



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2018-2019

N° D'ORDRE : 0290/2020

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI0414002829

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

Évaluation des ressources en eau utilisées pour la production de la canne à sucre dans les complexes sucriers de Ferkessédougou (Nord de la Côte d'Ivoire)

LABORATOIRE :

SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

SORO Do Ange Désiré

JURY

Président : M. KOFFI Béné Jean Claude, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : Me. TOURE née YAO Affoué Berthe, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. SORO Tanina Drissa, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 25 / 07 / 2020

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1 : GÉNÉRALITÉS	4
1.1. Description du bassin versant du Haut Bandama	5
1.1.1 Présentation de la zone d'étude	5
1.1.2. Géomorphologie	6
1.1.3. Précipitations et températures	6
1.1.4. Réseau hydrographique.....	7
1.1.5. Végétation	8
1.1.6. Sols.....	8
1.1.7. Aspects socio-économiques	9
1.2. Présentation de la structure d'accueil.....	9
1.2.1. Historique	9
1.2.2 Description des activités de la SUCAF-CI.....	9
1.2.3 Direction Irrigation	10
1.2.4 Organigramme de la Direction irrigation.....	10
1.2.5 Etat des lieux de la gestion de l'eau dans les périmètres sucriers de Ferké.....	10
1.3. Mesures bathymétriques	11
1.3.1 Matériel de mesures bathymétriques	11
1.3.1.1 Matériel de déplacement sur le plan d'eau	11
1.3.1.2. Capteur et équipement bathymétrique.....	11
1.3.1.3. Techniques de levés bathymétriques	12
1.3.2 Caractérisation du système d'irrigation de la SUCAF-CI	13
1.4. Conclusion partielle	13
PARTIE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	14
2.1. Matériel.....	15
2.1.1 Données collectées.....	15
2.1.2 Matériel de terrain.....	15

2.1.3 Logiciels de traitement des données	17
2.2. Méthodes	17
2.2.1 Caractérisation de la morphologie des retenues d'eau.....	17
2.2.1.1 Élaboration de la carte bathymétrique	17
2.2.1.2 Etablissement des courbes hauteur-volume et hauteur-surface	18
2.2.1.3 Calcul du volume des sédiments dans les retenues des deux barrages	19
2.2.2 Caractérisation de la variabilité hydroclimatique	19
2.2.2.1. Indice standardisé des précipitations (SPI).....	19
2.2.2.2 Indice de sécheresse des débits (SDI).....	21
2.2.2.3 Durée maximale de la sécheresse météorologique et hydrologique	22
2.2.2.4 Intensité de la sécheresse météorologique et hydrologique.....	22
2.2.2.5 Indice de corrélation.....	23
2.2.3 Détermination de l'occurrence des extrêmes hydrologiques	23
2.2.3.1 Calcul du coefficient mensuel de débits	23
2.2.3.2 Détermination des quantiles de crues et d'étiages	24
2.2.3.3 Caractérisation des étiages.....	25
2.3. Conclusion partielle	26
PARTIE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION	27
3.1. Résultats	28
3.1.1 Caractérisation morphologique des retenues d'eau de Morrison et Lokpoho.....	28
3.1.1.1 Analyse morphologique de la retenue d'eau de Morrison.....	28
3.1.1.2 Analyse de la disponibilité en eau dans la retenue de Morrison.....	28
3.1.1.3 Analyse des courbes hauteur-volume et hauteur-surface	29
3.1.1.4 Analyse morphologique de la retenue d'eau de Lopkoho	30
3.1.1.5. Analyse de la disponibilité en eau dans la retenue de Lopkoho	31
3.1.1.6 Analyse des courbes hauteur-volume et hauteur-surface	32
3.1.1.7 Estimation du taux de sédiments des retenues	33
3.1.2. Caractérisation de la variabilité hydroclimatique.....	34
3.1.2.1 Sécheresse météorologique et hydrologique sur le bassin versant du Haut Bandama.....	34
3.1.2.2 Sécheresse hydrologique sur le bassin versant du Haut Bandama.....	34
3.1.2.3 Intensité et durée maximale des séquences de sécheresse météorologique et hydrologique sur le bassin versant du Haut Bandama.....	35

3.1.2.4 Relation entre l'indice météorologique (ISP) et l'indice hydrologique (ISD) sur le bassin versant du Haut Bandama	36
3.1.3 Détermination de l'occurrence des extrêmes hydrologiques	36
3.1.3.1 Détermination des périodes de basses eaux et de hautes eaux	36
3.1.3.2. Analyse des débits de crue.....	37
3.1.3.3. Analyse des débits d'étiage.....	38
3.1.3.4. Seuils de vigilance et de crise	40
3.2. Discussion.....	41
CONCLUSION	44
RÉFÉRENCES.....	47

DEDICACE

A notre père SORO Souleymane et nos mères KEI Djé Nicole et OUATTARA Djeneba pour votre assistance à tous les niveaux. Puisse DIEU vous accorder une longue vie pour que vous bénéficiiez du fruit de vos efforts.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous voudrions remercier tous ceux qui, à travers un appui scientifique ou un soutien moral, financier et affectif, nous ont aidé à réaliser ce mémoire. Nous rendons grâce à DIEU le Tout Puissant, sans qui rien n'est possible.

Nous tenons à remercier la première responsable de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) avec à leur tête la Présidente TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE pour avoir accepté notre inscription en Master de Génie de l'Eau et de l'Environnement (GEE) et pour la formation de qualité dont nous avons bénéficié.

Nous exprimons notre gratitude à Monsieur le Directeur de l'UFR Environnement, Dr KOUASSI Kouakou Lazare, Maître de Conférences, également Directeur scientifique de ce mémoire qui a bien voulu accepter de coordonner et diriger ces travaux. Merci Directeur, pour votre confiance. Nous vous réitérons notre sincère reconnaissance pour nous avoir inculqué l'amour du travail et surtout du travail bien fait. Nous remercions Dr DIBI Brou, Maîtres de conférences, directeur du Laboratoire Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) de nous avoir accepté au sein du laboratoire pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons également à exprimer toute notre gratitude envers les personnes qui ont contribué à l'amélioration de ce travail. Il s'agit de :

Dr TOURE née YAO Affoué Berthe, qui a accepté l'encadrement de ce travail. Nous vous remercions Docteur pour votre disponibilité, votre rigueur et vos critiques pertinentes. Merci infiniment pour votre inestimable soutien scientifique et moral, pour vos précieux conseils et pour votre sympathie. Vous nous avez beaucoup appris. Merci pour tout !

Nos aînés du Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement pour leur disponibilité et leur aide inestimable, plus particulièrement M. KOFFI Bérenger, M. KOUADIO Kouamé Jean Olivier, M. OUATTARA Gningéri Souleymane, M. TOURE Fanraban Fabrice et M. OUEDE Gla Blaise.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les enseignants de l'UFR Environnement qui ont contribué à notre formation.

Nous exprimons notre reconnaissance aux responsables de la SUCAF-CI à savoir :

- le Directeur Général Adjoint (DGA) des complexes sucriers de Ferkessédougou, Monsieur Jean Pierre CHAMPEAUX, qui a œuvré pour que ce stage puisse se dérouler dans de très bonnes conditions ;

- le Directeur Technique Agricole, Monsieur Ignace WINANDY, qui a permis que ce stage se déroule au sein de sa direction ;
- le Directeur de la Recherche et du Développement, Professeur Bi Crépin PÉNÉ, notre maître de stage pour sa disponibilité ;
- le Directeur de l'Irrigation, Monsieur KOUAME Germain Amani qui a œuvré pour le bon déroulement de ce stage et grâce à qui que nous avons obtenu la majeure partie des données nécessaires à cette étude.

Nous remercions Monsieur JAUNÂTRE Julien, Coordinateur Projets et Méthodes Agricoles, qui nous a soutenus pendant le déroulement de ce stage et grâce à qui, nous avons participé au projet extension sud de Ferké 2 (PESUF).

Nous tenons à remercier du fond du cœur tout le personnel du Laboratoire Pierre CASTEL de Ferké 2, le service topographie de Ferké 2 et l'ensemble du personnel du service irrigation de Ferké 1 et Ferké 2, pour leur disponibilité et leur sympathie en particulier Monsieur YAPI George, Assistant contrôle Qualité et essai Agronomique, Monsieur DOSSO Brahim, Chef service Aménagements et SIG, Monsieur DAMIEN Noman Koffi Bienvenu, Assistant Exploitation Irrigation et Monsieur COULIBALY Yessiouele, Chef de Section Topographie.

À toutes ces personnes que nous n'avons pas pu citer ici, sachez que vous occupez aussi une place de choix dans notre cœur. Nous vous exprimons nos sincères remerciements.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AEP	: Alimentation en Eau Potable
AFD	: Agence Française de Développement
CCC CI/UE	: Cellule de Coordination de la Coopération Côte d'Ivoire Union Européenne
CLIMSUCAF	: Services Climatiques et Météorologies pour la production et l'exploitation durable de la Canne à sucre en Afrique
CMD	: Coefficient Mensuel de Débits
DGA	: Directeur Général Adjoint
DI	: Direction Irrigation
DP	: Directions des Plantations
DRD	: Direction Recherche et Développement
DTA	: Direction Technique Agricole
GEE	: Génie de l'Eau et de l'Environnement
GPS	: Global Positioning System
IDW	: Inverse Distance Weighting
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement
LSTE	: Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
PESUF	: Projet Extension au Sud de Ferké 2
QAXMA	: Débits Maximums Mensuels Annuels
QMNA	: Débits Minimums Mensuels Annuels
SDI	: Indice de Sécheresse de Débit
SODESUCRE	: Société pour le Développement des plantations de canne à Sucre, l'industrialisation et la commercialisation du Sucre
SOMDIAA	: Société d'Organisation de Management et de Développement des Industries
SPI	: Indice de Sécheresse Pluviométrique
SUCAF-CI	: Sucrerie d'Afrique-Côte d'Ivoire
UE-RCI	: Union Européenne-République de Côte d'Ivoire
UFR	: Unité de Formation
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Humidités caractéristiques moyennes des sols du site de Ferké 2 (Jean-Baptiste, 2015).....	8
Tableau II : Classification de la sécheresse suivant les valeurs des SPI (McKee <i>et al.</i> , 1993)	20
Tableau III : Classification des états de sécheresse hydrologiques (Nalbantis & Tsakiris, 2009)	22
Tableau IV : Paramètres bathymétriques du barrage de Morrison	29
Tableau V : Paramètres bathymétriques du barrage de Lopkoho	32
Tableau VI : Taux de sédiments des deux retenues	34
Tableau VII : Intensité et durée maximale des séquences de sécheresse météorologique et hydrologique sur le bassin versant du Haut Bandama.....	36
Tableau VIII : Régime hydrologique du fleuve Bandama à la station route Korhogo-Badikaha sur la période 1986-2015	37
Tableau IX : Comparaison des lois statistiques pour l’ajustement des débits de crue du fleuve Bandama à la station route Korhogo-Badikaha	37
Tableau X : Quantiles des crues pour diverses périodes de retour de débits à la station route Korhogo-Badikaha	38
Tableau XI : Comparaison des lois statistiques pour l’ajustement des débits à la station route Korhogo-Badikaha	39
Tableau XII : Débits d’étéages pour diverses périodes de retour de débits à la station route Korhogo-Badikaha.	40
Tableau XIII : Seuils de vigilance et de crise de chaque période de retour	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du bassin versant du Haut Bandama	5
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la station de Ferké 2 sur la période 1999-2019	6
Figure 3 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant du Haut Bandama.....	7
Figure 4 : Évolution des débits moyens mensuels du Haut Bandama à la station route Korhogo-Badikaha sur la période 1975 -1996.....	8
Figure 5 : Organigramme de la Direction irrigation (DI)	10
Figure 6 : Principe de la cartographie bathymétrique par échosondeur (source : futura-sciences.com consulté le 27/06/2020)	12
Figure 7 : Matériel pour la bathymétrie : (A) Hors-bord, (B) Echosondeur.....	16
Figure 8 : Matériel de jaugeage : (A) OTT Qliner 2, (B) Echelles limnimétriques	16
Figure 9 : GPS portatif.....	17
Figure 10 : Aperçu de la zone de réalisation des levés bathymétriques (Google Earth, 2020)	18
Figure 11 : Trois composantes d'une sécheresse : DS = gravité des épisodes de sécheresse ; ID= intensité ; Dd = durée (Boudad <i>et al.</i> , 2018).....	23
Figure 12 : Carte bathymétrique de la retenue d'eau de Morrison : profondeurs (A), pentes (B)	28
Figure 13 : Courbe hauteur-surface de la retenue de Morrison	30
Figure 14 : Courbe hauteur-volume de la retenue de Morrison.....	30
Figure 15 : Carte bathymétrique de la retenue d'eau de Lopkoho : profondeurs (A), pentes (B)	31
Figure 16 : Courbe hauteur-volume de la retenue de Lopkoho	33
Figure 17 : Courbe hauteur-surface de la retenue de Lopkoho	33
Figure 18 : Evolution des indices de sécheresse des pluies à la station pluviométrique de Ferkessédougou sur la période 1986-2015	34
Figure 19 : Evolution des indices de sécheresse de débits à la station hydrométrique de route Korhogo-Badikaha de 1986 à 2015.....	35
Figure 20 : Relation entre l'indice météorologique (ISP) et l'indice hydrologique (ISD) sur le bassin versant du Haut Bandama sur la période 1986-2015.....	36
Figure 21 : Loi de Gumbel ajustée par la méthode de maximum de vraisemblance aux séries de débits de crues du fleuve Bandama à la station route Korhogo-Badikaha.....	38

Figure 22 : Loi de Gamma inverse ajustée par la méthode de maximum de vraisemblance aux séries de débits de crues du fleuve Bandama à la station route Korhogo-Badikaha.40

INTRODUCTION

Introduction

L'amenuisement des ressources en eau constitue une menace potentiellement majeure pour l'environnement et les activités économiques (UNESCO, 2020). Au nombre des principaux facteurs responsables de cette situation, figurent les incertitudes naturelles observées au niveau du climat (GIEC, 2015), ainsi que les activités anthropiques d'une population en pleine croissance (Machard de Gramont, 2010). En effet, les périodes de sécheresse qui se sont succédées depuis les années 1970 ont provoqué en Afrique de l'Ouest des vagues de famines dues à la perte des récoltes et à la décimation du cheptel (Kouassi *et al.*, 2017). Les fleuves, les lacs et les rivières enregistrent leurs plus bas niveaux ; certains s'étant même asséchés (Yao, 2015). L'analyse du tarissement des fleuves et rivières dans la région sahélienne a mis en évidence une augmentation importante du coefficient de tarissement, autrement dit, une diminution beaucoup plus rapide des aquifères des bassins alimentant l'écoulement de base (Kouassi *et al.*, 2013). Ces impacts du changement climatique ont été fortement ressentis en Côte d'Ivoire du fait que son économie est essentiellement basée sur l'agriculture pluviale et de sa forte dépendance à l'égard des débits des rivières utilisées pour les productions agricoles, industrielles et en eau potable. C'est le cas de la Sucrerie d'Afrique-Côte d'Ivoire (SUCAF-CI), une entreprise agro-industrielle située dans les régions de Ferkessédougou et de Tafiré, au Nord-Est de la Côte d'Ivoire.

La Sucrerie d'Afrique-Côte d'Ivoire exploite les eaux du fleuve Bandama pour la pratique de l'irrigation de la canne à sucre, la fabrication du sucre de canne et les besoins domestiques. Face à la forte demande nationale en sucre (240 000 tonnes) au cours des cinq dernières années, la SUCAF-CI entend à moyen terme, accroître significativement sa production sucrière de 15 voire 20 % à travers une extension des superficies agricoles non seulement sous irrigation (1 500 ha) mais aussi en conditions pluviales. Ces extensions font l'objet de deux projets : Projet Extension au Sud de Ferké 2 (PESUF) en culture industrielle et Union Européenne Côte d'Ivoire (UE-RCI) en culture villageoise. Or, les études sur la variabilité climatique effectuées dans la zone ont montré une baisse généralisée des précipitations (Kouassi *et al.*, 2013 ; Soro *et al.*, 2013 ; Fossou *et al.*, 2015 ; Adiaffi *et al.*, 2016). Cette baisse des précipitations a entraîné une baisse des écoulements de 50 à 70% (Kouassi *et al.*, 2013). A cette baisse des écoulements, s'ajoute la forte croissance de la demande en eau pour l'irrigation, rendant ainsi difficile la gestion des ressources en eau. Ces contraintes pourraient avoir de graves conséquences sur la productivité agricole de la SUCAF-CI (Péné *et al.*, 1997 ; Péné & Assa, 2003 ; Konan *et al.*, 2017). En vue d'étudier l'influence des paramètres climatiques (pluie, humidité, vent, ensoleillement, températures, ...) sur les processus de croissance de la canne à sucre, un projet pilote financé par l'Agence Française de Développement (AFD) est en cours d'exécution. Ce

Introduction

projet a pour but d'étudier la pertinence de la mise en place de systèmes d'informations climatiques pour le secteur de la canne à sucre en république de Côte d'Ivoire avec l'exemple de la SUCAF-CI. C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude dont le thème est : « **Évaluation des ressources en utilisées pour la production de la canne à sucre dans les complexes sucriers de Ferkessédougou (Nord de Côte d'Ivoire)** ». L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les ressources en eau de surface utilisées pour la production du sucre de canne dans les deux complexes sucriers de Ferkessédougou (Ferké 1 et Ferké 2). Plus spécifiquement, l'étude vise à :

- caractériser la morphologie des retenues d'eau ;
- caractériser la variabilité hydroclimatique du bassin versant ;
- déterminer l'occurrence des extrêmes hydrologiques (pluies et débits).

Ce présent mémoire s'articule autour de trois parties :

- la première partie concerne les généralités sur la zone d'étude avec une présentation succincte de la SUCAF-CI où l'étude a été réalisée ;
- la deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés;
- la troisième partie porte sur les résultats obtenus, leur interprétation et la discussion qui en découle. Une conclusion générale comportant des perspectives d'études clôture ce mémoire.

