



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE
UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2022-2023

N° D'ORDRE : 072

CANDIDAT

Nom : TOURE

Prénoms : Fanraban Fabrice

THESE

**Pour l'obtention du grade de Docteur de
l'Université Jean LOROUGNON GUEDE
Mention : Géosciences et Environnement**

Spécialité : Hydrologie-GIRE

Optimisation de l'allocation de l'eau dans le bassin
versant de la Lobo à Nibéhibé (Centre-Ouest de la Côte
d'Ivoire)

Soutenue publiquement
le 06 Mai 2023

JURY

Président : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire, Université
Jean Lorougnon Guédé

Directeur : M. KONAN-WAIDHET Arthur Brice, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guédé

Rapporteur : M. KOUADIO Zilé Alex, Maître de Conférences, Université
Jean Lorougnon Guédé

Examineur : M. DAO Amidou, Maître de Conférences, Université Nangui
Abrogoua

Examineur : M. KOUAKOU Koffi Eugène, Maître de Conférences, Institut
National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny

Table des matières.....	Pages
DEDICACES	VII
REMERCIEMENTS.....	VIII
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	XI
LISTE DES TABLEAUX	XIII
LISTE DES FIGURES.....	XV
LISTE DES ANNEXES	XVIII
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : GENERALITES	5
CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO.....	6
1-1- Présentation du site de l'étude	6
1-1-1- Situation géographique	6
1-1-2- Environnement physique	7
1-1-2-1- Géologie	7
1-1-2-2- Hydrogéologie	9
1-1-2-3- Géomorphologie.....	10
1-1-3- Environnement biophysique.....	12
1-1-3-1- Types de sol	12
1-1-3-2- Occupation du sol	13
1-1-3-3- Hydrographie	14
1-1-3-4- Climat	16
1-1-3-4-1- Régime climatique	16
1-1-3-4-2- Humidité relative.....	17
1-1-4- Environnement socio-économique	17
1-1-4-1- Démographie et urbanisation	17
1-1-4-2- Source d'approvisionnement en eau des populations	19
1-1-4-3- Secteur agricole.....	20
1-1-4-4- Secteur de l'élevage.....	21
1-1-4-5- Secteur industriel.....	22
1-1-5- Problématique de l'eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	23
1-1-5-1- Effets des changements climatiques sur les ressources en eau	23
1-1-5-2- Gestion sectorielle de l'eau : ouvrages d'AEP, agriculture, pêche et usage culturel	24
1-1-5-3- Croissance démographique.....	24
Conclusion partielle.....	26

CHAPITRE 2 : CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU	27
2-1- Variabilité et Changement climatique	27
2-1-1- Définitions.....	27
2-1-1-1- Variabilité climatique	27
2-1-1-2- Changement climatique	27
2-1-1-3- Scénarios climatiques	27
2-1-1-4- Modèles climatiques	28
2-1-2- Evolution des paramètres climatiques	29
2-1-2-1- Evolution des températures	29
2-1-2-2- Evolution des précipitations	30
2-1-3- Impact des changements climatiques sur les ressources en eau	31
2-2- Gestion intégrée des ressources en eau	32
2-2-1- Définitions.....	32
2-2-2- Processus de la mise en œuvre de la GIRE en Côte d’Ivoire.....	32
2-2-2-1- Législation et cadre institutionnel	32
2-2-2-1-1- Législation nationale	32
2-2-2-1-2- Cadre institutionnel.....	33
2-2-2-2- Contraintes dans la mise en œuvre.....	34
2-2-2-2-1- Contraintes financières	34
2-2-2-2-2- Contraintes environnementales.....	34
2-2-2-2-3- Contraintes sociales	35
2-2-3- Outils d’aide à la prise de décision.....	35
2-2-3-1- Logiciels	35
2-2-3-2- Contribution de WEAP à la gestion des ressources en eau	37
Conclusion partielle.....	38
PARTIE II : MATERIEL ET METHODES	40
CHAPITRE 3 : MATERIEL.....	41
3-1- Données d’étude	41
3-1-1- Données climatiques	41
3-1-1-1- Données climatiques observées.....	41
3-1-1-2- Données climatiques simulées.....	41
3-1-2- Données hydrométriques	42
3-1-3- Données des relevés de niveau piézométrique.....	42
3-1-4- Images satellitaires	42

3-1-5- Données socio-économiques	42
3-2- Outils.....	44
3-2-1- Matériel de terrain.....	44
3-2-2- Outils de traitement de données	45
Conclusion partielle.....	46
CHAPITRE 4 : METHODES	47
4-1- Diagnostic actuel de la gestion des ressources en eau.....	47
4-1-1- Identification des usagers et des conflits d’usage des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	47
4-1-1-1- Méthode d’échantillonnage	47
4-1-1-2- Enquête de terrain.....	48
4-1-2- Evaluation des besoins en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	49
4-1-2-1- Besoins pour l’approvisionnement en eau potable	49
4-1-2-2- Besoins en eau pour l’agriculture.....	49
4-1-2-3- Besoins en eau pour l’élevage	49
4-2- Evaluation des ressources en eau actuelle et à l’horizon 2050 du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	50
4-2-1- Evaluation des ressources en eau actuelle du bassin versant.....	50
4-2-1-1- Détermination du volume d’eau des différentes retenues.....	50
4-2-1-2- Evaluation des écoulements de surface à l’aide du modèle CEQUEAU.....	57
4-2-1-2-1- Présentation du modèle CEQUEAU.....	57
4-2-1-2-2- Mise en œuvre du modèle CEQUEAU sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	57
4-2-1-2-3- Simulation des débits par le modèle CEQUEAU	61
4-2-1-2-4- Calage et validation du modèle	64
4-2-1-3- Evaluation des ressources en eau souterraine.....	67
4-2-2- Evaluation des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé à l’horizon 2050	68
4-2-2-1- Choix du modèle climatique	68
4-2-2-2- Dynamique de l’occupation du sol à l’horizon 2050.....	69
4-2-3- Lames d’eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé face aux changements climatiques et à la dynamique de l’occupation du sol	69
4-3- Modélisation de l’allocation des ressources en eau	70
4-3-1- Modélisation avec le modèle WEAP	70
4-3-1-1- Description du modèle WEAP.....	70
4-3-1-2- Approche WEAP	71

4-3-2- Application du modèle WEAP au bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	71
4-3-2-1- Création du projet	71
4-3-2-2- Création du compte courant.....	72
4-3-2-3- Hypothèse de prévision de la demande en eau à l’horizon 2050	72
4-3-2-4- Création de scénarii.....	74
Conclusion partielle.....	76
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION	77
CHAPITRE 5 : INVENTAIRE ET GESTION ACTUELLE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO A NIBEHIBE.....	78
5-1- Usagers de la ressource en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	78
5-1-1- Acteurs culturels des ressources en eau dans le bassin versant.....	78
5-1-2- Acteurs économiques des ressources en eau dans le bassin versant.....	78
5-2- Perception des acteurs face à la ressource en eau	80
5-2-1- Perception des usagers culturels de la ressource en eau.....	80
5-2-2- Perception des acteurs économiques de la ressource en eau	80
5-2-2-1- Prélèvement pour l’approvisionnement en eau potable (SODECI).....	80
5-2-2-2- Usages des ressources en eau pour les activités agropastorales	80
5-2-2-3- Usages des ressources en eau pour la pêche	81
5-3- Conflits d’usages des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	82
5-3-1- Conflits entre autochtones et pêcheurs (Bozo)	83
5-3-2- Conflits entre autochtones et la SODECI	83
5-4- Diagnostic des sources d’accès à l’eau potable dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	83
5-4-1- Accès des populations à l’eau potable	83
5-4-2- Etat de fonctionnement des pompes hydrauliques sur le bassin versant.....	85
5-5- Difficultés d’accès à l’eau potable dues au prix de l’eau	86
5-5-1- Contraintes liées au raccordement du réseau de la SODECI.....	86
5-5-2- Difficultés des ménages face aux revendeurs d’eau	88
5-6- Besoins en eau des différents usagers.....	89
5-6-1- Besoins pour l’Approvisionnement en Eau Potable (AEP) dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	89
5-6-2- Besoins en eau pour l’agriculture irriguée dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	89
5-6-3- Besoins en eau pastoraux dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	89
5-7- Discussion.....	90
Conclusion partielle.....	91

CHAPITRE 6 : RESSOURCES EN EAU ACTUELLE ET A L’HORIZON 2050 DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO A NIBEHIBE	93
6-1- Ressources en eau actuelle.....	93
6-1-1- Caractéristiques volumétriques des différentes retenues.....	93
6-1-1-1- Caractéristiques volumétriques de la retenue de Kibouo.....	93
6-1-1-2- Caractéristiques volumétriques de la retenue de Brakaguhé.....	93
6-1-1-3- Caractéristiques volumétriques de la retenue de Yuala	93
6-1-1-4- Caractéristiques volumétriques de la retenue de la SODECI	94
6-1-2- Lame d’eau écoulée sur le bassin versant de la Lobo à l’aide du modèle CEQUEAU.....	94
6-1-2-1- Résultats de la préparation des données physiographiques	94
6-1-2-1-1- Carreaux entiers et carreaux partiels.....	94
6-1-2-1-2- Etats de l’occupation du sol du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	96
6-1-2-2- Calage et validation du modèle CEQUEAU.....	98
6-1-2-2-1- Critères numériques.....	98
6-1-2-2-2- Critères graphiques.....	99
6-1-2-3- Débits et lames d’eau entrant dans les retenues	101
6-1-3- Ressources en eau souterraine du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	102
6-2- Ressources en eau du bassin versant à l’horizon 2050	103
6-2-1- Dynamique de l’occupation du sol dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé à l’horizon 2050.....	103
6-2-1-1- Débits et lames d’eau futurs entrant dans les retenues.....	105
6-2-1-1-1- Débits et lames d’eau entrant dans les retenues selon le modèle CCLM4-8-17 sous le scénario RCP4.5 sur la période 2021-2040.....	105
6-2-1-1-2- Débits et lames d’eau entrant dans les retenues selon le modèle CCLM4-8-17 sous le scénario RCP8.5 sur la période 2021-2040.....	106
6-2-1-1-3- Débits et lames d’eau entrant dans les retenues selon le modèle CCLM4-8-17 sous le scénario RCP4.5 sur la période 2041-2060.....	106
6-2-1-1-4- Débits et lames d’eau entrant dans les retenues selon le modèle CCLM4-8-17 sous le scénario RCP8.5 sur la période 2041-2060.....	107
6-3- Discussion	107
Conclusion partielle.....	110
CHAPITRE 7 : MODELISATION DE L’ALLOCATION DES RESSOURCES EN EAU	112
7-3- Demande en eau du bassin à l’horizon 2050	112
7-3-1- Scénario de référence	113
7-3-2- Scénario de faible taux de croissance démographique.....	115

Table des matières

7-3-3- Scénario de fort taux de croissance démographique	116
7-3-4- Scénario relatif à l'amélioration du niveau de vie	118
7-3-5- Scénario relatif au changement climatique	119
7-3-6- Scénarii d'optimisation	122
7-3-6-1- Scénario d'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement en eau. 122	
7-3-6-2- Scénario relatif à la gestion des vannes des surfaces agricoles..... 124	
7-3-6-3- Scénario relatif à l'augmentation de l'approvisionnement en eau de la zone urbaine de Daloa	124
7-4- Discussion	125
Conclusion partielle.....	128
CONCLUSION GENERALE	129
REFERENCES	133

DEDICACES

À la mémoire de ma mère KONE Nadjabière, que Dieu Tout Puissant lui accorde sa miséricorde.

