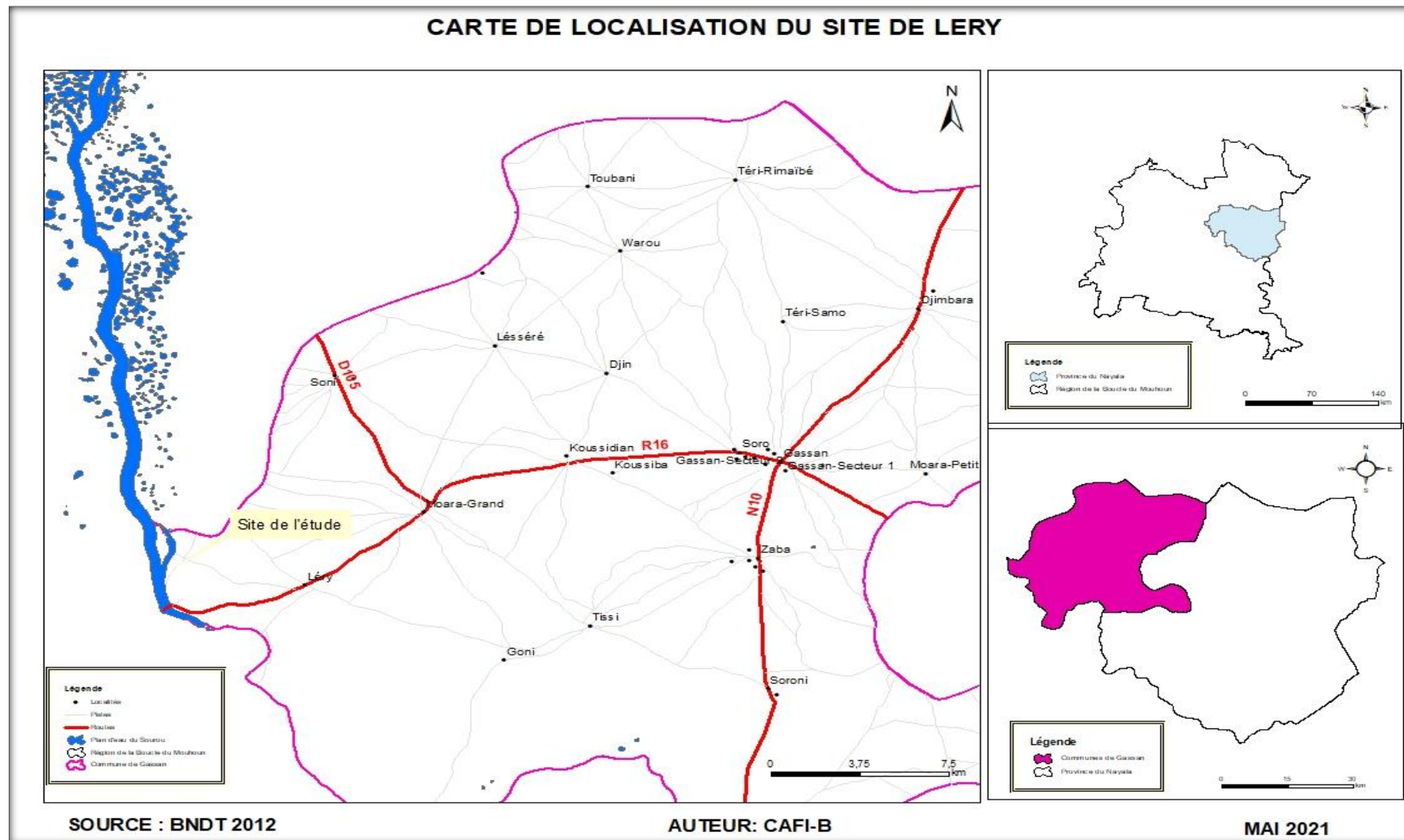
Au cours de la reconnaissance guidée du site, les coordonnées géographiques ont été relevées au GPS et sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 1: Coordonnées UTM du site de Lery (Complexe Barrage Mouhoun- Vannes de Lery)

Zone	X	Y	Point de référence
30 P	452164	1409114	Vannes de Lery

NB : Le site est inaccessible pour des raisons sécuritaires

Figure 1 : Carte de localisation du site de la Lery



❖ **Site de Pâ**

Le village de Pâ relève de la commune de Pâ dans la province des Balés, région de la Boucle du Mouhoun.

L'accès au village depuis Dédougou, chef-lieu de région se fait par :

- la N14 (Dédougou-Koudougou) sur environ 29 km : voie bitumée
- Emprunter à droite la R29 sur 81 km jusqu'à Boromo : Piste d'assez bonne praticabilité,
- Ensuite tourner à droite sur la N1 (Boromo-Bobo) sur 44 km pour arriver à Pâ, voie bitumée
- Tourner à gauche à l'intersection avec la N12 axe (Pâ-Gaoua) sur 6,10 km. Le barrage routier de Pâ se situe à droite au bord N12.

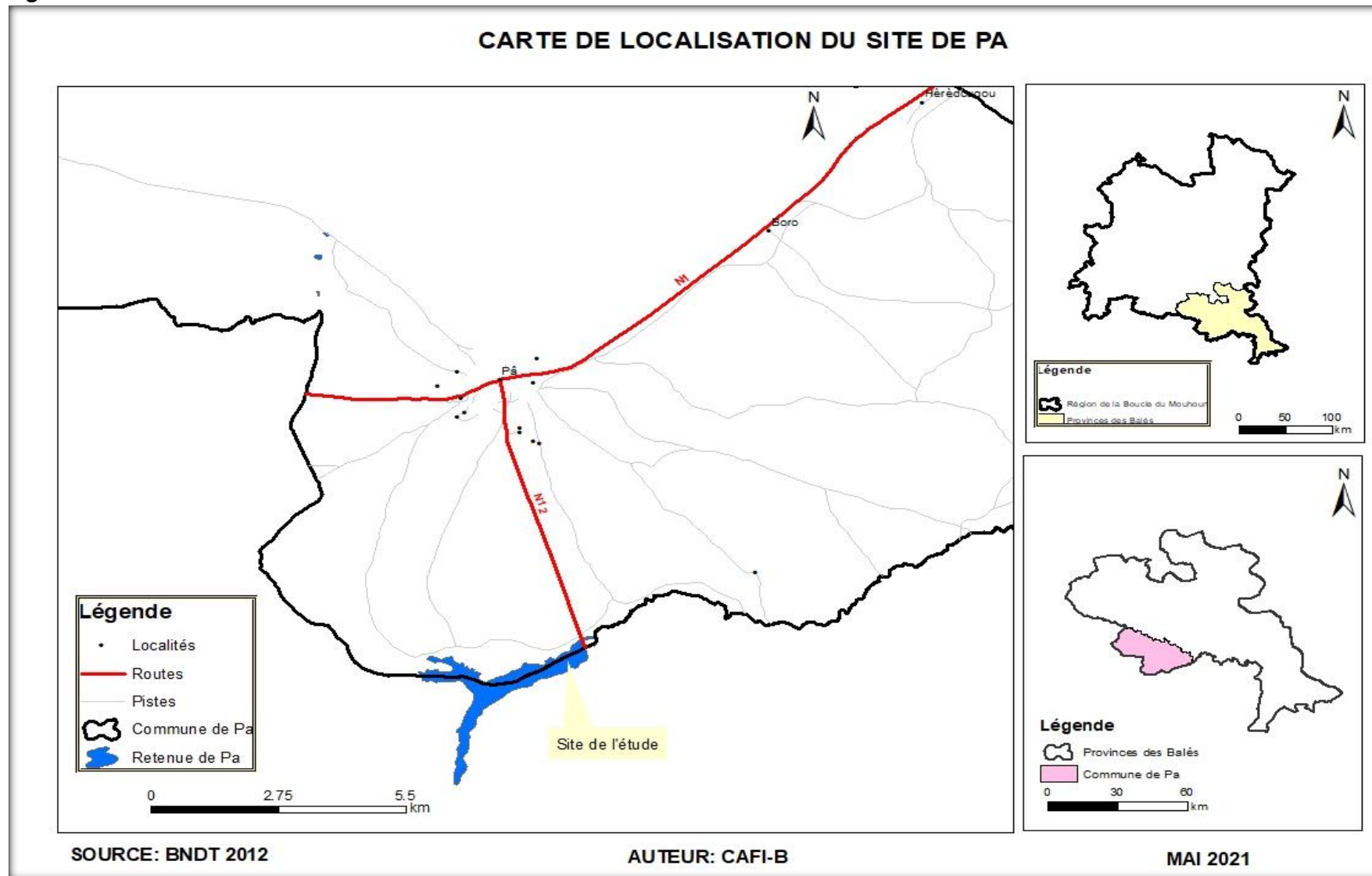
Le site se trouve donc à 6,10 km m de Pâ (chef-lieu de la commune), à 50,1 km de Boromo (chef-lieu de la province) et à 160,1 km de Dédougou (chef-lieu de région).

Les coordonnées géographiques ont été relevées au GPS et sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 2: Coordonnées UTM du site de **Pâ**

Zone	X	Y	Point de référence
30 P	473460	1270497	Déversoir du barrage routier

Figure 2 : Carte de localisation du site de la Pâ



❖ **Site de Vy**

Le village de Vy relève de la commune de Bagassi dans la province des Balés, région de la Boucle du Mouhoun.

L'accès au village depuis Dédougou, chef-lieu de région se fait par :

- la N14 (Dédougou-Koudougou) sur environ 29 km : voie bitumée
- Emprunter à droite la R29 sur 81 km jusqu'à Boromo : Piste d'assez bonne praticabilité,
- Ensuite tourner à droite sur la N1 (Boromo-Bobo) sur 20 km pour arriver à Ouahabou, voie bitumée
- Tourner à droite à l'intersection avec la route (Ouahabou-Vy) sur 9 km, piste de mauvaise praticabilité,
Le barrage de Vy se situe à environ 1km à l'ouest du centre de Vy.

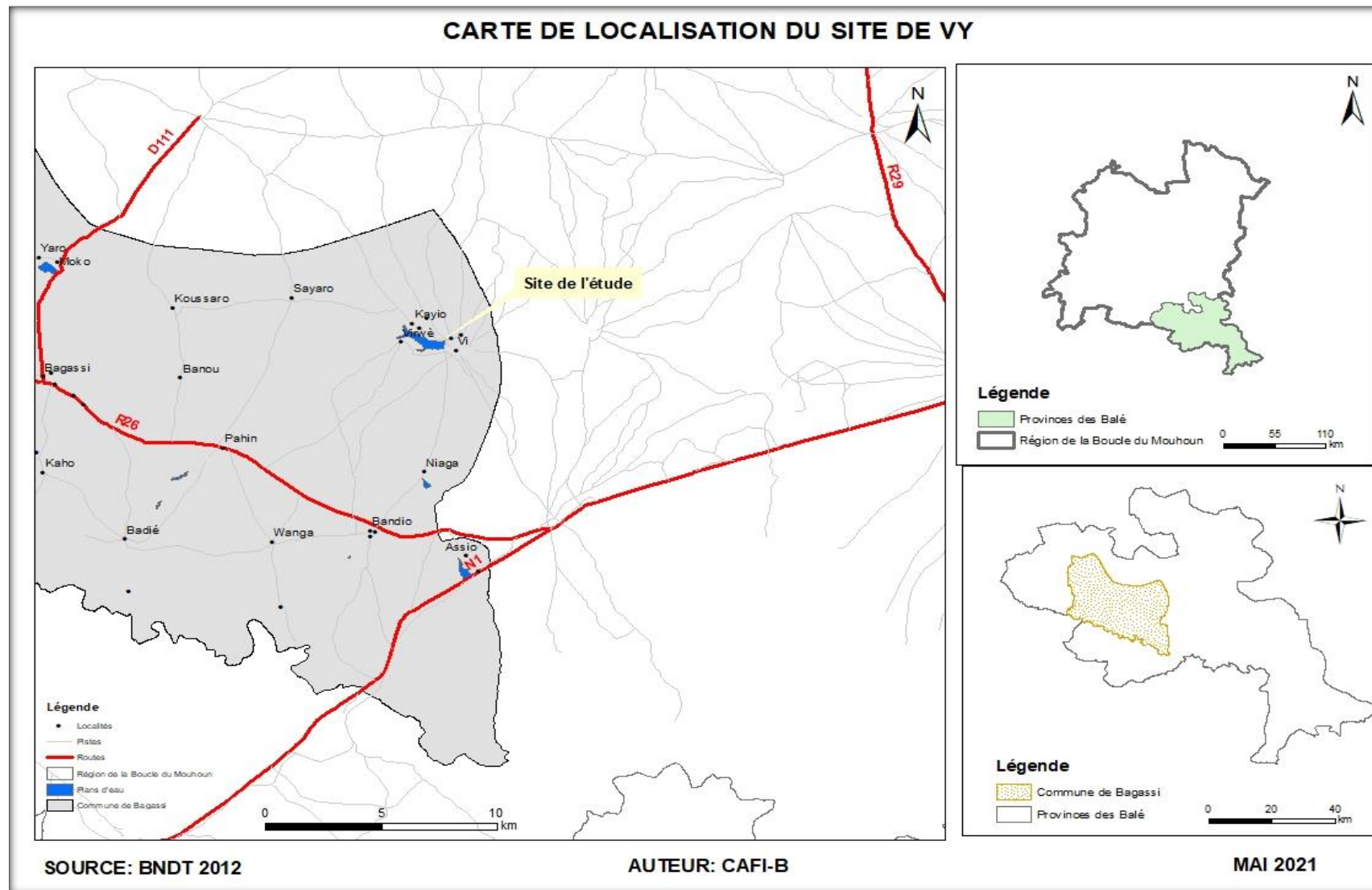
Le site se trouve donc à 1 km de Vy (village du site) et à 30 km de Boromo (chef-lieu de la province), et à 140 km de Dédougou (chef-lieu de région).

Les coordonnées géographiques du bas-fond relevées au GPS se présentent comme suit :

Tableau 3: Coordonnées UTM du site de Vy

Zone	X	Y	Point de référence
30 P	484722	1300340	Déversoir du barrage

Figure 3 : Carte de localisation du site de Vy



❖ **Site de Fara**

Le site relève de la commune de Fara dans la province des Balés, région de la Boucle du Mouhoun.

L'accès au site depuis Dédougou, chef-lieu de région se fait par :

- la N14 (Dédougou-Koudougou) sur environ 29 km : voie bitumée
- Emprunter à droite la R29 sur 81 km jusqu'à Boromo : Piste d'assez bonne praticabilité,
- Ensuite tourner à droite sur la N1 (Boromo-Ouaga) sur 18 km pour arriver à Poura Carrefour, voie bitumée
- Tourner à droite à l'intersection avec la R11 (Poura Carrefour-Fara) sur 29 km pour atteindre Fara, piste de mauvaise praticabilité,
- Le barrage de Fara se situe à environ 1,1 km à l'est du centre de Fara.

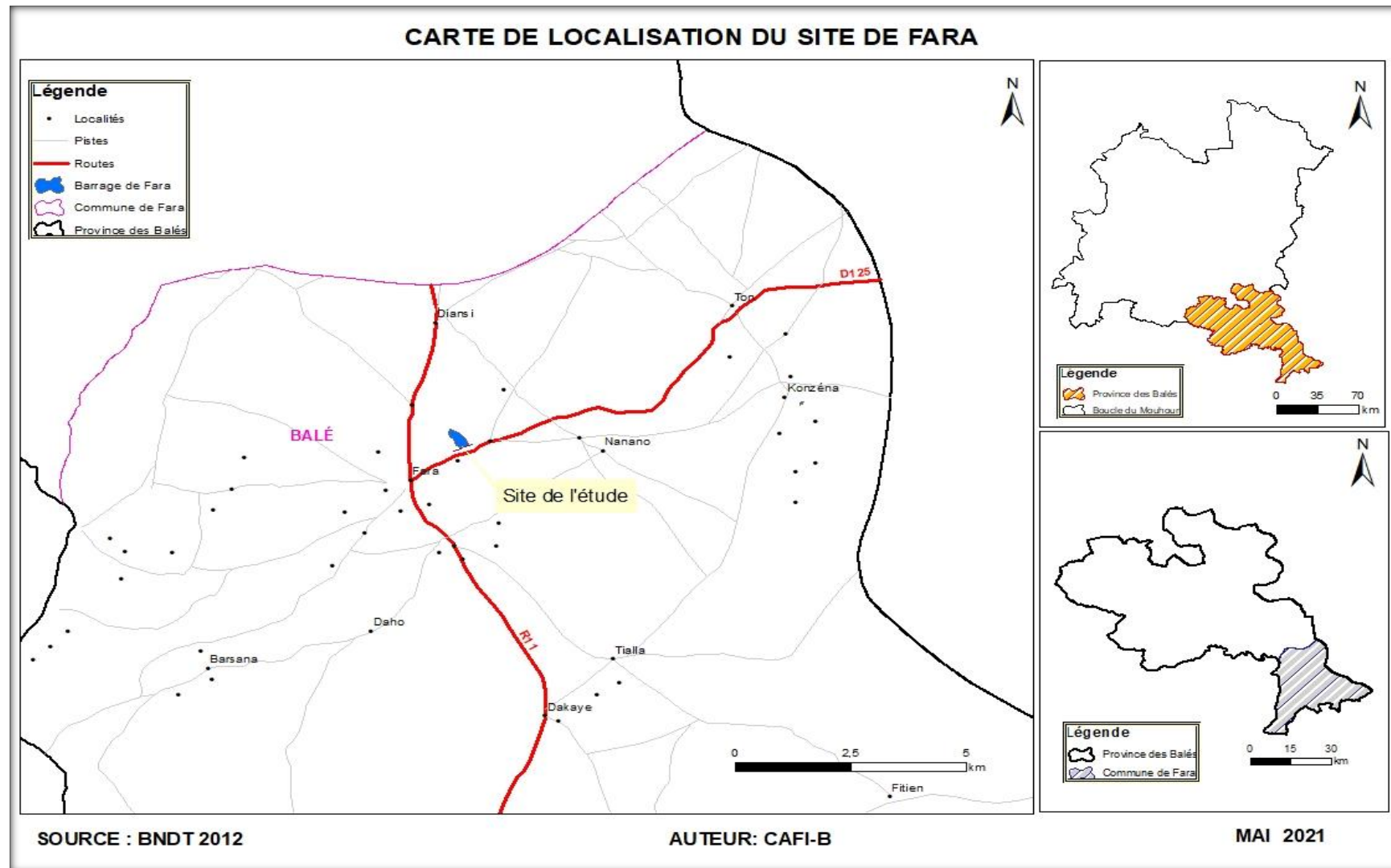
Le site se trouve donc à 1,5 km de Fara (chef-lieu de la commune du site) et à 44,5 km de Boromo (chef-lieu de la province), et à 158,1 km de Dédougou (chef-lieu de région).

Les coordonnées géographiques relevées au GPS sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 4: Coordonnées UTM du site de **Fara**

Zone	X	Y	Point de référence
30 P	527042	1275205	Déversoir du barrage

Figure 4 : Carte de localisation du site de Fara



V. Rappel du bilan préliminaire

5.1. Description du site de Pâ

Des observations préliminaires ont été établies dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5: Synthèse des observations sur le site de **Pâ**

Ouvrages	Observations
Barrages	➤ Le barrage est de type routier. Il a été constaté la présence d'arbustes sur le talus amont de la digue. ➤ Il y a une fuite d'eau au niveau du bassin de dissipation ➤ La retenue du barrage est pérenne ➤ Les travaux sont terminés en 2004 (source : ministère des infrastructures)
Echelles limnimétriques	Il n'existe pas d'échelles limnimétriques sur le site.