PARTIE 1 : GÉNÉRALITÉS

1.1. Description du bassin versant du Haut Bandama

1.1.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est un sous-bassin du fleuve Bandama dénommé bassin versant du Haut Bandama avec pour exutoire la station hydrométrique de la route Korhogo-Badikaha. Le bassin versant du Haut Bandama est situé entre les longitudes 5°00' et 6°20' Ouest et les latitudes 9°00' et 10°20' Nord (Figure 1). Elle s'étend sur les degrés carrés des régions du Poro, du Tchologo et une partie de la Bagoué avec une superficie estimée à 9 850 km² et représente environ 10% du bassin versant entier du Bandama.

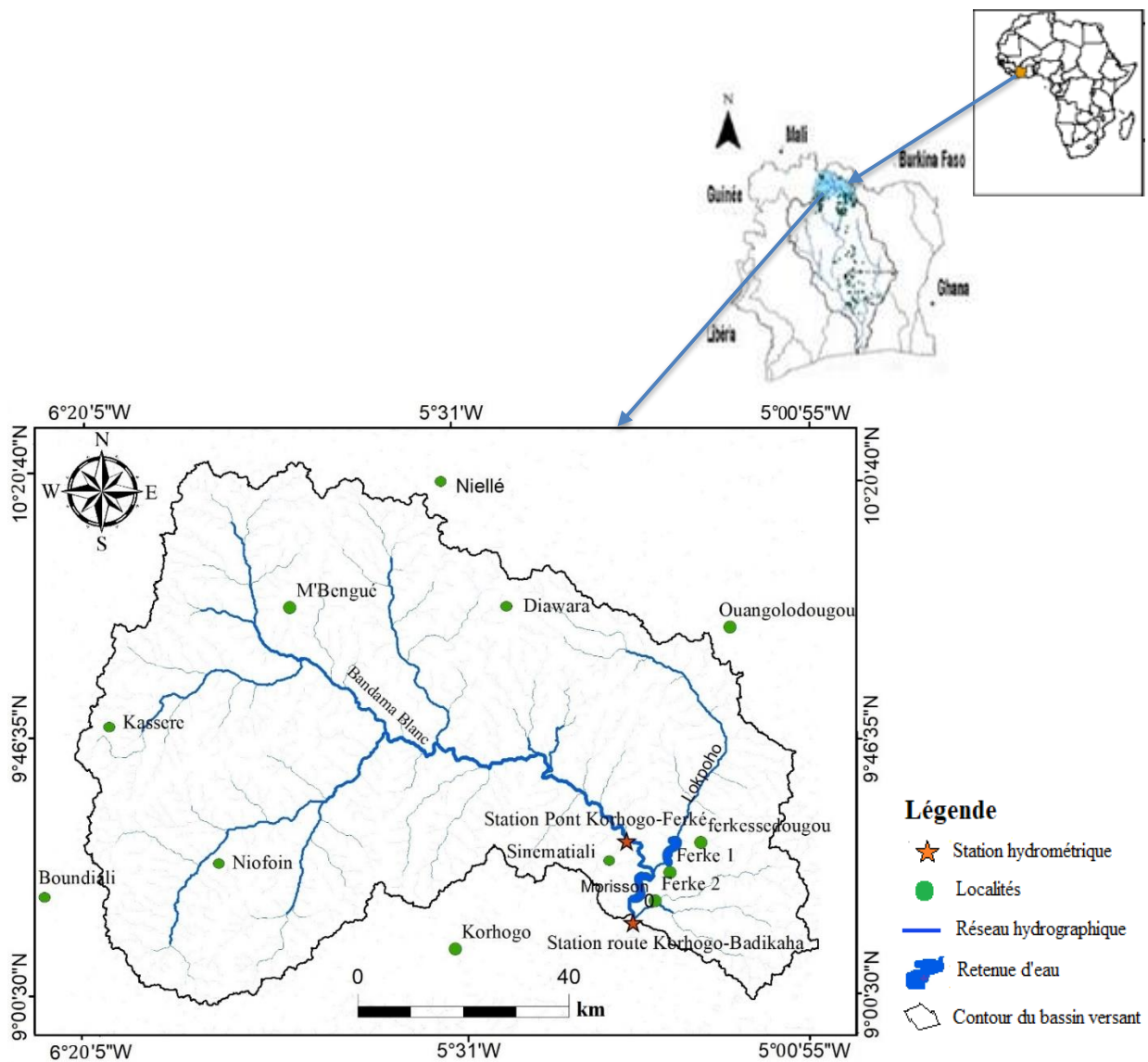


Figure 1 : Localisation du bassin versant du Haut Bandama

1.1.2. Géomorphologie

Le bassin versant étudié appartient à un grand ensemble de relief qui évolue de façon monotone. Toutefois, deux niveaux se distinguent : un premier niveau d'altitude compris entre 200 et 300 m qui correspond à une vaste plaine et un deuxième niveau d'altitude, supérieure à 300 m qui est constitué de plateaux (Biémi, 1992). Les vastes plateaux étagés à la surface plane (horizontale ou subhorizontale) sont les plus développés dans la zone. Ils représentent plus de 75 % de la superficie totale du bassin. Cette particularité favorise la formation des étangs, l'infiltration des eaux et donc la recharge éventuelle des nappes (Biémi, 1992).

1.1.3. Précipitations et températures

Le bassin versant du Haut Bandama est sous l'influence du régime tropical de transition. Ce régime pluviométrique se caractérise par deux grandes saisons (Soro *et al.*, 2013) :

- une grande saison des pluies d'avril à octobre, avec des précipitations moyennes mensuelles variant de 129,3 à 250,4 mm ;
- une longue saison sèche de novembre à mars avec des pluies moyennes variant entre 1,9 et 82,5 mm. Les températures moyennes mensuelles varient entre 25°C en août et 29°C en mars (Figure 2).

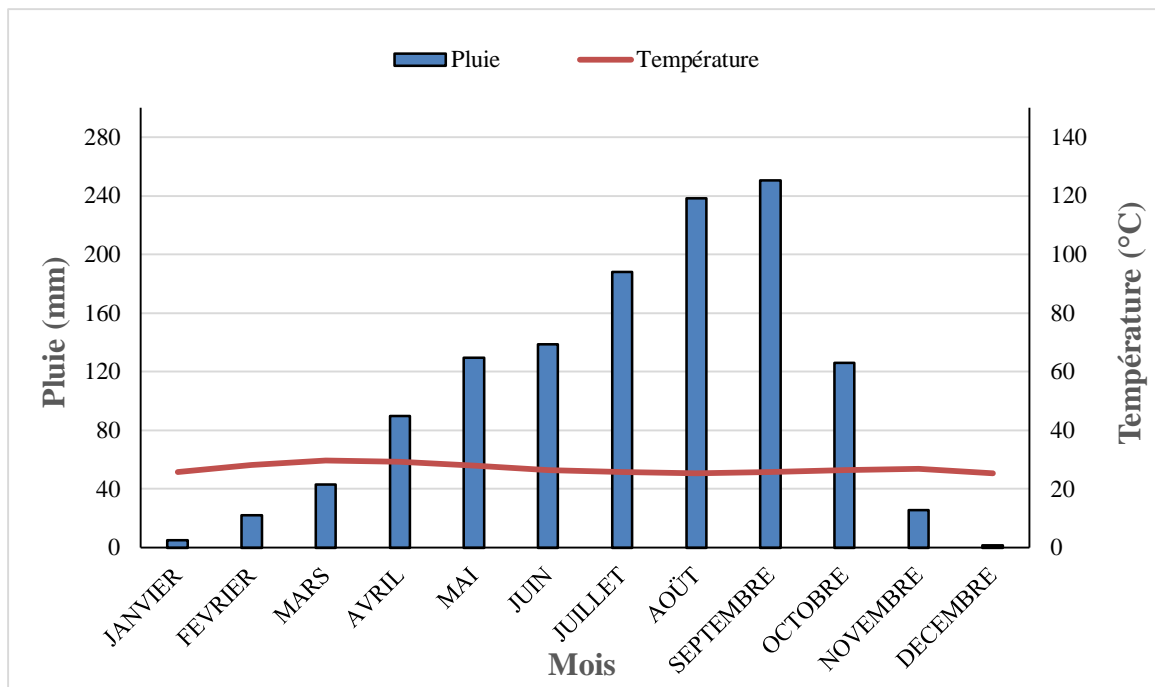


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la station de Ferké 2 sur la période 1999-2019

1.1.4. Réseau hydrographique

Le bassin versant du Haut Bandama prend sa source dans le Nord de la Côte d'Ivoire, entre les localités de Korhogo et Boundiali, à une altitude de 480 m. Il s'écoule d'abord d'Ouest en Est sur près de 200 km, en décrivant un arc de cercle autour de Korhogo (Figure 3), puis prend une direction Nord-Sud où son cours présente de nombreux méandres. Dans la partie amont, le bassin est largement drainé par le Bandama et ses principaux affluents (Solomougou, Lopkoho, Badénou) (Tate & Lyle, 1975 ; Avenard, 1992). Le réseau hydrographique a une tendance curviligne et parfois rectangulaire. La forme du réseau la plus répandue dans la zone est de type dendritique (Jourda, 2005).

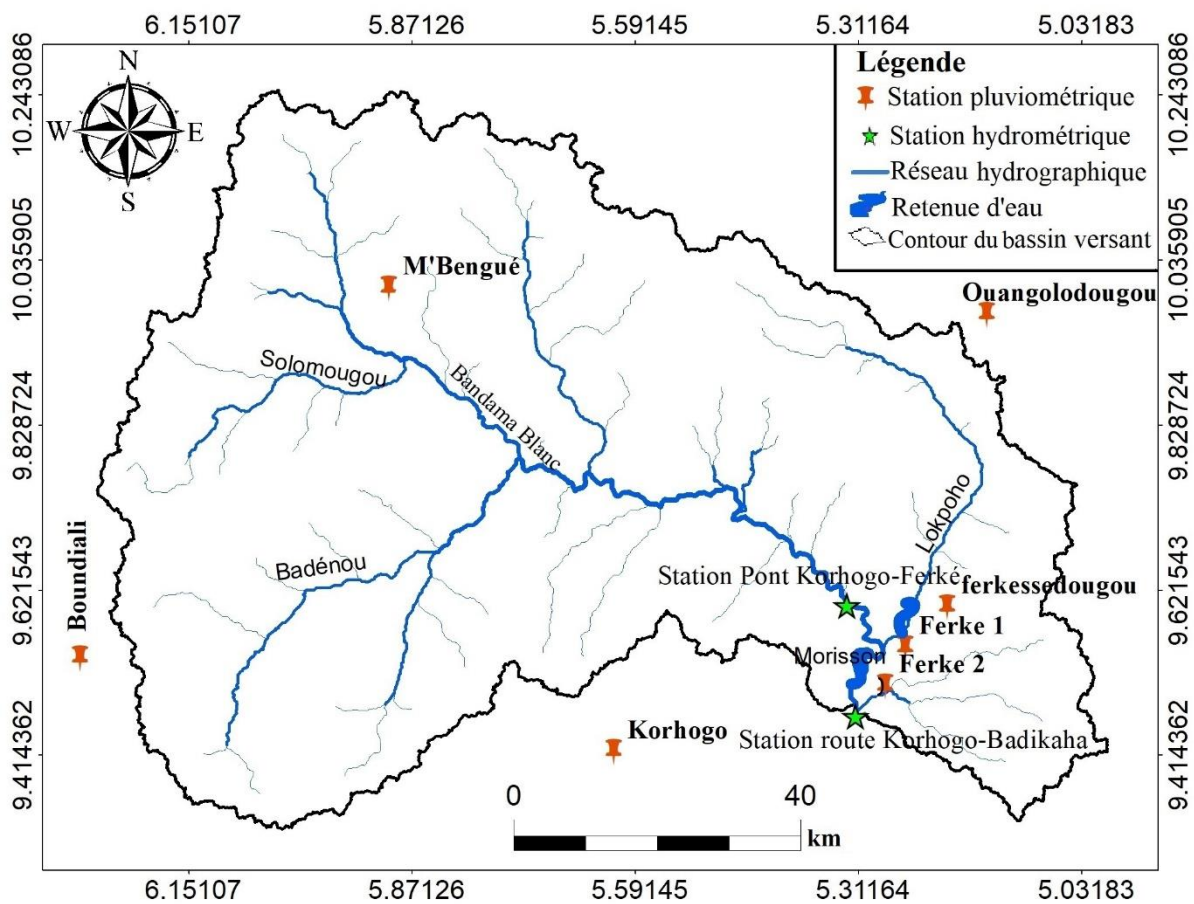


Figure 3 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant du Haut Bandama

Le régime hydrologique est calqué sur celui des précipitations. On y distingue une période de faibles écoulements (étiage) allant de novembre à avril et une période de forts écoulements (crue) allant de juin à octobre (Soro *et al.*, 2013). La crue la plus importante est enregistrée en septembre avec un débit moyen de 129 m³/s (Figure 4).

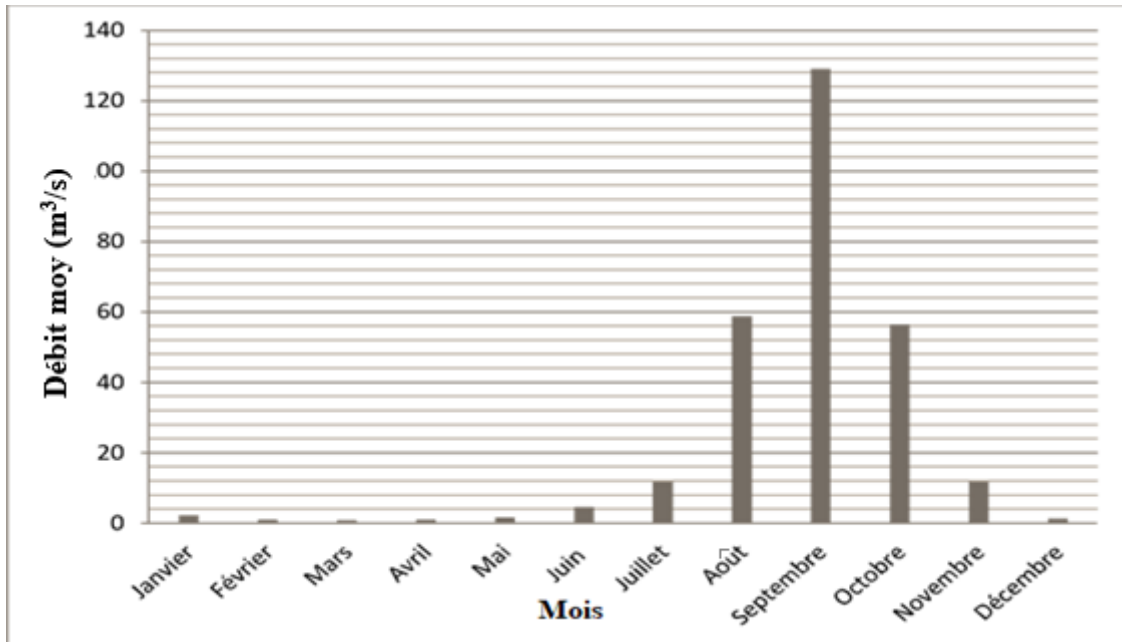


Figure 4 : Évolution des débits moyens mensuels du Haut Bandama à la station route Korhogo-Badikaha sur la période 1975-1996.

1.1.5. Végétation

En liaison avec les régimes climatiques de la Côte d'Ivoire, cette partie du bassin du Bandama est dominée par une végétation de type soudanais. Il comprend les forêts claires et les savanes. Selon le peuplement forestier, la savane évolue vers un type boisé, arboré, arbustif ou herbeuse (Soro *et al.*, 2013).

1.1.6. Sols

Les sols dans les deux complexes sont des ferralsols avec des propriétés latéritiques et hydromorphes. Ces sols sont pauvres en argile et en matière organique (Kouamé, 2019). Ils sont de type limono-argileux, sablo-argileux et sableux (Tableau I). Ils ont donc une structure pauvre, fragile et prédisposée au compactage (Jean-Baptiste, 2015).

Tableau I : Humidités caractéristiques moyennes des sols du site de Ferké 2 (Jean-Baptiste, 2015)

Type de sols	Humidité à la capacité au champ	Humidité au point de flétrissement temporaire
	θ_{cc} (%)	θ_{ft} (%)
limono-argileux	22	14
Sablo-argileux	17	9
Sable	13	7

1.1.7. Aspects socio-économiques

En 2014, le bassin versant comptait près de 1 510 533 habitants (INS, 2014). Les populations rurales du bassin versant pratiquent essentiellement l'agriculture et/ou l'élevage. Les spéculations cultivées sont :

- les cultures vivrières (igname, maïs, riz, arachide, mil, sorgho, patate douce, niébé, fonio);
- les cultures annuelles de rente (coton, tabac, soja, cultures maraîchères, canne à sucre);
- les cultures maraîchères (piment, aubergine, tomate, choux) ;
- les cultures pérennes de rente (mangues, avocats, agrumes, anacarde);

1.2. Présentation de la structure d'accueil

1.2.1. Historique

Les complexes sucriers de Ferkessédougou (Ferké 1 et Ferké 2) dénommés SUCAF-CI ont été créés en 1997 à la suite du programme de restructuration et de privatisation du secteur sucrier ivoirien. Elle remplace donc la SODESUCRE (1970-1997) et fait partie du groupe SOMDIAA (Société d'Organisation de Management et de Développement des Industries Alimentaire et Agricole) depuis 2010 qui est chargé de la production et de la commercialisation de la canne à sucre. Elle est composée de deux sucreries (Ferké 1 et Ferké 2) situées à 40 km l'une de l'autre. Elles ont été construites dans les années 1970 dont l'une par une entreprise américaine (Ferké 1) et l'autre par une entreprise canadienne (Ferké 2). Sous l'autorité du Directeur Général Adjoint, elle comprend pour les deux sites, six (6) directions dont la direction des techniques agricoles (DTA) qui est composée des sous-directions suivantes :

- la Directions des Plantations (DP) ;
- la Direction Recherche et Développement (DRD) ;
- la Direction Irrigation (DI) ;

Il faut noter que le site d'accueil est Ferké 2 notamment la Direction Irrigation.

1.2.2 Description des activités de la SUCAF-CI

La SUCAF-CI est implantée sur une superficie totale de 45 000 ha dont 12 400 ha sous cannes. Elle tire ses cannes de ses surfaces irriguées mais aussi des cultures villageoises environnantes. Au sein de chaque complexe sucrier, est installée une usine de transformation de la canne à sucre. Celle de Ferké 1 est spécialisée dans la production de sucre blanc tandis que celle de Ferké 2 est spécialisée dans la production du sucre roux. Ces produits sont commercialisés sous la marque « Princesse Tatie ».