À mon père TOURE Kationan René, mon frère TOURE N'Datien Jean- Charles et à ma sœur TOURE Miwossam Estelle qui bien qu'étant loin de moi, ont su me soutenir moralement, financièrement et spirituellement dans le cadre de mes études, surtout dans la réalisation de ce travail.

À ma tante WAOTIEN Thérèse qui me soutient depuis ma classe de sixième.

Trouvez dans l'achèvement de ce travail, la récompense de tous les efforts et sacrifices que vous avez consentis pour moi.

Je rends grâce à l'Éternel pour sa présence dans ma vie de chaque jour !!!

REMERCIEMENTS

Ce mémoire de Thèse de Doctorat est le couronnement de plusieurs années de travail au cours desquelles, plusieurs personnes ont apporté une touche spéciale à sa réalisation. C'est avec un réel plaisir que je voudrais à travers ces quelques lignes, leur rendre hommage, leur adresser mes sincères remerciements et ma profonde gratitude.

Je voudrais exprimer ma profonde gratitude au Professeur TIDOU Abiba Sanogo Epouse KONE, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) pour m'avoir permis de réaliser cette thèse dans ladite Université.

Je remercie également le Professeur KONE Tidiani, Vice-président de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) chargé de la pédagogie, de la recherche, de la vie universitaire et de l'innovation technologique pour avoir coordonné la mise en place de la formation doctorale.

J'exprime mes sincères remerciements au Professeur AKAFFOU Doffou Sélastique, Vice-président de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) chargé de la planification, de la programmation et des relations extérieures pour son implication dans le bon déroulement de la formation doctorale.

J'exprime ma profonde gratitude au Professeur KOUASSI Kouakou Lazare, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement pour sa disponibilité et ses conseils avisés et surtout de m'avoir accepté au sein du projet EPEAEP-Daloa dont il est le coordonnateur. Merci cher Maître pour la confiance.

Je tiens à remercier le Directeur du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) de l'Université Jean Lorougnon Guédé, Professeur DIBI Brou, de m'avoir accepté d'une part au sein dudit laboratoire pour la réalisation de mes travaux et d'autre part dans le projet EPEAEP-Daloa dont il assure la vice-coordination.

J'adresse mes sincères remerciements au Docteur KONAN-WAIDHET Arthur Brice, Maître de Conférences qui n'a ménagé aucun effort dans la Direction de ce travail. Je rends ici hommage à ses qualités humaines (très patient et compréhensif), pédagogiques et scientifiques. Je salue la pertinence de ses interventions, ses explications sans cesse qui se sont toujours révélées utiles, voire déterminantes pour l'aboutissement de ce travail.

Je voudrais traduire ma reconnaissance à l'endroit de Docteur YAO Affoué Berthe Epouse TOURE, Maître de Conférences, qui a toujours répondu présente lorsque j'avais besoin d'un recadrage et de certaines orientations dans le déroulement de mes travaux de thèse. Elle a su, de par ses enseignements, ses conseils et ses directives, me guider dans ce travail. Je garderai toujours un souvenir très vif de ses grandes qualités humaines.

Remerciements

Je suis également très reconnaissant envers Docteur KOUADIO Zilé Alex, Maître de Conférences, qui a contribué d'une manière significative à l'avancement de mes travaux. Ses conseils avisés et ses questions très constructives m'ont permis d'améliorer ce travail. Merci cher Maître.

Je traduis ma gratitude et ma reconnaissance aux Docteurs KOUA Tanoh Jean-Jacques, MANGOUA Oi Mangoua Jules, SOMBO Abé Parfait, KOUASSI Kouakou Hervé, ANOH Kouao Armand, EBLIN Sampah Georges, DIARRA Ali, tous Maîtres de Conférences, SORO Tanina Drissa, KOUAME Yao Morton, tous Maîtres-Assistants et BROU Loukou Alexis, Assistant, pour leurs conseils et contributions significatives à travers la lecture et la correction de ce mémoire qui l'ont considérablement amélioré.

Je voudrais remercier Docteur KAMENAN Yiwa Monique Epouse MANGOUA, Docteur OUATTARA Gningnéri Souleymane, Docteur KOUADIO Kouamé Jean Olivier, Docteur KOFFI Bérenger et Docteur KOKOBOU Kouassi Jacques Hervé pour leurs contributions à l'élaboration de ce travail, leurs conseils avisés et les encouragements durant cette thèse.

Que les doctorants du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) : N'GUESSAN Konan Jean Yves, KONATE Yaya, KOUASSI Amino Anne-Marie, AKATCHI Akouba Agnès, ZOUGROU Ninlou Nadège, KOUASSI Kouassi Jean Michel, OUEDE Gla Blaise, KRA Junias Léandre, COULIBALY Wawogninlin Brice, GOE Bi Séhi Antoine, AKAFFOU Franck Hervé, KRE Yon Edwige, KADJO M'min Marie-Florence, YAO Anne Josianne Larissa, TUO Yaraba et YAO Emile Desmond trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude. J'ai pu bénéficier de leurs conseils avisés durant tout ce travail. Les discussions que nous avons souvent eues, ont été aussi instructives que constructives. Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet de développement EPEAEP-Daloa (Evaluation des Potentialités en Eau pour l'amélioration de l'Approvisionnement en Eau Potable de la commune de Daloa) en collaboration avec l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (UJLoG).

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien du Contrat de Désendettement et Développement (C2D) à travers le Partenariat rénové pour la REcherche au SErvice du Développement en Côte d'Ivoire (PRESED-CI-2) avec le soutien de l'Institut de Recherche et de Développement (IRD) qui ont financé le projet EPEAEP-Daloa.

Aux Directions Régionales de la SODECI et de l'Hydraulique, en particulier à Messieurs KOUMAN et N'GUESSAN respectivement Agent Technique de la SODECI et Directeur Régional de l'Hydraulique, j'adresse mes sincères remerciements pour les entretiens fructueux accordés qui ont permis d'élucider plusieurs points d'ombre et d'améliorer le travail.

Remerciements

Je remercie très sincèrement les autorités coutumières des différentes localités que nous avons parcourues ainsi que les populations pour l'accueil chaleureux qui nous a été réservé et pour cette hospitalité.

Je voudrais particulièrement remercier mes cadets de la filière de Géographie en occurrence DIZOE Synthia Carine, KOUADIO Ettely Nassib et SANGARE Abdoulaye pour m'avoir accompagné durant trois semaines à travers les différentes localités que nous avons parcourues pour les visites de terrain. Ce fût une très belle expérience d'avoir été confronté au milieu rural. Merci infiniment pour tout.

A mes amis de la première promotion (2014-2016) de la filière Génie de l'eau et de l'Environnement (GEE) de l'Université Jean Lorougnon Guédé, je voudrais leur dire merci pour toutes ces années passées ensemble dans une ambiance fraternelle.

A mes frères et amis DORO Oumar, TOURE Ibrahim, NIGBO Loba André, KONE Baténéko, KOFFI Benoît, YOUDE Thomas et YAO Boris pour leur indéfectible amitié qui a été d'un secours moral dans l'évolution de ce travail.

Par crainte d'avoir omis quelqu'un, je témoigne ma reconnaissance et mon infinie gratitude à tous ceux et celles qui m'ont apporté un soutien quelconque pour l'aboutissement de ce travail et dont les noms n'ont pas été cités.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ADERIZ	: Agence pour le DEveloppement de la filière RIZ
AEP	: Approvisionnement en Eau Potable
AG	: Algorithmes Génétiques
CCLM	: Climate Limited-area Modelling Community
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CEDEAO	: Communauté Economique des Etats de l’Afrique de l’Ouest
CIED	: Conférence Internationale sur l’Eau et le Développement
CIGN	: Centre d’Information Géographique et du Numérique
CME	: Conseil Mondial de l’Eau
CMIP 5	: Coupled Model Intercomparison Project 5
CSAO	: Club du Sahel et de l’Afrique de l’Ouest
CSIRO	: Commonwealth Scientific Industrial and Research Organization
DCGTx	: Direction et Contrôle des Grands Travaux
DH	: Direction de l’Hydrologie
DIEPA	: Décennie Internationale de l’Eau Potable et de l’Assainissement
DRH	: Direction Régionale de l’Hydraulique
ECHAM 5	: European Centre HAMBURG Model, version 5
ETM+	: Enhanced Thematic Mapper Plus
FIT	: Front InterTropical
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe d’Experts Intergouvernemental sur l’Evolution du Climat
GIRE	: Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GWP	: Global Water Partnership
HadCM 3	: Hadley center Coupled Model, version 3
HV	: Hydraulique Villageoise
HVA	: Hydraulique Villageoise Améliorée
INS	: Institut National de la Statistique
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
JICA	: Japan International Cooperation Agency

Liste des sigles et abréviations

MCG	: Modèle Climatique Global
MCGAO	: Modèle Climatique Global Atmosphère-Océan
MINEF	: Ministère des Eaux et Forêts
MCR	: Modèle Climatique Régional
MK	: Mann Kendall
ONDR	: Office National de Développement de la Riziculture
RCA	: Rossby Centre Atmosphere model
RCP	: Representative Concentration Pathways
RegCM 3	: Regional Climate Model version 3
SAD	: Système d'Aide à la Décision
SIG	: Système d'Informations Géographiques
SODEFEL	: Société d'état pour le Développement des Fruits Et Légumes
SODEPRA	: Société pour le Développement des Productions Animales
SODERIZ	: Société de Développement de la Riziculture
SODECI	: Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire
SODEXAM	: Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique
SRES	: Special Report on Emissions Scenarios
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
WEAP	: Water Evaluation And Planning system
ZCIT	: Zone de Convergence InterTropicale

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Caractéristiques physiques et morphométriques du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	11
Tableau II : Surfaces rizicoles aménagées autour des barrages hydro-agricoles dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	21
Tableau III : Ratio de consommation du cheptel (JICA, 2020)	22
Tableau IV : Principaux Ministères et Acteurs intervenant dans le domaine de l’eau (MINEF, 2003).....	33
Tableau V : Caractéristiques des images Landsat.....	42
Tableau VI : Répartition de la population du bassin de la Lobo à Nibéhibé par sous-préfecture (INS, 2021).....	43
Tableau VII : Surfaces rizicoles irriguées dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (ONDR, 2012).....	43
Tableau VIII : Évolution du cheptel par type de bétail dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (INS, 2021)	44
Tableau IX : Surfaces rizicoles irriguées dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	49
Tableau X : Consommation spécifique du cheptel (JICA, 2020)	50
Tableau XI : Classes d’occupation du sol choisies pour la zone d’étude	55
Tableau XII : Données physiographiques des stations fictives	66
Tableau XIII : Description des paramètres d’optimisation du modèle CEQUEAU (Morin, 2002).....	67
Tableau XIV : Priorités d’allocation de l’eau.....	72
Tableau XV : Résumé des usages des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo selon les acteurs.....	82
Tableau XVI : Etat de fonctionnement des pompes hydrauliques sur le bassin versant	85
Tableau XVII : Coût des types d’abonnement proposé par la SODECI	87
Tableau XVIII : Besoin pour l’Approvisionnement en Eau Potable (AEP)	89
Tableau XIX : Besoins en eau pour l’agriculture	89
Tableau XX : Besoins en eau pour l’élevage.....	90
Tableau XXI : Caractéristiques volumétriques de la retenue de Kibouo	93
Tableau XXII : Caractéristiques volumétriques de la retenue de Brakaguhé	93
Tableau XXIII : Caractéristiques volumétriques de la retenue de Yuala.....	94
Tableau XXIV : Caractéristiques volumétriques de la retenue de la SODECI	94
Tableau XXV : Caractéristiques des stations hydrométéorologiques.....	96
Tableau XXVI : Evolution du taux de changement des classes d’occupation entre 1986, 2000 et 2019	97
Tableau XXVII : Evaluation statistique de CEQUEAU pour la période de calage et de validation.....	98
Tableau XXVIII : Débits et lames d’eau entrant dans les retenues	102
Tableau XXIX : Recharge annuelle du bassin sur la période (2019-2020).....	102
Tableau XXX : Adéquation entre l’offre et les besoins en eau de la période actuelle	102
Tableau XXXI : Evolution du taux de changement des classes d’occupation du sol entre 2019, 2030 et 2050.....	104
Tableau XXXII : Débits et lames d’eau entrant dans les retenues	106
Tableau XXXIII : Débits et lames d’eau entrant dans les retenues	106