Suite à la reconnaissance de site, des prises de vues ont été réalisées pour appuyer la description des ouvrages du site de Pâ.



Photo 1 : Etendue de la retenue du barrage, CAFI-B avril 2021



Photo 2 : Vue sur le talus amont de la digue du barrage colonisé par les arbustes, CAFI-B avril 2021



Photo 3 : Seuil déversant couplé avec un dalot de 8x4x1,5, CAFI-B avril 2021

5.2. Description du site de Vy

Des observations préliminaires ont été établies dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6: Synthèse des observations sur le site de Vy

Ouvrages	Observations
Barrages	➤ La digue du barrage est dans un état de dégradation avancé avec la présence d'arbustes sur les talus amont et aval. ➤ Des exploitants ont installé anarchiquement des motopompes sur la retenue du barrage ➤ La retenue du barrage est pérenne
Echelles limnimétriques	Des d'échelles limnimétriques sont installées sur le site. Cependant elles sont dégradées.

Suite à la reconnaissance de site, des prises de vues ont été réalisé pour appuyer la description des ouvrages du site de Vy.

 Photo 4 : Etendue de la cuvette du barrage, CAFI-B avril 2021	 Photo 5 : Echelles limnimétriques installées sur le talus amont de la digue du barrage, CAFI-B avril 2021
 Photo 6 : Vue sur le déversoir du barrage, CAFI-B avril 2021	 Photo 7 : Vue sur la crête de la digue et le talus amont colonisé par les arbustes, CAFI-B avril 2021

5.3. Description du site de Fara

Des observations préliminaires ont été établies dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7: Synthèse des observations sur le site de Fara

Ouvrages	Observations
Barrages	➤ La retenue du barrage est à sec généralement au cours du mois d'Avril ➤ Le déversoir et la digue sont dégradés ➤ Des exploitants ont installé anarchiquement des motopompes sur la retenue du barrage ➤ La retenue du barrage n'est pas pérenne
Echelles limnimétriques	Il n'y a pas d'échelles limnimétriques installées sur ce site.

Suite à la reconnaissance de site, des prises de vues ont été réalisées pour appuyer la description des ouvrages du site de Fara.



Photo 8 : Cuvette du barrage asséchée, CAFI-B avril 2021



Photo 9 : Occupation anarchique des berges, CAFI-B avril 2021



Photo 10 : Perré amont dégradé, CAFI-B avril 2021



Photo 11 : Dégradation sur le béton du déversoir, CAFI-B avril 2021

VI. HYDROLOGIE

6.1. Climatologie

Station d'études des pluies

Après le repérage des sites prévus pour la réalisation des barrages avec les coordonnées GPS relevées, il apparaît que la station pluviométrique de Boromo est la plus proche dont les données sont complètes et fiables et est donc retenue pour les études.

L'étude des pluies (moyenne annuelle et maximale journalière) se fait donc à partir des données recueillies à la station de Boromo, station la plus proche du site et qui dispose d'une série continue de données avec un nombre élevé (36) d'échantillons de données pluviométriques (de 1980 à 2016).

Station d'études de l'évaporation et des températures

L'étude de l'évaporation et des températures se fait à partir des données recueillies à la station synoptique de Boromo, station la plus proche du site et qui dispose d'une série continue de données avec un nombre élevé d'échantillons d'évaporation et de température.

Synthèse des données

Les zones de projet sont décrites par des paramètres climatologiques tels que la pluviométrie, l'évaporation, la température, etc. dans le cadre de la présente étude, les données collectées des paramètres climatologiques décrivant les zones de projet, sont résumées dans le tableau ci-après pour la station de Boromo, la plus proche et disposant d'une série importante de données.

Tableau 8 synthèse des paramètres climatologiques

Station		Boromo	
Données	Taille de l'échantillon (années)	Début	Fin
Pluie mensuelle (mm)	36	1980	2016
Pluie maximale journalière (mm)	36	1980	2016
Evaporation BAC A	27	1991	2018
Evapotranspiration (ETP)	27	1991	2018
Température maximum	27	1991	2018
Température minimum	27	1991	2018

6.2. Pluviométrie

Répartition annuelle de la pluviométrie

Le climat du Burkina se caractérise de façon générale par l'alternance d'une saison humide et d'une saison sèche. La saison humide débute de façon progressive entre mai et juin, mais sa fin intervient de façon brutale entre la fin du mois de septembre et la mi-octobre. La pluviométrie est caractérisée par de fortes variabilités interannuelles et spatio-temporelles. Elle présente depuis une quarantaine d'années, une tendance générale à la baisse.

Du Nord au Sud, on distingue globalement trois (03) grandes zones climatiques comme suit et représentées à la figure 2.

- Zone sahélienne au nord : moins de 600 mm de pluviométrie par an et amplitudes thermiques élevées (15 à 45 degrés).
- Zone soudano-sahélienne entre 11° 3' et 13° 5' de latitude Nord. C'est une zone intermédiaire pour les températures et les précipitations.
- Zone soudano-guinéenne au sud du pays : plus de 900 mm de pluie par an et des températures moyennes relativement basses.

De façon générale, la pluviométrie au Burkina est répartie comme indiqué à la figure 3 ci-dessous. Elle varie d'à peine 300 mm dans le Sahel à plus de 1200 dans l'extrême sud-ouest du pays.

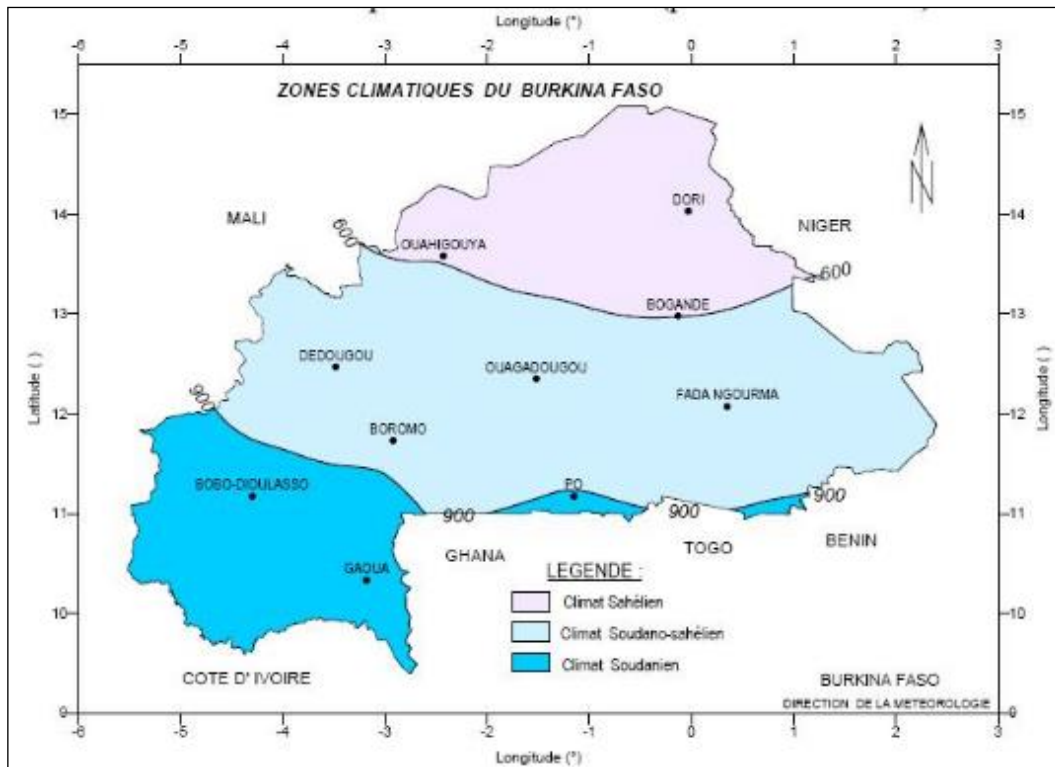


Figure 5 : Carte des zones climatiques

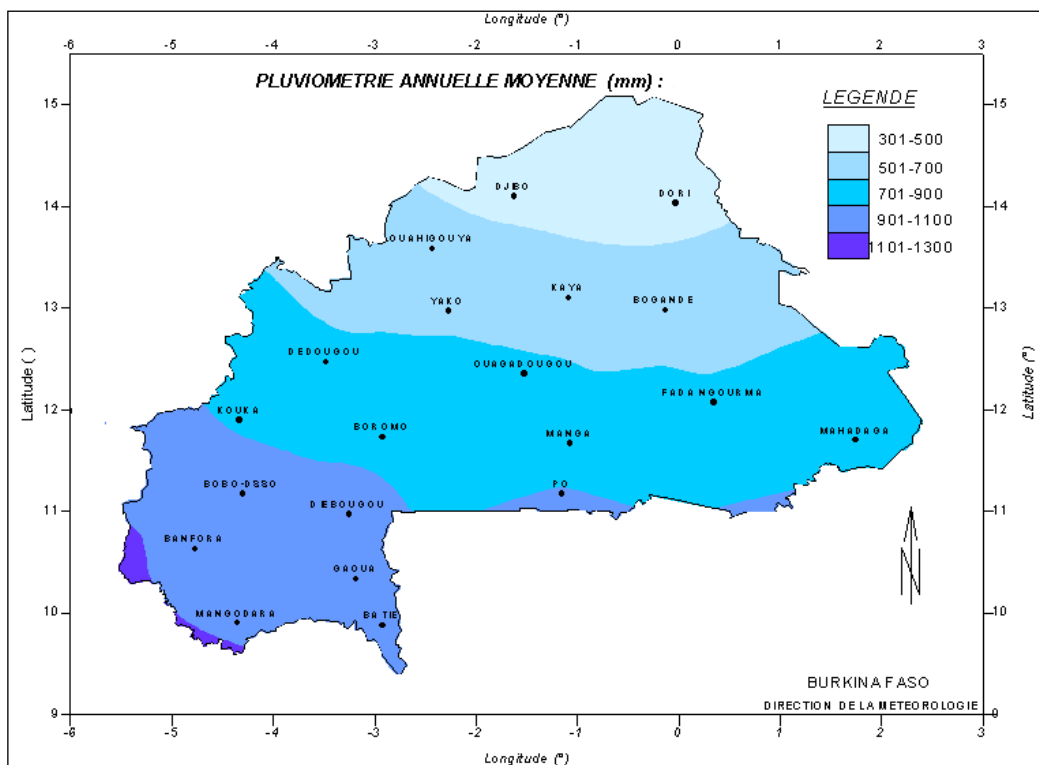


Figure 6 : Carte pluviométrie moyenne annuelle

La zone d'intervention de la présente étude, a un climat de type soudano-sahélien avec un peu plus de 850 mm de pluie moyenne (caractérisé par des variations pluviométriques considérables) avec deux saisons très contrastées :

- la saison des pluies de 6 mois entre mai et octobre (plus de 90% de la pluie annuelle)
- la saison sèche de 6 mois entre novembre et avril durant laquelle souffle l'harmattan, un vent chaud et sec, originaire du Sahara avec un peu moins de 10% de la pluie annuelle.

Le régime interannuel de la pluviométrie observée à la station de Boromo se caractérise par une grande variabilité entre années (cf. graphique 2) où la pluviométrie enregistrée a oscillé entre à peine 583 mm et un peu plus de 1135 mm justifiant ainsi la nécessité de recourir à des retenues d'eau afin de sécuriser la production agricole et animale dans la zone.

Toute fois au regard de l'évolution de la tendance des plus, il ressort une évolution en hausse de la pluviométrie moyenne enregistrée des années 1970 à nos jours.

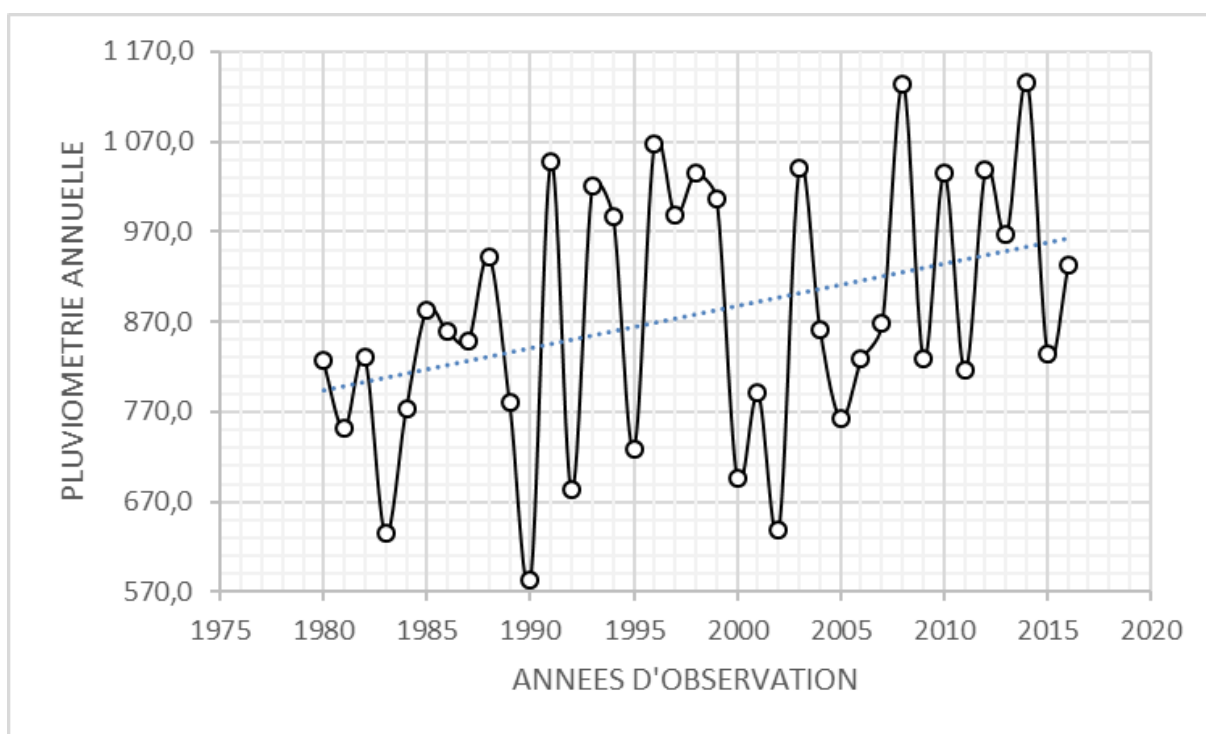


Figure 7 : Variabilité de la pluviométrie moyenne annuelle à la station de Boromo

Ajustement

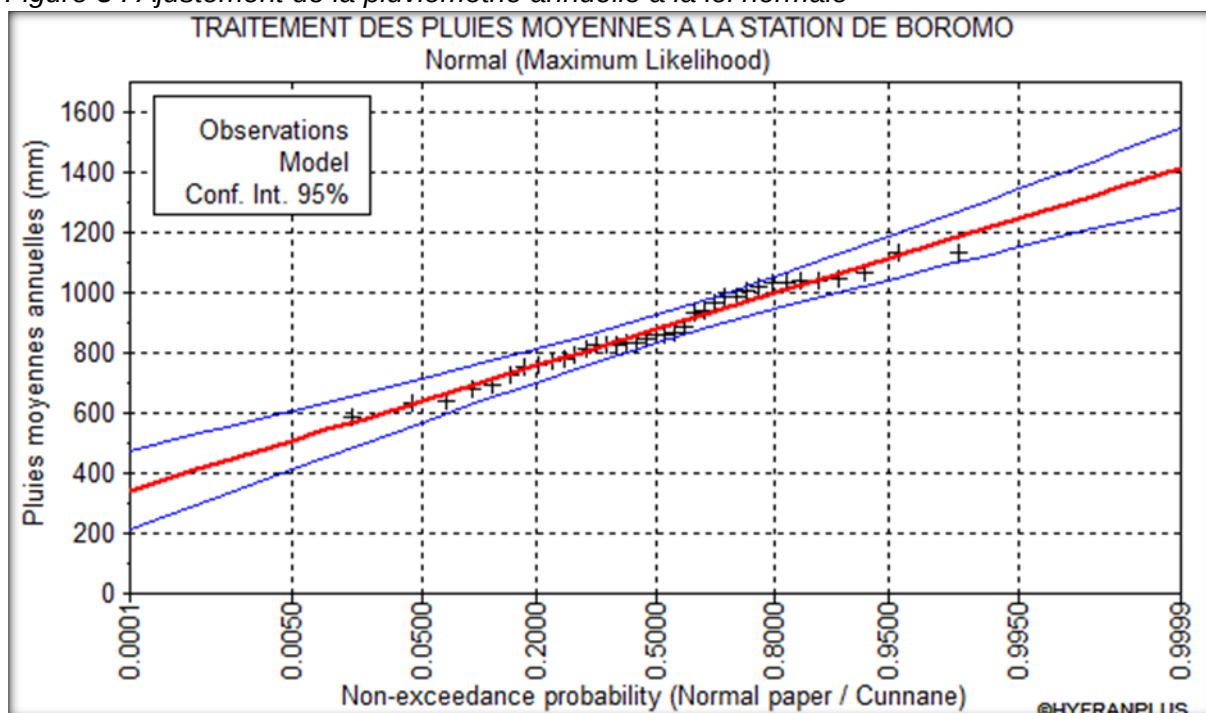
Pluviométrie annuelle

L'analyse des pluies a été faite par le logiciel HYFRAN à partir des données pluviométriques moyennes annuelles relevées à la station de Manga.

L'ajustement des pluies annuelles moyennes a été fait par la loi de GAUSS, sur un échantillon de 36 valeurs de 1980 à 2016.

Les résultats sont représentés ci-dessous :

Figure 8 : Ajustement de la pluviométrie annuelle à la loi normale



Faire l'exception de points singuliers hors de l'intervalle de confiance à 95% ; on peut conclure de l'adéquation de la loi à l'analyse de ces données moyennes.

L'ajustement ainsi réalisé, permet de déterminer les valeurs de la pluviométrie moyenne annuelle pour différentes périodes de retour données dans le tableau ci-après.