1.2.3 Direction Irrigation

La Direction Irrigation (DI) comprend trois services à savoir :

- le service exploitation qui est chargé d'assurer les besoins en eau de la canne à travers les techniques d'irrigation (pivots, couverture intégrale etc.) ;
- le service de la maintenance qui est chargé des entretiens préventifs et curatifs des infrastructures d'irrigation ;
- le service chargé des projets de la direction et à la cartographie des sites où nous avons effectué notre stage.

1.2.4 Organigramme de la Direction irrigation

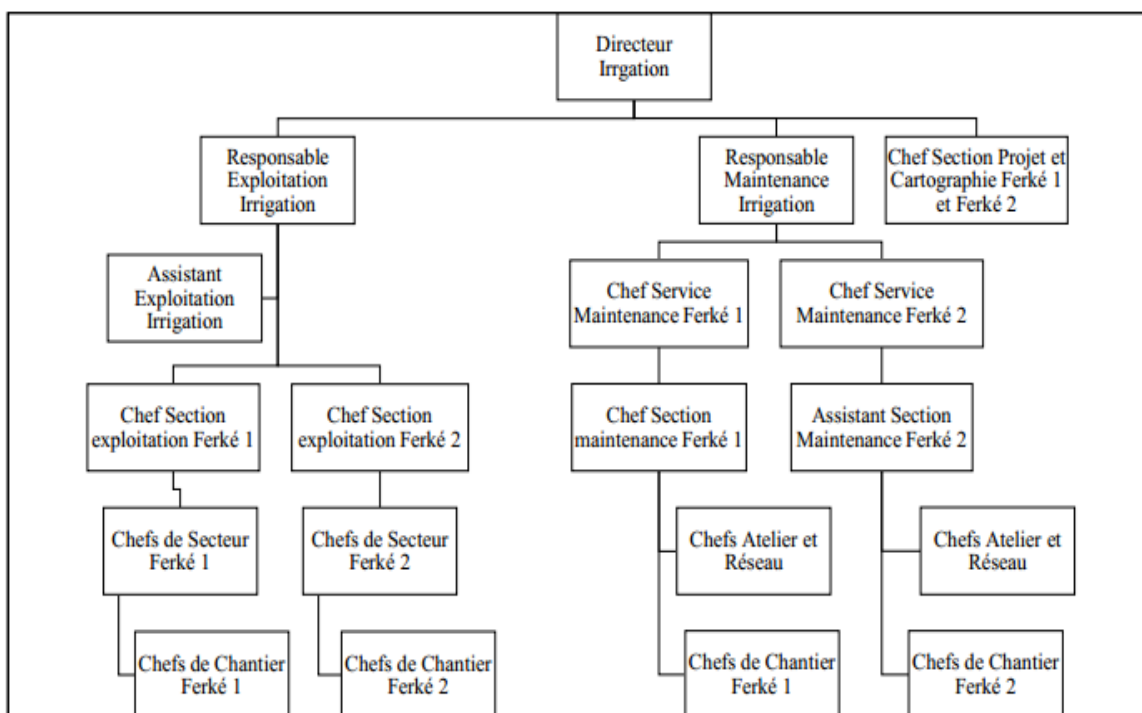


Figure 5 : Organigramme de la Direction irrigation (DI)

1.2.5 Etat des lieux de la gestion de l'eau dans les périmètres sucriers de Ferké

La gestion de l'eau désigne l'activité qui consiste à planifier, développer et utiliser de façon optimale les ressources en eau dans le but de leur préservation efficace et productive (Yao, 2015). Pour satisfaire ses différents besoins (AEP, Irrigation et Usine), la SUCAF-CI met à contribution les ressources en eau du Bandama et celles des deux retenues (barrages Morisson et Lokpoho). Ces prélèvements sont effectués à partir de 8 stations de pompage dont 5 à Ferké 1 dénommées (B1, B2, B3, L1 et L2) et 3 à Ferké 2 appelé (R1, R2 et R3). Dans le cadre du projet PESUF, la station R3 a été mise opérationnelle dès mai 2018 pour la première branche, et achevée en novembre 2019. Le transport de l'eau sur les différents sites s'effectue soit dans

des canaux à ciel ouvert soit à travers des conduites enterrées de diamètres très variables (150 à 750 mm), sur des distances allant de quelques mètres à plusieurs kilomètres. La gestion de l'eau sur les périmètres sucriers paraît actuellement très complexe pour de multiples raisons :

- l'absence de véritable politique de gestion durable des ressources en eau ;
- la planification de la distribution de l'eau potable n'est pas très maîtrisée (des coupures d'eau répétées lors des campagnes) ;
- les équipements d'irrigation sont par endroit très vétus ce qui occasionne d'énormes pertes, mais l'eau d'irrigation semble mieux maîtrisée (bonne traçabilité) ;

1.3. Mesures bathymétriques

La bathymétrie (du grec bathys « profond » et mètre « mesure ») est la science de la mesure des profondeurs et du relief des océans, des lacs et des cours d'eau. Il s'agit donc de déterminer la topographie d'un plan d'eau, comme le ferait un géomètre pour le relief terrestre. Selon l'objectif final de la mesure, le résultat de la bathymétrie peut être un nuage de points x,y,z, une carte (isobathes, rugosité, couleurs,...), un modèle 3D texturé et un carnet de coupes.

Les levés bathymétriques visent à :

- connaître la profondeur des plans d'eau pour assurer la sécurité de navigation.
- cartographier les fonds marins dans le cadre de sciences océanographiques (modélisation de courants, etc).
- estimer les volumes de sédiments à draguer ou qui ont été dragués. Les coûts du dragage sont en effet très importants et l'estimation de ces volumes est vitale afin de les prévoir et les contrôler. Il est donc fréquent d'effectuer des mesures bathymétriques avant et après le dragage afin de contrôler le volume des sédiments effectivement dragué.

1.3.1 Matériel de mesures bathymétriques

1.3.1.1 Matériel de déplacement sur le plan d'eau

La plupart du temps, les mesures bathymétriques s'effectuent par bateau, à l'aide de sonars et de sondes. Il existe aussi des drones bathymétriques qui sont des petites embarcations sans pilote qui fonctionnent sur le même principe.

1.3.1.2. Capteur et équipement bathymétrique

Le levé bathymétrique nécessite la mise en œuvre de différents capteurs et équipements suivants :

- un sondeur mono ou multifaisceaux : il émet du son qui va rebondir sur le fond et revenir au sondeur. Le temps de parcours du son donne une information sur la profondeur du fond (Figure 6) ;

Généralités

- un profileur de célérité : la vitesse du son étant différente selon les paramètres du milieu (pression, température, salinité,...), il convient de mesurer cette vitesse afin de pouvoir en déduire les distances ;
- un système de positionnement dépendant du sondeur pour connaître la position (latitude, longitude, altitude) du navire dans l'espace ;
- une centrale d'attitude qui permet de connaître précisément l'orientation dans l'espace du navire au moment de la mesure ;
- une embarcation adaptée aux contraintes matérielles et d'accès au plan d'eau ;
- une station DGPS-RTK de référence située à proximité du chantier.

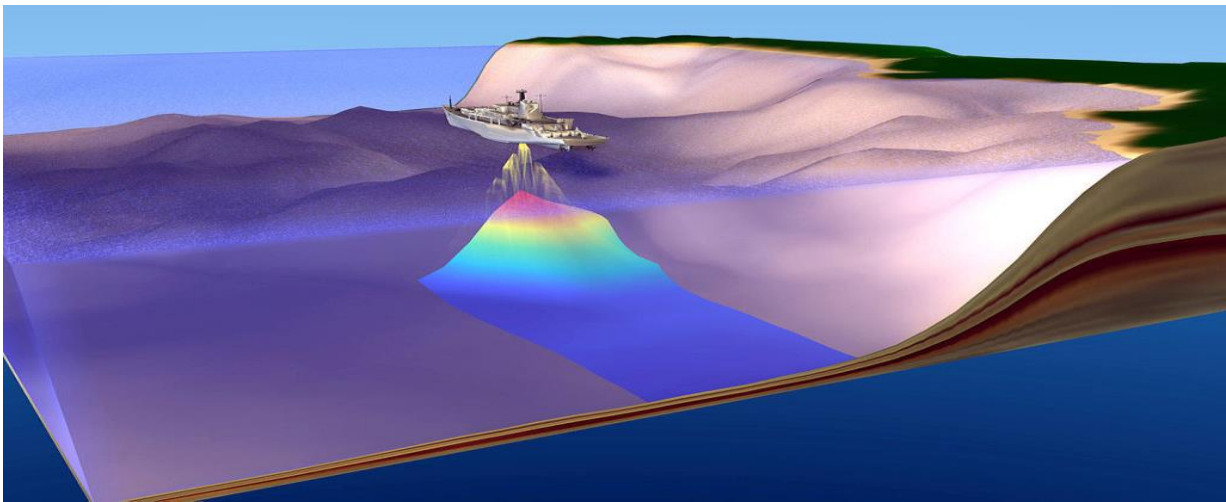


Figure 6 : Principe de la cartographie bathymétrique par échosondeur (source : futura-sciences.com consulté le 27/06/2020)

1.3.1.3. Techniques de levés bathymétriques

Les techniques de levés bathymétriques sont constituées de différents systèmes :

➤ **système sondeur / GPS :**

Le couplage du sondeur et du GPS permet l'acquisition et la spatialisation des données en temps réel et mesure les variations de hauteur d'eau liées à la marée.

➤ **système GPS différentiel :**

C'est un système de positionnement relatif par satellites (relais de calcul au sol) de précision centimétrique qui permet de fournir les coordonnées X, Y (en Lambert II) et l'élévation Z du niveau de la mer.

➤ **système sondeur :**

Le sondeur hydrographique centimétrique fournit la mesure de la hauteur d'eau sous le bateau.

1.3.2 Caractérisation du système d'irrigation de la SUCAF-CI

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal, en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides. On distingue deux grandes catégories de systèmes d'irrigation à savoir l'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression.

L'irrigation gravitaire est un système où l'écoulement de l'eau se fait selon la pente naturelle du sol. Elle présente plusieurs avantages comme :

- de faible coût d'investissement à la parcelle pour l'agriculteur ;
- pas d'apport énergétique extérieur ;
- l'alimentation des nappes phréatiques ;
- l'augmentation de la biodiversité.

Ce système ne peut être utilisé par la SUCAF-CI compte tenu de l'étendu des parcelles agricoles, la topographie de la zone et le climat.

L'irrigation sous pression est un système qui nécessite une mise sous pression des conduites qui distribuent l'eau. Ce système est constitué de deux techniques d'irrigation à savoir l'irrigation par aspersion (amène l'eau aux végétaux sous forme d'une « pluie » fine) et l'irrigation localisée (apporte l'eau nécessaire directement au pied des végétaux). Le système sous pression présente plusieurs avantages tels que :

- efficacité améliorée pour l'aspersion, très bonne efficacité pour l'irrigation localisée ;
- pas de pertes d'eau dans les conduites de transport (si l'entretien est régulier) ;
- parcellaire non figé ;
- une technique adaptée à tout type de sol.

Vue l'utilité de ces différents systèmes d'irrigation, la SUCAF-CI a opté pour l'irrigation sous pression.

1.4. Conclusion partielle

Cette première partie a servi à faire une présentation générale de la zone d'étude et un état des lieux des différents concepts qui seront abordés dans la suite du travail. Après cette présentation des généralités, nous allons aborder la deuxième partie du travail consacrée aux matériels et méthodes.

PARTIE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

2.1.1 Données collectées

Les données collectées comprennent les données climatiques, hydrométriques et bathymétriques. Pour les données climatiques, ce sont les données de pluie et de température journalières disponibles sur la période 1970-2019. Ces données proviennent de la SUCAF CI et ont été enregistrées à la station de Ferké 2. Des données de l'évapotranspiration potentielle mensuelle couvrant la période 1975-2019 ont été également collectées à la station pluviométrique de Ferkessédougou.

Concernant les données hydrométriques, ce sont les observations mensuelles effectuées sur le Bandama à la station route Korhogo-Badikaha. Ces données couvrent la période 1975 à 2019. Pour les données bathymétriques, les données concernent les levés bathymétriques réalisés en 2013 par la SUCAF-CI et celles effectuées les 20 et 21 février 2020 dans le cadre du projet services climatiques pour la production et l'exploitation durable de la canne à sucre en Afrique (CLIMSUCAF).

Ces données collectées ont permis de caractériser la variabilité hydroclimatique du bassin versant et de déterminer l'occurrence des extrêmes hydrologiques.

2.1.2 Matériel de terrain

Le matériel de terrain utilisé se compose d'équipement de jaugeage du cours d'eau et de mesure bathymétrique des deux retenues (Morrisson et Lokpoho) exploitées par la SUCAF-CI. Ce sont :

- Pour la bathymétrie :
 - un hors-bord (Figure 7 A) a permis le déplacement sur le plan d'eau,
 - un échosondeur de marque Lowrance a permis de faire les levés bathymétriques (Figure 7 B) ;

Matériel et Méthodes

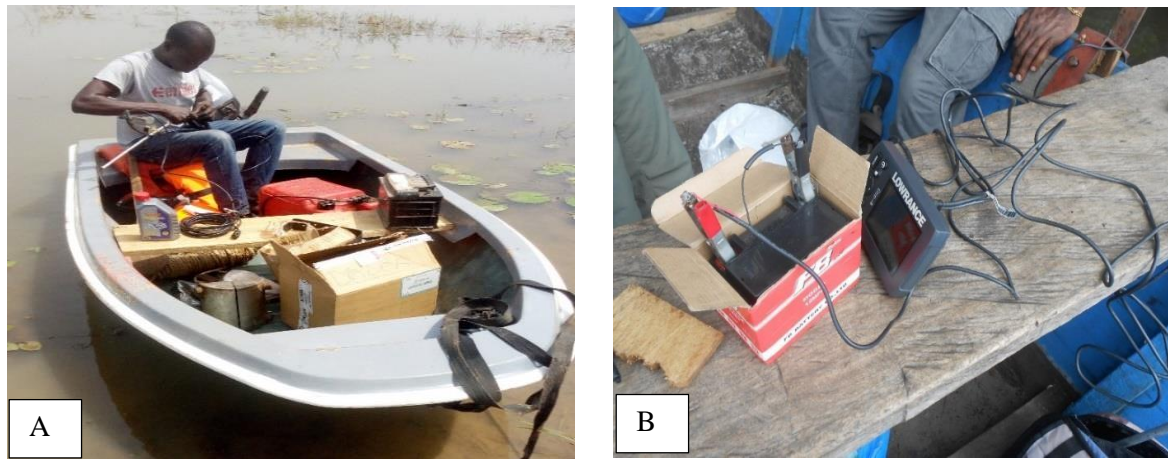


Figure 7 : Matériel pour la bathymétrie : (A) Hors-bord, (B) Echosondeur de type lowrance

- Pour le jaugeage du cours d'eau

Le jaugeage du Bandama a été réalisé à la station hydrométrique pont Korhogo-Ferké. Ce jaugeage s'est fait à l'aide :

- d'un OTT Qliner 2 (Figure 8A) pour les mesures de débits compte tenu de la profondeur importante du cours d'eau ;
- des échelles limnimétriques pour lire la hauteur d'eau avant la mesure des débits (Figure 8 B).

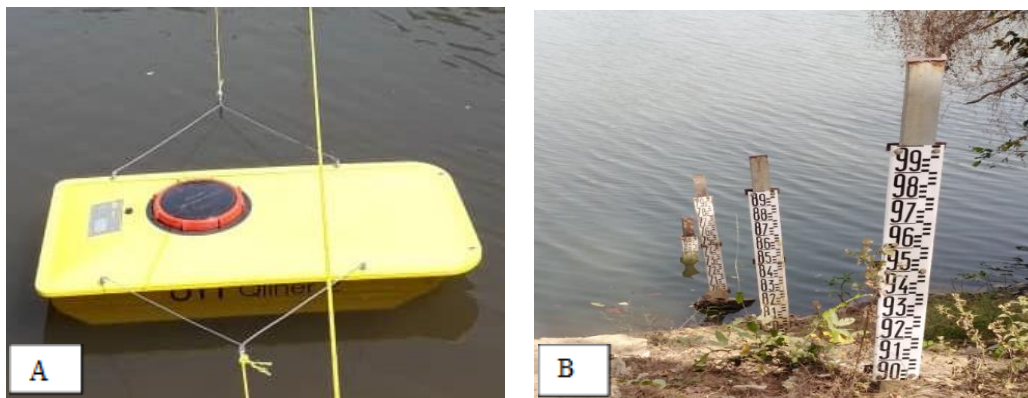


Figure 8 : Matériel de jaugeage : (A) OTT Qliner 2, (B) Echelles limnimétriques

En plus de ces équipements, un GPS (Global Positioning System) de marque Garmin (Figure 9) a permis de relever les coordonnées géographiques sur le terrain. De même, des prises de vue ont été effectuées avec un appareil photo numérique.



Figure 9 : GPS portatif

2.1.3 Logiciels de traitement des données

Les outils de traitement sont constitués de :

- ARCGIS 10.4 pour la détermination des volumes de sédiments et la réalisation des cartes thématiques ;
- HYFRAN (Hydrological Fréquence Analysis) pour l'estimation des quantiles de crue ;
- COVADIS pour l'établissement des courbes des hauteurs volumes et hauteurs-surfaces ;
- DrinC pour la détermination des indices standardisés de précipitations (SPI) et des indices de sécheresse de débits (SDI) ;
- Microsoft Excel pour le traitement des données de débits, pluie et d'ETP.