Liste des tableaux

Tableau XXXIV : Débits et lames d'eau entrant dans les retenues.....	106
Tableau XXXV : Débits et lames d'eau entrant dans les retenues	107
Tableau XXXVI : Synthèse des résultats des différents scénarii concernant la demande en eau et la Demande en eau Non Satisfaite	122

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	7
Figure 2 : Formations géologiques du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Ahimon, 1990)	8
Figure 3 : Schéma simplifié des aquifères sur socle cristallin (Lachassagne <i>et al.</i> , 2011)	10
Figure 4 : Relief du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	11
Figure 5 : Caractéristiques pédologiques du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Perraud & Souchère, 1969).....	13
Figure 6 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Lobo (Image Landsat ETM+ de 2019).....	14
Figure 7 : Réseau hydrographique du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	15
Figure 8 : Régime hydrologique de la Lobo à Nibéhibé (1970-2015).....	15
Figure 9 : Diagramme ombrothermique de la station de Daloa (1971-2016).....	17
Figure 10 : Variation moyenne mensuelle de l'humidité relative du bassin versant de la Lobo de 1988 à 2018	17
Figure 11 : Évolution de la population du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (1998-2021) (INS, 2021).....	18
Figure 12 : Répartition des sources d'approvisionnement selon la zone spatiale (Toure <i>et al.</i> , 2020).....	19
Figure 13 : Approvisionnement en eau à partir de forage équipé de pompe à motricité humaine (a) et de borne fontaine (b) dans les localités de Gbéna et Tiahouo au Nord et au Centre du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé	20
Figure 14 : Aperçu de la retenue d'eau de Kibouo (a) et de la surface rizicole de Brakaguhé (b) dans le Sud du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	21
Figure 15 : Abreuvement du bétail à Gbéna au Nord du bassin versant	22
Figure 16 : Quelques groupes industriels de bois à Daloa	22
Figure 17 : Évolution de la production d'eau et de la demande en eau à Daloa (2014 et 2021)	25
Figure 18 : Évolution de la production d'eau et de la demande en eau à Vavoua (2014-2021)	25
Figure 19 : Evolution du forçage radiatif suivant les différents scénarios (Van Vuuren <i>et al.</i> , 2011).....	28
Figure 20 : Carte des taux de variations annuelles des températures attendues à horizon 2040 par rapport à la période 1991-2000 en Côte d'Ivoire (Kouakou, 2011).....	30
Figure 21 : Carte des variations moyennes annuelles de la pluviométrie à l'horizon 2040 en Côte d'Ivoire (Kouakou, 2011)	31
Figure 22 : Répartition des différentes stations utilisées dans cette étude	41
Figure 23 : Quelques outils de terrain : (A) GPS différentiel ; (B) Hors-bord ; (C) Echosondeur	45
Figure 24 : Présentation des localités enquêtées	48
Figure 25 : Mesures bathymétriques sur la retenue de Yuala au nord du bassin versant	51
Figure 26 : Organigramme de l'étude de la dynamique de l'occupation du sol	53
Figure 27 : Discrétisation du bassin versant en carreaux entiers	58
Figure 28 : Discrétisation en carreaux partiels (Kouamé, 2017)	59
Figure 29 : Schématisation du transfert de l'eau d'une maille à l'autre (Morin & Paquet, 1995).....	60
Figure 30 : Schéma de production du modèle CEQUEAU (Morin, 2002).....	63

Figure 31 : Schématisation de la fonction de transfert (Morin, 2002)	64
Figure 32 : Organigramme du fonctionnement du modèle WEAP	75
Figure 33 : Proportion d'utilisation des ressources en eau par les différents acteurs	79
Figure 34 : a) Surface rizicole à partir de la retenue hydro-agricole de Brakaguhé ; b) Cultures maraîchères à Daloa quartier Savonnerie	79
Figure 35 : Schéma des logiques de l'activité de pêche sur les plans d'eau	82
Figure 36 : Répartition spatiale des localités possédant des sources d'approvisionnement en eau selon les ménages	84
Figure 37 : a) Pompe hydraulique transformée en puits à Gouabafla (Centre du bassin versant) ; b) Pompe hydraulique non fonctionnelle à Brakaguhé (Sud du bassin versant).....	85
Figure 38 : Répartition des localités présentant des points d'eau non fonctionnelle sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	86
Figure 39 : Répartition du taux de difficultés des populations à s'abonner au réseau de la SODECI	87
Figure 40 : Revendeurs d'eau à moto tricycle dans la localité de Gbokora (Daloa)	88
Figure 41 : Maillage du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.....	95
Figure 42 : Répartition des classes d'occupation du sol entre 1986 et 2019	97
Figure 43 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de calage (1988-1993) à la station de Nibéhibé	99
Figure 44 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (1994-2000) à la station de Nibéhibé	100
Figure 45 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (2001-2007) à la station de Nibéhibé	100
Figure 46 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (2008-2013) à la station de Nibéhibé	100
Figure 47 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (1994-2013) à la station de Nibéhibé	101
Figure 48 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (1988-2013) à la station de Nibéhibé	101
Figure 49 : Répartition des classes d'occupation du sol entre 2019 et 2050	104
Figure 50 : Représentation schématique du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé à l'aide du modèle WEAP.....	113
Figure 51 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario de référence.....	114
Figure 52 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario de référence	115
Figure 53 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario de faible taux de croissance démographique.....	115
Figure 54 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario de faible taux de croissance démographique.....	116
Figure 55 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario de fort taux de croissance démographique	117
Figure 56 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario de fort taux de croissance démographique	117
Figure 57 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif à l'amélioration du niveau de vie.....	118

Liste des figures

Figure 58 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif à l'amélioration du niveau de vie	119
Figure 59 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif au changement climatique	120
Figure 60 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif aux changements climatiques	121
Figure 61 : Scénario d'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement sur la Demande en eau Non Satisfaite selon un fort taux d'accroissement démographique	123
Figure 62 : Scénario d'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement sur la Demande en eau Non Satisfaite selon les changements climatiques.....	123
Figure 63 : Scénario de la gestion des vannes sur la Demande en eau Non Satisfaite selon les changements climatiques.....	124
Figure 64 : Augmentation de l'approvisionnement en eau dans la zone urbaine de Daloa sur la Demande en eau Non Satisfaite en fonction des changements climatiques.....	125

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Guide d'entretien avec l'Agent Technique de la SODECI.....i
Annexe 2 : Guide d'entretien avec le Directeur Régional de l'Hydraulique.....ii
Annexe 3 : Fiche d'enquête auprès des ménages.....iii
Annexe 4 : Liste des paramètres obtenus après plusieurs ajustements.....vi

INTRODUCTION

Les ressources en eau constituent l'une des ressources naturelles les plus importantes pour la survie de l'humanité et le développement socio-économique des nations (Odada, 2006). En Afrique de l'Ouest, les perturbations climatiques caractérisées par de longues sécheresses se sont accentuées depuis le début des années 1970 (Amoussou *et al.*, 2012). L'un des impacts de ces changements climatiques combinés aux pressions anthropiques sur les bassins versants ouest africains et leurs bas-fonds est l'amenuisement de la disponibilité des ressources en eau (Descroix *et al.*, 2009 ; Karambiri *et al.*, 2011). En effet, les changements d'occupation du sol et les changements climatiques sont reconnus comme les principaux problèmes environnementaux globaux (Boyd *et al.*, 2008). Ils sont susceptibles d'affecter les ressources en eau dans les bassins versants (Praskievicz & Chang, 2011).

L'Afrique, particulièrement l'Afrique subsaharienne fait face à ces nouveaux défis. Selon Cornelissen *et al.* (2013), les changements climatiques et les changements d'occupation du sol ont déjà des impacts sur le cycle hydrologique dans les pays de l'Afrique de l'ouest. Or, ces pays sont relativement peu dotés en grandes infrastructures hydrauliques capables de satisfaire les demandes. Ainsi, la question de l'allocation optimale de l'eau entre différents usages se pose aujourd'hui avec acuité (Barbier *et al.*, 2009).

À l'instar de nombreux pays africains, le développement de la quasi-totalité des secteurs de l'économie de la Côte d'Ivoire est tributaire des ressources en eau. C'est pourquoi depuis son indépendance, le Gouvernement, avec l'appui de ses partenaires, a réalisé d'importants projets d'exploitation des ressources en eau dans divers domaines (Djombo, 2010). Alors, une connaissance des ressources en eau disponible et des besoins des différents usagers est nécessaire pour mieux gérer l'eau. Cependant, la gestion ne peut être intégrée et durable si on ne tient pas compte à la fois de tous les différents types de ressources en eau et ceci dans leur système de gestion naturel ou leur bassin versant (Djombo, 2010).

Le bassin versant de la Lobo à Nibehibé a été choisi comme cadre de ce travail à cause de la forte croissance démographique et des fortes pressions exercées sur les ressources en eau. En effet, ce bassin est une zone de production de café et cacao. Ces cultures qui nécessitent une forte main-d'œuvre ont attiré de nombreuses populations venues des savanes ivoiriennes et des pays limitrophes (Brou *et al.*, 1998). La population du bassin de la Lobo à Nibéhibé était estimée à 1 103 059 habitants (INS, 2014) soit une densité de 160 habitants au km². Selon le recensement général de la population et de l'habitat, cette population est passée à 1 329 069 habitants en 2021 (INS, 2021) soit une densité de 192 habitants au km². En outre, selon Alla (1991), la dynamique spatiale démographique de la ville de Daloa s'est produite sous l'influence d'une forte croissance démographique. Ainsi, cette population en pleine croissance

devient-elle de plus en plus exigeante en termes de qualité et de quantité des ressources en eau à lui attribuer. Par ailleurs, la distribution de l'eau potable dans la ville de Daloa connaît des difficultés. Il s'agit notamment de la mauvaise qualité de l'eau du réseau et des baisses de pression allant jusqu'aux coupures d'eau (Koukougnon, 2012). Aussi, les difficultés d'approvisionnement en eau potable de la ville de Daloa sont-elles dues à l'insuffisance des infrastructures de traitement, de stockage et de distribution, à la vétusté et à la dégradation des installations accentuées par la crise sociopolitique intervenue depuis septembre 2002 (Yao, 2015). Dans les zones rurales, ces difficultés relèvent du faible taux de fonctionnement des pompes hydrauliques (75% de pompes non fonctionnelles contre 25% de pompes fonctionnelles) lié aux pannes et à l'absence de comité de gestion (Touré *et al.*, 2022). De plus, la baisse de la pluviométrie constatée depuis les années 1970 s'est poursuivie jusqu'à nos jours à Daloa (Koffi, 2022). Alors, les ressources en eau s'amenuisant du fait que des déficits pluviométriques sont accentués par l'absence d'une gestion coordonnée de ces ressources en eau. De ce fait, l'usage concurrentiel et divergent de la ressource en eau est source de conflits dans certaines localités du bassin (Touré *et al.*, 2020).