Tableau 9: statistique de base des pluies moyennes annuelles à la station de Boromo

Statistiques de base	Caractéristique de l'échantillon
Nombre d'observations	37
Minimum	584
Maximum	1140
Moyenne	878
Ecart-type	144
Médiane	859
Coefficient de variation (Cv)	0.164
Coefficient d'asymétrie (Cs)	-0.0696
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.05

Tableau 10 : Synthèse des analyses des séries de pluies annuelles

Période de retour	Probabilité au non dépassement	Valeur théorique	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
				inf	sup
10000.0	0.9999	1410	67.3	1280	1550
2000.0	0.9995	1350	60.6	1230	1470
1000.0	0.9990	1320	57.5	1210	1440
200.0	0.9950	1250	49.7	1150	1350
100.0	0.9900	1210	46.0	1120	1300
50.0	0.9800	1170	42.1	1090	1260
20.0	0.9500	1110	36.6	1040	1190

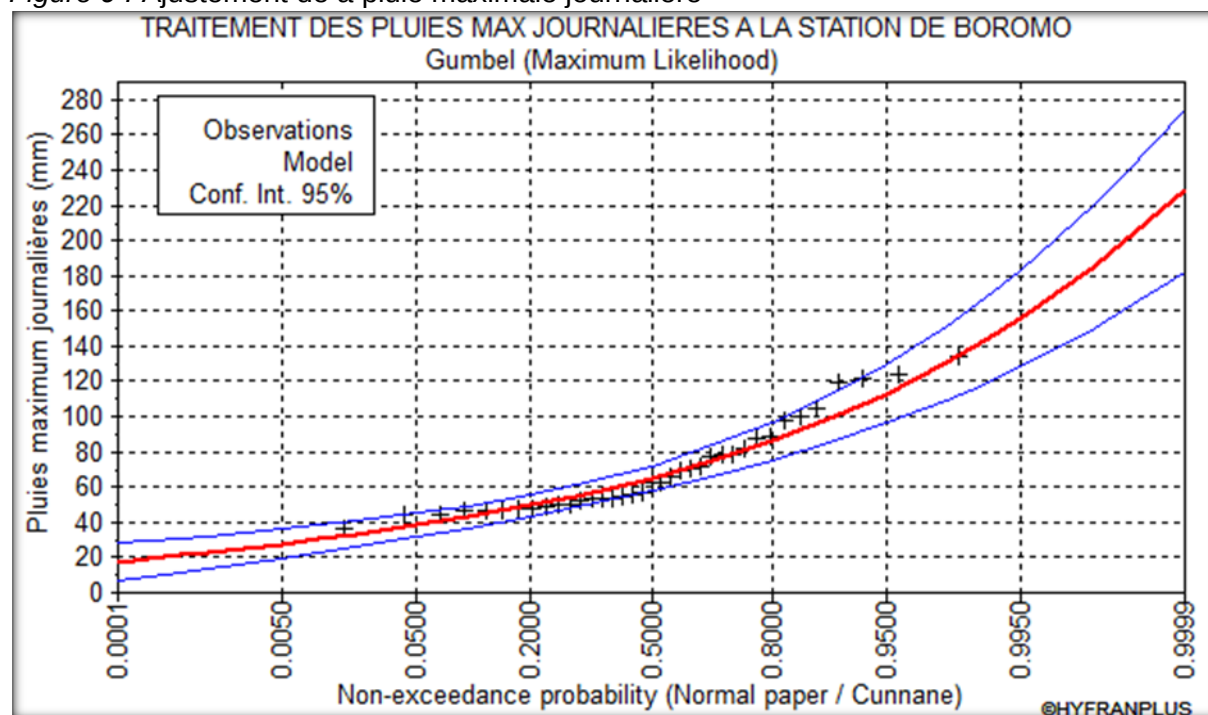
10.0	0.9000	1060	32.1	1000	1130
5.0	0.8000	999	27.6	945	1050
3.0	0.6667	940	24.7	892	989
2.0	0.5000	878	23.6	832	925
3.0	0.3000	803	25.3	753	852
5.0	0.2000	757	27.6	703	811
10.0	0.1000	694	32.1	631	757
20.0	0.0500	641	36.6	570	713
50.0	0.0200	583	42.1	500	665
100.0	0.0100	543	46.0	453	634
200.0	0.0050	508	49.7	410	605
1000.0	0.0010	434	57.5	321	546
2000.0	0.0005	405	60.6	286	524
10000.0	0.0001	343	67.3	211	475

Pluviométrie maximale journalière

L'analyse des pluies a été faite par le logiciel HYFRAN à partir des données pluviométriques maximales journalières relevées à la station de Boromo

Nous utilisons la loi de Gumbel pour ajuster les données de la pluviométrie maximale journalière. Les résultats sont donnés ci-dessous :

Figure 9 : Ajustement de a pluie maximale journalière



Faire l'exception de points singuliers hors de l'intervalle de confiance à 95%, on peut donc conclure de l'adéquation de la loi à l'analyse de ces données extrêmes.

L'ajustement ainsi réalisé, permet de déterminer les valeurs de la pluviométrie maximale journalière pour différentes périodes de retour données dans le tableau ci-après.

Tableau 11: statistique de base des pluies journalières maximales

Statistiques de base	Caractéristique de l'échantillon
Nombre d'observations	37
Minimum	36.0
Maximum	134
Moyenne	70.0
Ecart-type	25.9
Médiane	63.0
Coefficient de variation (Cv)	0.370
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.01
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.75

Tableau 12: synthèse des analyses des séries de pluies maximales

Période de retour	Probabilité au non dépassement	Valeurs théoriques	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
				inf	sup
10000.0	0.9999	228	23.4	182	274
2000.0	0.9995	198	19.5	160	237
1000.0	0.9990	186	17.9	151	221
200.0	0.9950	156	14.1	128	184
100.0	0.9900	143	12.4	119	168
50.0	0.9800	130	10.8	109	152
20.0	0.9500	113	8.67	96.1	130
10.0	0.9000	99.9	7.07	86.0	114
5.0	0.8000	86.1	5.49	75.3	96.8
3.0	0.6667	75.1	4.36	66.5	83.6
2.0	0.5000	65.2	3.54	58.2	72.1
3.0	0.3000	55.0	3.07	49.0	61.0
5.0	0.2000	49.7	3.04	43.7	55.6
10.0	0.1000	43.1	3.21	36.8	49.3
20.0	0.0500	38.2	3.47	31.4	45.0
50.0	0.0200	33.3	3.83	25.8	40.8
100.0	0.0100	30.3	4.08	22.3	38.3
200.0	0.0050	27.7	4.31	19.2	36.2
1000.0	0.0010	22.8	4.79	13.4	32.2
2000.0	0.0005	21.1	4.97	11.3	30.8
10000.0	0.0001	17.5	5.35	7.03	28.0

6.3. L'évaporation et la température

L'évaporation

L'étude de l'évaporation se fait à partir des relevés de la station de Boromo sur un échantillon de 28 valeurs, de 1991 à 2018.

Le passage de l'évaporation du Bac A à celui d'un plan d'eau libre se fait par la formule de conversion proposée par Bernard POUYAUD à l'issue de ses travaux sur le lac Bam et la mare d'Oursi :

$$Elac \text{ (mm/j)} = 1.664 \times EbacA \text{ (mm/j)}^{0.602}$$

(Source : Technique des petits barrages en Afrique Sahélienne et Equatoriale - Jean Maurice DURAND, Paul ROYET, Patrice MERIAUX, EIER-CEMAGREF, page 30).

Le tableau suivant présente les valeurs moyennes de l'évaporation au BAC A et celles de l'évaporation d'un plan d'eau libre (PE) selon les périodes de l'année à la station de Ouagadougou.

Tableau 13: valeurs moyennes de l'évaporation d'un plan d'eau libre à partir de l'évaporation bac A

Mois	Ev. Bac A (mm)	Nbre de jours	Ev. Bac A (mm/j)	Ev.Lac (mm/j)	Ev.Lac (mm)
Jan.	273,27	31	8,82	6,17	191,23
Fév.	287,42	28	10,27	6,76	189,30
Mars	335,49	31	10,82	6,98	216,36
Avril	289,47	30	9,65	6,51	195,41
Mai	259,63	31	8,38	5,98	185,42
Juin	199,06	30	6,64	5,20	155,97
Juill.	156,36	31	5,04	4,41	136,64
Août	132,00	31	4,26	3,98	123,39
Sept.	136,86	30	4,56	4,15	124,48
Oct.	180,07	31	5,81	4,80	148,76
Nov.	222,25	30	7,41	5,56	166,66
Déc.	254,65	31	8,21	5,91	183,27
Total/an	2726,53	365	89,86	66,41	2016,88

Source : Direction Nationale de la Météorologie (Données E V. BAC) et CAFI-B pour les calculs de EV. BAC et EV. LAC

Les Températures

La saison très chaude dure 2,5 mois, du 28 février au 13 mai, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 37 °C. Le mois le plus chaud de l'année à Boromo est avril, avec une température moyenne maximale de 39 °C et minimale de 27 °C.

La saison fraîche dure 2,4 mois, du 8 juillet au 20 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 32 °C. Le mois le plus froid de l'année à Boromo est janvier, avec une température moyenne minimale de 18 °C et maximale de 33 °C.

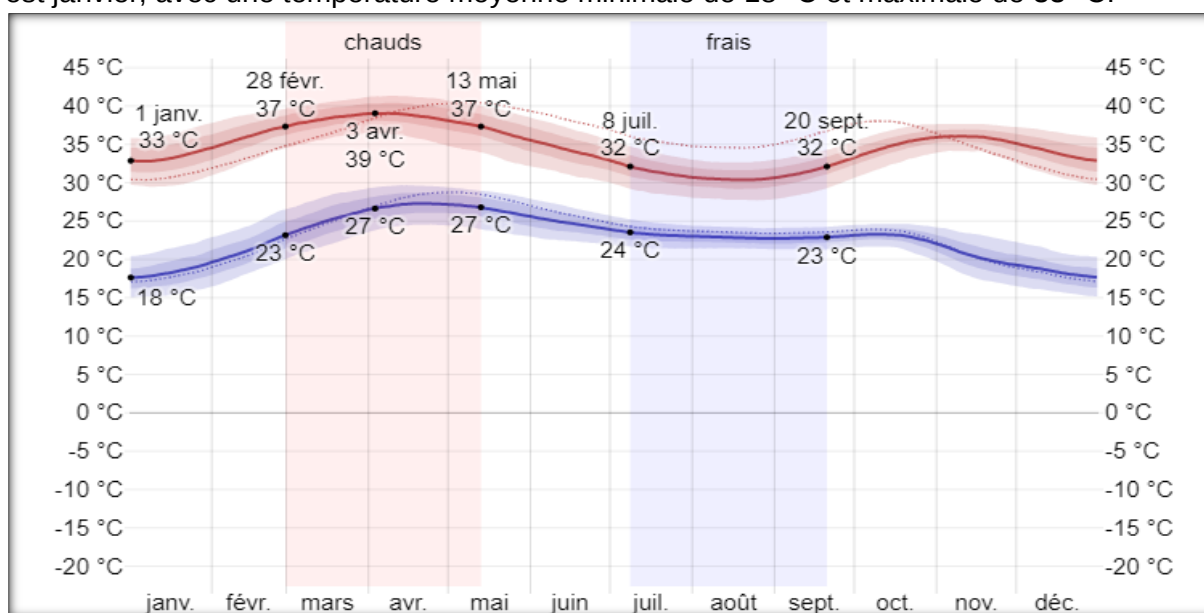


Figure 10 : Température moyenne maximale et minimale à la station de Boromo

La température moyenne quotidienne maximale (ligne rouge) et minimale (ligne bleue), avec bandes du 25e au 75e percentile et du 10e au 90e percentile. Les fines lignes pointillées sont les températures moyennes perçues correspondantes.

6.4. Caractéristiques physiques des bassins versants

Les digues des différents barrages constituent les exutoires des bassins versants étudiés. Les coordonnées sont les suivantes.

Tableau 14 : Coordonnées des exutoires des bassins versants en UTM (30 P)

Sites	X	Y
Fara	527042,00	1275205,00
Pâ	473460,00	1270497,00
Vy	484722,00	1300340,00

Ces coordonnées nous permettent grâce aux outils SIG (Google earth, Global Mapper V20 et Arc Gis 10.3) de localiser et tracer les bassins versants des barrages présentés par les figures ci-dessous :

Figure 11: Bassin versant du barrage de Fara

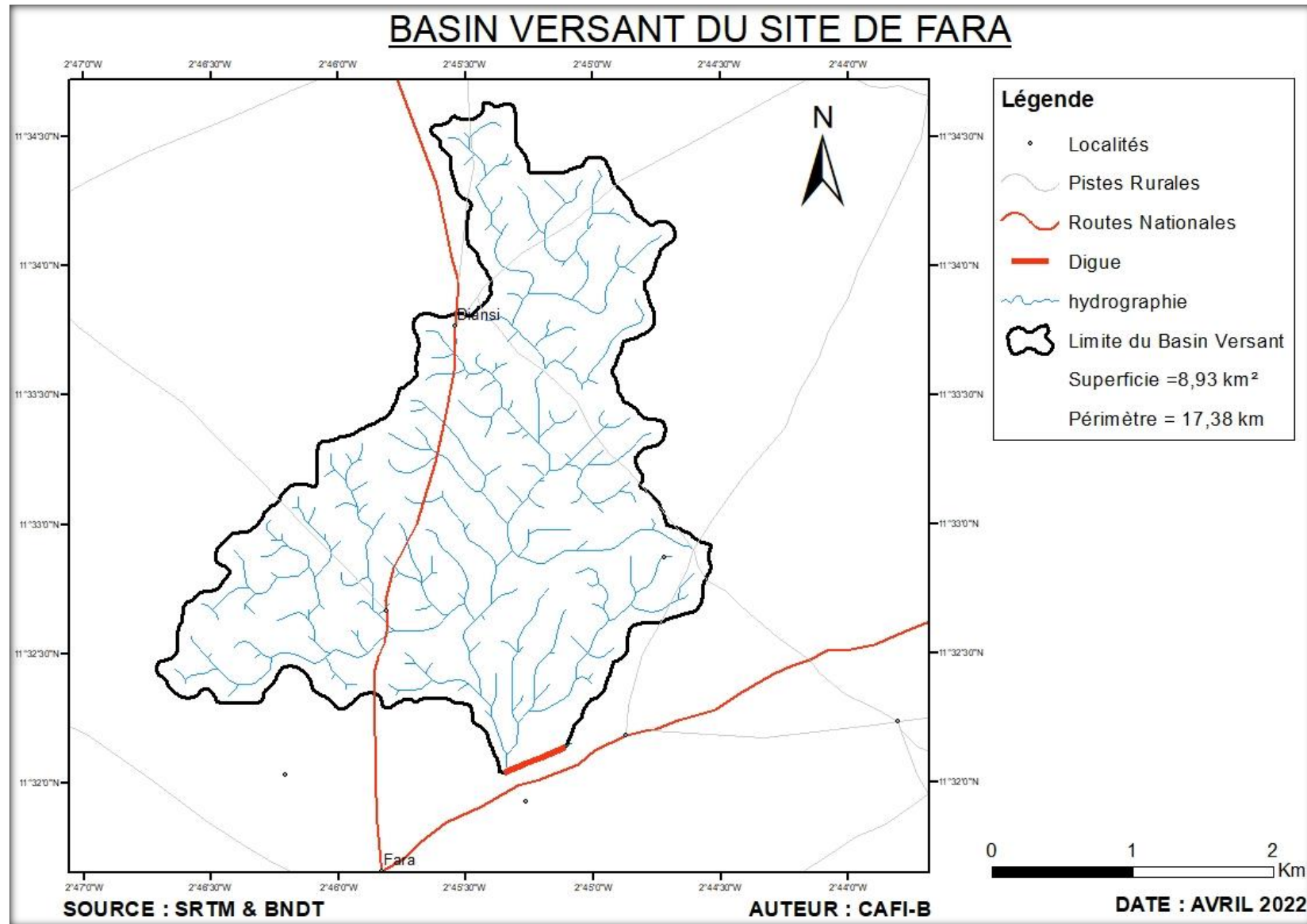


Figure 12: Bassin versant du barrage de Pâ

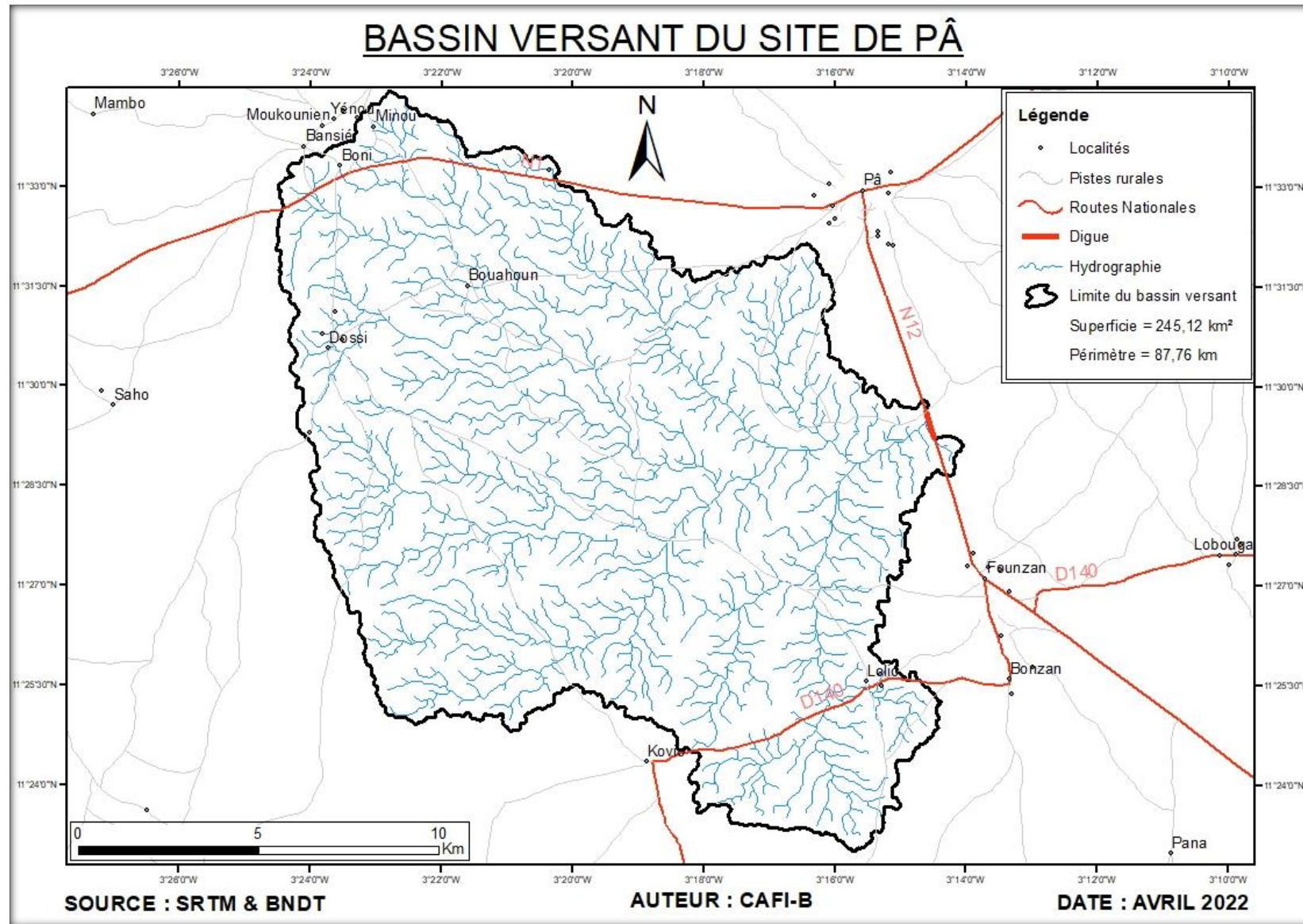
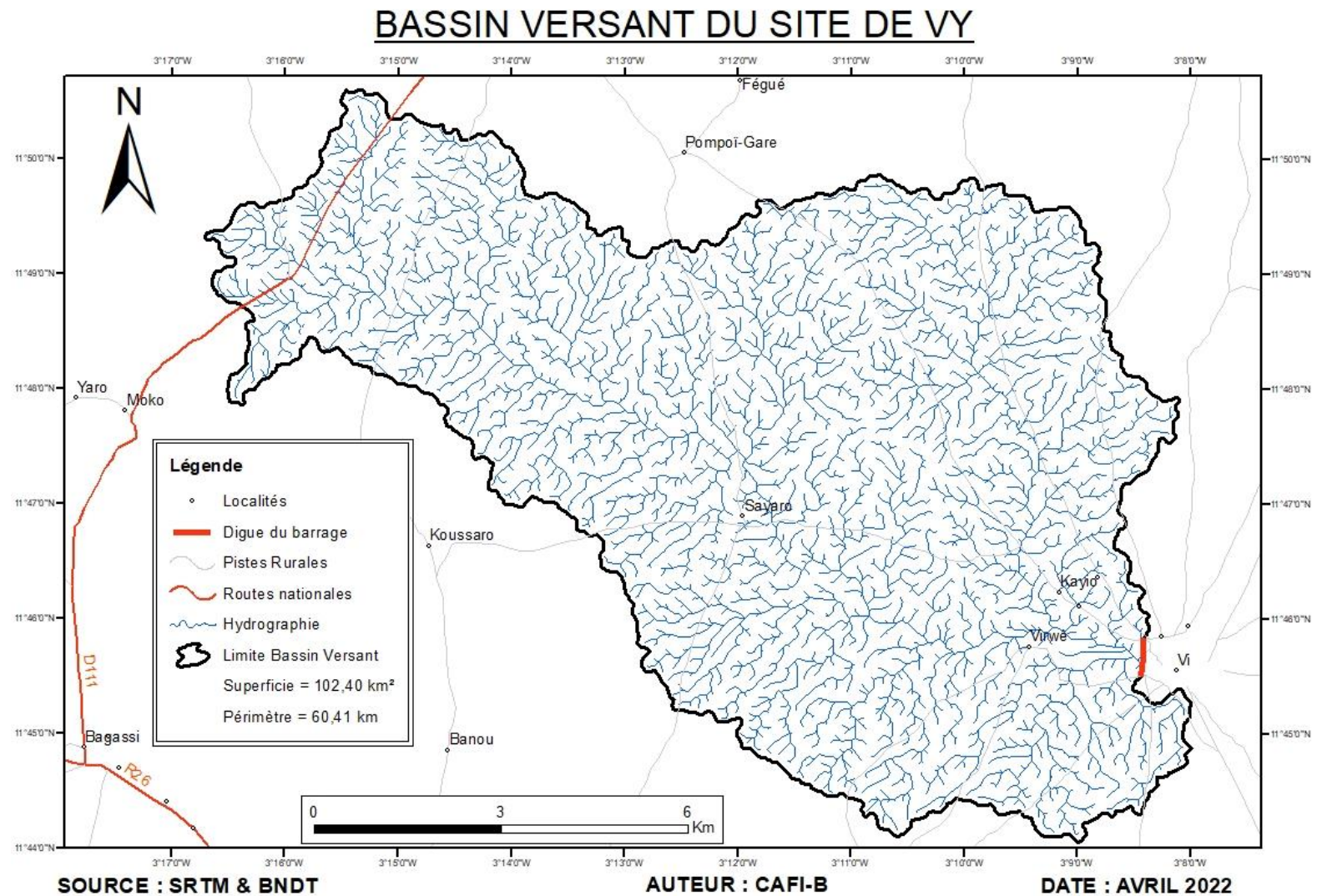