2.2. Méthodes

2.2.1 Caractérisation de la morphologie des retenues d'eau

2.2.1.1 Élaboration de la carte bathymétrique

L'étude de la morphologie du fond des barrages de Morrison et Lopkoho (figure 10) a été réalisée par l'intermédiaire des levés bathymétriques. Ces levés ont été effectués à l'aide d'un échosondeur de type Lowrance. Pour ce faire, les différentes profondeurs de la colonne d'eau ont été mesurées sur l'ensemble de la surface des retenues non couvertes par les végétaux aquatiques envahissants. Les sondages ont été réalisés avec une fréquence de 455 kHz qui permet aux signaux émis de ne pas pénétrer les vases (Kouassi *et al.*, 2007). Les profondeurs obtenues représentent ainsi la distance entre la position du transducteur de l'échosondeur et l'interface eau-sédiment (Adiaffi *et al.*, 2016). Les radiales ont été effectuées dans le sens longitudinal et transversal du cours d'eau. Ces levés ont été réalisés sur une longueur d'environ 3 855 m pour le barrage Morrison et 3 815 m pour le barrage Lopkoho. La méthode

d'interpolation retenue est l'IDW (Inverse Distance Weighting) avec un pas d'espace en X et Y de 150 m.

2.2.1.2 Etablissement des courbes hauteur-volume et hauteur-surface

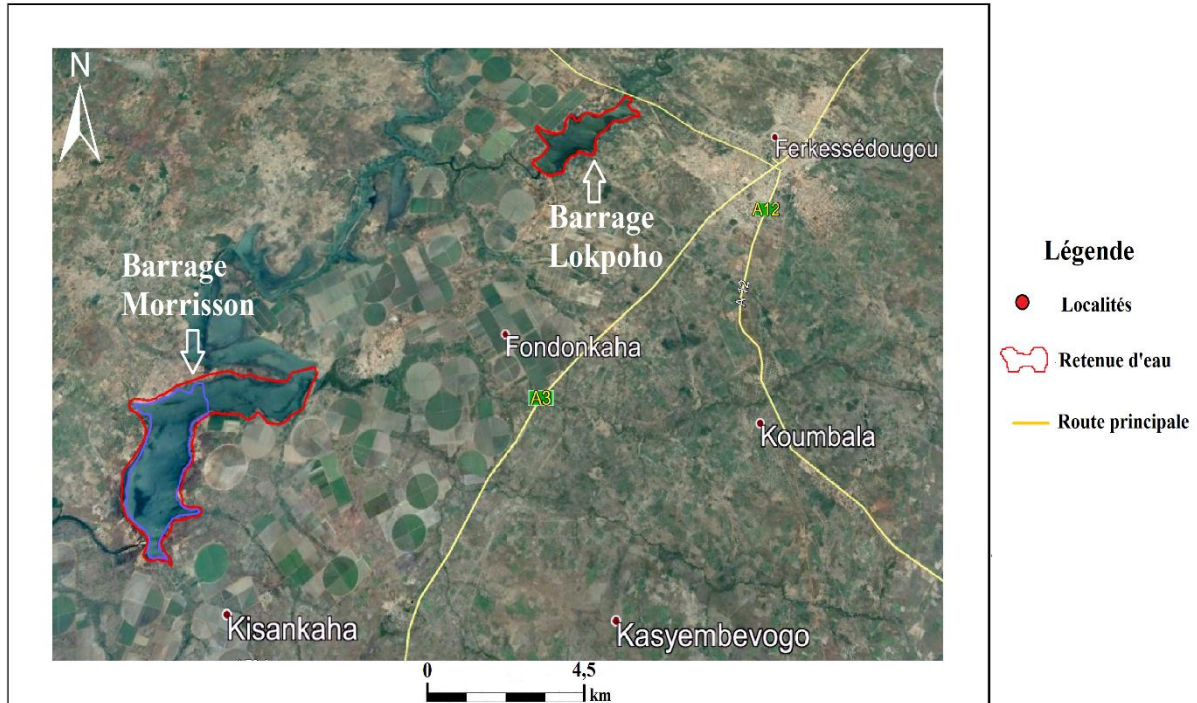


Figure 10 : Aperçu de la zone de réalisation des levés bathymétriques (Google Earth, 2020)

Ces courbes caractéristiques de la retenue donnent les différents volumes d'eau et les surfaces pour chaque courbe de niveau de la retenue (Nshimirimana, 2010). Le volume partiel V_i compris entre deux courbes de niveau successives est donné par l'équation (1) :

$$V_i = \frac{(S_{i-1} + S_i) \times H}{2} \quad (\text{Éq. 1})$$

avec : V_i : Volume d'eau entre les courbes de niveau $i-1$ et i ;

H : Dénivelée entre les deux courbes de niveau $i-1$ et i soit $H_i - H_{i-1}$;

S_i : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe i , (H_i) ;

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

Ainsi, en appliquant ces relations pour chaque hauteur du plan d'eau, on détermine la surface du plan d'eau en fonction de sa hauteur (Nshimirimana, 2010). Dans notre étude, ces calculs ont été effectués à l'aide du logiciel COVADIS.

Nous avons construit ainsi le graphique $H = f(V)$ point par point qui correspond à la courbe Hauteur-Volume de la retenue. Puis nous avons construit le graphique $H = f(S)$ qui est la courbe Hauteur-Surface.

2.2.1.3 Calcul du volume des sédiments dans les retenues des deux barrages

Le volume des sédiments a été calculé à partir de levés bathymétriques. Le premier levé bathymétrique a été réalisé avec pénétration des vases, le second s'est fait sans pénétration des vases. Il faut noter que ces deux premiers levés ont été faits en 2013. Un troisième levé a été également réalisé les 20 et 21 février 2020 avec une fréquence de 455 kHz sans pénétration des vases. Un premier volume de sédiment est calculé avec les levés de 2013 en faisant la différence de volume d'eau plus sédiment et le volume de l'eau. La côte de l'eau en 2013 est ajustée à celle de 2020 afin de coïncider le niveau et la période des deux levés. On calcule ensuite le volume eau plus sédiment pour les levés de 2013 et uniquement le volume eau pour les levés de 2020. Ainsi, la différence entre ces volumes permet d'avoir le volume de sédiments actuel dans la retenue en 2020. Alors le taux (τ) de sédiments déposés est calculé par l'équation (2) :

$$\tau = \left(\frac{B_{2020}}{B_{2013}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (\text{Éq. 2})$$

avec

τ : taux de sédiments (%)

B : Volume de sédiments (m³)

n : Différence d'année entre 2013 et 2020

2.2.2 Caractérisation de la variabilité hydroclimatique

2.2.2.1. Indice standardisé des précipitations (SPI)

L'indice standardisé des précipitations (SPI) a été utilisé pour quantifier le déficit de précipitations dans le bassin versant du Haut Bandama. La première étape consiste à ajuster les données de précipitations dans une fonction de distribution de probabilité que l'on transforme ensuite en une distribution normale (Cassiamani *et al.*, 2007). Dans le cadre de cette étude, la fonction de distribution Gamma est adoptée pour intégrer les données de précipitations des séries temporelles. La distribution gamma est exprimée en fonction de sa fonction de densité de probabilité donnée par l'équation (3).

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{pour} \quad x, \alpha, \beta > 0 \quad (\text{Éq. 3})$$

avec α = paramètre de forme, β = paramètre d'échelle, x = quantité de précipitations (mm), $\Gamma(\alpha)$ = valeur prise par la fonction Gamma et \bar{x} = précipitations moyennes (mm).

La fonction Gamma a été appliquée aux valeurs de précipitations $x > 0$ pour la série chronologique des précipitations du bassin supérieur du fleuve Bandama. Dans le cas des valeurs non nulles, la probabilité cumulative des valeurs nulles et non nulles est calculée. Cette probabilité est représentée par une fonction $H(x)$ définie par l'équation (4) :

$$H(x) = q + (1 - q)F(x, \alpha, \beta) \quad (\text{Éq. 4})$$

Avec, $H(x)$ = probabilité cumulative et q = probabilité de précipitations nulles

La probabilité cumulative est ensuite transformée en une fonction de distribution normale standard. Les valeurs de la moyenne et de la variance de SPI sont respectivement égales à zéro et à un. Cette étape est réalisée à l'aide de fonctions de transformation approximatives adaptées (Mishra *et al.*, 2007). Ces fonctions données dans les équations (5) et (6) sont exprimées comme suit :

$$SPI = - \left(k - \frac{c_0 + c_1k + c_2k^2}{1 + d_1k + d_2k^2 + d_3k^3} \right) \quad \text{pour} \quad 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (\text{Éq. 5})$$

$$SPI = + \left(k - \frac{c_0 + c_1k + c_2k^2}{1 + d_1k + d_2k^2 + d_3k^3} \right) \quad \text{Pour} \quad 0,5 < H(x) < 1,0 \quad (\text{Éq. 6})$$

où ; $c_0 = 2,515517$, $c_1 = 0,802853$, $c_2 = 0,010328$, $d_1 = 1,432788$, $d_2 = 0,189269$, $d_3 = 0,001308$

La classification de la gravité de la sécheresse basée sur les valeurs de SPI est présentée dans le tableau II. Une valeur négative de SPI indique un état sec, tandis qu'une valeur positive signifie un état humide.

Tableau II : Classification de la sécheresse suivant les valeurs des SPI (McKee *et al.*, 1993)

Valeur de l'indice SPI	Degré de la sécheresse et de l'humidité
> 2,00	Humidité extrême
1,50 à 1,99	Humidité forte
1,00 à 1,49	Humidité modérée
0 à 0,99	Humidité atténuée
0 à -0,99	Sécheresse atténuée
-1,00 à -1,49	Sécheresse modérée
-1,50 à -1,99	Sécheresse intense
<-2,00	Sécheresse extrême

2.2.2.2 Indice de sécheresse des débits (SDI)

L'indice de sécheresse des débits (SDI) est utilisé pour déterminer la réaction du fleuve face aux déficits pluviométriques et partant, déterminer les déficits et variations du débit (Nalbantis & Tsakiris, 2009). Il est supposé qu'une série mensuelle de mesures d'un volume écoulé dans un bassin sur une période donnée Q_{ij} avec i indiquant l'année hydrologique et j le rang du mois dans l'année hydrologique au cours de laquelle le relevé a été effectué ($j=1$ pour octobre si l'année hydrologique commençait en octobre et $j=12$ pour le mois de septembre). Sur la base de cette série, nous obtenons l'équation (7) :

$$V_{i,k} = \sum_{ij}^{3k} Q_{i,j} \quad i = 1; 2; \dots j = 1; 2; \dots 12 \quad k = 1; 2; 3; 4 \quad (\text{Éq. 7})$$

où $V_{i,k}$ est le volume cumulé écoulé de la i -ième année hydrologique (de la série chronologique) de la k -ième période de référence. En se basant sur le volume cumulé écoulé $V_{i,k}$, l'indice de sécheresse hydrologique SDI est défini pour chaque période de référence k de la i -ième année hydrologique de la série suivante par l'équation (8) ci-après :

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \overline{V_k}}{S_k} \quad i = 1, 2, \dots k = 1, 2, 3, 4 \quad (\text{Éq. 8})$$

où $\overline{V_k}$ et S_k sont respectivement la moyenne et l'écart-type du volume cumulatif écoulé pendant la période de référence k aussi bien que ceux-ci ont été estimés sur une longue période. Ce type d'indice avait été déjà utilisé par Ben-Zvi (1987) mais il n'avait pas adressé la question de non-stationnarité de la série car il a travaillé à l'échelle annuelle. Généralement, pour les petits bassins, l'écoulement possède une probabilité de distribution asymétrique qui peut être approximée par la famille des fonctions Gamma. La distribution est par la suite transformée en une loi normale. La loi Log-normale à deux paramètres, très simple, a été utilisée. Il suffit d'utiliser le logarithme népérien (\ln) des débits écoulés. Ainsi, le SDI tenant compte de la non-stationnarité se définit comme suit (équation (9)) :

$$SDI_{i,k} = \frac{Y_{i,k} - \overline{y_k}}{S_{y,k}} \quad i = 1, 2, \dots k = 1, 2, 3, 4 \quad (\text{Éq. 9})$$

avec

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}) \quad i = 1, 2, \dots k = 1, 2, 3, 4$$

$SDI_{i,k}$ et $Y_{i,k}$ sont les logarithmes naturels des débits cumulés avec $\overline{y_k}$ la moyenne et $S_{y,k}$ l'écart-type estimé sur une longue chronique. Cinq (5) états sont considérés en partant de 0 (pas de sécheresse) à 4 (sécheresse extrême) et sont définis à travers le tableau III.

Tableau III : Classification des états de sécheresse hydrologiques (Nalbantis & Tsakiris, 2009)

Etat	Description	Critère
0	Pas sèche	SDI=0
1	légèrement sèche	-1 < SDI < 0,0
2	Modérément sèche	-1,5 < SDI < -1,0
3	Sévèrement sèche	-2 < SDI < -1,5
4	Extrêmement sèche	SDI < -2,0

2.2.2.3 Durée maximale de la sécheresse météorologique et hydrologique

La durée est l'une des caractéristiques importantes de la sécheresse. En effet, si une sécheresse débute rapidement sous certains régimes climatiques, il faut généralement au moins deux à trois mois avant de s'installer dans d'autres régions. Elle peut ensuite persister pendant des mois voire des années (Koffi *et al.*, 2020). Le calcul de la durée se fait comme suit :

- analyser une série de données sur une longue période afin de déterminer la période la plus sèche ;
- soustraire entre l'année de fin de la sécheresse avec l'année de début ; le résultat obtenu est ajouté d'un (équation (10)).

$$D = (A_{Fin} - A_{Début}) + 1 \quad (\text{Éq. 10})$$

avec : A_{Fin} : Année de la fin de la période sèche ;

$A_{Début}$: Année du début de la période sèche ;

2.2.2.4 Intensité de la sécheresse météorologique et hydrologique

L'intensité de la sécheresse peut être définie comme étant l'ampleur et la gravité des conséquences du déficit de précipitations sur les écoulements. Elle peut être évaluée à l'aide des valeurs du SPI et SDI (figure 11). Les valeurs extrêmes du SPI et SDI sont considérées comme valeurs de référence de l'intensité de la sécheresse.

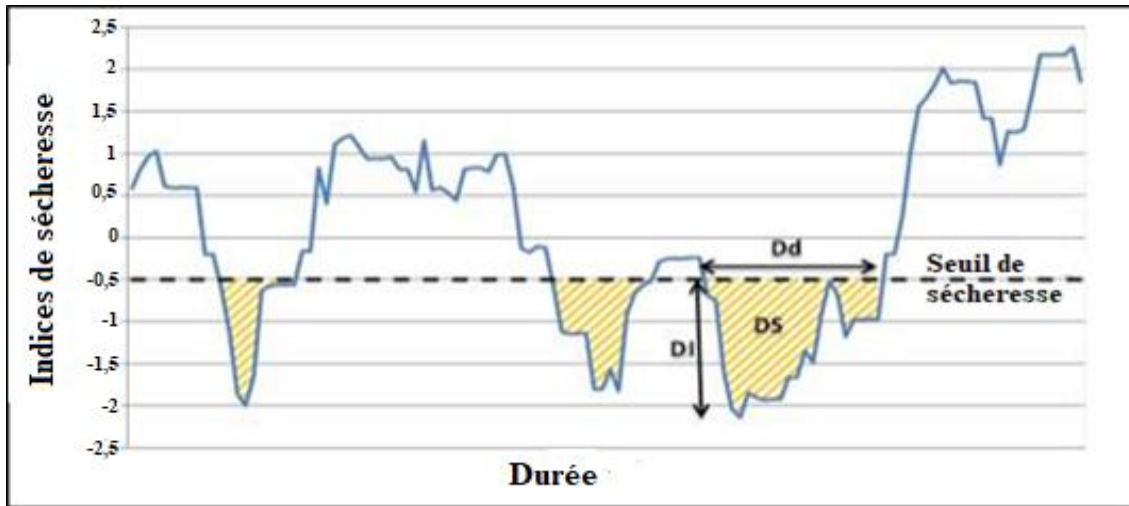


Figure 11 : Trois composantes d'une sécheresse : DS = gravité des épisodes de sécheresse ; ID= intensité ; Dd = durée (Boudad *et al.*, 2018)

2.2.2.5 Indice de corrélation

Afin d'analyser la relation entre les données météorologiques et hydrologiques de sécheresses dans le bassin versant du Haut Bandama, le coefficient de corrélation entre les indices SPI et SDI a été calculé à la station « route Korhogo-Badikaha ». Selon López-Moreno *et al.* (2013), le coefficient de corrélation est une méthode très efficace pour l'analyse des relations potentielles entre deux variables indépendantes. Ce coefficient a été calculé à l'aide du logiciel Excel.

2.2.3 Détermination de l'occurrence des extrêmes hydrologiques

Les extrêmes hydrologiques sont constitués des crues et des étiages. La distribution statistique des débits extrêmes permet de suivre l'évolution des fluctuations extrêmes de la ressource. La démarche méthodologique utilisée dans cette étude s'appuie sur l'analyse fréquentielle. Elle a pour but d'estimer les probabilités d'occurrence d'un phénomène donné à partir de relevés hydrologiques de 30 ans (1986-2015). Il s'agira dans un premier temps de déterminer les périodes de basses et de hautes eaux puis dans un second temps de déterminer les quantiles de crues et d'étiages.

2.2.3.1 Calcul du coefficient mensuel de débits

Pour mettre en lumière la variation des débits d'un mois à un autre au cours de l'année, et donc du régime hydrologique, les coefficients mensuels de débits sont calculés. Le coefficient mensuel de débits (CMD) est le rapport entre le débit moyen mensuel et le débit moyen interannuel (Yodomion, 2016) équation (11).

$$CMD = \frac{Q_i}{Q_m} \quad (\text{Éq. 11})$$

Q_i : débit moyen mensuel (m^3/s)

i : rang de chacun des 12 mois dans l'année

Q_m : débit moyen annuel (m^3/s)

Si $CMD > 1$, alors le mois correspond à une période de hautes eaux

Si $CMD < 1$, alors le mois correspond à une période de basses eaux

2.2.3.2 Détermination des quantiles de crues et d'étiages

La démarche méthodologique adoptée s'appuie sur l'analyse fréquentielle. Cette méthode statistique a pour objectif principal d'utiliser des mesures d'événements passés pour estimer les probabilités futures d'occurrence. L'objectif de ce projet consiste à estimer les quantiles d'une période de retour donnée (2, 10, 50 et 100 ans) à l'aide de méthodes d'analyse fréquentielle. Le logiciel HYFRAN a été utilisé pour le calcul des crues des différentes périodes de retour dont les différentes étapes se présentent comme suit :

- **Echantillonnage**

Les échantillons des séries chronologiques des crues et des étiages ont été constitués à partir des données hydrométriques de la station route Korhogo-Badikaha.