D'une manière générale, chaque secteur d'utilisation de l'eau (agriculture, approvisionnement en eau potable, l'hydraulique pastorale, etc.) mobilise les quantités qui lui sont nécessaires pour satisfaire ses besoins, sans se préoccuper des besoins des autres secteurs ni de la survie à long terme des écosystèmes. Ainsi, la gestion sectorielle de l'eau, la croissance démographique rapide et les effets des changements climatiques agissent-ils sur la disponibilité des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Ces différents phénomènes entraînent un déficit en eau persistant et des difficultés en termes d'allocation des ressources nécessaires pour assurer la satisfaction des demandes et assurer l'équité entre les différents usagers de l'eau. Conscient du fait que, la demande en eau s'est accrue de façon démesurée ces dernières années, la planification et la mise en œuvre d'actions de développement en matière de gestion rationnelle de ces ressources sont nécessaires.

C'est dans cette perspective que s'inscrit cette étude intitulée : « **Optimisation de l'allocation de l'eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)** ». Elle s'inscrit dans le cadre du projet « EPEAEP-Daloa : Évaluation des Potentialités en Eau pour l'amélioration de l'Approvisionnement en Eau Potable de la commune de Daloa ».

L'objectif principal est d'élaborer un modèle de gestion intégrée des ressources en eau pour un accès durable à l'eau potable. De façon spécifique, il s'agit de :

Introduction

- Diagnostiquer la gestion actuelle des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé ;
- Evaluer les ressources en eau actuelle et à l'horizon 2050 du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé ;
- Modéliser l'allocation des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.

Pour atteindre ces objectifs, ce mémoire est subdivisé en trois parties et structuré autour de sept (7) chapitres qui se présentent comme suit :

- la première partie concerne les généralités sur la zone d'étude et les éléments de contexte de l'étude ;
- la deuxième partie décrit les outils et méthodes utilisés ;
- la troisième partie analyse les principaux résultats obtenus, suivi d'une discussion.

Enfin, ce mémoire se termine par une conclusion suivie des perspectives et des références.

PARTIE I : GENERALITES

CHAPITRE 1 : DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO

1-1- Présentation du site de l'étude

1-1-1- Situation géographique

Le bassin versant de la Lobo est situé au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire entre 6°05' et 6°55' de longitude Ouest et entre 6°02' et 7°55' de latitude Nord. La rivière Lobo est l'un des principaux affluents en rive gauche du fleuve Sassandra. Elle draine une superficie de 12 700 km² et parcourt 355 km. Son bassin hydrographique n'est pas circonscrit dans une seule entité administrative. La majeure partie du bassin couvre les départements de Daloa, Issia, Vavoua et Zoukougbeu ; l'extrême Nord appartient au département de Séguéla tandis qu'il déborde dans le Sud, sur celui de Soubré. La ville de Daloa représente le pôle économique du bassin versant. La Lobo prend sa source à 400 m d'altitude au sud de Séguéla et se jette dans le Sassandra non loin de la localité de Loboville (Yao, 2015).

L'étude s'est effectuée sur la partie amont du bassin versant avec exutoire à Nibéhibé. Ainsi, cette partie a-t-elle une superficie de 7 000 Km² et se situe entre 6°17' et 6°55' de longitude Ouest et entre 6°80' et 7°55' de latitude Nord (Figure 1).

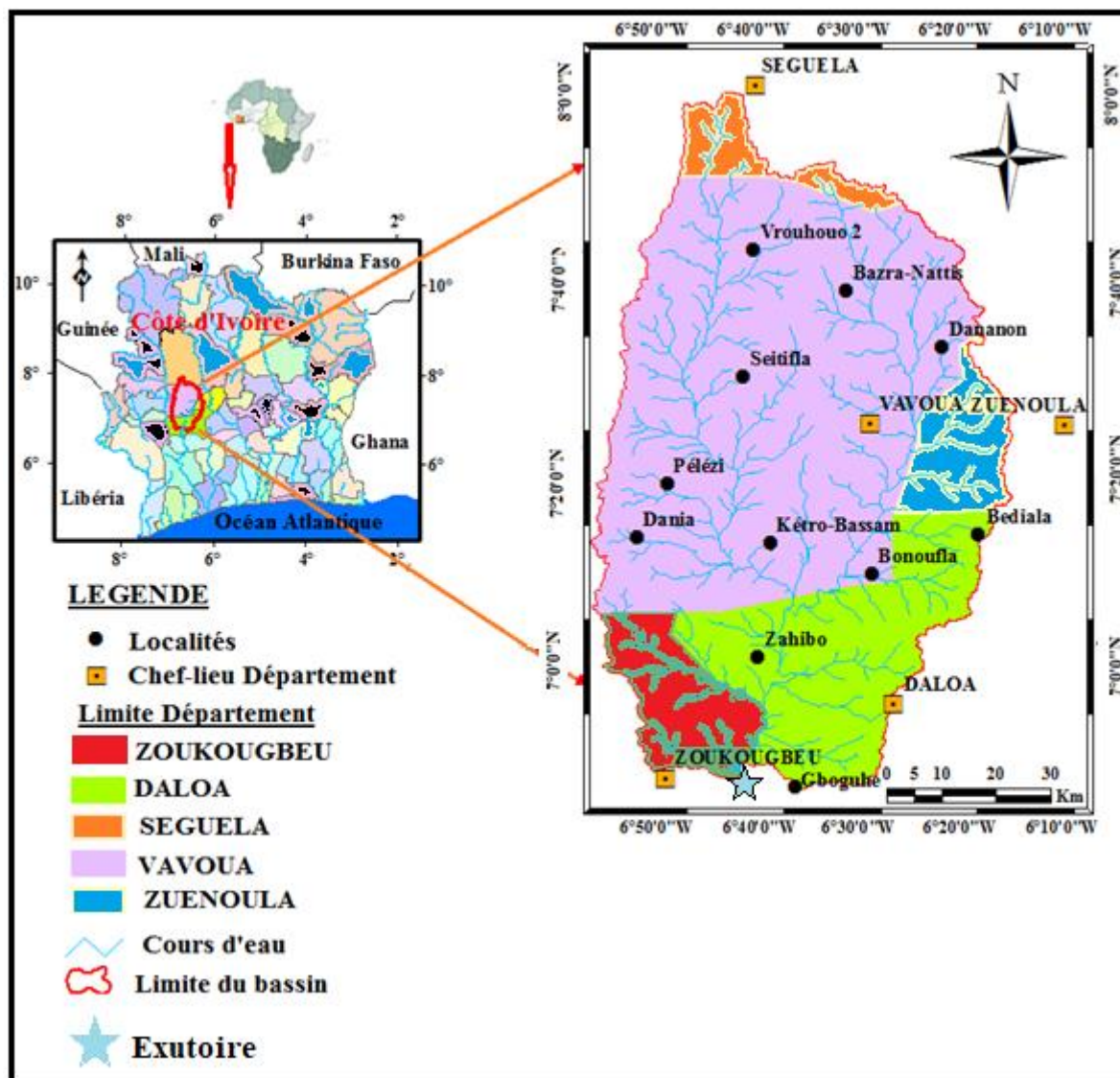


Figure 1 : Présentation du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

1-1-2- Environnement physique

1-1-2-1- Géologie

L'architecture géologique du socle est caractérisée par deux domaines Précambriens d'extensions inégales, séparés par la faille du Sassandra de direction N-S : le domaine Archéen à l'ouest et, le domaine Protérozoïque à l'est. Les formations géologiques du domaine Archéen ont été structurées au cours des mégacycles Léonien (3500-2900 Ma) et Libérien (2900-2500 Ma). Celles du domaine Protérozoïque, dites formations Birrimiennes et qui occupent la majeure partie du socle ont été structurées au cours du mégacycle Eburnéen (2500-1500 Ma) (Ahimon, 1990 ; Delor *et al.*, 1995). Les formations géologiques du bassin versant de la Lobo appartiennent principalement au socle précambrien (précambrien moyen) et se regroupent en deux grandes entités que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques (Figure 2).

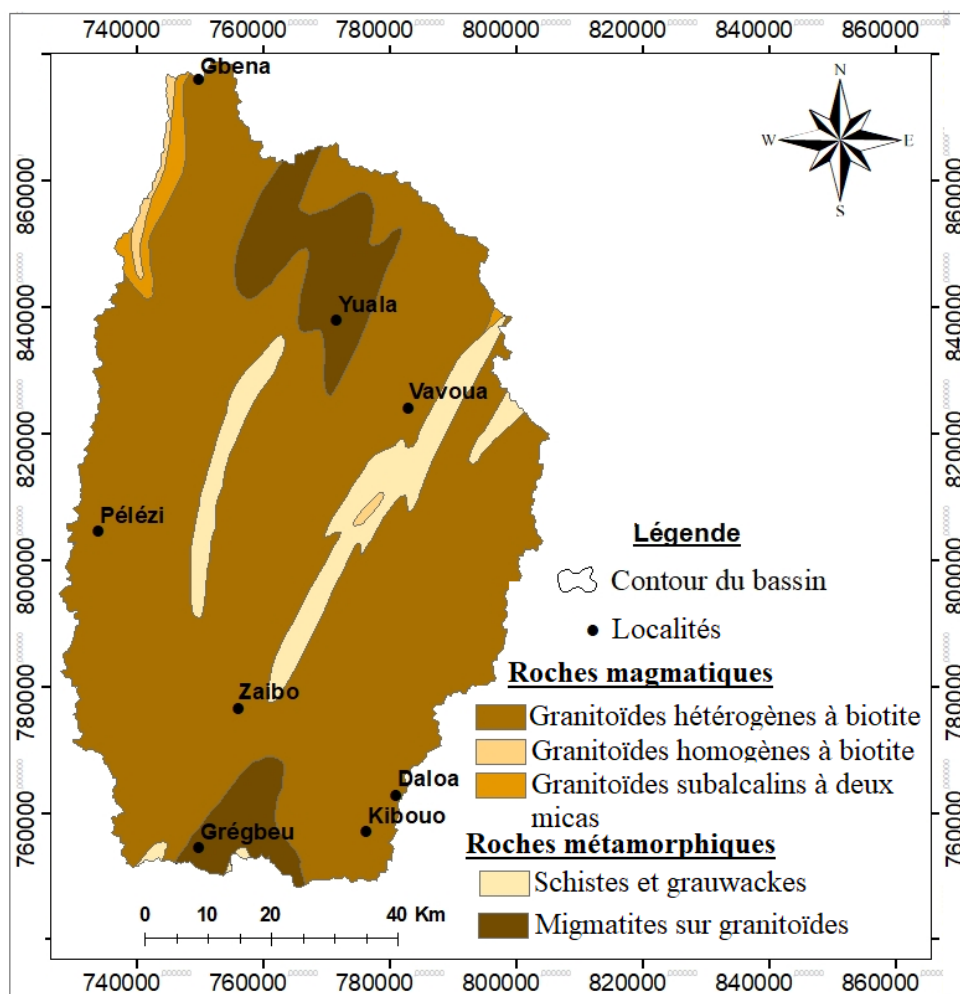


Figure 2 : Formations géologiques du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Ahimon, 1990)

➤ **Roches magmatiques**

Les roches magmatiques rencontrées sont de types plutoniques et volcaniques. Elles sont représentées essentiellement par les granitoïdes qui se rencontrent pratiquement dans la majeure partie du bassin versant. La composition de ces roches varie du granite aux granodiorites. Ces formations se présentent sous forme de petits massifs allongés dans la direction éburnéenne (Ahimon, 1990 ; Delor *et al.*, 1995).