Figure 13: Bassin versant du barrage de Vy



a) La superficie, le périmètre

La délimitation des superficies des bassins versants s'est effectuée de la manière suivante :

- Les coordonnées obtenues sur le terrain (des sites) au GPS et confirmé par les levées topographiques, ont permis le téléchargement des modèles numériques de terrain (MNT ou DEM) développé par la NASA.
- Ces images satellitaires sont ensuite traitées par le logiciel **ArcGis 10.3.1**, à partir de sa boîte à outil Arctoolbox.
- les données sont ensuite traitées pour générer les écoulements du bassin versant,
- l'exutoire du bassin versant permet ensuite grâce au shapefile de générer les caractéristiques du bassin versant (superficie périmètres, pentes, etc...)

Cette méthode a été confirmée par le traitement numérique des informations géographiques disponibles à l'aide du logiciel **Global Mapper v20** à partir des mêmes données MNT ou de l'IGB.

On trouve :

Sites	Superficie (S) en km ²	Périmètre (P) en km
Fara	8,93	17,38
Pâ	245,12	87,76
Vy	102,40	60,41

b) Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique, comme on peut les voir sur les figures 13, 14 et 15, présentent un aspect dendritique pour les trois sites.

c) La pente longitudinale des bassin-versant

La superficie influe de manière notable sur les débits de crues en augmentant ou en diminuant les vitesses de ruissellement suivant que la pente est forte ou faible.

La détermination exacte de la pente est assez délicate en raison des variations à travers tout le bassin versant.

La pente longitudinale du bassin-versant est calculée par la formule simplifiée de GRESILLON :

$$I = 0,026/S^{0,5}$$

I étant la pente longitudinale et S la superficie du bassin versant en km²

Par application numérique, on trouve les résultats suivants :

Tableau 15 : Pente du bassin-versant

Sites	S (km ²)	I (m/km)
Fara	8,93	8,70252
Pâ	245,12	1,66067
Vy	102,40	2,56935

Les expériences de l'ORSTOM faites par RODIER et AUVRAY en 1965 et reprises par RODIER en 1996 ont permis de définir les indices de pentes des bassins-versants et de déterminer leur classification. Le tableau ci-dessous résume cette classification :

Tableau 16 : classe de relief du bassin versant

- | | |
|----|--|
| R1 | correspond à des bassins de pentes extrêmement faibles inférieures à 2 m/km (2 ‰). |
| R2 | correspond à des bassins de pentes faibles comprises entre 2 m/km et 5 m/km (2 ‰ et 5 ‰).
Ce sont des bassins de plaine. |
| R3 | correspond à des bassins de pentes modérées comprises entre 5 et 10 m/km (5 ‰ et 1 ‰ (10‰)). Ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulation de terrain. |

R4	correspond à des bassins de pentes assez fortes : pentes longitudinales comprises entre 1% et 2 %, pentes transversales supérieures à 2 %. Ce sont des zones d'ondulation de terrain.
R5	correspond à des bassins de pentes fortes : pentes longitudinales comprises entre 2 et 5 %, pentes transversales entre 8 et 20 %. Ce sont des régions de collines.
R6	correspond à des bassins de pentes très fortes : pentes longitudinales supérieures à 5 %, pentes transversales supérieures à 20 %. Ce sont des régions de montagnes

Source : dossier N°12, *Le point sur La maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et micro barrages en Afrique de l'Ouest. Document pratique 2 - Méthode ORSTOM* (p. 354 et 355).

Dans le cas des bassins versants ci-dessus, la pente est égale à 1,66 ‰ pour le bassin versant de Pâ, 2,57 ‰ pour le bassin versant de Vy et 8,70 ‰ pour le bassin versant de Fara ; ce qui permet de classer le bassin versant de Pâ en **classe R1**, celui de Vy en **classe R2** et celui de Fara en **classe R3**.

d) La perméabilité du sol

On utilisera la carte géologique du Burkina Faso pour identifier les différents types de sols des bassins versants.

L'exploitation de cette carte montre que les sols des bassins-versants de la région sont composés en majorité de granite à biotite parfois muscovite. Cette formation vient du précambrien C.

Les mêmes expériences de l'ORSTOM, ont également permis de définir les indices de perméabilité des bassins versants comme suit :

Tableau 17 : Classification qualitative adoptée par Rodier (l'indice placé entre parenthèses correspond à l'ancienne nomenclature utilisée par Rodier et Auvray, 1965)

- **PI (P1)** : bassin rigoureusement imperméable, sans irrégularités, n'existant pas à l'état naturel (aire en béton non fissuré);
- **I (P2)** : bassin imperméable avec quelques zones perméables de faibles étendues. 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 fondations 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 argilosableux, sablo-argileux, voire sableux peuvent également être classés dans cette catégorie, s'ils sont recouverts d'une pellicule superficielle imperméable stable ;
- **RI (P3)** : bassins relativement imperméables avec des zones perméables d'étendues notables : 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 fondation de pellicules imperméables, de sols à recouvrement gravillonnaire continu d'épaisseur notable, de certaines arènes granitiques et, enfin, de sols avec des fondations pelliculaires fragiles ;
- **P (P4)** : bassins perméables, sols sableux sans pellicule ou avec un couvert végétal de graminées, 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 (P5)** : bassins très perméables, sables éoliens, sables sans pellicule et sans végétation 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.

(Source : *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*, p. 11-12).

On adoptera une classe de perméabilité en P3 (RI) selon la catégorisation de l'ORSTOM pour caractériser les sols des trois bassins-versants.

e) Indice de compacité de GRAVELUS (Icomp)

Appelé également coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du bassin-versant à celui d'un cercle de même forme. Cet indice, qui ne prend en compte que la forme du contour du bassin, ne permet pas de quantifier d'une manière satisfaisante l'aspect du réseau hydrographique.

$$I_{comp} = \text{indice de compacité de GRAVELUS} = 0,282 \times P / (S^{0,5})$$

Tableau 18: calcul de l'indice de compacité du bassin-versant

Sites	S (km ²)	P (km)	Icomp
Fara	8,93	17,38	1,64
Pâ	245,12	87,76	1,58
Vy	102,40	60,41	1,68

On a $I_{comp} > 1$: les bassins-versants des barrages de Fara, Pâ et Vy sont donc de forme allongée.

f) Longueur des rectangles équivalents (L)

C'est un rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin-versant étudié. Sa longueur est donnée par la formule ci-dessous :

$$Leq = (P + (P^2 - 16 * S)^{1/2}) / 4$$

Avec :

- S= superficie du bassin versant en km²

- P= périmètre du bassin versant en km

La longueur du rectangle équivalent L_{eq} est donnée par:

Tableau 19: calcul de la longueur du rectangle équivalent

Sites	S (km ²)	P (km)	Leq (km)
Fara	8,93	17,38	7,50
Pâ	245,12	87,76	37,31
Vy	102,40	60,41	26,31

g) Indice global de pente (Ig)

L'indice global de pente caractérise le relief du bassin-versant. On le détermine à partir de la courbe hypsométrique (voir figures ci-dessous) du bassin versant par la relation suivante:

$$Ig = (H5\% - H95\%) / L$$

H_{5%}: altitude au-dessus de laquelle sont situées 5 % de la superficie du bassin versant ;

H_{95%}: altitude au-dessus de laquelle sont situées 95 % de la superficie du bassin versant

L: longueur du rectangle équivalent

L'indice de pente global corrigé (I_{gcor}): cet indice permet de prendre en compte les grandes variations des pentes transversales (plus de 20% de Ig) qui sont généralement rencontrées entre l'amont et l'aval du bassin-versant.

L'indice de pente global corrigé est donné par la formule suivante:

$$I_{gcor} = [(n - 1) \times Ig + IT] / n$$

Avec :

Leq < 5km	n =	2
5km < Leq < 25km		3
25km < Leq < 50km		4
Leq > 50km		5

IT est déterminé en faisant la moyenne de quatre à six pentes transversales calculées en prenant la ligne de plus grande pente des versants. Il est exprimé en m/km.

Figure 14 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Fara

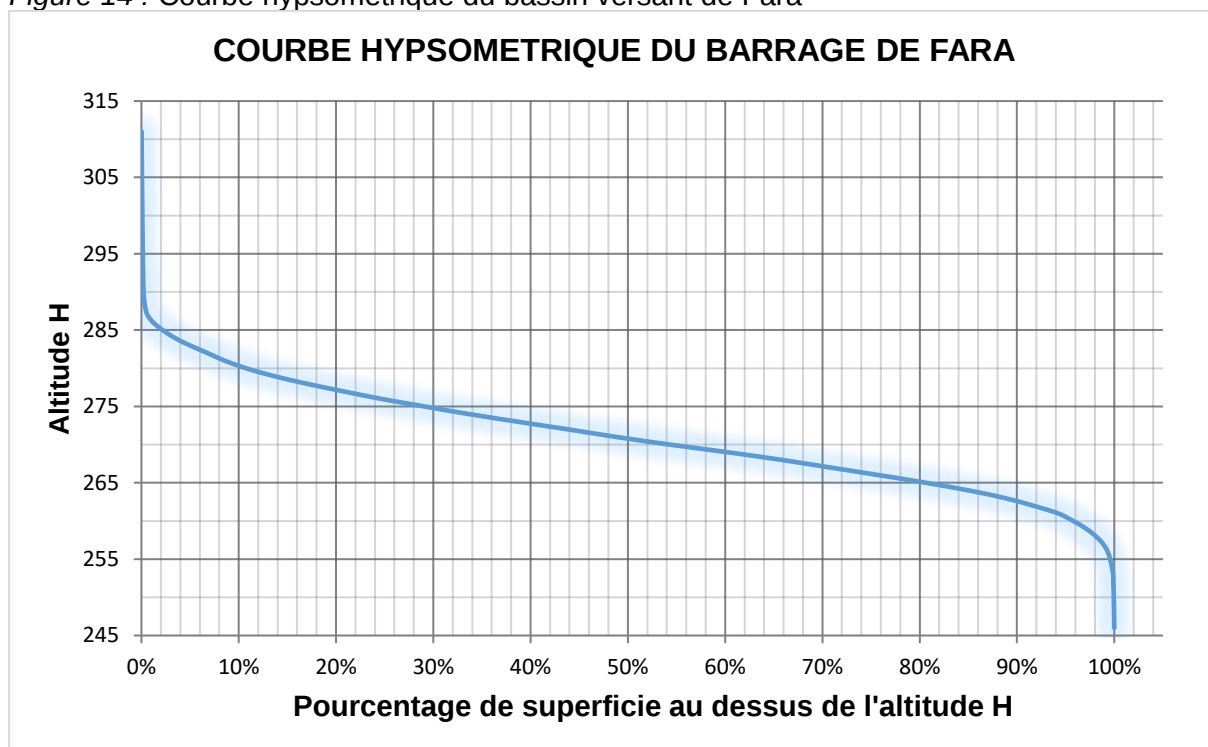


Figure 15 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Pâ

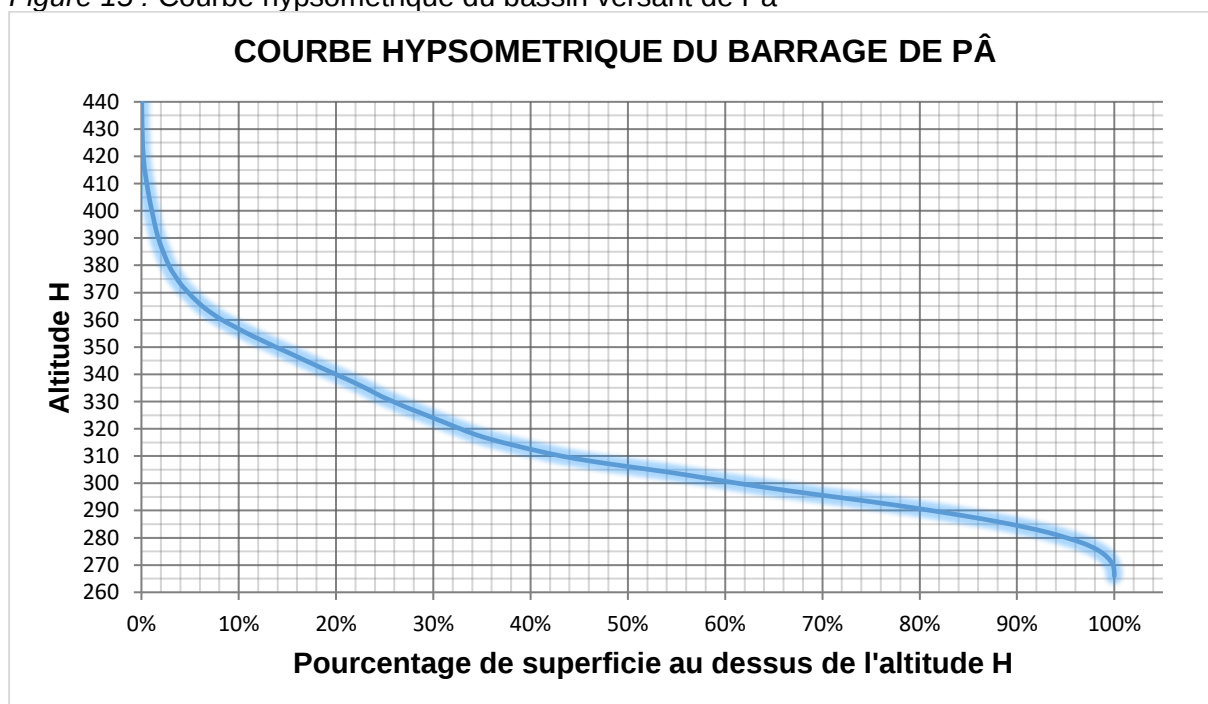


Figure 16 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Vy

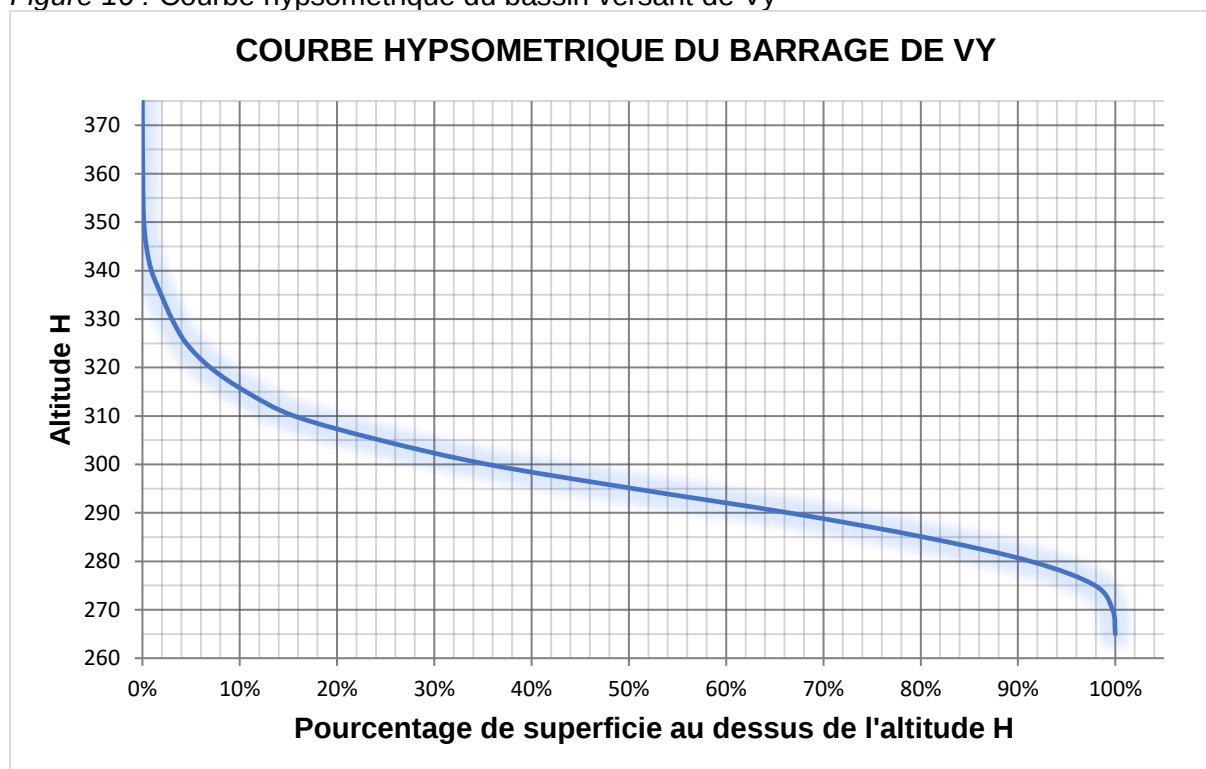


Tableau 20 : résultats du calcul de l'indice global de pente et l'indice global de pente corrigé

Sites	Côte du point à l'altitude $H_{5\%}$	Côte du point à l'altitude $H_{95\%}$	Dénivelé (m) ($H_{5\%} - H_{95\%}$)	Le (Km)	IT (m/km)	I_g (m/km)	I_{gcor} (m/km)
Fara	282,99	260,50	22,49	7,50	15	3,00	7,00
Pâ	369,32	280,08	89,24	37,31	7,50	2,39	3,67
Vy	323,99	277,21	46,78	26,31	9,50	1,78	3,71

h) Dénivelée spécifique (D_s)

C'est le produit de l'indice global de pente par la racine carré de la superficie du bassin versant.