Pour les étiages, il a été sélectionné les débits mensuels minimums annuels (QMNA) et pour les crues, l'échantillonnage a concerné les débits maximums mensuels annuels (QAXM) de janvier à décembre sur la période 1986-2015.

- **Choix des modèles**

Plusieurs techniques d'approche permettent d'effectuer le choix du modèle d'ajustement à savoir les considérations théoriques, la comparaison du comportement asymptotiques des lois, les habitudes locales, les tests d'adéquations et aussi l'utilisation de divers diagrammes (Souanef, 2015).

Dans le cadre de cette étude, le choix du modèle fréquentiel s'est fait au moyen de deux approches que sont l'approche graphique et celle des critères de comparaison (AIC et BIC). Ce choix a été opéré parmi trois (3) modèles fréquentiels (lois statistiques). Il s'agit de : la loi générale des valeurs extrêmes (GEV), la loi de Gumbel (EV1), la loi de Weibull (W) pour les débits de crues et les lois Pearson type 2, Gamma et Gamma inverse pour les débits d'étiages (Catalogne, 2012). La méthode du maximum de vraisemblance a été utilisée pour l'estimation des paramètres de ces lois. L'application de ces lois permet d'apprécier celle qui s'adapte au

mieux à une série chronologique de débits. L'observation des graphiques des ajustements suggère que le meilleur modèle est celui dont la courbe et l'intervalle de confiance 95% englobe le maximum de points. Nous pouvons décrire ces tests comme suit :

○ Critères de comparaison

Le but de ces critères est de chercher un compromis entre une paramétrisation suffisante pour bien ajuster une loi de probabilité aux observations et une paramétrisation la moins complexe possible. Pour pouvoir comparer les modèles probabilistes par critère de comparaison, l'on se fixe des probabilités à priori égales pour toutes les distributions. Ensuite, l'on spécifie une période de retour (T). Ainsi, la probabilité a posteriori est calculée à partir de la probabilité à priori (Soro, 2011). Le Critère d'Information Bayésien (BIC) (équation 12) et le Critère d'Information d'Akaike (AIC) (équation 13) sont aussi Calculés. Le meilleur modèle probabiliste est celui dont les valeurs de AIC et BIC sont faibles et la probabilité à posteriori est la plus élevée (Soro, 2011). Les critères BIC et AIC sont calculés comme suit :

✓ Critère d'information d'Akaike (AIC)

$$AIC = 2 \log(l) + 2k \log(n) \quad (\text{Éq. 12})$$

Avec l : la vraisemblance ; k : nombre de paramètres ; n : taille de l'échantillon

✓ Critère d'information Bayésien (BIC)

$$BIC = -2 \log(l) + 2k \quad (\text{Éq. 13})$$

avec l : la vraisemblance ; k : nombre de paramètres

○ Tests de validation du modèle

Une fois le modèle d'ajustement choisi, il doit être soumis à une série de tests afin de vérifier son adéquation à l'échantillon choisi. Dans le cadre de cette étude, le test de khi-deux (χ^2) a été utilisé.

2.2.3.3 Caractérisation des étiages

Différents indices ont été définis pour caractériser l'étiage ainsi que les impacts que celui-ci peut avoir sur la ressource en eau (Dkengne, 2006 ; Lang, 2007 ; Benyahya *et al.*, 2009 ; Mekhloufi, 2014 ; Doucet-Généreux, 2015; Garcia, 2016). Ces indices d'étiages sont des statistiques dérivées des chroniques de débits.

De façon générale, les indices d'étiage peuvent être regroupés en trois catégories : ceux qui mesurent la sévérité de l'étiage et la probabilité de retour de ces événements ; ceux qui représentent la durée et le déficit de l'étiage ; ceux qui déterminent la phase pendant laquelle le

débit décroît en l'absence de précipitations, phase appelée tarissement. Dans le cadre de cette étude, les indices utilisés sont de la première catégorie (sévérité de l'étiage). Ces indices permettent d'identifier des seuils de débits en rapport avec la sévérité de l'étiage. A partir des débits mensuels minimaux annuels (QMNA) ; associés aux périodes de retour (QMNA de périodes de retour 2 ans, 10 ans, 50 ans et 100 ans), les seuils de vigilance équation (14) et de crise équation (15) ont été calculés (Kouassi *et al.*, 2018) :

$$Sv = 1,1 \times QMNA - T \quad (\text{Éq. 14})$$

Sv : Seuils de vigilance

QMNA-T : débits mensuels minimaux annuels de la période de retour

$$SC = 0,9 \times QMNA - T \quad (\text{Éq. 15})$$

Sc : Seuil critique

QMNN-T : débits mensuels minimaux annuels de la période de retour.

2.3. Conclusion partielle

Cette deuxième partie a permis de présenter le matériel et les méthodes utilisés au cours de cette étude. L'ensemble du matériel et des méthodes ont permis d'obtenir des résultats dont leur présentation et discussion font l'objet de la troisième partie.

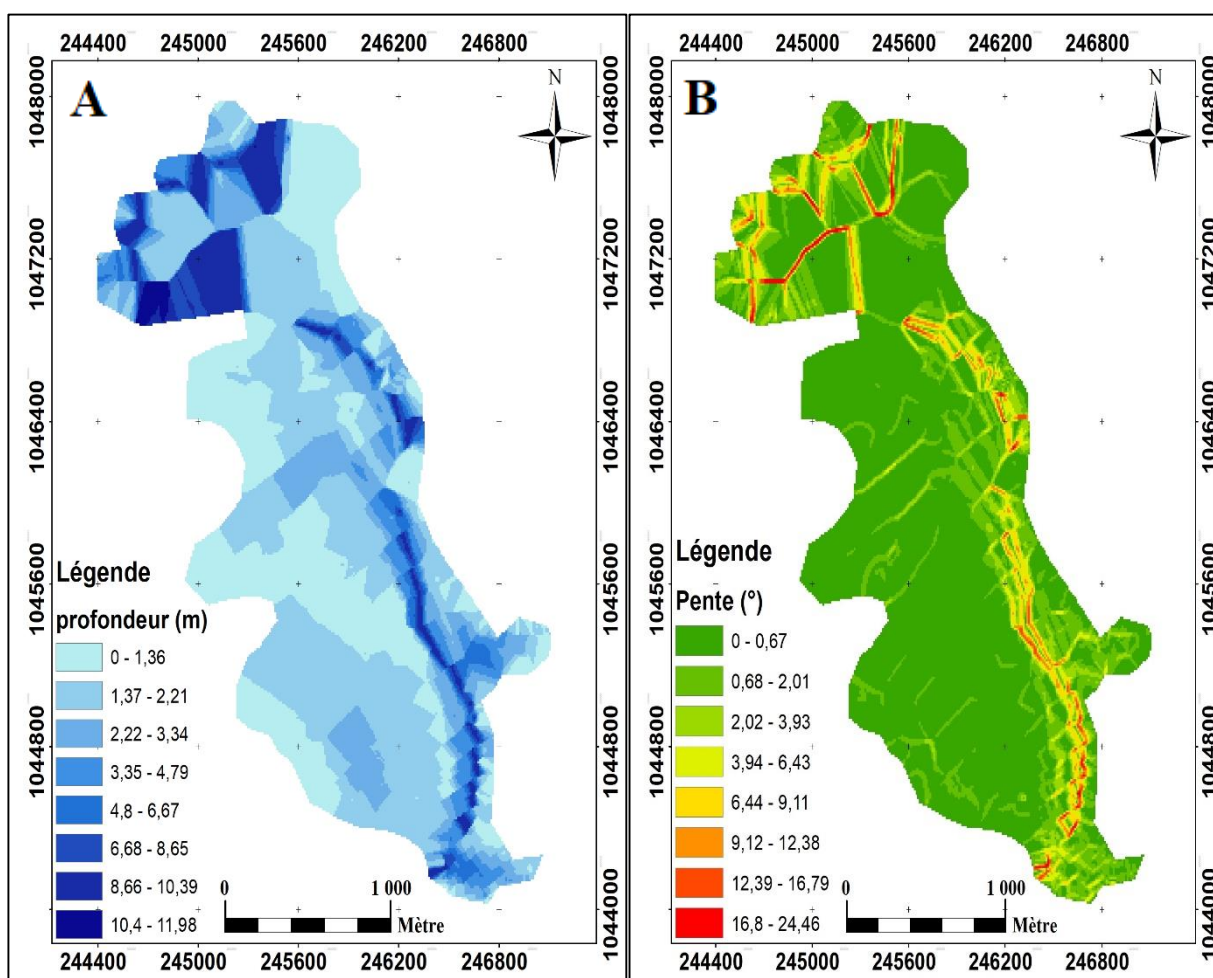
PARTIE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1 Caractérisation morphologique des retenues d'eau de Morrison et Lokpoho

3.1.1.1 Analyse morphologique de la retenue d'eau de Morrison.

La figure 12 présente la carte bathymétrique de la retenue d'eau de Morrison. Cette carte a été réalisée à l'aide des levés bathymétriques effectués en février 2020. La cote 292,23 m du plan d'eau a été retenue comme cote de référence. La profondeur maximale sondée est de 11,98 m et la superficie de la zone du levé bathymétrique est de 472,92 hectares pour la date du 20/02/2020. Elles ont été réalisées tous les 150 m parallèlement à l'axe de la digue par le logiciel Covadis. Le fond de la retenue d'eau est caractérisé par une morphologie perturbée par des variations brusques de pente dans la zone du projet. Ces pentes atteignent 24° par endroits.



3.1.1.2 Analyse de la disponibilité en eau dans la retenue de Morrison

Le tableau IV montre l'évaluation du volume d'eau disponible à la date du levé. Vingt-sept (27) profils ont été réalisés et la distance entre les profils est de 150 m. Ces profils ont permis

Résultats et Discussion

d'établir la hauteur d'eau moyenne, la surface moyenne et le volume d'eau disponible dans la retenue de Morrison. Ce volume est évalué à 11 656 735,5 m³d'eau à la date du 20/02/2020.

Tableau IV : Paramètres bathymétriques du barrage de Morrison

N° profil	Hauteur d'eau moyenne (m)	Surface moyenne (m ²)	Distance entre profil (m)	Volume d'eau (m ³)
P1	2,15	1294,08	75	194 112
P2	3,36	1623,9	150	243 585
P3	2,75	1086	150	162 900
P4	2,73	1483,12	150	222 468
P5	2,28	1963,27	150	294 490,5
P6	2,28	2538,04	150	380 706
P7	2,14	2763,4	150	414 510
P8	2,35	4154,28	150	623 142
P9	2,15	3205,36	150	480 804
P10	2,05	2880,61	150	432 091,5
P11	1,89	2146,43	150	321 964,5
P12	1,91	2022,63	150	303 394,5
P13	2,02	2136,34	150	320 451
P14	1,67	2479,28	150	371 892
P15	1,65	2294,14	150	344 121
P16	2,8	2829,32	150	424 398
P17	2,21	2451,96	150	367 794
P18	2,07	1761,7	150	264 255
P19	1,99	1242,78	150	186 417
P20	2,41	2700,22	150	405 033
P21	1,51	1576,71	150	236 506,5
P22	2,93	3057,31	150	458 596,5
P23	4,72	6034,82	150	905 223
P24	3,78	5869,14	150	88 0371
P25	3,88	6128,47	150	919 270,5
P26	4,32	5683,77	150	852 565,5
p27	5,83	4951,53	150	742 729,5
Volume total d'eau				11 656 735,5

3.1.1.3 Analyse des courbes hauteur-volume et hauteur-surface

Les figures 13 et 14 montrent respectivement l'évolution du volume d'eau et de la surface moyenne de la retenue en fonction des profondeurs d'eau. Ces courbes présentent une allure logarithmique avec une cote de 292,23 m. Cette hauteur d'eau correspond à une surface de 32 000 m² et un volume de 11 656 735,5 m³.

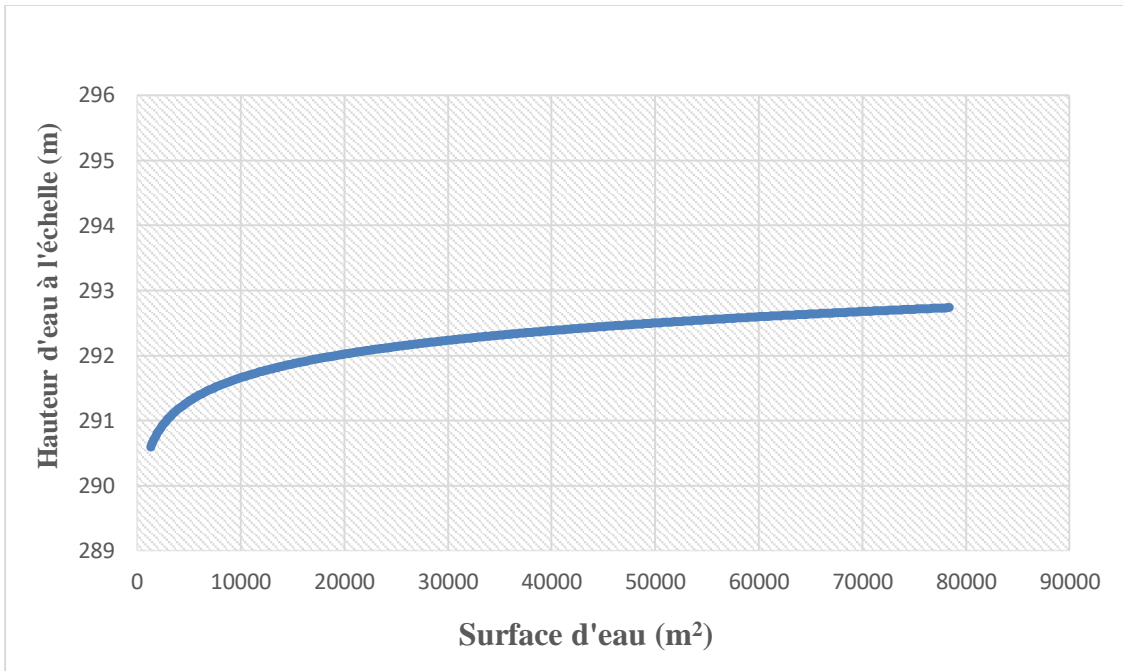


Figure 13 : Courbe hauteur-surface de la retenue de Morrison

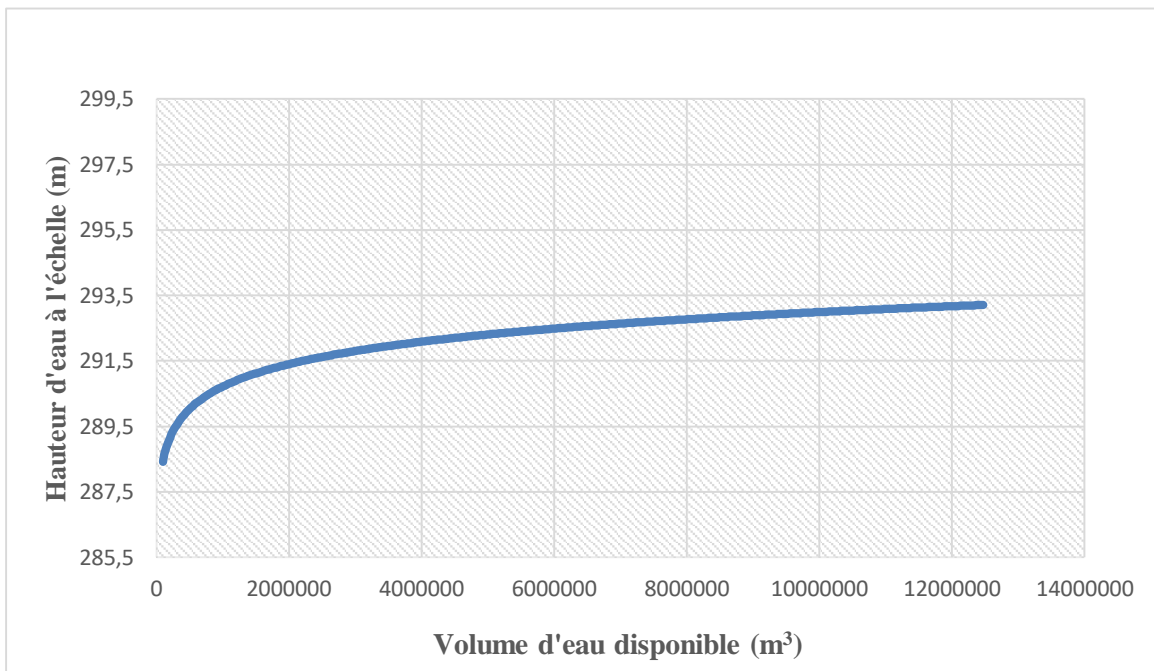


Figure 14 : Courbe hauteur-volume de la retenue de Morrison

3.1.1.4 Analyse morphologique de la retenue d'eau de Lopkoho

La figure 15 présente la carte bathymétrique de la retenue de Lopkoho. L'examen détaillé de la figure fait apparaître une morphologie de fond relativement complexe. Le fond de la retenue présente un relief un peu moins accidenté. Sur cette carte bathymétrique, il y a un principal chenal d'écoulement de direction Nord-Sud débouchant sur la prise d'eau. Les profondeurs varient progressivement d'un endroit à l'autre de l'amont vers la digue. Les profondeurs sont

moins importantes et atteignent 8,82 m. La cote 296,97 m du plan d'eau a été retenue comme cote de référence et la superficie de la zone du levé bathymétrique est de 312,93 hectares pour la date du 21/02/2020. Le fond de la retenue d'eau est caractérisé par une morphologie perturbée par des variations brusques de pente dans la zone du projet. Ces pentes atteignent 80° par endroits.