➤ **Roches métamorphiques**

Les roches métamorphiques du bassin versant sont de type migmatites et schisteux dans lesquelles est logé le lit de la rivière. Les migmatites désignent les formations correspondant à l'étape ultime du métamorphisme et au début de la fusion. Les faciès migmatitiques rencontrés dans la zone d'étude sont constitués par les migmatites anciennes, les migmatites rubanées et les leucomigmatites (Bonnot, 1985) cité par Ligban (2013). L'ensemble schisteux du bassin versant se caractérise par une zonation dans la disposition des faciès. Les schistes sont présents majoritairement au Sud avec dans le Nord, une bande longitudinale de métasiltites dominant

sur méta-arénites. Dans l'extrême Nord-Ouest s'observe une intrusion de roches vertes. Ces roches comprennent des amphibolites et des schistes amphibolitiques dérivés de diverses roches basiques (dolérites et gabbros).

1-1-2-2- Hydrogéologie

Dans le bassin versant de la Lobo, il existe généralement deux types d'aquifères : les aquifères d'altérites (superficiels) et les aquifères fracturés (plus profonds). Les altérites constituent le premier niveau de réservoir d'eau souterraine en milieu de socle cristallin et cristallophyllien. Ce sont des formations de surface résultant des processus d'altération physico-chimique et d'érosion du socle. Ces aquifères d'altérites se développent dans les formations argilo-sableuses et dans les arènes granitiques. Les altérites issues des formations grenues sont constituées d'argiles, de sables, d'argiles sableuses et/ou d'argiles latéritiques. Celles qui proviennent des roches granitiques sont représentées par un mélange de sables et d'argiles avec une proportion plus importante de sable. La partie sableuse constitue les arènes, qui au plan hydrogéologique constituent le niveau le plus perméable. En revanche, les produits d'altération des schistes sont dominés par une phase argileuse importante. Ils sont peu perméables et de porosité importante liée à la taille des grains (Ligban, 2013). Ces altérites constituent un vaste réservoir superficiel directement alimenté par l'infiltration de l'eau de pluie. Son niveau piézométrique baisse significativement en saison sèche et remonte en saison des pluies (Biémi, 1992). La baisse du niveau d'eau est due au drainage des eaux souterraines vers les cours d'eau ou autres surfaces d'eau telles que les lacs, mais aussi aux puits et forages exploités (Maréchal *et al.*, 2004). Les réserves d'eau dans ces réservoirs sont tributaires de la perméabilité et de l'épaisseur de ces altérites. À l'échelle du bassin versant de la Lobo, ces réservoirs d'altérites sont captés par la quasi-totalité des puits et forages réalisés dans le cadre des différents programmes d'hydrauliques villageoises des années 1954 à 1991. Du fait de l'amélioration des connaissances sur le milieu fissuré, les programmes d'hydrauliques villageoises sont désormais orientés vers le captage des nappes de fissures. Les aquifères de fissures qui sont sous-jacents aux aquifères d'altérites constituent des réservoirs beaucoup plus importants. Ces aquifères naissent généralement à la suite d'événements tectoniques qui affectent les niveaux supérieurs et moyens de l'écorce terrestre (Sawadogo, 1984) (Figure 3). Ils s'étendent en moyenne sur une épaisseur de 50 m dans le socle et développent une productivité supérieure à celle des altérites (Maréchal *et al.*, 2003). Par rapport aux aquifères d'altérites, les aquifères de fissures sont à l'abri des fluctuations saisonnières et de la plupart des divers types de pollution. Pour cela, dans les régions de socle, ces aquifères sont de plus en plus recherchés et exploités à partir des forages pour l'alimentation en eau des populations. Les possibilités de formation des aquifères

de fissures sont liées à la densité et à l'importance de la fracturation de ceux-ci (Sawadogo, 1984 ; Biémi, 1992).

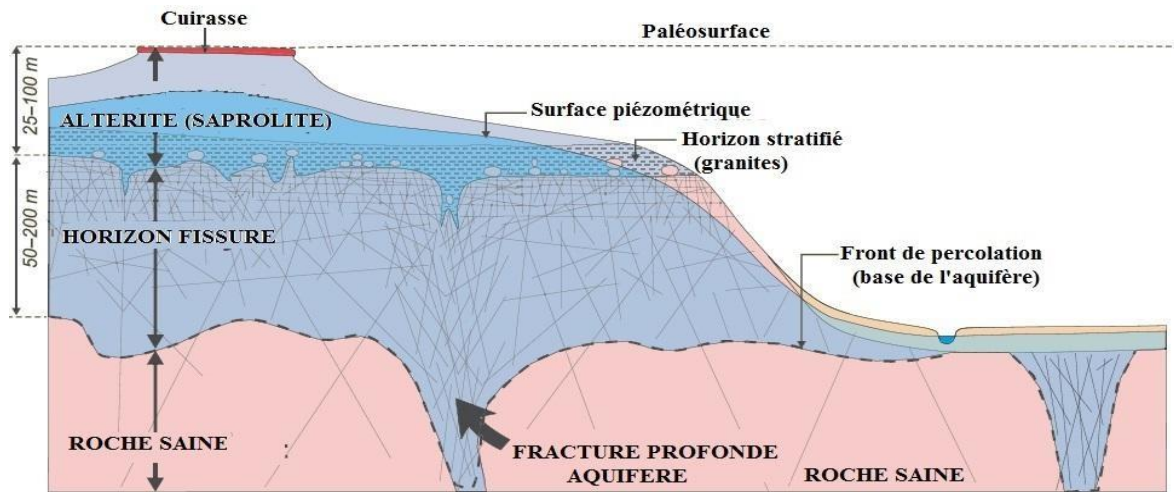


Figure 3 : Schéma simplifié des aquifères sur socle cristallin (Lachassagne *et al.*, 2011)

1-1-2-3- Géomorphologie

Le relief du bassin versant de la Lobo est dans son ensemble monotone avec des singularités par endroits. Il se présente comme une pénéplaine dont l'altitude varie entre 200 m et 500 m (Avenard, 1971). Dans l'ensemble, deux grands types de relief se partagent le bassin versant. Ce sont les plaines et les plateaux. Les plaines dont l'altitude varie entre 200 et 240 m sont localisées au sud du bassin versant et correspondent au tracé du cours d'eau. Les plateaux qui occupent la majeure partie du bassin correspondent aux altitudes variantes entre 240 et 320 m avec dans l'extrême nord du bassin versant, un massif de roches vertes en forme de croissant culminant vers 400 m d'altitude. Cet ensemble comporte dans l'extrême Nord-ouest quelques intrusions de dôme granitique culminant entre 400 et 480 m d'altitude. Des sommets isolés comme les buttes cuirassées dont l'altitude est supérieure parfois à 480 m se distinguent dans ces intrusions granitiques (Figure 4).

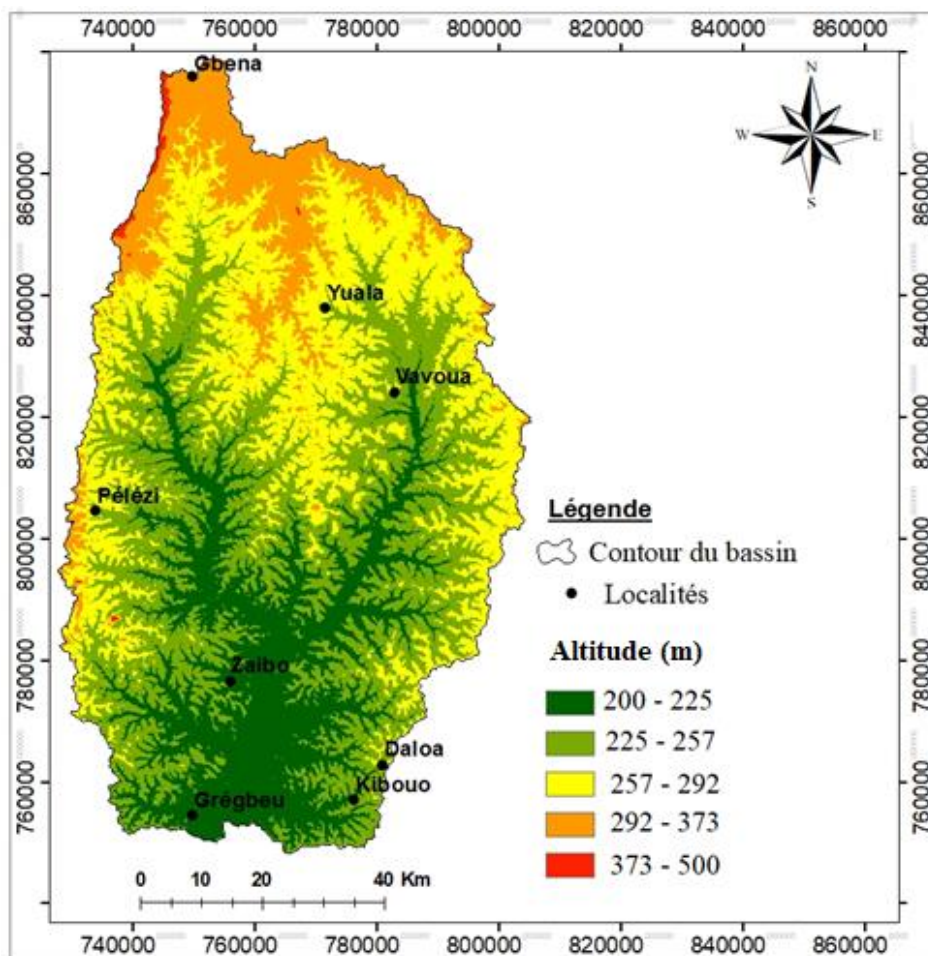


Figure 4 : Relief du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Les caractéristiques morphométriques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le coefficient de compacité de 1,33 indique que le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé est de forme arrondie avec un temps de concentration des eaux à l'exutoire relativement faible favorisant ainsi un ruissellement important. La pente longitudinale qui est de 1,23 m/km confirme la monotonie du relief du bassin versant (Tableau I).

Tableau I : Caractéristiques physiques et morphométriques du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Caractéristiques morphométriques	Lobo à Nibéhibé
Superficie (km ²)	7 000
Périmètre (km)	405
Indice de compacité	1,33
Longueur du rectangle équivalent (km)	131,31
Largeur du rectangle équivalent (km)	71,43
Altitude minimale (m)	200
Altitude maximale (m)	500
Pente longitudinale (m/km)	1,23

1-1-3- Environnement biophysique

1-1-3-1- Types de sol

Du point de vue pédologique, le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé présente des sols essentiellement de type ferrallitique fortement ou moyennement désaturés remaniés modaux avec recouvrement issus de schistes et de granites (Perraud & Souchère, 1969). Ces sols se répartissent du Sud au Nord comme suit (Figure 5) :

- les sols ferrallitiques fortement désaturés sous forte pluviométrie (>1500 mm de pluie annuelle). Ces sols sont issus en général, des roches métamorphiques schisteuses et se rencontrent dans l'extrême sud-ouest du bassin versant. L'horizon gravillonnaire est peu développé et l'horizon humifère peu épais ;
- les sols ferrallitiques fortement désaturés sous pluviométrie atténuée (<1500 mm de pluie annuelle). Ils occupent la quasi-totalité du Sud et la partie centrale du bassin versant. Ils constituent une zone de transition dont la pédogenèse actuelle est très influencée par la paléo pédogenèse. Les caractéristiques de ces sols sont un atout pour les cultures industrielles (cacaoyer, caféier, palmier à huile etc.) ;
- les sols ferrallitiques moyennement désaturés issus des granites sous une pluviométrie relativement faible se développent dans le Nord du bassin versant. Il faut noter également dans la partie nord-ouest, la présence de roches basiques issues de l'altération de roches ferruginisées. La fertilité dépend essentiellement de la profondeur du sol, c'est-à-dire de la densité des éléments grossiers et du niveau d'induration. Ces sols occupent principalement les chaînes de collines du complexe volcano-sédimentaire.