D_s = dénivelée spécifique ;

$$D_s = I_{gcor} * S^{0,5}$$

Tableau 21 : résultats du calcul de la dénivelée spécifique (D_s)

Sites	I_g (m/km)	S (km^2)	D_s (m)
Fara	7,00	8,93	20,91
Pâ	3,67	245,12	57,44
Vy	3,71	102,40	37,53

On peut distinguer plusieurs types de relief en fonction de D_s

Tableau 22: type de relief en fonction de la dénivelée spécifique

D_s (m)	Relief
$D_s < 50$	Relief faible
$50 < D_s < 100$	Relief modéré
$D_s > 100$	Relief fort

Source : Crues et Apports ; manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahéenne et tropicale sèche. Bulletin n°54- FAO-CEMAGREF-ORSTOM-CIEH: 1996, page 5.

On a donc un relief faible à Fara et Vy et un relief modéré à Pâ.

Tableau 23: Fiches synthétique des caractéristiques physiques du bassin versant de Fara

Généralité de la zone d'étude			
Pays	BURKINA FASO		
Région	BOUCLEDU MOUHOUN		
Province	BALE		
Département	FARA		
Nom du site	FARA		
Coordonnées de l'exutoire (UTM 30P)			
X	527042,00		
Y	1275205,00		
Définition	Symbole	Valeur	Unité
Périmètre	P =	17,38	km
Superficie	S =	8,93	km ²
Pente longitudinale	I =	0,00870252	m/km
Pente transversale	It =	15,00	m/km
Indice de compacité	Ic =	1,64	
Longueur du rectangle équivalent	Leq =	7,50	km
Largeur du rectangle équivalent	leq =	1,19	km
Altitude maximale	Z _{max} =	311,00	m
Altitude minimale	Z _{min} =	246,00	m
Altitude à 5% de surface	Z _{5%} =	282,99	m
Altitude à 95% de surface	Z _{95%} =	260,50	m
Altitude moyenne	Z _{moy} =	271,74	m
Altitude médiane	Z _{med} =	278,50	m
Indice globale de pente	Ig =	3,00	m/km
Indice globale de pente corrigé	Ig _{corr} =	7,00	m/km
Indice globale de pente retenu	Ig _{ret} =	7,00	m/km
Dénivelé spécifique	Ds =	20,91	m
Type de relief	relief faible		
Classe de relief	R =		
Infiltrabilité	I =		
Pluie décennale humide	P ₁₀ =	99,90	mm
Pluie centennale humide	P ₁₀₀ =	143,00	mm
Pluie moyenne annuelle	P _{moy} =	878,00	mm
Type de climat	Tropical sec		

Tableau 24: Fiches synthétique des caractéristiques physiques du bassin versant de Pâ

Généralité de la zone d'étude			
Pays	BURKINA FASO		
Région	BOUCLEDU MOUHOUN		
Province	BALE		
Département	Pâ		
Nom du site	Pâ		
Coordonnées de l'exutoire (UTM 30P)			
X	473460,00		
Y	1270497,00		
Définition	Symbole	Valeur	Unité
Périmètre	P =	87,76	km
Superficie	S =	245,12	km ²
Pente longitudinale	I =	0,00166067	m/km
Pente transversale	It =	7,50	m/km
Indice de compacité	Ic =	1,58	
Longueur du rectangle équivalent	Leq =	37,31	km
Largeur du rectangle équivalent	leq =	6,57	km
Altitude maximale	Z _{max} =	436,00	m
Altitude minimale	Z _{min} =	266,00	m
Altitude à 5% de surface	Z _{5%} =	369,32	m
Altitude à 95% de surface	Z _{95%} =	280,08	m
Altitude moyenne	Z _{moy} =	324,70	m
Altitude médiane	Z _{med} =	351,00	m
Indice globale de pente	Ig =	2,39	m/km
Indice globale de pente corrigé	Ig _{corr} =	3,67	m/km
Indice globale de pente retenu	Ig _{ret} =	3,67	m/km
Dénivelé spécifique	Ds =	57,44	m
Type de relief	relief faible		
Classe de relief	R =		
Infiltrabilité	I =		
Pluie décennale humide	P ₁₀ =	99,90	mm
Pluie centennale humide	P ₁₀₀ =	143,00	mm
Pluie moyenne annuelle	P _{moy} =	878,00	mm
Type de climat	Tropical sec		

Tableau 25: Fiches synthétique des caractéristiques physiques du bassin versant de Vy

Généralité de la zone d'étude			
Pays	BURKINA FASO		
Région	BOUCLEDU MOUHOUN		
Province	BALE		
Département	BAGASSI		
Nom du site	VY		
Coordonnées de l'exutoire (UTM 30P)			
X	484722,00		
Y	1300340,00		
Définition	Symbole	Valeur	Unité
Périmètre	P =	60,41	km
Superficie	S =	102,40	km ²
Pente longitudinale	I =	0,00256935	m/km
Pente transversale	It =	9,50	m/km
Indice de compacité	Ic =	1,68	
Longueur du rectangle équivalent	Leq =	26,31	km
Largeur du rectangle équivalent	leq =	3,89	km
Altitude maximale	Z _{max} =	375,00	m
Altitude minimale	Z _{min} =	265,00	m
Altitude à 5% de surface	Z _{5%} =	323,99	m
Altitude à 95% de surface	Z _{95%} =	277,21	m
Altitude moyenne	Z _{moy} =	300,60	m
Altitude médiane	Z _{med} =	320,00	m
Indice globale de pente	Ig =	1,78	m/km
Indice globale de pente corrigé	Ig _{corr} =	3,71	m/km
Indice globale de pente retenu	Ig _{ret} =	3,71	m/km
Dénivelé spécifique	Ds =	37,53	m
Type de relief	relief faible		
Classe de relief	R =		
Infiltrabilité	I =		
Pluie décennale humide	P ₁₀ =	99,90	mm
Pluie centennale humide	P ₁₀₀ =	143,00	mm
Pluie moyenne annuelle	P _{moy} =	878,00	mm
Type de climat	Tropical sec		

VII. Evaluation des dépôts solides

7.1. Méthode théorique 1 : Exploitation des données sur la capacité initiale et actuelle des retenues

La recherche sur les données existantes au niveau de la Direction des Etudes et d'Information sur l'Eau (DEIE) sur ces retenues a permis de trouver les données initiales sur la capacité des différents barrages et les années de réalisation. La différence entre la capacité actuelle donnée par les levés bathymétriques des cuvettes et la capacité initiale à la construction des barrages permet d'avoir une estimation des dépôts solides.

$$\text{Dépôts solides actuels} = \text{Volume initial de la retenue} - \text{Volume actuel de la retenue}$$

7.1.1. Capacité initiale des retenues

Les capacités initiales des barrages obtenues auprès de la Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau (DEIE), donne les valeurs suivantes.

Tableau 26: Capacités et années de réalisation des barrages

Retenues	Année de construction	Volume initial (m³)
Vy	1964	1 500 000
Pâ	2000	1 510 000 (volume avant reconstruction 2000-2004)
Fara	1961	Pas d'information sur la capacité du barrage pendant sa réalisation

Source : Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau (DEIE).

NB : D'après les informations fournies par le ministère des infrastructures, le barrage PA est un barrage routier situé sur la Route Nationale 12 (RN12) (PA-DANO-Frontière de la cote d'ivoire) a été reconstruite pendant la période 2000 à 2004. Les travaux ont pris fin en 2004. La capacité du barrage n'a pas été évaluée après les travaux de reconstruction. La cote du Plan d'Eau Normal (PEN) est donné par les cotes radiers des deux (02) dalots qui servent de déversoirs et calés à la cote 298,38 m.

7.1.1. Capacité actuelle des retenues

Le levé bathymétrique des cuvettes donne les capacités actuelles des barrages. Seule la retenue de Pâ n'était pas encore à sec au moment des travaux. Ces levés topographiques et bathymétriques des différents barrages ont suivi les étapes ci-dessous :

- Implantation des polygonales de base

Avant toute opération, une polygonale principale sur laquelle se sont appuyés tous les levés de détails a été installée de façon à suivre raisonnablement les crêtes des deux rives jusqu'à revenir se fermer sur l'axe de la digue du barrage, à la station totale et au distance-mètre à infrarouge.

Les angles horizontaux ont été observés deux fois, ainsi que les distances, l'une en « coup avant », et l'autre en « coup arrière ». Chaque angle zénithal est pris quatre fois, deux fois en « coup avant » à 100 grades avec « contrôle de marche » sur une somme et deux fois en « coup arrière » de la même façon.

Les sommets de cette polygonale sont matérialisés par des bornes parallélépipédiques en béton de 15 cm x 25 cm x 20 cm, sur lesquelles des lettres et chiffres sont gravés pour permettre l'identification des sommets sur le terrain, de manière à ce qu'elles soient bien visibles.

Des levés de terrain naturel (TN) de l'axe et de la cuvette ont été effectués à partir des points de cette polygonale avec une équidistance de 25 m pour donner le maximum d'information tout en prenant les points de détails particuliers (passage d'eau, crête ravinement, habitations, cimetières...).

La polygonale et tous les levés seront rattachés au système de coordonnées générales du Burkina Faso.

7.1.2. Courbes hauteur-surface, hauteur-volume

La topographie des cuvettes a été étudiée d'après le plan coté établi à l'échelle 1/2000^{ème} pour le site de Fara et 1/5000^{ème} pour les sites de Pâ et Vy.

Les plans topographiques des cuvettes ont permis d'établir les courbes hauteur-volume et hauteur-surface de chaque retenue.

Ces deux courbes, caractéristiques des retenues, dressées à partir du plan topographique, proviennent du dépouillement des levés topographiques des cuvettes.

Elles donnent les différents volumes d'eau et les surfaces pour chaque courbe de niveau de la retenue projetée.

Le volume partiel V_i compris entre deux courbes de niveaux successives est donné par la relation suivante :

$$\underline{V_i = (S_{i-1} + S_i) \Delta h / 2}$$

Avec : V_i : volume d'eau entre les courbes de niveau $i-1$ et i

S_{i-1} : surface du plan d'eau correspondant à la courbe $i-1$, (h_{i-1})

S_i : surface du plan d'eau correspondant à la courbe i , (h_i)

Δh : dénivelée entre les deux courbes de niveau $i-1$ et i , soit $h_i - h_{i-1}$

Le volume de la retenue correspondant à une hauteur h_i est donné par la relation suivante :

$$V = \sum V_i$$

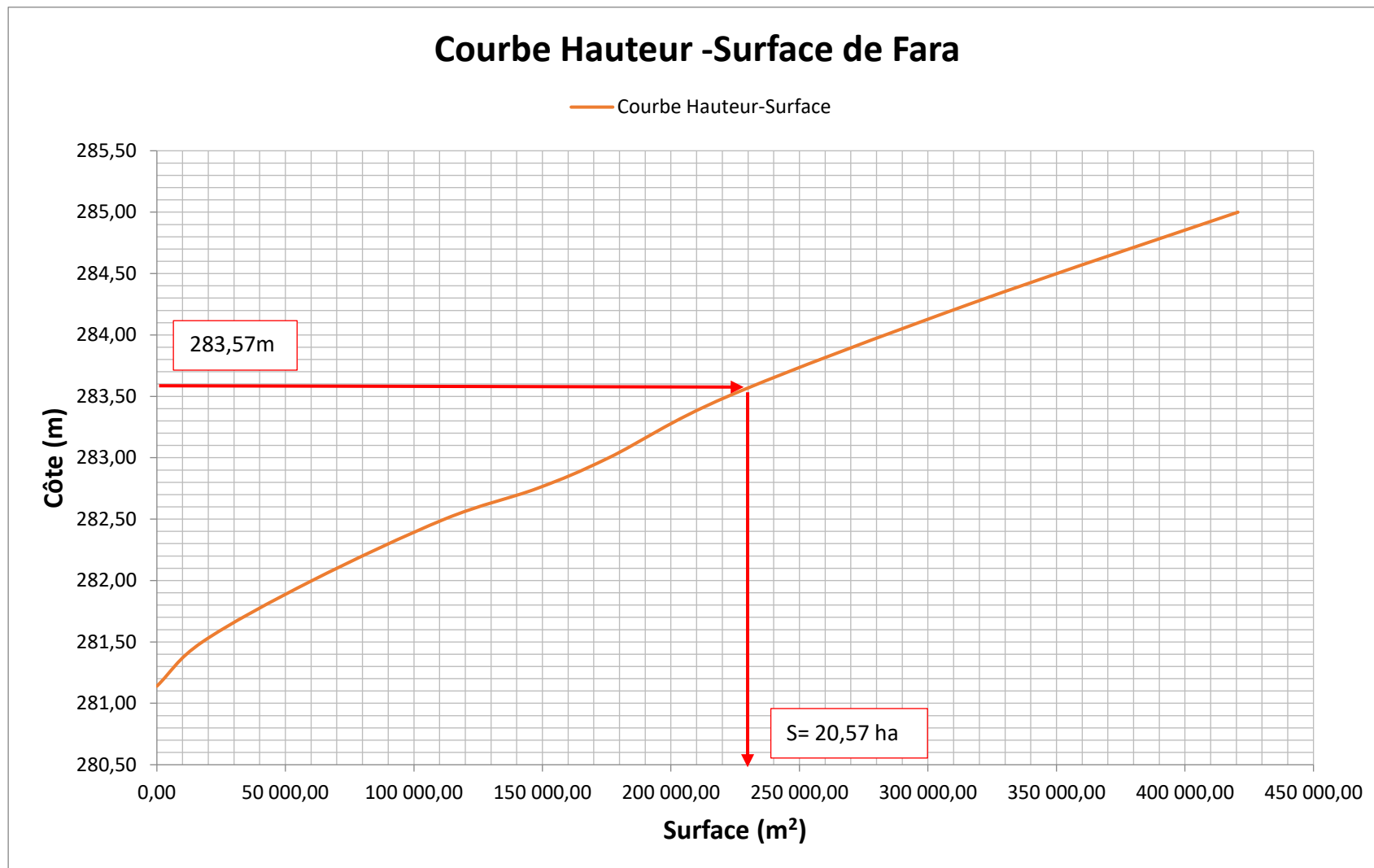
Ainsi, en appliquant ces relations pour chaque hauteur du plan d'eau, on détermine le volume de la retenue en fonction de sa hauteur.

Le tableau ci-après présente le volume et la surface du plan d'eau en fonction de la hauteur, c'est-à-dire la différence entre les côtes.

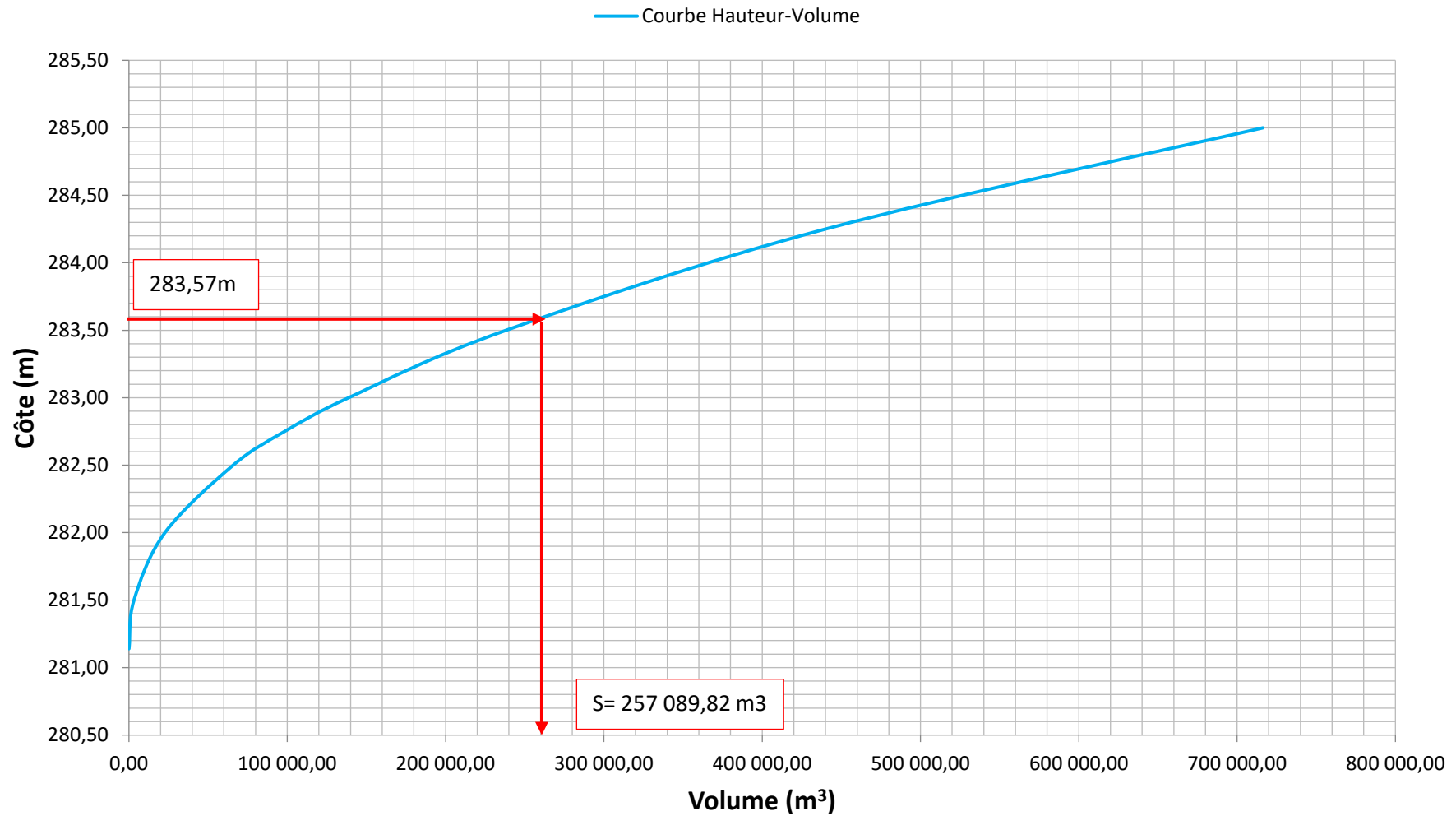
Tableau 27: Données hauteur-surface-volume du barrage de Fara

N°	Cote	Superficie partielle (m²)	Superficie partielle (ha)	Tranches d'eau (m)	Superficie moyenne (ha)	Volume partiel (m3)	Volume cumulé (m3)
1	281,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	281,50	17 704,56	1,77	0,36	0,89	3 186,82	3 186,82
3	282,00	60 432,51	6,04	0,50	3,91	19 534,27	22 721,09
4	282,50	111 932,16	11,19	0,50	8,62	43 091,17	65 812,25
5	282,75	147 915,74	14,79	0,25	12,99	32 480,99	98 293,24
6	283,00	175 832,03	17,58	0,25	16,19	40 468,47	138 761,71
7	283,50	222 141,18	22,21	0,50	19,90	99 493,30	238 255,02
8	284,25	315 995,97	31,60	0,75	26,91	201 801,43	440 056,45
9	285,00	420 611,72	42,06	0,75	36,83	276 227,89	716 284,33

La cote du déversoir du barrage de Fara (PEN) est de **383,57m**. Le volume d'eau stocké au PEN est évalué à **257 089,82 m³** en 2021.