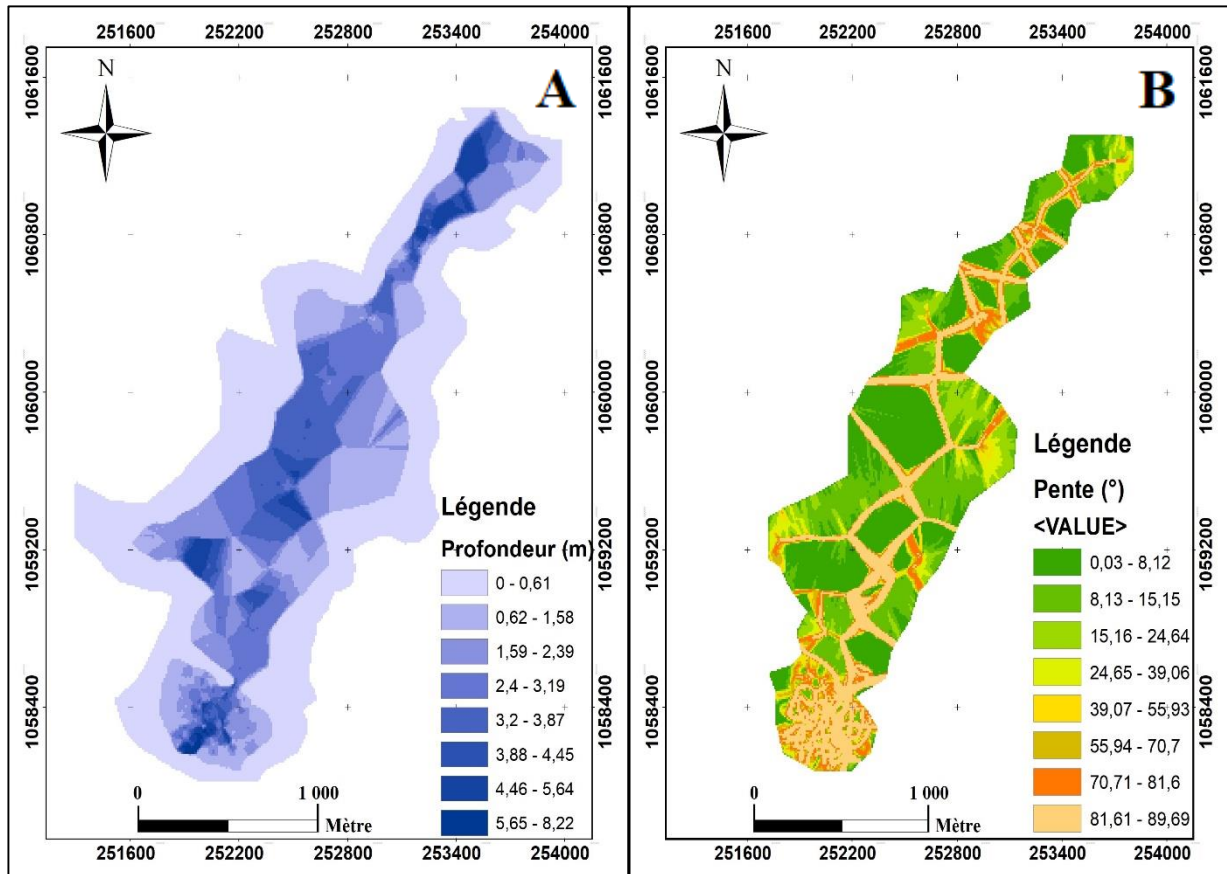


Figure 15 : Carte bathymétrique de la retenue d'eau de Lopkoho : profondeurs (A), pentes (B)

3.1.1.5. Analyse de la disponibilité en eau dans la retenue de Lopkoho

Le tableau V montre l'évaluation du volume d'eau disponible à la date du levé. Vingt-cinq (25) profils ont été réalisés et la distance entre les profils est de 150 m. Ces profils ont permis de connaître la hauteur d'eau moyenne, la surface moyenne et le volume d'eau disponible dans la retenue de Lopkoho. Ce volume est évalué à 4 354 531,5 m³ d'eau à la date du 21/02/2020.

Résultats et Discussion

Tableau V : Paramètres bathymétriques du barrage de Lopkoho

N° profil	Hauteur d'eau moyenne (m)	Surface moyenne (m ²)	Distance (m) entre profils	Volume d'eau (m ³)
P1	0,73	233,12	150	17 484
P2	2,0	1 363,38	150	204 507
P3	2,0	1 381,15	150	207 172,5
P4	0,6	140,3	150	21 045
P5	1,6	983,6	150	147 540
P6	1,9	1 118,49	150	167 773,5
P7	2,1	2 226,48	150	333 972
P8	2,3	1 826,05	150	273 907,5
P9	2,4	1 756,48	150	263 472
P10	2,7	1 928,44	150	289 266
P11	2,3	1 596,37	150	239 455,5
P12	2,1	1 659,14	150	248 871
P13	2,2	1 689,55	150	253 432,5
P14	2,2	1 654,55	150	248 182,5
P15	2,1	1 506,63	150	225 994,5
P16	1,8	1 294,63	150	194 194,5
P17	1,3	914,5	150	137 175
P18	1,5	663,24	150	99 486
P19	1,5	463,24	150	69 486
P20	2,0	419,08	150	62 862
P21	2,1	507,49	150	76 123,5
P22	2,1	945,32	150	141 798
P23	1,9	882,55	150	132 382,5
P24	2,1	1195,71	150	179 356,5
P25	1,5	797,28	150	119 592
Volume total d'eau				4 354 531,5

3.1.1.6 Analyse des courbes hauteur-volume et hauteur-surface

Les figures 16 et 17 montrent respectivement l'évolution du volume d'eau et la surface moyenne de la retenue en fonction des profondeurs d'eau. Ces courbes présentent une allure logarithmique avec une cote de 296,97 m. Cette cote d'eau correspond à une surface de 27 000 m² et un volume de 4 354 531,5 m³ à la date du 21/12/2020.

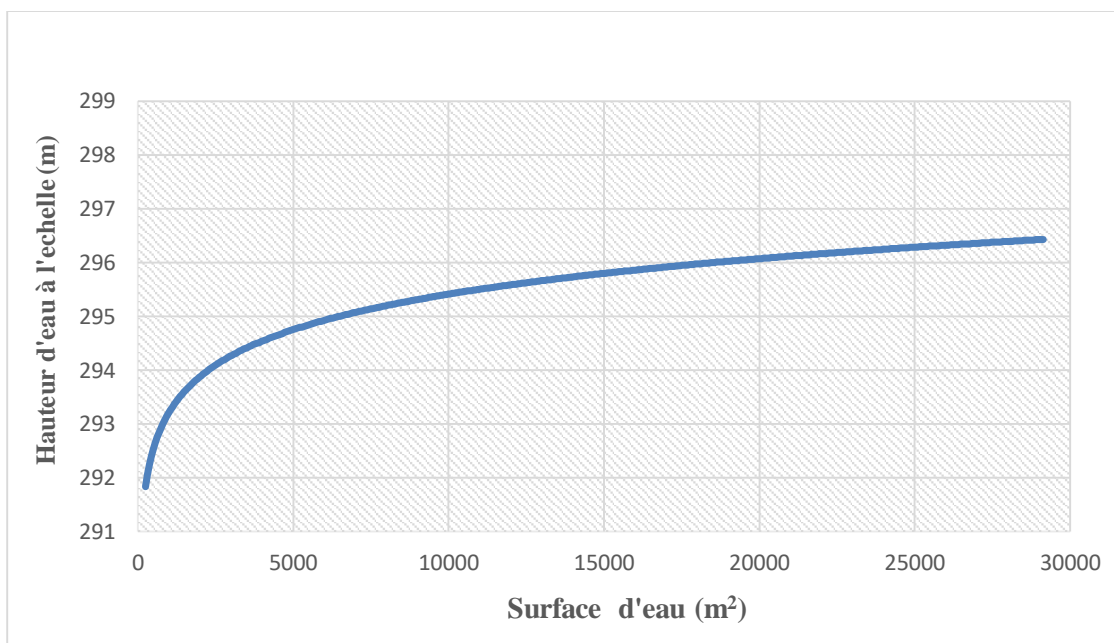


Figure 16 : Courbe hauteur-volume de la retenue de Lopkoho

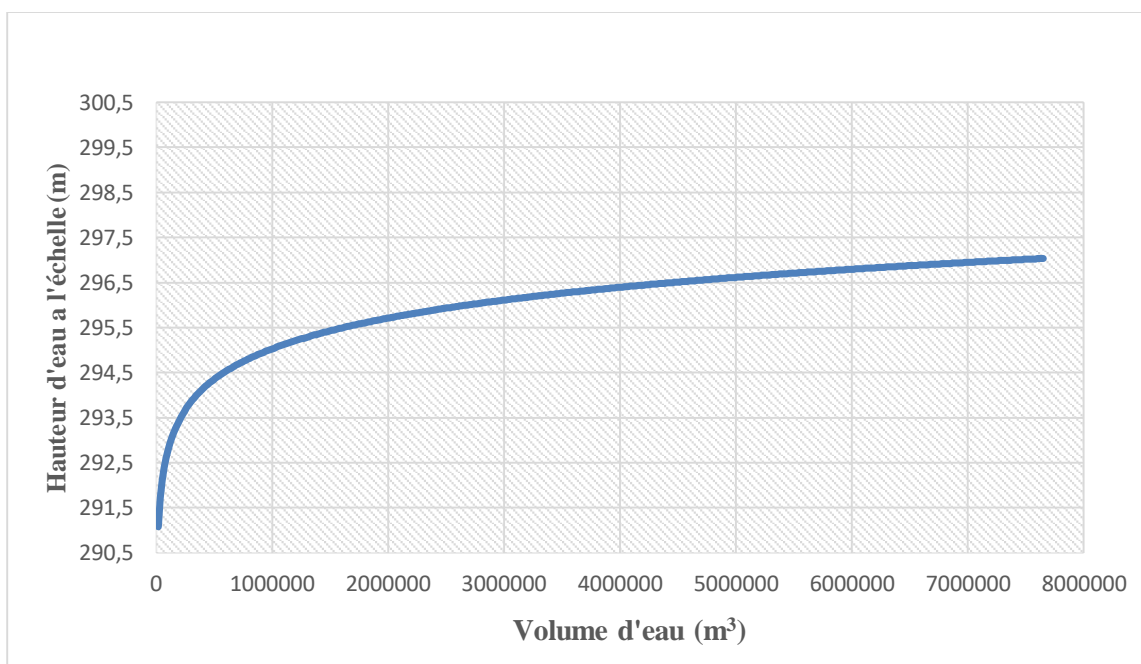


Figure 17 : Courbe hauteur-surface de la retenue de Lopkoho

3.1.1.7 Estimation du taux de sédiments des retenues

Les taux de sédiments dans les deux retenues entre 2013 et 2020 sont consignés dans le tableau VI. L'analyse des résultats montre que le taux de sédiments dans la retenue de Morisson est inférieur à celui de Lokpoho. En effet, pour la retenue Morisson, le volume de sédiments varie de 875 900 m³ en 2013 à 1 013 058,96 m³ en 2020 soit un taux de sédiments de 2,1 %. Pour la retenue d'eau de Lopkoho, le volume de sédiments obtenu en 2013 est de 508 000 m³ et en 2020, ce volume est estimé à 599 740,5433 m³ soit un taux de sédiments de 2,4 %.

Tableau VI : Taux de sédiments des deux retenues

Barrages	Volume de sédiments (m ³)		τ (%)
	en 2013	en 2020	
Morrison	875 900	1 013 058,96	2,1
Lokpoho	508 000	599 740,5433	2,4

3.1.2. Caractérisation de la variabilité hydroclimatique

3.1.2.1 Sécheresse météorologique et hydrologique sur le bassin versant du Haut

Bandama

L'analyse des indices SPI observés à la station pluviométrique de Ferké sur la période 1986-2015 montre une alternance des périodes sèches et humides avec une forte tendance à la sécheresse (figure 18). Sur la figure 18, on observe une longue période humide de 1987 à 1992, suivie d'une courte période sèche de 1992 à 1995. Entre 2001 et 2015, on observe une longue période sèche avec des valeurs de SPI variant de -1,5 et -2, synonyme de sécheresse sévère. Néanmoins, la période 2001 à 2015, il y a de légères apparitions de périodes humides en 2011 et 2014.

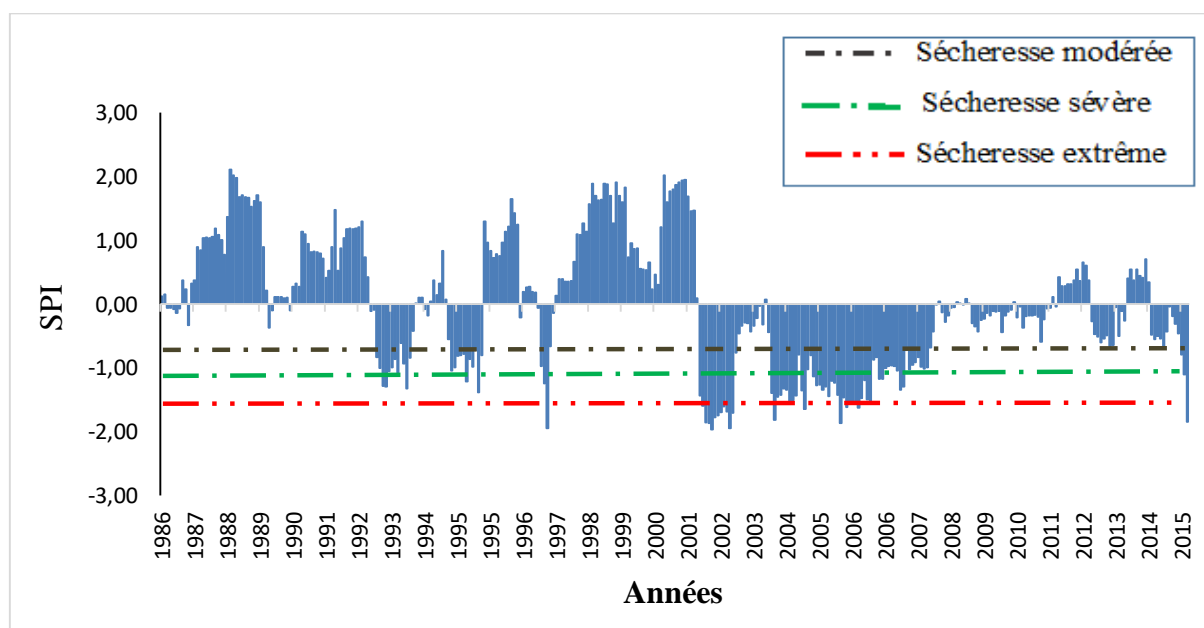


Figure 18 : Evolution des indices de sécheresse des pluies à la station pluviométrique de Ferkessédougou sur la période 1986-2015

3.1.2.2 Sécheresse hydrologique sur le bassin versant du Haut Bandama

Les résultats de l'analyse de la sécheresse hydrologique montrent une alternance de périodes sèches et humides (figure 19). L'observation de cette figure montre deux courtes périodes

Résultats et Discussion

sèches de 1989 à 1990 et de 1991 à 1993. A partir de 1991 à 1999, on observe une reprise des écoulements sur le bassin versant suivi d'un déficit hydrologique plus marqué entre 1999 et 2014 avec des valeurs de SDI situés parfois entre -1,5 et -2,13, synonyme de sécheresse extrême. L'année 2004 reste la plus sévère en terme d'intensité de sécheresse hydrologique, avec un SDI égale à -2,13. Cependant, cette période reste émaillée par de légères apparitions de périodes humides.

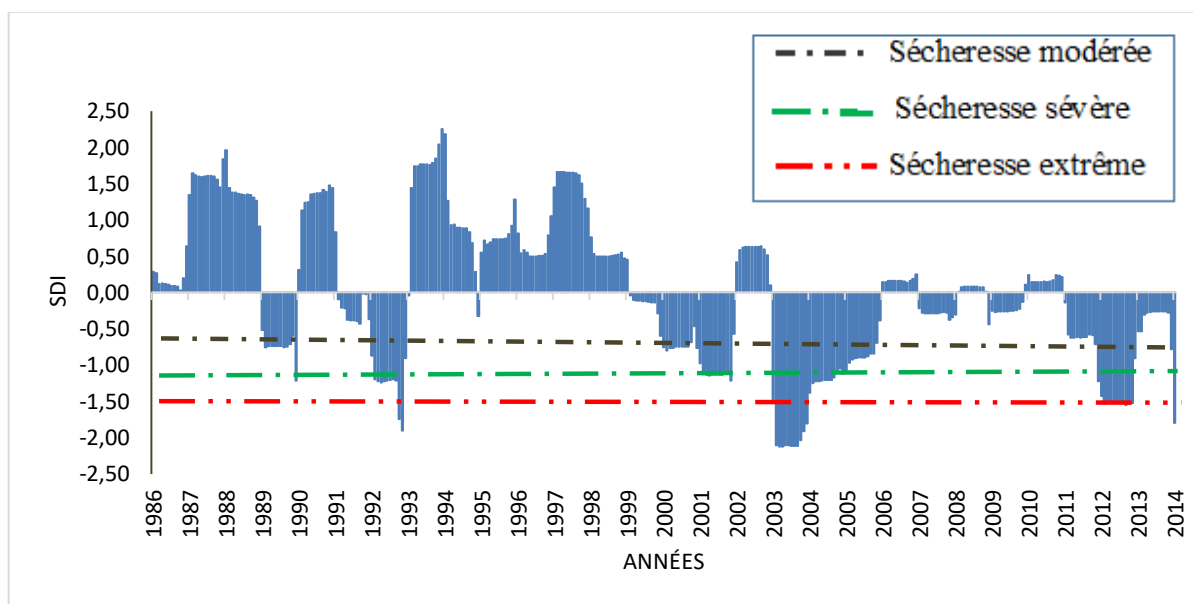


Figure 19 : Evolution des indices de sécheresse de débits à la station hydrométrique de route Korhogo-Badikaha de 1986 à 2015.

3.1.2.3 Intensité et durée maximale des séquences de sécheresse météorologique et hydrologique sur le bassin versant du Haut Bandama

Les résultats de l'estimation de l'ampleur de la sécheresse sur les 30 années d'étude montrent que le bassin versant du Haut Bandama a été affecté par une sécheresse sévère et extrême à une période donnée (tableau VII). A cet effet, l'épisode sec détecté en février 2002 a été caractérisé par une sécheresse sévère avec des indices de -1,97. L'estimation de l'intensité de la sécheresse à l'aide de l'indice SDI montre que l'épisode décembre 2003 observé à la station route Korhogo-Badikaha est qualifié de sécheresse extrême avec des indices SDI de -2,13.