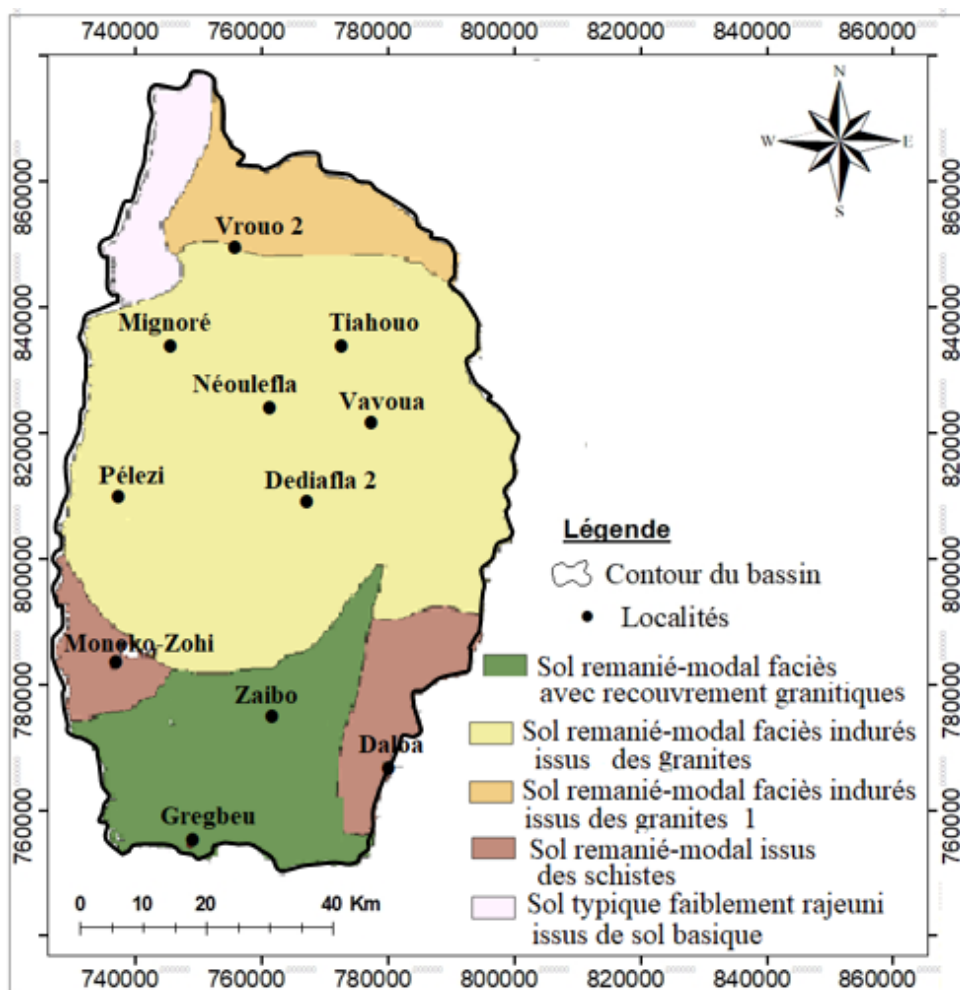


Figure 5 : Caractéristiques pédologiques du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Perraud & Souchère, 1969)

1-1-3-2- Occupation du sol

La Côte d'Ivoire est caractérisée par des situations contrastées en matière d'écosystèmes naturels, avec notamment la présence de la forêt dense humide au Sud et de formations végétales dominées par la savane au Nord. L'évolution de la végétation du Nord au Sud est essentiellement liée au climat. De 16 500 000 hectares en 1960, la forêt dense humide est passée de 12 000 000 d'hectares en 1960 et à 4 000 000 d'hectares en 2000. En 2018, elle est estimée à environ 2 500 000 hectares du fait des activités anthropiques (Traoré, 2018). Ces activités concernent l'exploitation du bois pour l'exportation et la mobilisation de vastes territoires pour les cultures de rente et industrielles (cacao, café, hévéa et palmier à huile), puis à la culture itinérante sur brûlis. Le bassin versant de la Lobo est localisé dans le domaine guinéen et appartient au secteur mésophile avec des zones forestières propices à l'agriculture. Cette forêt renferme de nombreuses essences telles que la samba (*Triplochiton scleroxylon*), l'ako (*Antiaris africana*), le bété (*Mansonia altissima*), etc. (Guillaumet & Adjahohoun, 1971). La

destruction importante de la forêt fait que progressivement, l'influence de la zone de forêt défrichée se développe et la forêt naturelle devient clairsemée (Figure 6). La forêt dégradée devient de plus en plus l'élément dominant de cette végétation marquée par l'exploitation agricole.

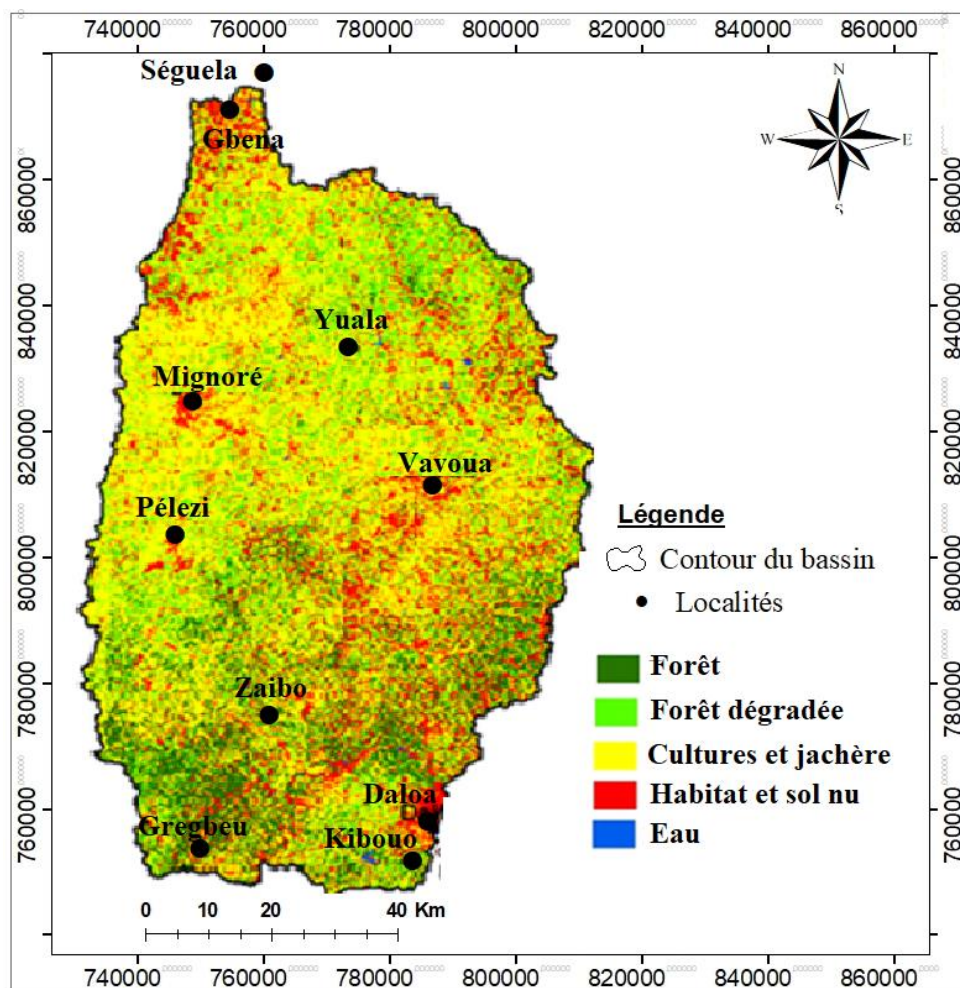


Figure 6 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Lobo (Image Landsat ETM+ de 2019)

1-1-3-3- Hydrographie

Le réseau hydrographique du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé est nettement plus développé sur sa rive gauche que sur sa rive droite avec son principal affluent qui est le Dé (Figure 7). Ce principal affluent a un régime permanent et son lit contient de l'eau en toute saison et parfois en période pluvieuse, des crues sont observées. En période sèche, la très forte baisse des eaux et les lits des rivières laissent parfois des creux larges et entrecoupés par des flaques d'eau. Les eaux de la Lobo s'écoulent principalement dans la direction nord-sud et la période de plus basses eaux est observée pendant les premiers mois de l'année (janvier et février) (Yao, 2015). Le maximum des débits moyens annuels survient en septembre ou en octobre (Figure 8).