Courbe Hauteur -Volume du barrage de Fara



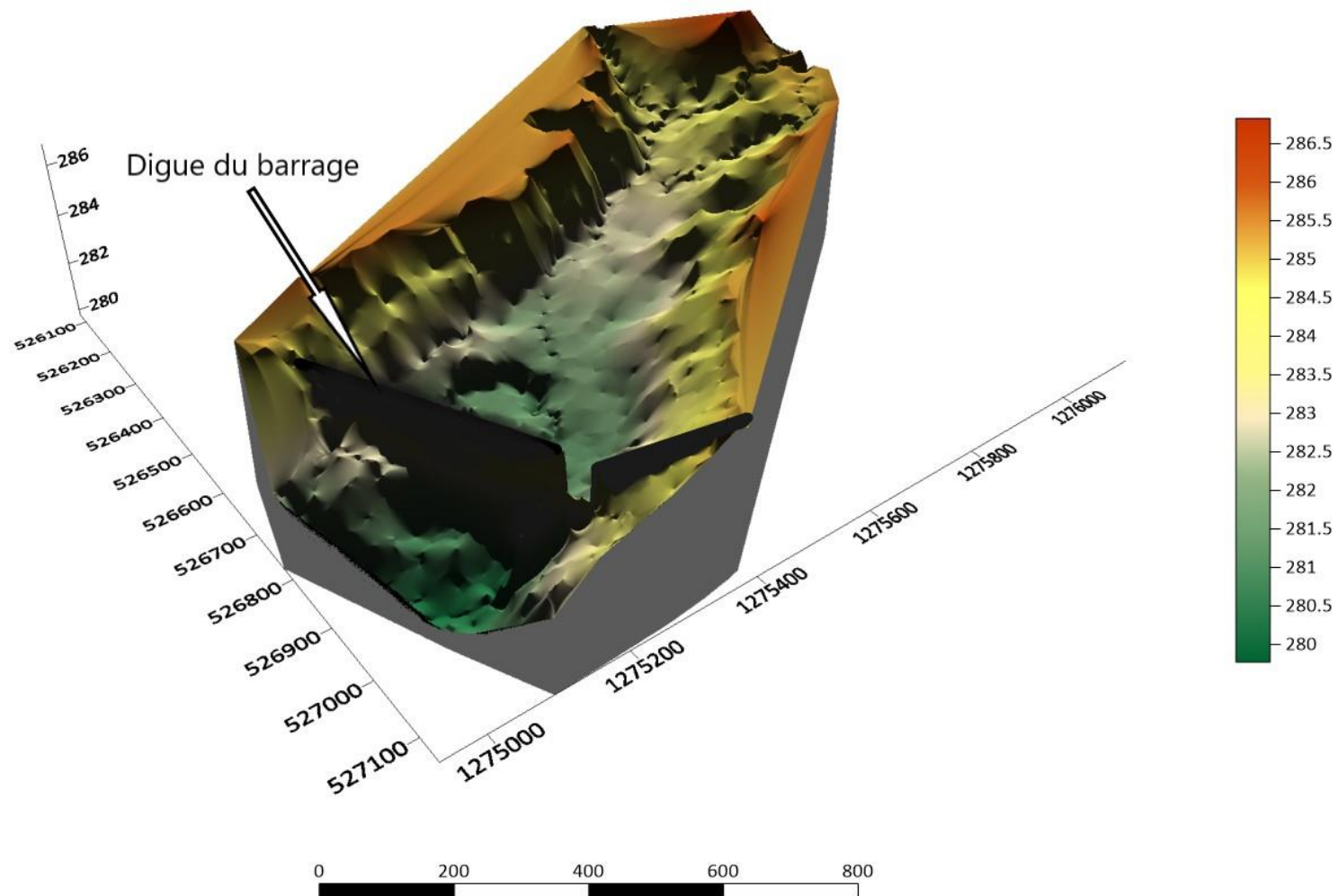
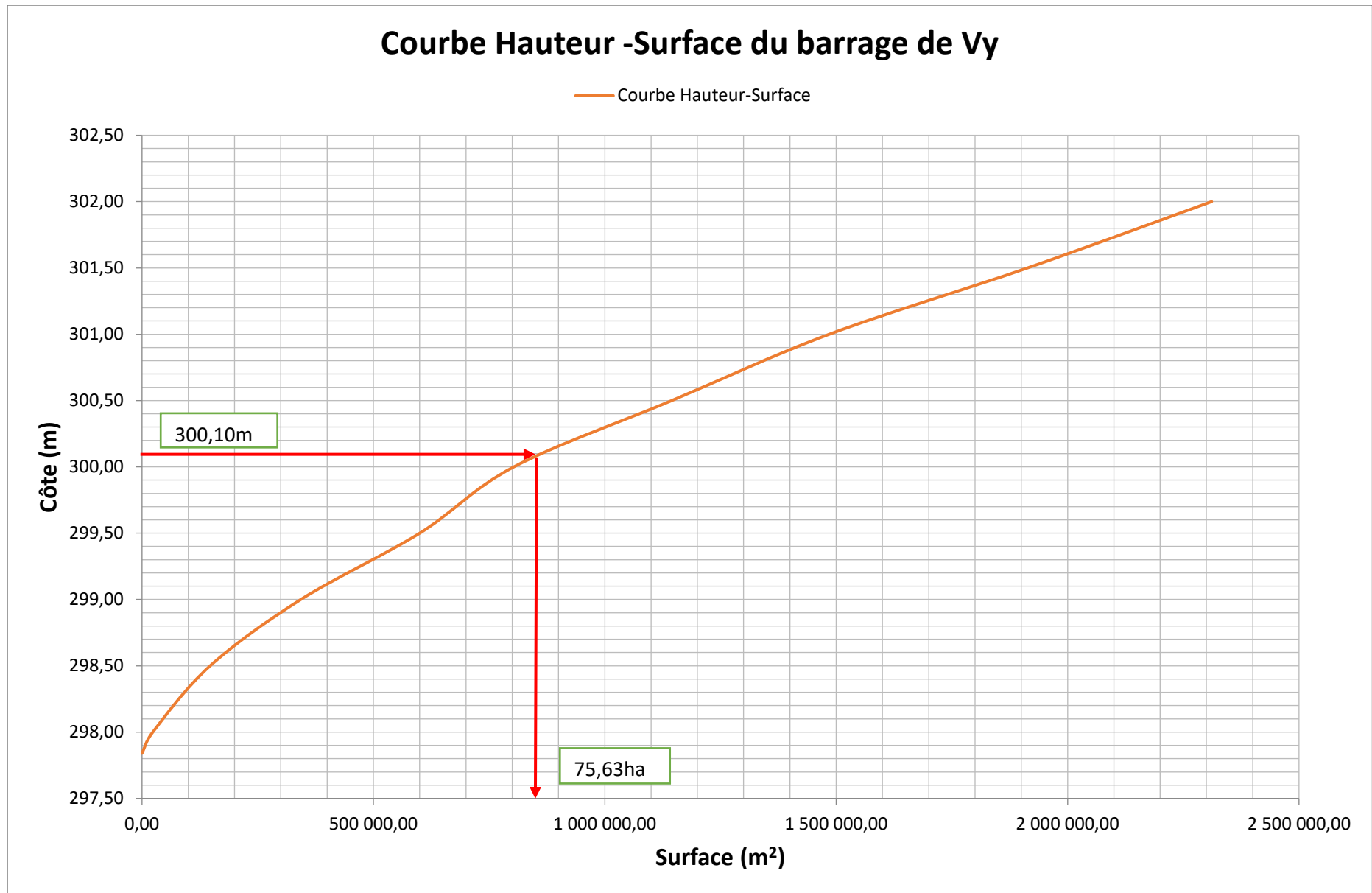


Figure 17 : Représentation 3D de la cuvette du barrage de Fara

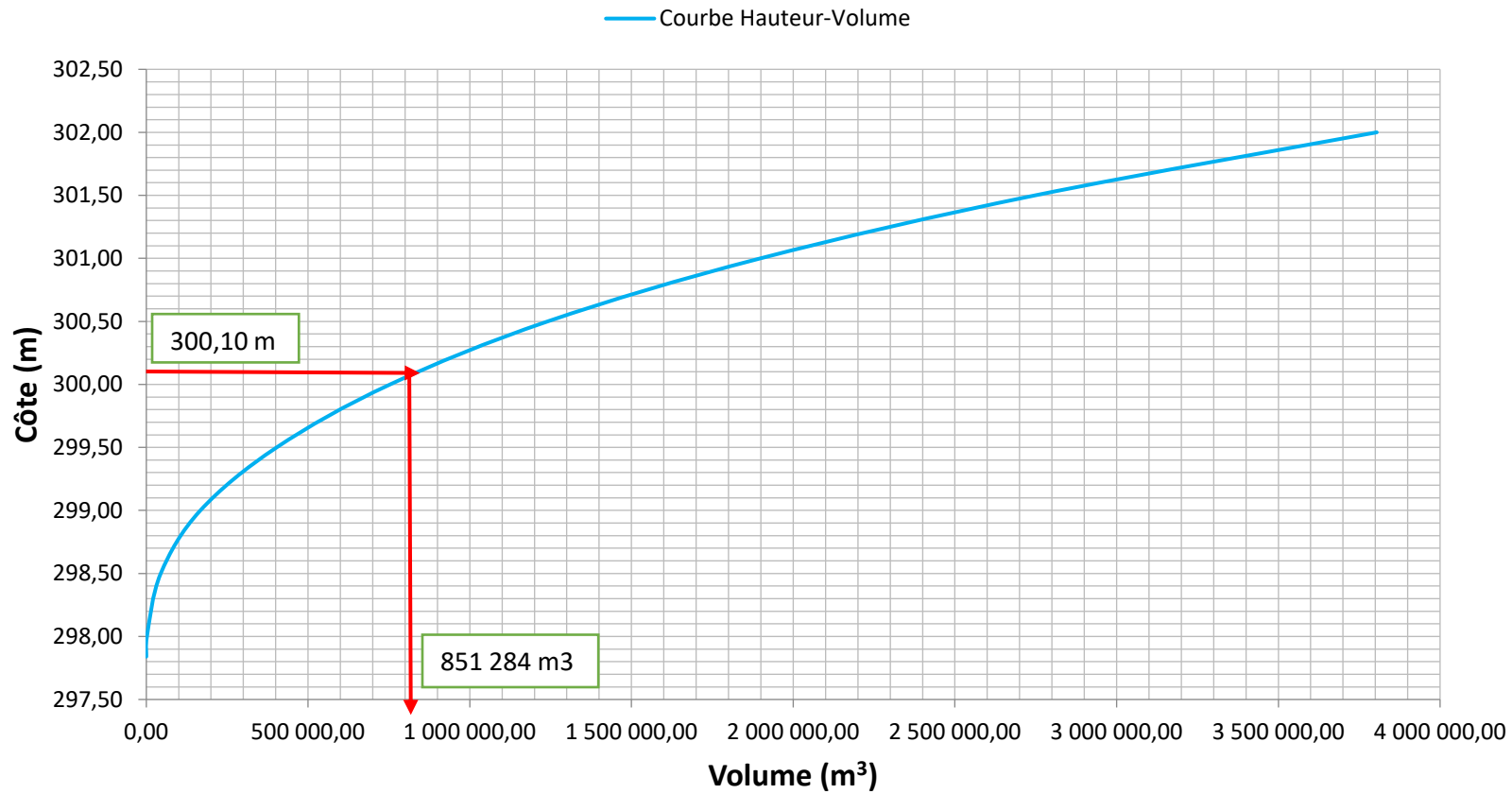
Tableau 28: Données hauteur-surface-volume du barrage de Vy

N°	Cote	Superficie partielle (m²)	Superficie partielle (ha)	Tranches d'eau (m)	Superficie moyenne (ha)	Volume partiel (m3)	Volume cumulé (m3)
1	297,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	298,00	23 254,43	2,33	0,16	1,16	1 860,35	1 860,35
3	298,50	147 266,86	14,73	0,50	8,53	42 630,32	44 490,68
4	299,00	343 225,21	34,32	0,50	24,52	122 623,02	167 113,69
5	299,50	600 120,41	60,01	0,50	47,17	235 836,40	402 950,10
6	300,00	803 557,39	80,36	0,50	70,18	350 919,45	753 869,55
7	300,50	1 144 742,10	114,47	0,50	97,41	487 074,87	1 240 944,43
8	301,00	1 485 004,30	148,50	0,50	131,49	657 436,60	1 898 381,03
9	301,50	1 913 584,81	191,36	0,50	169,93	849 647,28	2 748 028,30
10	302,00	2 311 338,95	231,13	0,50	211,25	1 056 230,94	3 804 259,24

La côte du déversoir du barrage de Vy (PEN) est de **300,10 m**. Le volume d'eau stocké au PEN est évalué à **851 284,53 m³ en 2021**.



Courbe Hauteur -Volume du barrage de Vy



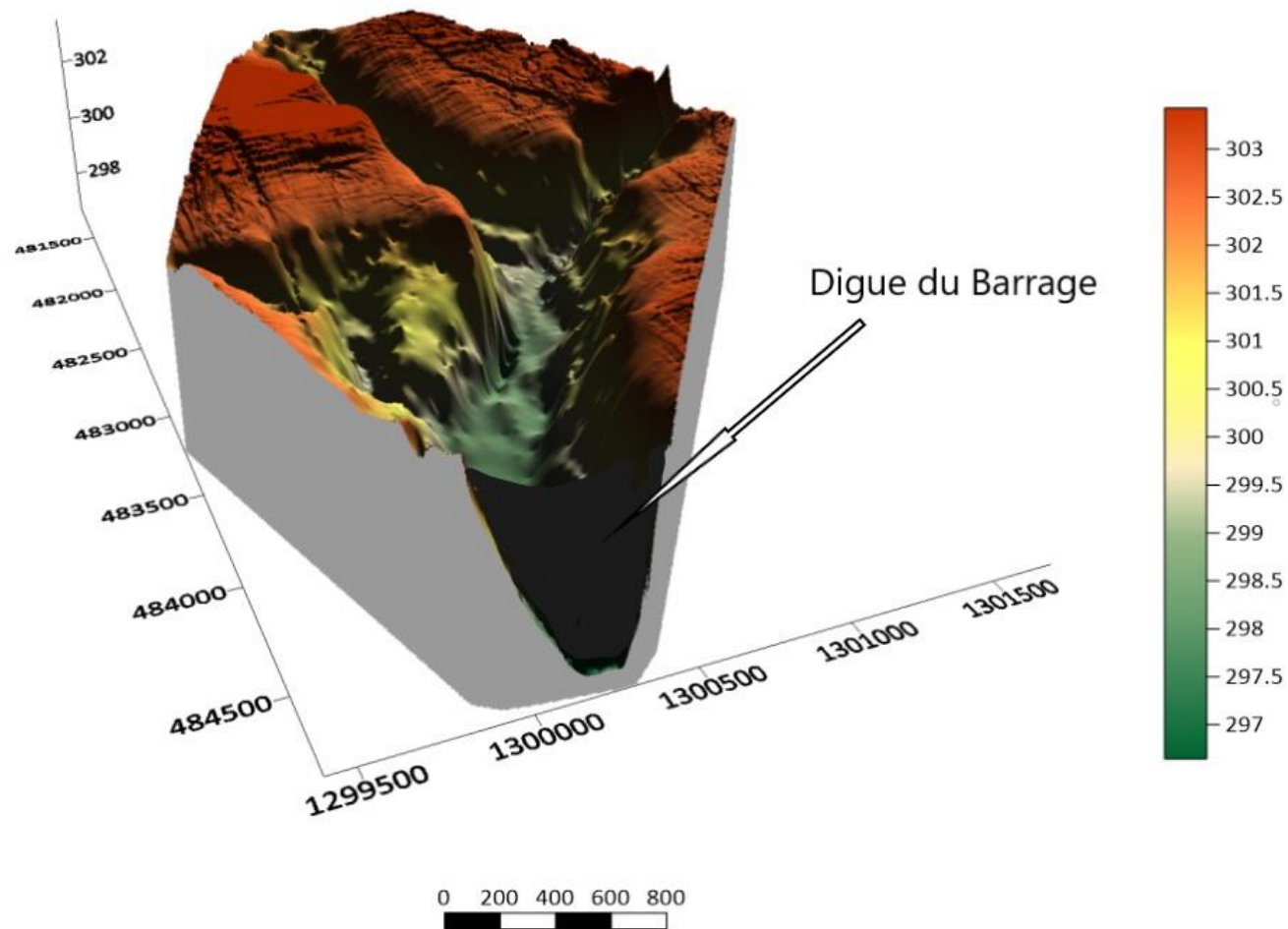
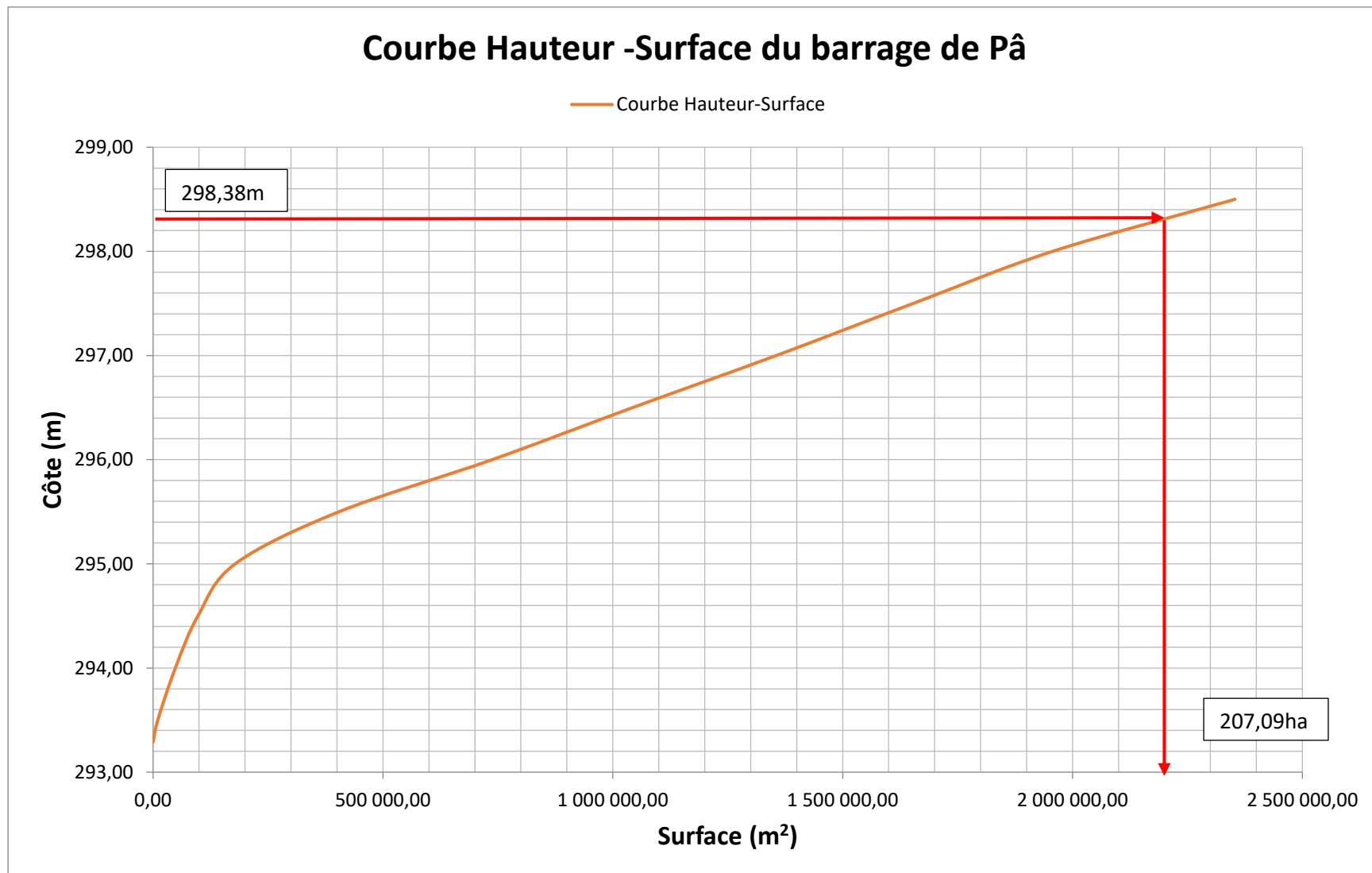