En somme, l'analyse montre que la durée des épisodes de sécheresse pour les stations analysées n'est pas la même. La station pluviométrique de Ferkessédougou a connu la plus longue période de sécheresse avec 120 mois de séquences de sécheresse. Elle a débuté en octobre 2001 et a pris fin en septembre 2011. Quant à la station route Korhogo-Badikaha, elle a connu sa plus longue période de sécheresse hydrologique d'octobre 2011 à septembre 2015 soit 51 mois.

Tableau VII : Intensité et durée maximale des séquences de sécheresse météorologique et hydrologique sur le bassin versant du Haut Bandama

	Station de Ferkessédougou	Station route Korhogo-Badikaha
Paramètres	SPI	SDI
Intensité	-1,97	-2,13
Date d'occurrence	février 2002	décembre 2003
Durée (mois)	120	51
Date d'occurrence	octobre 2001 à septembre 2011	octobre 2011 à septembre 2015
Type de sécheresse	Sévèrement sèche	Extrêmement sèche

3.1.2.4 Relation entre l'indice météorologique (ISP) et l'indice hydrologique (ISD) sur le bassin versant du Haut Bandama

La comparaison entre les indices SPI et SDI (figure 20) montre une corrélation acceptable entre les indices de sécheresse météorologique et hydrologique. En effet, la sécheresse météorologique a entraîné celle des débits sur toute la période d'observation à l'exception de la période 1994 à 2001 où on a observé que les deux indices ont évolués différemment.

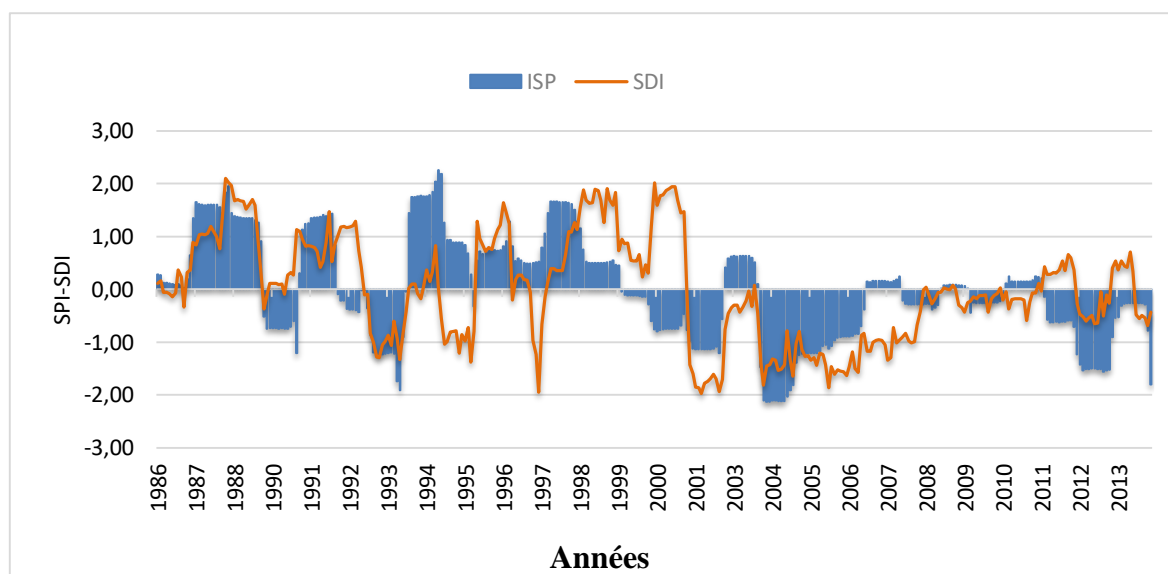


Figure 20 : Relation entre l'indice météorologique (SPI) et l'indice hydrologique (SDI) sur le bassin versant du Haut Bandama sur la période 1986-2015.

3.1.3 Détermination de l'occurrence des extrêmes hydrologiques

3.1.3.1 Détermination des périodes de basses eaux et de hautes eaux

La variation des coefficients mensuels de débits (CMD) montre une période de hautes eaux d'août à octobre et une période de basses eaux de novembre à juillet (tableau VIII). L'étiage total est observé en février-mars alors que le maximum des crues s'observe en septembre.

Tableau VIII : Régime hydrologique du fleuve Bandama à la station route Korhogo-Badikaha sur la période 1986-2015

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
CMD	0,07	0,02	0,02	0,03	0,10	0,31	0,87	2,99	4,80	2,39	0,44	0,08
Période	Basses eaux						Hautes eaux			Basses eaux		

3.1.3.2. Analyse des débits de crue

➤ Sélection de la distribution de probabilité des crues

Le tableau IX présente le classement des lois de probabilité ajustées aux séries des débits de crue. D’après le critère de comparaison, c’est la loi de Gumbel à deux paramètres qui s’ajuste bien au module du fleuve Bandama, ensuite viens la loi de Weibull et enfin la loi de GEV (loi Généralisée des Valeurs Extrêmes).

En effet, les critères d’information Akaike et Bayésien (AIC et BIC) permettent de retenir la loi de Gumbel. Cette loi est arrivée en tête parmi toutes les lois mises en compétition avec la plus grande probabilité à posteriori $P(Mi/X) = 55,92$ et les plus faibles valeurs de critères de AIC et BIC qui sont respectivement de 323,4 et 326,1. La loi de Weibull vient en deuxième position avec une probabilité à postérieure $P(Mi/X) = 33,48$ et des valeurs de critères de AIC (324,4) et BIC (327,2). Enfin la loi de GEV en dernière position avec une valeur faible de probabilité à postérieure $P(Mi/X) = 10,60$ et une valeur de critère de AIC et BIC élevée qui sont respectivement 325,3 et 329,5.

Tableau IX : Comparaison des lois statistiques pour l’ajustement des débits de crue du fleuve Bandama à la station route Korhogo-Badikaha

Loi statistique	Nombre de paramètres	P(Mi/x) (%)	Critère de comparaison		Classement
			BIC	AIC	
Gumbel	2	55,92	326,1	323,4	1
Weibull	2	33,48	327,2	324,4	2
GEV	3	10,60	329,5	325,3	3

➤ Ajustement de la loi de probabilité adéquate

Visuellement, la loi Gumbel présente l’avantage d’être un modèle simple pour la station route Korhogo-Badikaha dont les valeurs des débits mensuels annuels sont bien corrélées à cette loi qui met en évidence un bon comportement comparé aux lois de Weibull et GEV (figure 21).

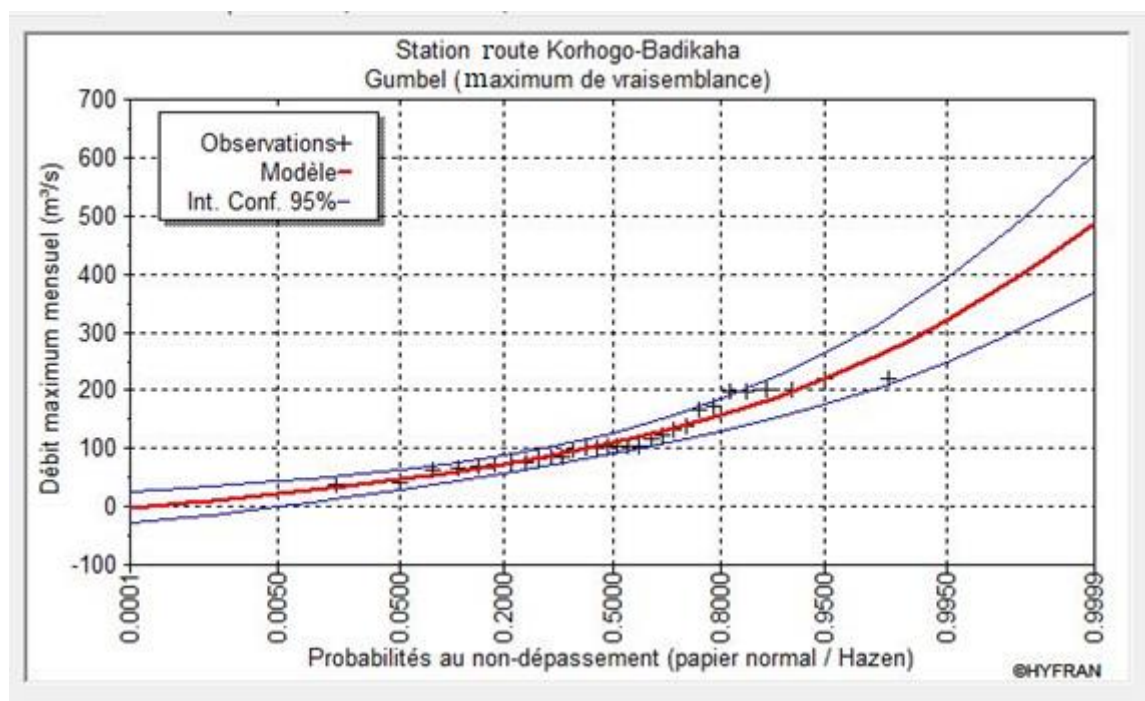


Figure 21 : Loi de Gumbel ajustée par la méthode de maximum de vraisemblance aux séries de débits de crues du fleuve Bandama à la station route Korhogo-Badikaha.

➤ **Estimation des quantiles de crues**

Les quantiles de crues pour diverses périodes de retour sont consignés dans le tableau X. On remarque que les débits de crues estimés par loi de Gumbel fluctuent entre 109 m³/s et 290 m³/s respectivement pour les périodes de retour 2 ans et 100 ans.

Tableau X : Quantiles des crues pour diverses périodes de retour de débits à la station route Korhogo-Badikaha

Période de retour (ans)	Probabilité de non dépassement (q)	Débits (m ³ /s) avec Gumbel
100	0,99	290
50	0,98	260
10	0,90	190
2	0,50	109

3.1.3.3. Analyse des débits d'été

➤ **Sélection de la distribution de probabilité des étiages**

Le tableau XI présente le classement des lois de probabilité ajustées aux séries des débits d'étiages. D'après le critère de comparaison, c'est la loi de Gamma Inverse qui s'ajuste bien au module du fleuve Bandama. Cette loi est arrivée en tête parmi les lois de Gamma et Pearson

Résultats et Discussion

type 2 mises en compétition avec la plus grande probabilité à posteriori $P(Mi/X) = 64,56$ et les plus faibles valeurs de critères de AIC et BIC qui sont respectivement de -16,7 et -19,7. La loi de Gamma vient en deuxième position avec une probabilité à postérieure $P(Mi/X) = 35,44$ et des valeurs de critères de AIC (-15,5) et BIC (-15,5). Enfin la loi de Pearson type 2 en dernière position avec une valeur faible de probabilité à postérieure $P(Mi/X) = 18,3$ et une valeur de critère de AIC et BIC élevée qui sont respectivement -14,7 et -14,9.

Tableau XI : Comparaison des lois statistiques pour l'ajustement des débits à la station route Korhogo-Badikaha

Loi statistique	Nombre de paramètres	P(Mi/x)	Critère de comparaison		Classement
			BIC	AIC	
Gamma inverse	2	64,56	-16,7	-19,7	1
Gamma	2	35,44	-15,5	-15,5	2
Pearson type 2	3	18,3	-14,9	-14,7	3

➤ Ajustement de la loi de probabilité adéquate

La figure 22 montre les résultats du critère de comparaison graphique. Il en résulte que la loi de Gamma inverse présente l'avantage d'être un modèle simple de cette station dont les valeurs des débits mensuels annuels sont bien corrélées à ladite loi. Elle met en évidence un bon comportement comparé à la loi de Gamma et Pearson type 2.

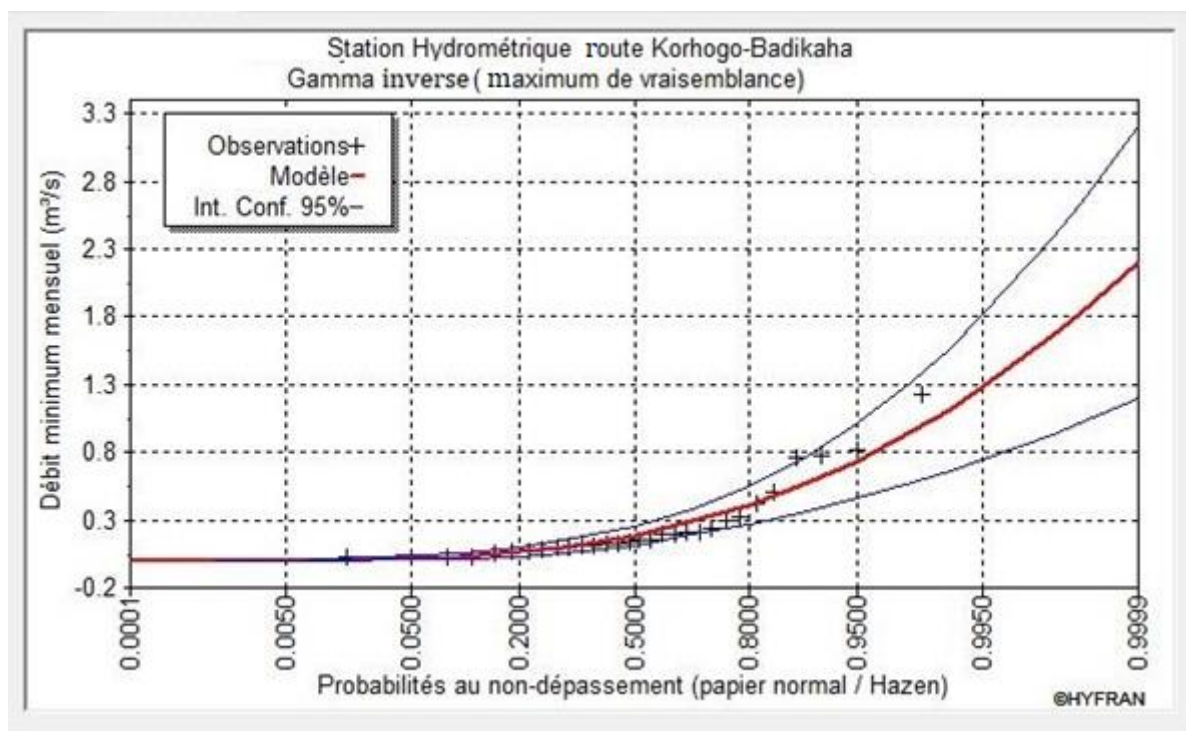


Figure 22: Loi de Gamma inverse ajustée par la méthode de maximum de vraisemblance aux séries de débits de crues du fleuve Bandama à la station route Korhogo-Badikaha.

➤ **Estimation des quantiles d'étiages**

Les quantiles d'étiages pour diverses périodes de retour sont consignés dans le tableau XII. On remarque que les débits estimés par loi Gamma inverse fluctuent entre 0,0213 m³/s et 0,127 m³/s respectivement pour les périodes de retour 100 ans et 2 ans.

Tableau XII : Débits d'étiages pour diverses périodes de retour de débits à la station route Korhogo-Badikaha.

Période de retour (ans)	Probabilité de non dépassement (q)	Débits (m ³ /s) avec Gamma inverse
100	0,01	0,0213
50	0,02	0,0249
10	0,10	0,0412
2	0,50	0,127

3.1.3.4. Seuils de vigilance et de crise

Le tableau XIII met en évidence l'évolution des seuils de vigilance et de crise en rapport avec les débits d'étiages et des périodes de retour de la station hydrométrique de la route Korhogo-Badikaha. Les seuils de vigilance et de crise qui correspondent respectivement à un niveau de

prévention des problèmes de pénurie et à un niveau de préparation d'une éventuelle crise. Les seuils de vigilance varient entre 0,023 m³/s et 0,140 m³/s pour les périodes de retours de 2 et 100 ans. Quant aux seuils de crise, les valeurs varient entre 0,114 m³ /s et 0,019 m³ /s respectivement pour les périodes de retour de 2 et 100 ans.

Tableau XIII: Seuils de vigilance et de crise de chaque période de retour

Période de retour	Débits d'étiages (m³/s)	Seuils de vigilance (m³/s)	Seuils de crise (m³/s)
100	0,0213	0,023	0,019
50	0,0249	0,027	0,022
10	0,0412	0,045	0,037
2	0,127	0,140	0,114

3.2. Discussion

L'objectif de cette étude est d'évaluer la disponibilité en eau du bassin versant du Haut Bandama pour l'optimisation de la production du sucre de canne des complexes sucriers de Ferkessédougou.

La caractérisation de la morphologie des retenues utilisées pour la satisfaction des besoins en eau des complexes a montré que le barrage de Morrison a une profondeur maximale de 11,98 m, une capacité d'eau de 11 656 735,5 m³ et un volume de sédiments de 1 013 058,96 m³. Quant au barrage de Lopkoho, sa profondeur maximale est de 8,82 m pour une quantité d'eau de 4 354 531,5 m³ et un volume de sédiments de 599 740 m³. Ces profondeurs d'eau mesurées sont conformes à celles du ministère de l'agriculture CCC UE/CI (2013), qui a obtenu une profondeur de 12,2 m pour Morisson et 6,12 m pour Lokpoho.

Quant aux volumes d'eau calculés, ils diffèrent de ceux du ministère de l'agriculture CCC UE/CI (2013) qui a obtenu un volume d'eau 3 487 200 m³ pour Morisson et 1 081 700 m³ pour Lokpoho. L'écart entre ces volumes d'eau peut s'expliquer par les dates des levés. La mesure bathymétrique a été réalisée au mois de février alors que pendant cette période, les volumes d'eau prélevés pour l'irrigation de la canne à sucre sont faibles contrairement à la période novembre et avril qui constitue la grande campagne d'irrigation où ces besoins sont importants ce qui entraîne une baisse considérable du volume d'eau dans les retenues.

Les taux de sédiments obtenus sont respectivement de 2,4% et 2,1% pour Lokpoho et Morisson. Ces résultats sont conformes à ceux de Tsanang (2016) qui a montré que les barrages (Lokpoho et Morisson) perdent respectivement plus de 2,5 % et 1,5 % de leurs capacités tous les dix ans,

Résultats et Discussion

ce qui compromet la gestion durable de ces eaux au cours des campagnes d'irrigation. Par ailleurs, une comparaison entre les deux taux de sédiments montre que le taux de sédiments de Lokpoho est supérieur à celui de Morisson. Cela pourrait s'expliquer par la présence d'une forte pente pour Lokpoho (90°) et une faible pente pour Morisson (24°).