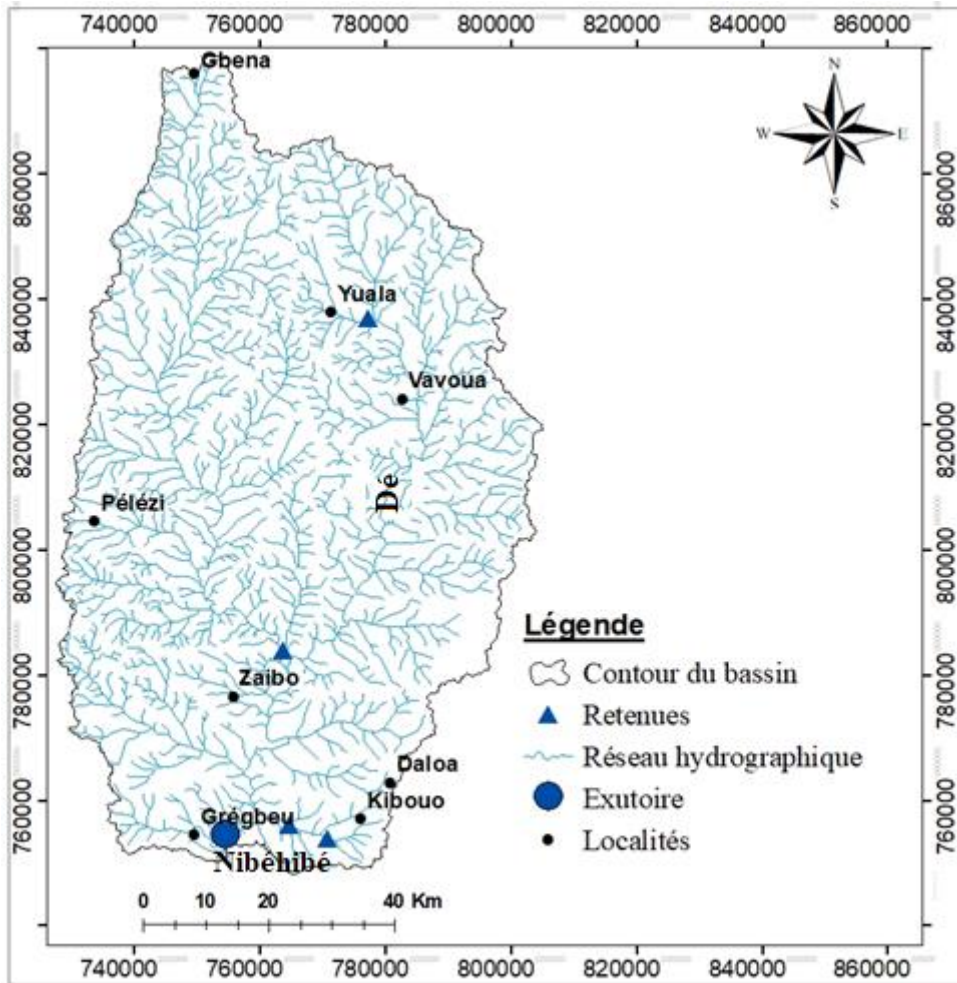


Figure 7 : Réseau hydrographique du bassin versant de la Lobo à Nibéhivé

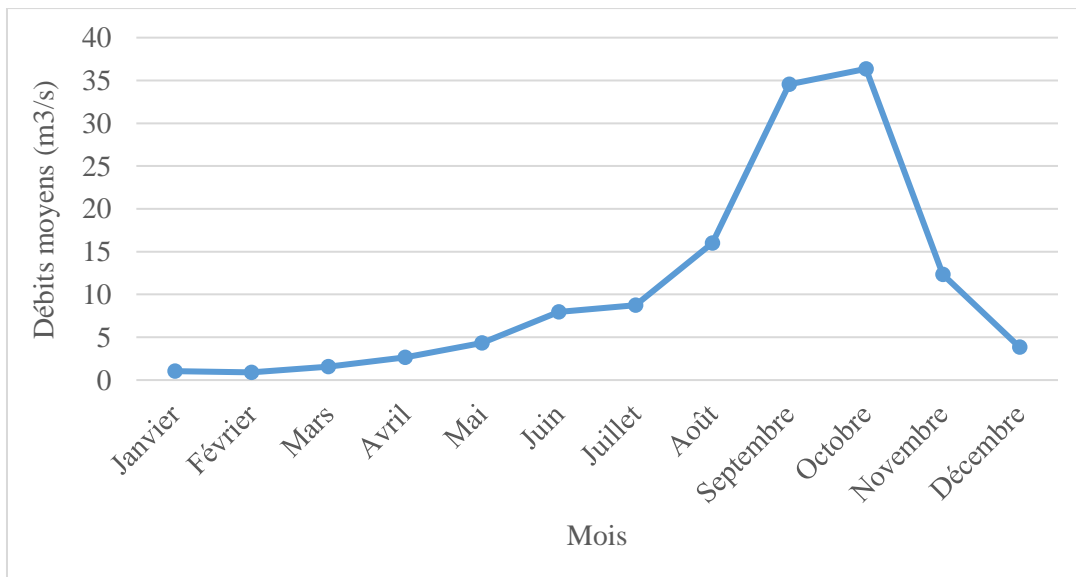


Figure 8 : Régime hydrologique de la Lobo à Nibéhivé (1970-2015)

1-1-3-4- Climat

1-1-3-4-1- Régime climatique

La Côte d'Ivoire se trouve dans une zone de confluence entre deux masses d'air de caractères différents : la mousson et l'harmattan. La mousson est une masse d'air humide d'origine océanique appelée alizé de l'hémisphère austral. Quant à l'harmattan, ou l'alizé de l'hémisphère boréal, il est sec et d'origine continentale. Ces masses d'air sont séparées par la Zone de Convergence InterTropicale (ZCIT). C'est le contact dynamique entre la mousson et l'harmattan dont la trace au sol est le Front InterTropical (FIT). Les déplacements du FIT créent une zonation nord-sud des différentes régions climatiques qui permet de distinguer quatre types de climat : le régime équatorial de transition (climat attiéen), le régime équatorial de transition atténué (climat baouléen), le régime tropical de transition ou climat soudanien, auxquels s'ajoute le climat particulier de la région montagneuse de l'ouest (Goula *et al.*, 2006).

Le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé est sous l'influence du climat équatorial de transition atténué (climat baouléen) caractérisé par deux saisons :

- une saison humide de mars à octobre avec un ralentissement des précipitations en juillet-août ;
- une saison sèche de novembre à février et très marquée de décembre à janvier comportant quelques précipitations isolées.

Les pluies moyennes mensuelles de la chronique 1971-2016 à la station de Daloa sont reportées sur la figure 9. Les amplitudes mensuelles oscillent entre 16 et 180 mm. Elles mettent en évidence la variabilité pluviométrique mensuelle dans cette station et celle de la température. Le pic pluviométrique est observé en septembre. Le mois de janvier reste le plus sec. La tendance des températures moyennes mensuelles varie globalement de 24 à 28°C, soit une amplitude thermique de 4°C (Figure 9).

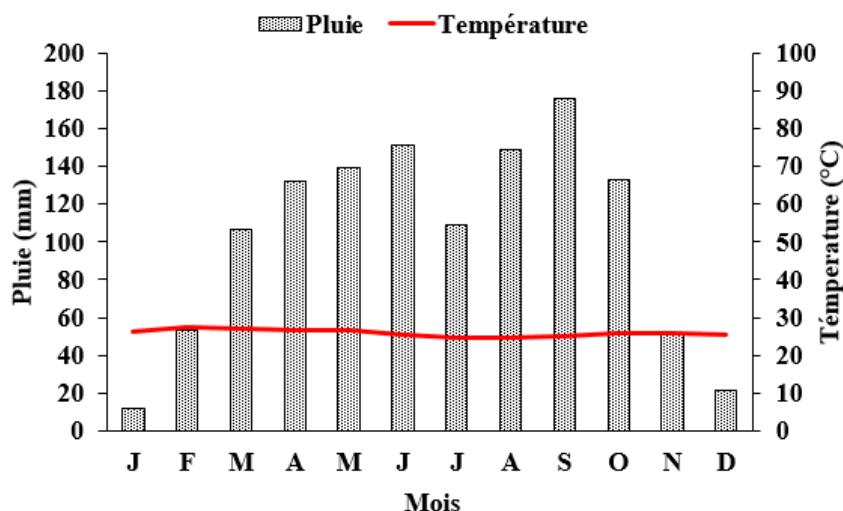


Figure 9 : Diagramme ombrothermique de la station de Daloa (1971-2016)

1-1-3-4-2- Humidité relative

L'humidité relative de l'air représente le rapport de la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air et la capacité d'absorption de l'eau à une température donnée. L'humidité relative varie peu dans le bassin versant de la Lobo. Les valeurs moyennes mensuelles varient entre 54 et 80 % (Figure 10). La plus faible valeur (54 %) est enregistrée en janvier. L'humidité relative est supérieure à 55% pour tous les autres mois.

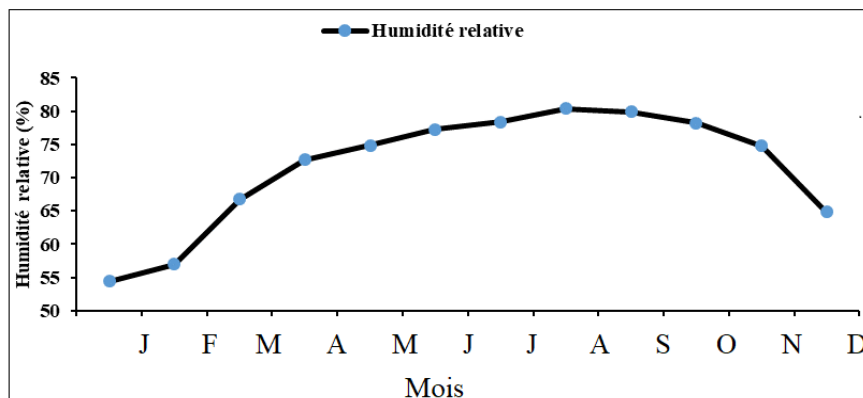


Figure 10 : Variation moyenne mensuelle de l'humidité relative du bassin versant de la Lobo de 1988 à 2018

1-1-4- Environnement socio-économique

1-1-4-1- Démographie et urbanisation

De 1975 à 1988, la population du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé s'est accrue au rythme annuel de 4,85 % (JICA, 2001). À partir de 1988, grâce aux politiques de planning familial (utilisation des moyens contraceptifs, espacement des naissances, etc.), on constate un léger assouplissement de cette évolution galopante. Le taux d'accroissement entre 1988 et 1998 est passé à 3,72%, mais reste supérieur à la moyenne nationale qui est de 3,1%. En effet, la

densification s'accroît du Nord vers le Sud ; les chefs-lieux de sous-préfectures du Sud concentrent plus de 50% de la population. Le Nord du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé apparaît comme un milieu peu habité avec les densités les plus faibles. La densité moyenne du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé était de 29 habitants au km² en 1975 ; avec une forte densification à Daloa (116 habitants au km²). La densité passe à 109 habitants au km² en 1998, avec une prédominance des chefs-lieux de sous-préfectures du Sud où se trouvent la plupart des plantations de café-cacao (Yao, 2015). Cette situation résulte de la quasi-disparition du couvert forestier dans le Nord du bassin versant (Brou, 2005).

La population du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé connaît une évolution rapide (Figure 11). Entre 1998 et 2014, la population est passée de 788 526 à 1 103 059 habitants (INS, 2014) soit un taux d'accroissement annuel d'environ 3,1 % et une densité de 160 habitants au Km². Cependant, cette population est inégalement répartie sur le bassin versant et est essentiellement rurale. En effet, le département de Daloa totalise à lui seul plus de 44,75 % de cette population et représente le pôle économique du bassin versant.

La population du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé est estimée à 1 329 069 habitants en 2021 soit une densité de 192 habitants au km² (INS, 2021).

Sur le plan ethnique, les populations autochtones (20,96%) sont composées de Bété, de Niamboua, de Zombo, de Niédéboua, de Gouro et de Malinkés. On note également une forte proportion de population allochtone composée de 43,29% de migrants ivoiriens et de 35,75% d'étrangers (INS, 2021). L'évolution démographique est importante dans le domaine de la gestion des ressources en eau car elle détermine les besoins futurs ; notamment les activités économiques.

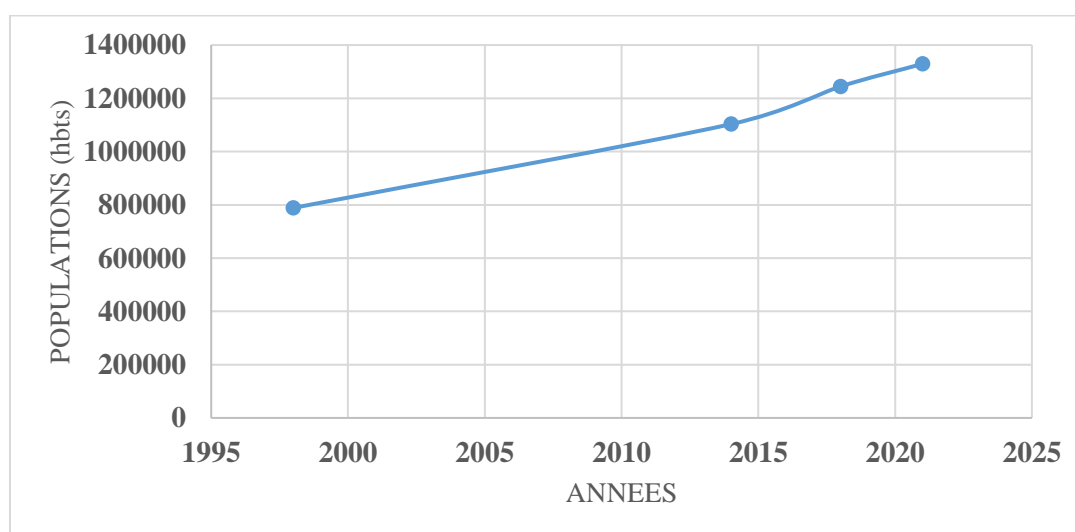


Figure 11 : Évolution de la population du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (1998-2021) (INS, 2021)

1-1-4-2- Source d’approvisionnement en eau des populations

L’approvisionnement en eau potable des populations du bassin versant est assuré à la fois par les eaux de surface et souterraine. L’alimentation en eau des ménages au sein du bassin versant, pour les différents besoins domestiques est assurée par une variété de sources (Figure 12).