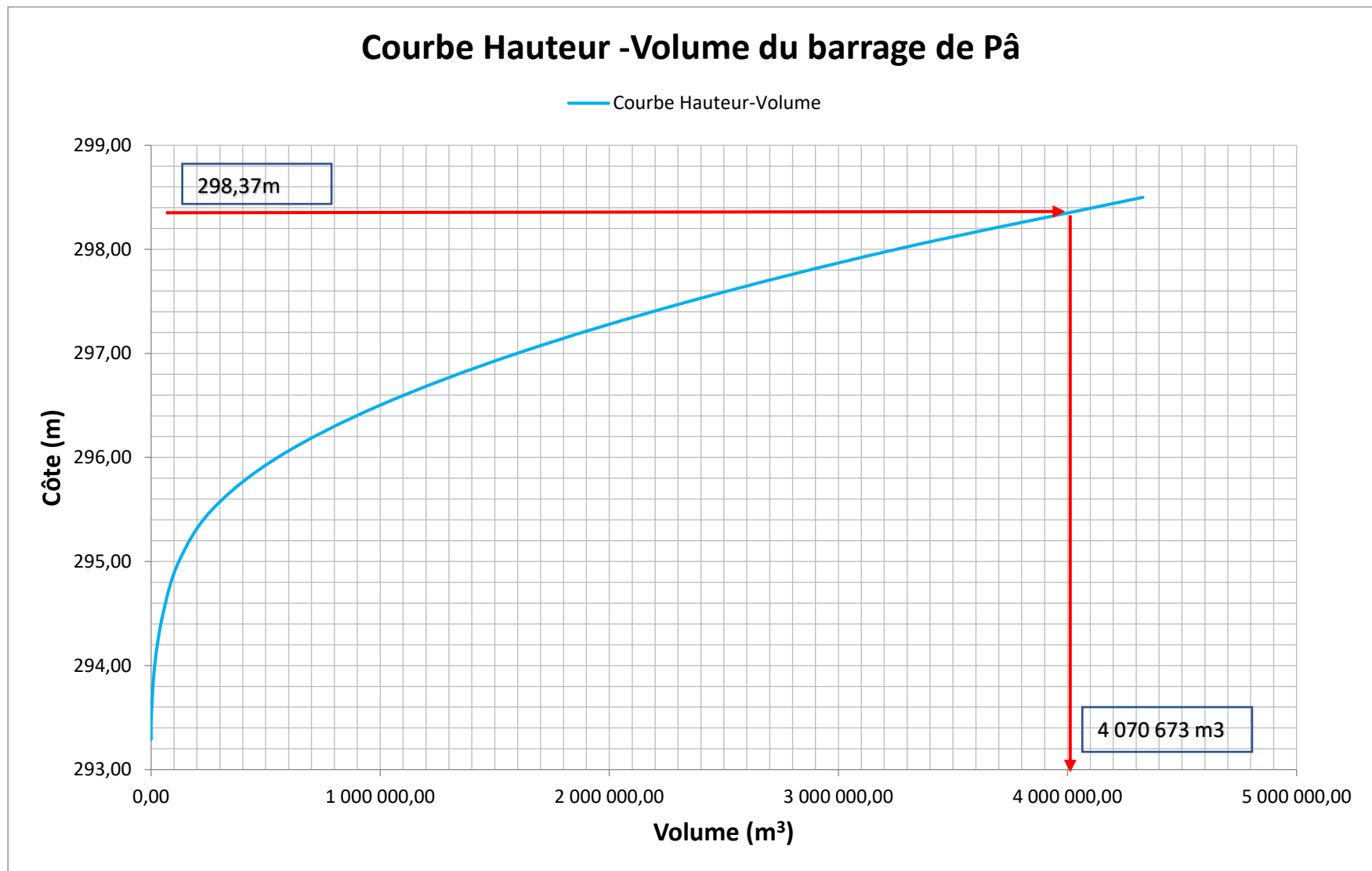
Figure 18 : Représentation 3D de la cuvette du barrage de Vy

Tableau 29: Données hauteur-surface-volume du barrage de Pâ

N°	Cote	Superficie partielle (m²)	Superficie partielle (ha)	Tranches d'eau (m)	Superficie moyenne (ha)	Volume partiel (m3)	Volume cumulé (m3)
1	293,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	293,50	10 164,99	1,02	0,21	0,51	1 067,32	1 067,32
3	294,00	48 362,17	4,84	0,50	2,93	14 631,79	15 699,12
4	294,50	97 535,44	9,75	0,50	7,29	36 474,40	52 173,52
5	295,00	178 633,54	17,86	0,50	13,81	69 042,24	121 215,77
6	295,50	404 268,70	40,43	0,50	29,15	145 725,56	266 941,32
7	296,00	737 524,74	73,75	0,50	57,09	285 448,36	552 389,68
8	296,50	1 043 081,28	104,31	0,50	89,03	445 151,50	997 541,18
9	297,00	1 355 460,17	135,55	0,50	119,93	599 635,36	1 597 176,55
10	297,50	1 653 333,74	165,33	0,50	150,44	752 198,48	2 349 375,02
11	298,00	1 956 411,66	195,64	0,50	180,49	902 436,35	3 251 811,37
12	298,50	2 353 391,32	235,34	0,50	215,49	1 077 450,75	4 329 262,12
13	299,00	2 871 345,30	287,13	0,50	261,24	1 306 184,16	5 635 446,27
14	299,50	3 415 526,14	341,55	0,50	314,34	1 571 717,86	7 207 164,13
15	300,00	3 917 142,89	391,71	0,50	366,63	1 833 167,26	9 040 331,39
16	300,50	4 403 139,08	440,31	0,50	416,01	2 080 070,49	11 120 401,89

La cote du déversoir du barrage de Pâ (PEN) est **298,38 m**. Le volume d'eau stocké au PEN est évalué à **4 071 233 m³** en 2021.





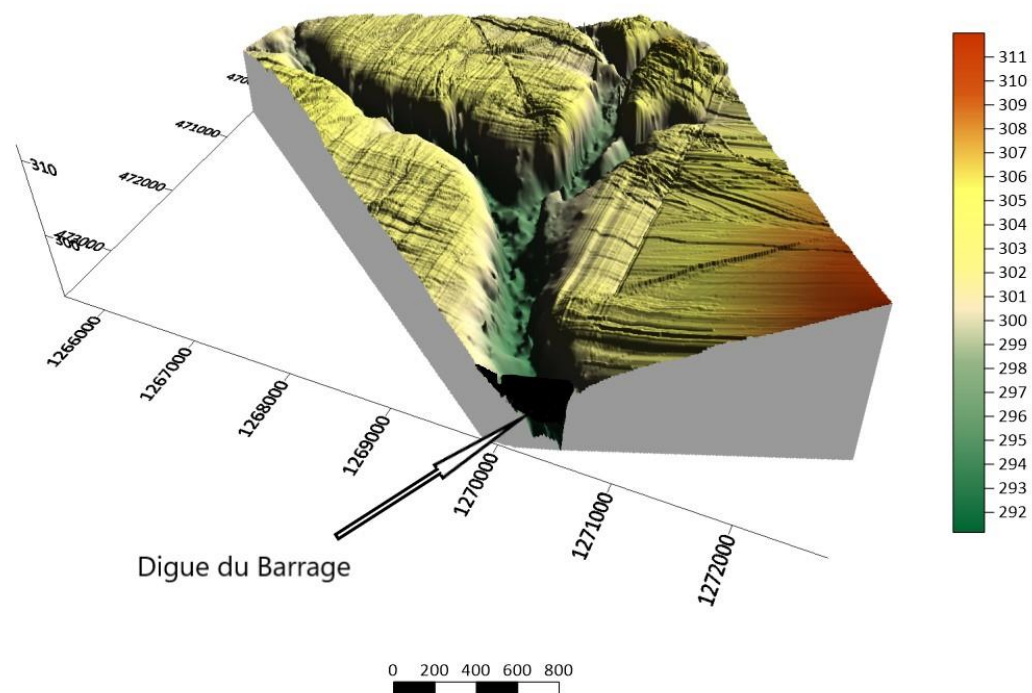


Figure 19 : Représentation 3D de la cuvette du barrage de Pâ

7.1.3. Evaluation des dépôts solides

A partir de la capacité initiale et finale des retenues, on peut estimer le volume des sédiments déposés au fond de la cuvette durant la vie de l'ouvrage (la méthode théorique 1).

$$\text{Dépôts solides actuels} = \text{Volume initial de la retenue} - \text{Volume actuel de la retenue}$$

On a les résultats dans le tableau ci-dessous :

Tableau 30 : Evaluation des dépôts solides (méthode1)

Barrage	Capacité initiale (m3)	Année de réalisation	Capacité actuelle en 2021 (m3)	Volume de dépôt des sédiments (m3)
Vy	1 500 000	1964	851 285	648 715
Fara	-	1961	257 090	-
Pâ	1 510 000	Année 2000 et reconstruit en 2004	4 070 674	-

Il ressort de l'observation du tableau ci-dessus que :

- Pour le site de Vy, les dépôts solides sont évalués à 648 715 m3 en 57 ans soit un dépôt annuel de 11 380 m3 ;
- Pour le site de Fara, le volume de dépôt des sédiments n'a été estimé car il n'existe pas d'information fiable sur la capacité initiale du barrage.
- **Pour le site de Pâ, La capacité après la reconstruction de 2004 n'est pas connue.**

7.2. Méthode théorique 2 : Estimation du volume des sédiments par les formules empiriques

L'eau qui ruisselle sur le bassin versant entraîne avec elle des matériaux solides qu'elle arrache tout au long de son parcours. Ces matériaux se déposent dès que la vitesse de l'eau devient inférieure à un certain seuil, ce qui est le cas lorsque les cours d'eau aboutissent à une retenue. Cela peut entraîner à la longue le comblement de la retenue.

La détermination des pertes par dépôt solides a donc pour but de déterminer la quantité de matériaux susceptibles d'arriver annuellement dans la retenue, correspondant à la dégradation spécifique annuelle.

Le volume d'envasement est le produit de la dégradation spécifique annuelle par la superficie du bassin versant.

Pour l'estimation de la dégradation spécifique annuelle du bassin versant (envasement), il sera utilisé trois formules empiriques de calcul :

(1) Formule de GOTTSCHALK.

$$D = 260 \cdot S^{-0.1}$$

(2) Formule du CIEH - EIER (Grésillon)

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

Avec :

D = dégradation spécifique (en m3/km2/an)

P = pluviométrie moyenne annuelle (mm)

S = superficie du bassin versant en km²

Les apports solides $V_s = D \times S$ en m3/an

Les résultats des calculs des dépôts solides moyens annuels sont donnés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 31 : Estimation des apports solides annuels sur le barrage de Fara

Volume des apports solides	
Formule de EIER-CIEH(Grésillon)	
$D=700*(P/500)^{-2.2}*S^{-0.1}$	
P=Pluviométrie annuelle en mm	878,00
S=Superficie du Bassin Versant en Km ²	8,93
D Dégradation spécifique (m3/km2/an)	162,96
Volume de solides $V=D*S$ (m3/an)	1455
Formule de Gottschalk	
Dégradation spécifique(m3/km2/an) $D=260*S^{-0.1}$	208,89
Volume de solides $V=D*S$ (m3/an)	1865
Apport retenu	1865

Nous retiendrons la valeur moyenne obtenue par les trois formules soit environ **1865 m³/an**.

Tableau 32 : Estimation des apports solides annuels sur le barrage de Vy

Volume des apports solides	
Formule de EIER-CIEH(Grésillon)	
$D=700*(P/500)^{-2.2}*S^{-0.1}$	
P=Pluviométrie annuelle en mm	878,00
S=Superficie du Bassin Versant en Km ²	102,40
D Dégradation spécifique (m3/km2/an)	127,68
Volume de solides V=D*S (m3/an)	13074
Formule de Gottschalk	
Dégradation spécifique(m3/km2/an) $D=260*S^{-0.1}$	163,66
Volume de solides V=D*S (m3/an)	16759
Apport retenu	16759

Nous retiendrons la valeur moyenne obtenue par les trois formules soit environ **16 759 m³/an**.

Tableau 33 : Estimation des apports solides annuels sur le barrage de Pâ

Volume des apports solides	
Formule de EIER-CIEH(Grésillon)	
$D=700*(P/500)^{-2.2}*S^{-0.1}$	
P=Pluviométrie annuelle en mm	878,00
S=Superficie du Bassin Versant en Km ²	245,12
D Dégradation spécifique (m3/km2/an)	117,01
Volume de solides V=D*S (m3/an)	28680
Formule de Gottschalk	
Dégradation spécifique(m3/km2/an) $D=260*S^{-0.1}$	149,98
Volume de solides V=D*S (m3/an)	36763
Apport retenu	36763

Nous retiendrons la valeur moyenne obtenue par les trois formules soit environ **27 449 m³/an**.

Tableau 34 : Evaluation des dépôts solides actuels (méthode2)

Barrages	Année de réalisation	Volume moyen de dépôt solides annuels (m3/an)	Période	Volume (m3) des dépôts solides actuel (2021)
Vy	1964	16 759	58	972 022
Fara	1961	1 865	60	111 900
Pâ	2004	36 763	18	661 734

Ainsi avec les dépôts estimés en 2021, on peut estimer les capacités initiales des différentes retenues :

Tableau 35 : Comparaison des résultats des deux (02) méthodes

Barrages	Année de réalisation ou reconstruction	Dépôt solides méthode 1 (m3) en 2021 (A)	Période	Dépôt solides méthode 2 (m3) en 2021 (B)	Ecart A-B
Vy	1964	648 715	58	972 022	323 307
Fara	1961	-	60	111 900	
Pâ	2004	-	18	661 734	-

7.3. Interprétations des résultats et conclusion.

Il ressort des résultats obtenus les analyses ci-dessous :

Pour les deux méthodes (1-Exploitation des données sur la capacité des retenues et 2-utilisation des formules empiriques) on a :

➤ **Pour le site de Vy :**

Les deux méthodes permettent d'estimer **un dépôt moyen annuel de (648 715+972 022)/58 = 27 944 m3/an sur ce site.**

➤ **Pour le site de Fara :**

En réalité le barrage de Fara n'a pas été pas construit en 1961 car les études de réalisation du barrage ont été fait en 1963 par SOGETHA qui donnait une capacité de 13 000 000 m3. Une étude complémentaire fait par l'ONBI en mai 1983 qui donnait tantôt 10 000 000 m3 tantôt la capacité de 13 000 000 m3.

Pendant l'exécution des travaux après 1983 aucun résultat des études précédentes (1963 par SOGETHA, 1983 par l'ONBI) n'a été utilisée d'où la méconnaissance de la capacité du barrage de Fara.

A la remise de site en avril 2021, le barrage était déjà à sec.

Le dépôt solide moyen annuel de **1865 m³/an** donné par la méthode2.

➤ **Pour le site de Pâ:**

La capacité du barrage après la reconstruction en 2004 dans le cadre de la construction de la route Pa –Dano-Frontière de la Cote d'Ivoire (RN12) n'est pas connue de nos jours. Cependant l'étude bathymétrique réalisée par le consultant en 2021 donne une capacité de 4 070 674 m3 et un dépôt solide moyen annuel de **36 765 m³/an** donné par la méthode2.

➤ **Pour le site de Léry:**

Le site de Léry est inaccessible depuis la remise de site. Une correspondance a été adressé au projet à cet effet depuis avril 2021(Confère annexe3).

Pour la troisième méthode avec l'écho sondeur bi fréquence, l'appareil acquit à cet effet n'a pas fonctionné et a été renvoyé chez le fabricant pour réparation.