L'analyse de la variabilité hydroclimatique à l'aide des indices standardisés des précipitations (SPI) à la station de Ferkessédougou a révélé que la zone d'étude a connu un important déficit pluviométrique. Un pic de sécheresse a été observé à partir de 2001 à 2015. Ce pic a été caractérisé par une sécheresse de types extrêmement sévère. Ces résultats confirment les recherches effectuées par Yao *et al.* (2018) et Soro *et al.* (2014) qui ont montré que la décennie 2000-2010 a été une période sèche sur le bassin versant du Bandama blanc et dans la région de Boundiali et Odienné.

Pour la sécheresse hydrologique, l'évolution des SDI a montré que le bassin versant du Haut Bandama est caractérisé par une sécheresse de type extrême. La période sèche observée durant l'année 1986 pourrait être due à un déficit cumulé de précipitation à la fin des années 1971 (Lebel & Vischel, 2005 ; Goula *et al.*, 2006). A partir de l'année 1991 à 1999, on observe une reprise des écoulements sur le bassin versant suivie d'un déficit hydrologique plus marqué entre 1999 à 2014 avec des SDI situés parfois entre -1,5 et -2,13, synonyme de sécheresse extrême. Ces résultats confirment les recherches effectuées par Soro *et al.* (2014) dans les régions de la Bagoué et du Kabadougou dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Selon ces recherches, sur la période 2000-2010, les indices statistiques déterminer dans ces zones d'étude ont montré d'importantes séquences de sécheresse. Afin d'apprécier l'impact de la sécheresse météorologique sur les écoulements, une analyse de l'indice de corrélation a été effectuée entre les indices de sécheresse météorologique (SPI) et hydrologique (SDI) aux stations de Ferkessédougou et route Korhogo-Badikaha. Les résultats indiquent une bonne corrélation entre les deux indices (SPI et SDI) de sécheresse avec une valeur de 0,56.

La caractérisation du régime hydrologique du Bandama à la station route Korhogo-Badikaha montre une période de basse eaux de novembre à juillet avec des CMD < 1 et une période de hautes eaux d'août à octobre. Ces résultats sont en conformité avec ceux obtenus par Yodomion (2016) sur le même bassin versant.

L'analyse fréquentielle a été menée à la station route Korhogo-Badikaha afin d'estimer les quantiles de référence Q2 ; Q10 ; Q50 et Q100 correspondants respectivement aux extrêmes des périodes de retour 2, 10, 50 et 100 ans du fleuve Bandama. Les lois statistiques appliquées dans cette étude sont : la loi de Weibull, la loi de Gumbel et GEV pour la détermination des

Résultats et Discussion

débits de crue et la loi Gamma et Gamma inverse pour les débits d'étiage. D'après les critères de comparaison, ce sont les lois de Gumbel et Gamma inverse qui s'ajustent mieux aux modules du fleuve Bandama pour un intervalle de confiance de 95 % parce qu'elles ont été acceptées par les différents tests appliqués. Nos résultats s'accordent avec ceux de Soro (2011) et Goula *et al.* (2012) qui rapportent que les lois de Gumbel et Gamma inverse s'appliquent bien au débits des crues et d'étiages en Afrique de l'Ouest surtout dans le Nord de la Côte d'Ivoire.

Les débits caractéristiques d'étiage (QMNA-T) ont donc été déterminés au moyen des quantiles évalués à partir de la station hydrométrique route Korhogo-Badikaha. Les débits de seuils de crise et de vigilance évalués mettent en évidence la tendance hydrologique laissant pressentir un risque de crise à cours ou à moyen terme. Ils correspondent respectivement à un niveau de prévention des problèmes de pénurie et à un niveau de préparation d'une éventuelle crise (Kouassi *et al.*, 2018).

CONCLUSION

Conclusion

Les travaux présentés dans ce mémoire ont pour objectif principal d'évaluer les ressources en eau de surface utilisées pour la production du sucre de canne dans les deux complexes agro-industriels de Ferkessédougou (Ferké 1 et Ferké 2). Pour y parvenir, trois objectifs spécifiques ont été définis. Le premier a consisté à la caractérisation de la morphologie des retenues d'eau de Morrison et Lopkoho. Le second objectif a porté sur la caractérisation de la variabilité hydroclimatique. Le troisième s'intéresse à la détermination de l'occurrence des extrêmes hydrologiques.

Les levés bathymétriques des deux retenues ont donné des profondeurs maximales estimées à 11,98 m pour Morrison et 8,82 m pour Lopkoho. Sur les retenues de Morrison et Lokpoho le taux de sédiments est estimé respectivement à 2,1% et 2,4%.

Les résultats de la variabilité hydroclimatique du bassin versant du Haut Bandama a permis d'estimer l'ampleur et la durée de la sécheresse sur les 30 années (1980-2015) d'étude. Ainsi, à la station pluviométrique de Ferkessédougou, une longue période sèche a été détectée d'octobre 2001 à septembre 2015, avec des SPI situés parfois entre -1,5 et -2, synonyme de sécheresse sévère. Au niveau la station hydrométrique route Korhogo-Badikaha, un déficit hydrologique a été détecté de 1999 à 2014 avec des SDI situés parfois entre -1,5 et -2,13, synonyme de sécheresse extrême.

L'analyse de l'occurrence des extrêmes hydrologiques a permis de simuler les débits de crues et d'étiages sur les différentes périodes de retour de 2, 10, 50 et 100 ans avec la loi de Gumbel et Gamma inverse. Le débit de crue susceptible d'être observé vaut 109 m³/s pour une période de retour de 2 ans et 290 m³/s pour 100 ans.

Le présent travail mérite d'être poursuivi de manière plus détaillée par une modélisation agro-hydrologique dans les périmètres sucriers de Ferkessédougou pour gérer durablement les ressources en eau du bassin versant du Haut Bandama.

Recommandations

Pour la gestion durable des ressources en eau de surface des périmètres sucriers de Ferké, les actions suivantes mériteraient d'être mises en œuvre par la SUCAF-CI :

- ✓ réduire l'envasement des barrages Lokpoho et Morrison en mettant en place un dispositif anti-érosion tel que des diguettes, des seuils (pierres de 30 cm de hauteur) en amont des barrages plus précisément après l'axe routier Ferkessédougou- Korhogo.
- ✓ valoriser les vases (utiliser comme matériaux de construction et de remblayage routier)
- ✓ blocage et rétention des matériaux par un écran de végétation en amont du barrage.

Conclusion

- ✓ alimenter la population et l'usine à partir des ouvrages de captage d'eau souterraine « forages » car il permet d'économiser les eaux de barrages et son coût de traitement (potabilisation) coûte très moins chère comparé aux eaux de barrage.
- ✓ Traiter les eaux usées d'usinage de la canne à sucre afin de disposer d'une ressource en eau additionnelle pour l'irrigation et de contribuer aussi à la protection de l'environnement en limitant les risques de pollution d'origine industrielle.

RÉFÉRENCES

Références

- Adiaffi B., Wango T.E., Gnamba F.M., Kpan O.J.G. & Baka D. (2016). Analyse de la relation pluie-débit dans un contexte de variabilité climatique dans la région de Katiola. *International Journal of Engineering Science Invention*, 12(5) : 38–45.
- Avenard J.M. (1992). Aspect de la géomorphologie. In : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM*, 50, Paris (France) : 11–72.
- Benyahya L., Daigle A., Caissie D., Beveridge D. & St-Hilaire A. (2009). Caractérisation du régime naturel du débit des bassins versants de l'Est du Canada. Rapport de recherche R1057, Canada, 67 p.
- Ben-Zvi A. (1987). Indices of hydrological drought in Israel. *Journal of Hydrology*, 92(1) : 179–191.
- Biémi J. (1992). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aire granitique de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat Ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, (Cocody, Côte d'Ivoire), 479 p.
- Cassiamani C., Morgillo A., Marchesi S. & Pavan V. (2007). Monitoring and forecasting drought on a regional scale : Emilia Romagna Region. *Water Science and Technology*, 62 : 29–48.
- Catalogne C. (2012). Amélioration des méthodes de prédéterminations des débits de références d'étiages en des sites peu ou non jaugés, Thèse de Doctorat d'Université de Grenoble, France, 143 p.
- CCC UE/CI (2013). Études APD et élaboration de DAO pour la sécurisation des ressources en eau des complexes sucriers de la Côte d'Ivoire, (Zuénoula, Ferkessedougou, Côte d'Ivoire), 113 p.
- Dkengne S. P. (2006). Modélisation et prévision des débits naturels journaliers du bassin versant de la Sanaga à la station de contrôle de Songmbengue. Rapport de Master, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Cameroun, 101 p.
- Doucet-Généreux P.L. (2015). Simulation des débits d'étiages dans un concept de changement climatique : incertitudes liées au choix du modèle et au critère de calage. Mémoire de

Références

- Projet de Maîtrise Spécialité en Génie Civil, Département de génie civil, Université de Sherbrooke (Canada), 103 p.
- Fossou R.M.N., Lasm T., Soro N., Soro T., Soro G., De Lasme O.Z., Onetié O.Z. & Orou R. (2015). Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *Larhyss Journal*, 21 : 97–120.
- Garcia F. (2016). Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiage, Thèse de Doctorat en Hydrologie, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI (France), 222 p.
- GIEC (2015). Changements climatiques 2014 : rapport de synthèse : contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève (Suisse), 161 p.
- Goula B.T.A., Savané I., Konan B., Fadika V. & Kouadio G.B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *VertigO*, 7(1) : 1–12.
- Goula, Soro B.T.A., Kouassi E.G., Srohourou W. & Bernard (2012). Tendances et ruptures au niveau des pluies journalières extrêmes en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest), *Revue des sciences hydrologiques*, 57(6) : 1067–1080.
- INS (2014). Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) Résultats globaux. INS (Abidjan, Côte d'Ivoire), 22 p.
- Jean-Baptiste K.Y. (2015). Extension et développement des superficies irriguées en goutte à goutte à SUCAF-CI au Nord de la Côte d'Ivoire : Quelle stratégie ? Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (Yamoussoukro, Côte d'Ivoire), 124 p.
- Jourda J.P.R. (2005). Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'État Ès Sciences, Naturelles, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 398 p.

Références

- Konan E.A., Péné C.B. & Dick E. (2017). Caractérisation agro-climatique du périmètre sucrier de Ferké 2 au Nord de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 116(1) : 11-32.
- Koffi, B., Kouadio, Z.A., Kouassi, K.H., Yao, A.B., Sanchez, M., Kouassi, K.L. (2020). Impact of meteorological drought on streamflows in the Lobo river catchment at Nibéhibé, Côte d'Ivoire. *Journal of Water Resource and Protection*, 12 : 495-511.
- Kouamé K.C. (2019). Optimisation des réseaux d'irrigation du périmètre irrigué de Sucaf-Ci (6 846 ha). Master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et Environnement (Ouagadougou, Burkina Faso), 151 p.
- Kouassi A.M., Assoko A.V.S., Kouakou K.E., Djé K.B., Kouamé K.F. & Biémi J. (2017). Analyse des impacts hydrologiques de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire. *Larhyss Journal*, 31 : 19-40.
- Kouassi A.M., Kouamé K.F., Saley M.B. & Biémi J. (2013). Impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines des aquifères de socle cristallin et cristallophyllien en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, 16 : 121–138.
- Kouassi A.M., Nassa R.A.-K., Yao K.B., Kouamé K.F. & Biémi J. (2018). Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau*, 31(2) : 147–160.
- Kouassi K.L., Wognin V.I., Gnagne T., N'go Y. A., Courivaud J-R., Kassy P., Démé M. & Aka K. (2007). Caractérisation des sables et morphologie du fond du lac du barrage hydroélectrique de Taabo (Côte d'Ivoire). *Sciences et Nature*, 4 (1) : 93 - 103.
- Lang C. (2007). Étiages et tarissements : vers quelles modélisations ? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français. Thèse de Doctorat, Université de Metz (France), 210 p.
- Lebel T. & Vischel T. (2005). Climat et cycle de l'eau en zone tropicale : un problème d'échelle. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(2) : 29–38.
- López-Moreno, J.I., et al. (2013) Hydrological response to climate variability at different time scales : A study in the Ebro basin. *Journal of Hydrology*, 477 : 175-188.

Références

- Machard de Gramont (2010). Vers une gestion concertée des systèmes aquifères transfrontaliers.in : *Guide méthodologique*. Agence Française de Développement, France, 120 p.
- McKee T.B., Doesken N.J. & Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Eighth Conference on Applied Climatology*, 17-22 January 1993, Anaheim California, 6 p.
- Mekhloufi N. (2014). Prédétermination et prévision des étiages des oueds de l'Algérie septentrionale. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Magistère, Spécialité Hydraulique, Option : Aménagement Hydraulique en zones arides, Université de Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 120 p.
- Mishra A.K., Desai V.R. & Singh V.P. (2007). Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(6) : 626–638.
- Nalbantis I. & Tsakiris G. (2009). Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*, 23(5) : 881–897.
- Nshimirimana G. (2010). Caractéristiques du barrage-aménagement hydroagricole de moutouri (dano) et scénarios d'utilisation de l'eau pour une irrigation efficiente et durable. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et Environnement (Ouagadougou, Burkina Faso), 64 p.
- Péné C.B., Chopart J.L. & Assa A. (1997). Gestion de l'irrigation à la parcelle en culture de canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) sous climat tropical humide, à travers le cas des régions Nord et Centre de la Côte d'Ivoire. *Sécheresse*, 8(2) : 87–98.
- Péné C.B. & Assa A.D. (2003). Variabilité interannuelles de la pluviométrie et de l'alimentation hydrique de la canne à sucre en Côte d'Ivoire. *Sécheresse*, 14(1) : 43–52.
- Soro G.E. (2011). Modélisation statistique des pluies extrêmes en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 172 p.
- Soro G.E., Anouman D.G.L., Goula Bi T.A., Shrorou B. & Savané I. (2014). Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique à diverses échelles de temps en climat de

Références

- type soudanais : cas de l'extrême Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Larhyss Journal*, 18 : 107–124.
- Soro T.D., Kouakou B.D., Kouassi E.A., Soro G., Kouassi A.M., Kouadio K.E., Yéi M.-S.O. & Soro N. (2013). Hydroclimatologie et dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire). *VertigO*, 13(3) : 1–22.
- Souanef N. (2015). Analyse fréquentielle des débits max de crues de l'Oued Abiod. Mémoire de master en hydraulique urbaine, Faculté des Sciences et de la technologie. Université Mohamed Khider-Biskra, Algérie, 84 p.
- Tate & Lyle (1975). Étude pédologique de la région comprise entre les rivières Waha et Farakwo en Côte d'Ivoire. *Hunting Technical Services Limited*, 15 : 99-115.
- Tsanang T.P.R. (2016). Diagnostic de système d'irrigation dans les parcelles irriguées, SUCAF-CI. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et Environnement (Ouagadougou, Burkina Faso), 99 p.
- UNESCO (2020). L'eau, une responsabilité partagée. Rapport Mondial des Nations Unies sur la Mise en Place des Ressources en Eau, édition UN WATER, (Côte d'Ivoire), 12 p.
- Yao A.B. (2015). Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 192 p.
- Yao F., Ouattara I., Kouakou E., Savane I., Reynard E. & Fallot J.M. (2018). Analyse de la variabilité climatique dans le bassin versant agricole du Bandama blanc, Nord de la Côte d'Ivoire. *Association Internationale de Climatologie*, 12 : 339–404.
- Yodomion K.A.T. (2016). Simulation numérique du fonctionnement hydrologique dans les périmètres sucriers de Ferkessédougou (Haut Bandama). Mémoire de Master, Option : Hydrologie, Université Jean Lorougnon Guédé Daloa (Côte d'Ivoire), 76 p.

RESUME

Les ressources en eau de surface du bassin versant du Haut Bandama utilisées par la SUCAF-CI, bien que renouvelables, sont limitées et menacées par les activités industrielles, urbaines, agricoles et les aléas du changement climatique. Dès lors, l'évaluation de ces ressources en eau s'impose sur le bassin. L'objectif de cette étude est d'évaluer les ressources en eau de surface utilisées pour la production du sucre de canne dans les deux complexes sucriers de Ferkessédougou (Ferké 1 et Ferké 2). Pour y parvenir, des levés bathymétriques ont été effectués sur les retenues d'eau disponibles pour déterminer les différentes profondeurs d'eau. Ensuite, la méthode des indices de sécheresse a permis de déterminer l'intensité et la gravité de sécheresse sur le bassin versant. Enfin, les quantiles de crue et d'étiage ont été déterminées par la méthode de l'analyse fréquentielle. Les levés bathymétriques des deux retenues ont donné des profondeurs maximales estimées à 11,98 m pour Morrison et 8,82 m pour Lopkoho et un taux de sédiments de 2,1% et 2,4%. Pour la variabilité hydroclimatique du bassin, les résultats montrent une sécheresse de type sévère et extrême à partir des années 1999 et 2001, avec des pics de sécheresse de -1,97 et -2,13. Les lois qui s'adaptent le mieux aux séries observées sont la loi Gumbel pour les débits de crue et la loi Gamma inverse pour les débits d'étiage.

Mots clés : Disponibilité en eau, levé bathymétrique, Crue et étiage, Haut Bandama, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

The surface water resources of the Upper Bandama watershed used by SUCAF-CI, although renewable, are limited and threatened by industrial, urban and agricultural activities and the hazards of climate change. Therefore, the evaluation of its water resources is necessary in the basin. The objective of this study is to assess the surface water resources used for cane sugar production in the two sugar complexes of Ferkessédougou (Ferké 1 and Ferké 2). To achieve this, bathymetric surveys were carried out on the available water reservoirs to determine the different water depths. Then, the drought index method was used to determine the intensity and severity of drought in the catchment area. Finally, the flood and low-water quantiles were determined by the frequency analysis method. Bathymetric surveys of the two reservoirs yielded maximum estimated depths of 11.98 m for Morrison and 8.82 m for Lopkoho and sediment rates of 2.1% and 2.4%. For the hydroclimatic variability of the basin, the results show a severe and extreme type of drought from the years 1999 and 2001, with drought peaks of -1.97 and -2.13. The laws that best adapt to the observed series are the Gumbel law for flood flows and the inverse Gamma law for low water flows.

Keywords : Water availability, Bathymetric survey, Flood and low water, Haut Bandama, Ivory Coast.