VIII. Bibliographie

- Evaluation de la sécurité du complexe barrage Mouhoun-Vannes de Lery et ouvrages associés, TOE Michel, Octobre 2020.
- Etudes pour l'inspection du barrage vannes de Lery dans la province du Nayala (Région de la Boucle du Mouhoun), Agence de l'Eau du Mouhoun Décembre 2020.
- Bathymétrie du Lac de Tengrela pour la mise en évidence de la dynamique de comblement, Abdoulaye Sirima et al., Novembre 2020.
- Etudes d'Avant-Projet Détaillé du barrage de Pâ, Bureau d'Etudes et de Recherches Appliquées (BERA), 1988
- Etudes d'Avant-Projet Détaillé du barrage de Fara, Société Générale des Techniques Hydro Agricoles, 1963
- Mémoire technique du barrage de Fara , mai 1983
- Etude de réhabilitation du barrage de VY, PEBASO 1995

IX. ANNEXES

ANNEXE 1 : DONNEES CLIMATIQUES A LA STATION DE BOROMO

SERVICE METEOROLOGIQUE

PLUVIOMETRIE MENSUELLE (mm)

Période (1980-2016)

STATION DE BOROMO

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
1980				19,7	75,6	100,3	177,1	324,9	84,4	43,7		0,8	826,5
1981			9,3	7,7	95,1	107,3	81,4	308,9	131,3	10,5			751,5
1982		4,7	22,9	39,2	113,9	139,3	192,2	172,2	77,8	65,3	3,0		830,5
1983				19,0	43,0	116,0	135,0	223,3	98,6				634,9
1984			7,5	19,3	106,8	101,3	83,6	252,3	130,4	50,5	21,1		772,8
1985			11,5	36,5	32,4	156,1	215,0	232,0	181,0	18,9			883,4
1986				13,8	151,0	83,8	154,4	220,8	210,8	23,9	0,9		859,4
1987					62,2	149,7	199,1	220,2	158,2	59,2			848,6
1988			0,7	53,6	43,4	91,2	245,1	395,9	84,8	16,9	11,2		942,8
1989			16,7	63,1	59,9	79,3	155,5	219,4	161,3	24,8		0,5	780,5
1990				24,5	68,5	128,6	132,5	94,5	125,8	6,5	2,6		583,5
1991			2,9	47,7	155,3	194,7	144,0	274,1	138,0	90,7			1 047,4
1992				9,1	68,9	150,0	85,2	154,9	160,5	36,1	18,3		683,0
1993		3,8	12,7	35,2	58,0	124,2	185,5	292,2	278,6	30,9			1 021,1
1994			22,7	11,1	22,2	145,7	182,4	355,9	116,9	130,4			987,3
1995			1,4	30,0	142,2	143,3	84,8	209,9	82,9	23,4	11,2		729,1
1996			3,0	67,9	128,7	82,2	175,8	306,7	184,9	118,0			1 067,2
1997			2,5	192,8	68,3	109,0	173,2	165,5	150,1	127,5			988,9
1998				171,2	76,7	23,6	237,0	238,3	224,9	63,7			1 035,4
1999	0,9		4,0	27,6	102,3	114,0	153,1	424,2	130,0	50,7			1 006,8
2000	1,2			19,7	72,8	87,1	127,1	201,2	122,4	64,7			696,2
2001			0,7	49,0	105,0	81,5	290,3	141,2	107,3	15,5			790,5
2002			1,6	24,7	0,8	111,5	218,2	145,3	121,4	16,0			639,5
2003			10,8	25,3	122,8	160,7	186,2	304,2	200,5	29,9			1 040,4
2004		4,2	2,3	72,6	67,8	54,3	292,5	192,7	138,5	27,9	9,0		861,8
2005			1,0	21,5	50,5	107,9	128,8	197,7	187,6	68,3			763,3
2006			6,2	17,0	26,6	122,6	181,2	186,0	198,3	91,1			829,0
2007			0,3	112,6	35,0	72,7	179,1	350,8	89,2	28,0	0,6		868,3
2008			6,4	5,5	70,7	119,6	279,0	443,2	180,6	29,7			1 134,7
2009			7,8	26,0	47,4	143,3	138,2	233,1	187,3	46,7			829,8
2010		0,2		35,6	94,2	62,5	235,0	252,4	244,2	110,0	0,4		1 034,5
2011		3,1	9,4	26,4	40,4	195,5	140,0	259,1	94,0	47,7			815,6
2012													1 038,7
2013													967,7
2014													1 135,3
2015													833,7
2016													932,3

SERVICE METEOROLOGIQUE

PLUVIOMETRIE MAXI

Période (1980-2016)

STATION DE BOROMO

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	AN
1980				6,2	19,8	42,1	69,2	52,7	39,6	11,9		0,8	69,2
1981			9,3	7,0	27,7	23,3	24,2	79,1	27,7	10,3			79,1
1982		4,7	8,5	26,0	42,0	39,5	44,8	29,4	22,9	19,8	3,0		44,8
1983				10,9	17,8	24,4	45,3	54,8	21,2				54,8
1984			5,0	12,7	38,4	32,0	26,4	47,6	33,9	25,9	21,1		47,6
1985			11,5	16,9	8,6	31,3	65,8	79,6	32,7	11,4			79,6
1986				12,9	38,8	29,8	36,8	53,6	49,4	8,5	0,9		53,6
1987					29,3	29,0	43,0	50,5	43,7	28,5			50,5
1988			0,7	36,1	21,9	30,0	64,0	70,6	13,4	12,5	11,2		70,6
1989			11,8	49,0	26,6	26,3	48,2	30,6	27,5	10,8		0,5	49,0
1990				15,2	26,3	32,4	29,6	36,0	29,7	5,6	1,7		36,0
1991			2,8	22,0	62,9	45,1	98,5	39,5	48,5	26,0			98,5
1992				4,2	33,0	30,6	24,6	43,3	54,6	14,6	8,7		54,6
1993		3,8	11,8	19,8	26,7	33,6	44,6	68,5	124,0	21,3			124,0
1994			13,5	6,1	9,9	35,8	89,6	70,9	18,4	38,3			89,6
1995			1,4	14,0	42,6	34,8	24,7	47,4	29,9	9,9	10,5		47,4
1996			2,8	23,3	55,4	32,2	33,4	45,4	72,0	41,3			72,0
1997			2,5	82,0	20,8	24,6	61,3	42,9	26,5	47,3			82,0
1998				122,5	22,2	9,8	35,9	66,4	57,9	38,0			122,5
1999	0,9		4,0	17,7	49,5	61,0	43,5	119,1	25,9	22,6			119,1
2000	1,1			13,9	28,2	23,5	44,2	34,7	22,8	24,7			44,2
2001			0,7	37,4	63,3	16,4	49,6	43,1	22,1	15,5			63,3
2002			1,6	6,7	0,4	29,8	46,8	47,5	42,5	8,1			47,5
2003			6,8	9,6	77,7	34,0	41,2	47,8	67,4	18,9			77,7
2004		2,7	2,3	30,8	30,1	16,6	45,3	32,9	52,4	26,9	9,0		52,4
2005			0,7	21,3	31,9	33,7	33,7	38,3	45,0	55,9			55,9
2006			0,2	16,9	11,6	30,8	50,6	47,5	45,0	26,0			50,6
2007			0,3	35,9	31,9	16,5	33,3	66,4	35,9	13,4	0,6		66,4
2008			2,9	4,1	43,3	34,1	72,4	134,0	39,5	20,8			134,4
2009			4,5	21,1	20,2	48,4	38,5	42,9	29,6	38,7			48,4
2010		0,2		28,0	38,2	38,5	41,0	56,7	53,3	53,6	0,4		56,7
2011		3,1	8,8	13,4	11,5	105,1	25,9	47,0	17,7	14,4			105,1
2012													100,5
2013													63
2014													88,2
2015													48,7
2016													57

ANNEXE 2 : CALCUL DES PARAMETRES DES BASSINS VERSANTS

CALCUL DES PARAMETRES DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE FARA Méthodes ORSTOM et CIEH			
Généralités			
Pays	BURKINA FASO		
Région	BOUCLEDU MOUHOUN		
Province	BALE		
Commune	FARA		
Nom	FARA		
Coordonnées de l'exutoire (UTM 30P)			
X	527042,00		
Y	1275205,00		
Caractéristiques physiques			
Périmètre		P =	17,38 km
Superficie		S =	8,93 km ²
Pente longitudinale	$I = 0,026/S^{1/2}$	I =	0,008702 52
Pente transversale		It =	15,00 m/km
Indice de compacité	$Ic = 0,282 \times P/S^{1/2}$	Ic =	1,64
Longueur du rectangle équivalent	$Leq = S^{1/2} \times (Ic / 1,128) \times (1 + (1 - (1.128/Ic)^2)^{0,5})$	Leq =	7,50 km
Largeur du rectangle équivalent	$leq = S/Leq$	leq =	1,19 km
Altitude maximale		Z _{max} =	311,00 m
Altitude minimale		Z _{min} =	246,00 m
Altitude à 5% de surface		Z _{5%} =	282,99 m
Altitude à 95% de surface		Z _{95%} =	260,50 m
Altitude moyenne	$Z_{moy} = (Z_{5\%} + Z_{95\%})/2$	Z _{moy} =	271,74 m
Altitude médiane	$Z_{med} = (Z_{max} + Z_{min})/2$	Z _{med} =	278,50 m
Indice globale de pente	$Ig = (Z_{5\%} - Z_{95\%})/Leq$	Ig =	3,00 m/km
Correction de Ig			
Valeur de "n" si	Leq < 5km	n =	2
	5km < Leq < 25km		3
	25km < Leq < 50km		4
	Leq > 50km		5
Indice globale de pente corrigé	$Ig_{corr} = [(n-1) \times Ig + It]/n$	Ig _{corr} =	7,00 m/km
Indice globale de pente retenu	$Ig_{ret} = Ig_{corr}$ si $(It - Ig)/It > 20\%$, sinon $Ig_{ret} = Ig$	Ig _{ret} =	7,00 m/km
Dénivellé spécifique	$Ds = Ig \times S^{1/2}$	Ds =	20,91 m
Densité de drainage	$Dd = It/S$	Dd =	0,00 km/km ²
Type de relief	Si Ds < 50m ==> relief faible Si 50m < Ds < 100m ==> relief modéré Si Ds > 100m ==> relief fort	relief faible	
Pluie journalière décennale humide		P ₁₀ =	99,90 mm
Pluie journalière centennale humide		P ₁₀₀ =	143,00 mm
Pluie moyenne annuelle		P _{moy} =	878,00 mm
Type de climat		tropical sec	
Coefficient majorateur		m =	1,05
Coefficient d'abattement	$A = 1 - [(161 - 0,042 \times P_{moy})/1000] \times \text{Log}(S)$	A =	0,88
Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale		Alpha ₁₀ =	2,60
Calcul du coefficient de ruissellement décenal			

	pour lg1 on a:	lg1 = 3,00 m/km
	$Kr70 = 150/(20+S)+15$	Kr70 = 20,19 %
	$Kr100 = 200/(30+S)+17$	Kr100 = 22,14 %
	pour lg2 on a:	lg2 = 7,00 m/km
	$Kr70 = 200/(20+S)+18,5$	Kr70 = 25,41 %
	$Kr100 = 240/(30+S)+22$	Kr100 = 28,17 %
	Pour lg _{ret} on aura par interpolation linéaire:	lg _{ret} = 7,00 m/km
	Kr70 calculé	Kr70 _{cal} = 25,41 %
	Kr100 calculé	Kr100 _{cal} = 28,16 %
Coefficient de ruissellement décennal	$Kr10 = (Kr100-Kr70)/(100-70) \times (P10-100) + Kr100$	Kr10 = 28,16 %

CALCUL DES PARAMETRES DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE VY

Méthodes ORSTOM et CIEH

Généralités				
Pays	BURKINA FASO			
Région	BOUCLE DU MOUHOUN			
Province	BALE			
Commune	BAGASSI			
Nom	VY			
Coordonnées de l'exutoire (UTM 30P)				
X	484722,00			
Y	1300340,00			
Caractéristiques physiques				
Périmètre		P =	60,41	km
Superficie		S =	102,40	km²
Pente longitudinale	$I = 0,026/S^{1/2}$	I =	0,0025 6935	
Pente transversale		It =	9,50	m/km
Indice de compacité	$Ic = 0,282 \times P/S^{1/2}$	Ic =	1,68	
Longueur du rectangle équivalent	$Leq = S^{1/2} \times (Ic / 1,128) \times (1 + (1 - (1.128/Ic)^2)^{0,5})$	Leq =	26,31	km
Largeur du rectangle équivalent	$leq = S/Leq$	leq =	3,89	km
Altitude maximale		Z _{max} =	375,00	m
Altitude minimale		Z _{min} =	265,00	m
Altitude à 5% de surface		Z _{5%} =	323,99	m
Altitude à 95% de surface		Z _{95%} =	277,21	m
Altitude moyenne	$Z_{moy} = (Z_{5\%} + Z_{95\%})/2$	Z _{moy} =	300,60	m
Altitude médiane	$Z_{med} = (Z_{max} + Z_{min})/2$	Z _{med} =	320,00	m
Indice globale de pente	$Ig = (Z_{5\%} - Z_{95\%})/Leq$	Ig =	1,78	m/km
Correction de Ig				
Valeur de "n" si	Leq < 5km	n =	2	
	5km < Leq < 25km		3	
	25km < Leq < 50km		4	
	Leq > 50km		5	
Indice globale de pente corrigé	$Ig_{corr} = [(n-1) \times Ig + It]/n$	Ig _{corr} =	3,71	m/km
Indice globale de pente retenu	$Ig_{ret} = Ig_{corr}$ si $(It - Ig)/It > 20\%$, sinon $Ig_{ret} = Ig$	Ig _{ret} =	3,71	m/km
Dénivellé spécifique	$Ds = Ig \times S^{1/2}$	Ds =	37,53	m
Densité de drainage	$Dd = It/S$	Dd =	0,00	km/k m²
Type de relief	Si Ds < 50m ==> relief faible	relief faible		
	Si 50m < Ds < 100m ==> relief modéré			
	Si Ds > 100m ==> relief fort			
Pluie journalière décennale humide		P ₁₀ =	99,90	mm
Pluie journalière centennale humide		P ₁₀₀ =	143,00	mm
Pluie moyenne annuelle		P _{moy} =	878,00	mm
Type de climat		tropical sec		
Coefficient majorateur		m =	1,05	
Coefficient d'abattement	$A = 1 - [(161 - 0,042 \times P_{moy})/1000] \times \text{Log}(S)$	A =	0,75	
Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale		Alpha ₁₀ =	2,60	
Calcul du coefficient de ruissellement décennal				

	pour Ig1 on a:	Ig1 = 3,00 m/km
	Kr70 = $150/(20+S)+15$	Kr70 = 16,23 %
	Kr100 = $200/(30+S)+17$	Kr100 = 18,51 %
	pour Ig2 on a:	Ig2 = 7,00 m/km
	Kr70 = $200/(20+S)+18,5$	Kr70 = 20,13 %
	Kr100 = $240/(30+S)+22$	Kr100 = 23,81 %
	Pour Ig _{ret} on aura par interpolation linéaire:	Ig _{ret} = 3,71 m/km
	Kr70 calculé	Kr70 _{cal} = 16,92 %
	Kr100 calculé	Kr100 _{cal} = 19,45 %
Coefficient de ruissellement décennal	Kr10 = $(Kr100-Kr70)/(100-70) \times (P10-100) + Kr100$	Kr10 = 19,44 %

CALCUL DES PARAMETRES DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE PÂ Méthodes ORSTOM et CIEH			
Généralités			
Pays	BURKINA FASO		
Région	BOUCLE DU MOUHOUN		
Province	BALE		
Commune	PÂ		
Nom	PÂ		
Coordonnées de l'exutoire (UTM 30P)			
X	473460,00		
Y	1270497,00		
Caractéristiques physiques			
Périmètre		P =	87,76 km
Superficie		S =	245,12 km ²
Pente longitudinale	$I = 0,026/S^{1/2}$	I =	0,0016 6067
Pente transversale		It =	7,50 m/km
Indice de compacité	$Ic = 0,282 \times P/S^{1/2}$	Ic =	1,58
Longueur du rectangle équivalent	$Leq = S^{1/2} \times (Ic / 1,128) \times (1 + (1 - (1.128/Ic)^2)^{0.5})$	Leq =	37,31 km
Largeur du rectangle équivalent	$leq = S/Leq$	leq =	6,57 km
Altitude maximale		Z _{max} =	436,00 m
Altitude minimale		Z _{min} =	266,00 m
Altitude à 5% de surface		Z _{5%} =	369,32 m
Altitude à 95% de surface		Z _{95%} =	280,08 m
Altitude moyenne	$Z_{moy} = (Z_{5\%} + Z_{95\%})/2$	Z _{moy} =	324,70 m
Altitude médiane	$Z_{med} = (Z_{max} + Z_{min})/2$	Z _{med} =	351,00 m
Indice globale de pente	$Ig = (Z_{5\%} - Z_{95\%})/Leq$	Ig =	2,39 m/km
Correction de Ig			
Valeur de "n" si	Leq < 5km	n =	2
	5km < Leq < 25km		3
	25km < Leq < 50km		4
	Leq > 50km		5
Indice globale de pente corrigé	$Ig_{corr} = [(n-1) \times Ig + It]/n$	Ig _{corr} =	3,67 m/km
Indice globale de pente retenu	$Ig_{ret} = Ig_{corr}$ si $(It - Ig)/It > 20\%$, sinon $Ig_{ret} = Ig$	Ig _{ret} =	3,67 m/km
Dénivellé spécifique	$Ds = Ig \times S^{1/2}$	Ds =	57,44 m
Densité de drainage	$Dd = Lt/S$	Dd =	0,00 km/km ²
Type de relief	Si Ds < 50m ==> relief faible Si 50m < Ds < 100m ==> relief modéré Si Ds > 100m ==> relief fort	relief modéré	
Pluie journalière décennale humide		P ₁₀ =	99,90 mm
Pluie journalière centennale humide		P ₁₀₀ =	143,00 mm
Pluie moyenne annuelle		P _{moy} =	878,00 mm
Type de climat		tropical sec	
Coefficient majorateur		m =	1,05
Coefficient d'abattement	$A = 1 - [(161 - 0,042 \times P_{moy})/1000] \times \text{Log}(S)$	A =	0,70
Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale		Alpha ₁₀ =	2,60
Calcul du coefficient de ruissellement décenal			

	pour Ig1 on a:	Ig1 = 3,00 m/km
	Kr70 = $150/(20+S)+15$	Kr70 = 15,57 %
	Kr100 = $200/(30+S)+17$	Kr100 = 17,73 %
	pour Ig2 on a:	Ig2 = 7,00 m/km
	Kr70 = $200/(20+S)+18,5$	Kr70 = 19,25 %
	Kr100 = $240/(30+S)+22$	Kr100 = 22,87 %
	Pour Ig _{ret} on aura par interpolation linéaire:	Ig _{ret} = 3,67 m/km
	Kr70 calculé	Kr70 _{cal} = 16,18 %
	Kr100 calculé	Kr100 _{cal} = 18,59 %
Coefficient de ruissellement décennal	Kr10 = $(Kr100-Kr70)/(100-70) \times (P10-100) + Kr100$	Kr10 = 18,58 %

ANNEXE 3 : CORRESPONDANCES ECHANGEES



- Génie Civil
- Aménagements
- Hydraulique
- Assainissement
- Développement local

Ouagadougou, le 22 avril 2021

Le Directeur Général de CAFI-B

A

Monsieur le Coordonnateur du Programme
d'Approvisionnement en Eau et d'Assainissement (PAEA)

OUAGADOUGOU

Nos réf. : CAFI-B/L/57/2021

Objet :

Etudes bathymétriques de 85 retenues d'eau au profit du PAEA – Lot 5
DEMANDE DE REMPLACEMENT DU SITE DE LERY

Monsieur le Coordonnateur,

Le bureau d'études CAFI-B est attributaire du marché n° 42/00/02/05/00/2021-00012 pour la réalisation de la mission citée en objet, portant sur les barrages de Lery, Fara, Pa et Vy. Par ordre de service n° 01, le bureau d'études a été invité à commencer ses prestations à partir du 12 mars 2021.

Lors de la remise de site de Lery qui s'est déroulée le 12 avril 2021, l'équipe n'a pas pu accéder à la retenue d'eau de Lery où doivent se faire les levés bathymétriques, à cause de l'insécurité. Elle s'est limitée seulement au village de Lery. En effet, plusieurs témoignages rapportent que les incursions d'hommes armés non identifiés avec menaces de mort sont fréquentes dans la zone. Un membre de la police de l'eau au niveau local représentant la Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement de la Boucle du Mouhoun, qui était avec l'équipe a même contacté les FDS pour en savoir plus sur la situation sécuritaire du site avant le départ de l'équipe de Dédougou. Il a été fortement déconseillé d'y aller sans être accompagné de la sécurité et ne pas y durer.

Rappelons que la longueur du cours d'eau qui est le Sourou, sur lequel doit se faire la bathymétrie s'étend sur environ 60 km au Burkina Faso et tout le reste plus de 100 km se trouve sur le territoire malien.

Au regard de cette situation d'insécurité et compte tenu du fait que les travaux bathymétriques vont s'étendre sur une longue période, il sera visiblement impossible au bureau d'études de mener les études bathymétriques du barrage de Lery dans ces conditions. Par conséquent, nous venons par la présente vous demander le remplacement de ce site par un autre plus accessible.

Nous espérons que vous comprendrez le bien-fondé de notre démarche et que vous nous situerez au plus tôt sur la suite à donner à notre requête, afin que cette situation n'impacte pas le délai contractuel de la mission.

Veillez croire, Monsieur le Coordonnateur, à l'assurance de notre parfaite considération.



Le Directeur Général,

Lassina SANOU
Ingénieur du génie rural



Etudes – Contrôle – Conseils – Assistance technique – Formation- Gestion
06 BP 10489 Ouagadougou 06 Tél : 25 50 01 99/25 41 24 24 Email : cafi@fasonet.bf/cafis2000@yahoo.fr