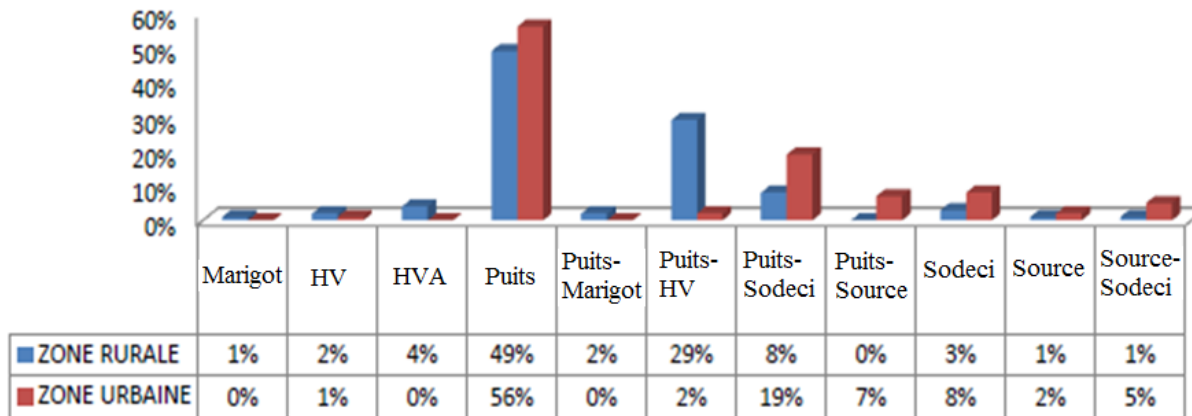


Figure 12 : Répartition des sources d’approvisionnement selon la zone spatiale (Toure *et al.*, 2020)

Quant aux ressources en eau souterraine, elles sont accessibles grâce aux puits traditionnels, l’hydraulique villageoise (HV), l’hydraulique villageoise améliorée (HVA) et les sources d’eau naturelle. Ces eaux souterraines constituent principalement les sources d’approvisionnement en eau des populations dans le milieu rural (Figure 13). L’usage de ces eaux est majoritairement destiné aux activités domestiques dont la consommation constitue le besoin principal quel que soit le type de ressource (Toure *et al.*, 2020).

Les eaux de surface concernent les rivières, les marigots et les retenues.

La ville de Daloa est alimentée en eau à partir d’une retenue aménagée sur la rivière Lobo avec un château de 2 000 m³ de capacité. Par contre, la ville de Vavoua est alimentée à partir d’un forage de 29 m³/h avec une capacité de château égale à 200 m³.

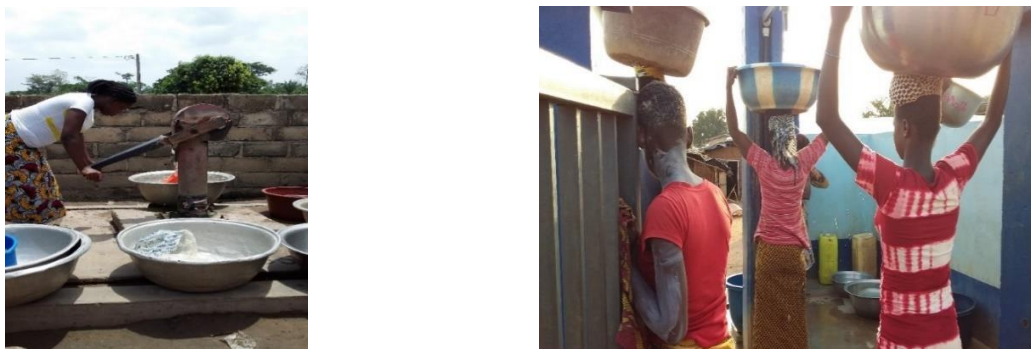


Figure 13 : Approvisionnement en eau à partir de forage équipé de pompe à motricité humaine (a) et de borne fontaine (b) dans les localités de Gbéna et Tiahouo au Nord et au Centre du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

1-1-4-3- Secteur agricole

L'agriculture irriguée est pratiquée dans le bassin versant de la Lobo depuis 1970 avec l'aménagement des périmètres rizicoles de Kibouo et de Daloa 1. Ces aménagements ont été réalisés dans le cadre du projet SODERIZ dans le but de contribuer à la réalisation de l'autosuffisance et de la sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire. Ces barrages ont donné lieu à différentes retenues qui sont à usages mixtes. La retenue de Kibouo a d'abord été créée pour l'irrigation du riz et pour la pêche. Par la suite, les retenues de Yuala et Brakaguhé ont vu le jour. En plus de l'irrigation du riz, s'ajoutent les usages pastoraux. Ces barrages à usages agricoles ont été réalisés dans le cadre des projets pilotés par l'Office National de Développement de la Riziculture (ONDR) devenu Agence pour le Développement de la Filière Riz (ADERIZ) depuis mars 2018. L'objectif est d'assurer la pérennisation des actions menées pour la durabilité de la couverture nationale des besoins en riz blanchi et envisager des stocks pour l'exportation (ONDR, 2012).

Les figures 14 (a) et (b) présentent respectivement la retenue d'eau de Kibouo et la surface rizicole irriguée de Brakaguhé.

Les superficies des périmètres irrigués rizicoles sont consignées dans le tableau II.



Figure 14 : Aperçu de la retenue d'eau de Kibouo (a) et de la surface rizicole de Brakaguhé (b) dans le Sud du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Tableau II : Surfaces rizicoles aménagées autour des barrages hydro-agricoles dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Nom du site	Superficie (ha)
Kibouo	60
Brakaguhé	97
Yuala	163

1-1-4-4- Secteur de l'élevage

Sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, différents types d'élevage sont rencontrés. Il s'agit de l'élevage des bovins, des ovins, des porcins, des caprins et des volailles. Dans cette zone, les usages pastoraux de l'eau se limitent généralement à l'abreuvement du bétail. En effet, le gros bétail (bovins) est généralement conduit sur les zones de pâturage et sur les rives de la rivière Lobo et ses affluents pour leur abreuvement (Figure 15). Cependant, le petit bétail et les volailles sont pratiqués dans les enclos et les fermes de façon moderne et/ou traditionnelle à proximité des points d'eau. L'estimation de l'effectif du cheptel en 2021 est de 101 400 pour les bovins, 111 400 pour les ovins, 68 250 pour les caprins, 18 700 pour les porcins et de 2 295 000 pour les volailles. Les besoins unitaires en eau pour chaque type de bétail selon le Plan Directeur de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (JICA, 2020) sont consignés dans le tableau III.



Figure 15 : Abreuvement du bétail à Gbéna au Nord du bassin versant

Tableau III : Ratio de consommation du cheptel (JICA, 2020)

Cheptel	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Volailles
Consommation spécifique	25l/tête/j	5l/tête/j	5l/tête/j	7,5l/tête/j	0,1l/tête/j

1-1-4-5- Secteur industriel

Il n'existe pas à ce jour une véritable industrie transformatrice de café ou de cacao dans la région, en dehors de certaines représentations de groupes industriels de cacao, café, caoutchouc, d'anacarde et de coton. La filière du bois, quoiqu'en déclin, reste une activité importante dans la région. Les exploitants sont soit des sociétés, soit des individus. On note toutefois, la présence de quelques installations de transformation primaire (scieries) qui consistent au découpage, sciage et séchage du bois (Figure 16 ; A et B). Ce secteur est moins dépendant des ressources en eau.



Figure 16 : Quelques groupes industriels de bois à Daloa

1-1-5- Problématique de l'eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, la problématique de l'eau est liée aux effets des changements climatiques, à la gestion sectorielle de l'eau et à la forte croissance démographique.

1-1-5-1- Effets des changements climatiques sur les ressources en eau

Depuis 1970, la pluviométrie est devenue déficitaire en Côte d'Ivoire en général et particulièrement dans le bassin versant de la Lobo (Yao *et al.*, 2012). Corrélativement, une diminution des ressources en eau de surface et souterraine est constatée (Goula *et al.*, 2006 ; Kanohin *et al.*, 2009). En effet, au cours de la grande sécheresse de l'année 1983, les déficits pluviométriques ont occasionné l'assèchement de certaines nappes, puits traditionnels et sources naturelles (Brou, 2005). En cette année-là, les populations furent contraintes de parcourir de longues distances à la recherche des rivières encore pourvues d'eau. Cette crise de l'eau a été particulièrement vécue par les populations de Zobéa (dans le département de Daloa), qui ont été obligées de creuser des puits dans le lit des rivières (Brou, 2005).

Les impacts des changements climatiques sur les écoulements du fleuve Sassandra pour les décennies à venir ont été simulés par Ardoin (2004). Il ressort de cette étude, que le débit des rivières et la disponibilité en eau augmenteraient de 10 à 13% durant la première moitié du XXI^{ème} siècle (horizon 2050) avant de diminuer à l'horizon 2080 par rapport à la période de référence 1971-1995.

L'impact de la saison sèche se caractérise aussi par la disparition des grandes plaines alluviales et des bas-fonds. Il faut également noter que le prolongement de la période de tarissement des rivières rend de plus en plus difficile l'accès à l'eau surtout pour l'abreuvement du bétail. Les agglomérations telles que Daloa, et Vavoua bénéficient d'un réseau d'adduction d'eau fournie par la Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) respectivement à partir de la retenue aménagée sur la rivière Lobo et de forages. De même, toutes les autres localités utilisent majoritairement les ressources en eau souterraine qui sont tributaires des précipitations. Lesquelles précipitations sont influencées par les changements climatiques, d'où leurs impacts réels sur les ressources en eau.

En définitive, la variabilité et le changement climatiques ont un impact réel sur les ressources naturelles et en particulier sur les ressources en eau superficielle et souterraine. Au niveau de notre zone d'étude, l'impact de la variabilité et du changement climatique sur les ressources en eau est donc mis en évidence par les différents auteurs suscités.

1-1-5-2- Gestion sectorielle de l'eau : ouvrages d'AEP, agriculture, pêche et usage culturel

La gestion de l'eau au niveau du bassin versant de la Lobo se caractérise par une gestion sectorielle. D'une manière générale, chaque secteur d'utilisation de l'eau (agriculture, approvisionnement en eau potable, l'hydraulique pastorale, etc.) mobilise les quantités qui lui sont nécessaires pour satisfaire ses besoins, sans se préoccuper des besoins des autres secteurs ni de la survie à long terme des écosystèmes. Ces approches sectorielles de la gestion des ressources en eau aboutissent le plus souvent, à une gestion et à une mise en valeur non coordonnées et fragmentées de la ressource aboutissant à des conflits d'usages.

L'usage concurrentiel et divergent de la ressource en eau sur les différents points d'eau est source de conflits dans certaines localités du bassin versant. Il existe certains cas de conflits liés aux sources d'approvisionnement (HV et HVA) qui se résument en des méfiances entre les habitants. Par ailleurs, d'autres cas de conflits sont liés aux eaux superficielles. Cette réalité se perçoit plus sur la rivière Tchrato dans les localités de Zahia (Zimeguhé et Château) entre autochtones qui sont les acteurs culturels et la SODECI considérée comme acteur économique. En effet, très souvent des conflits éclatent entre la SODECI et les populations autochtones à cause de la présence d'un hippopotame dans la rivière Tchrato. Cet animal constitue un véritable danger pour la vie des agents de la SODECI dans l'exercice de leur tâche. Aussi, cet animal est-il source de nombreux dégâts du matériel de la SODECI et cela perturbe donc très souvent la distribution permanente de l'eau dans la ville de Daloa et ses environs. De même, des conflits existent entre autochtones et pêcheurs connus sous le nom de Bozo. Par ailleurs, il arrive que le matériel de pêche des allogènes (Bozo) soit confisqué par les autochtones ou détruit par l'hippopotame présent dans le plan d'eau, ce qui engendre des conflits entre pêcheurs et autochtones.

1-1-5-3- Croissance démographique

Le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé est une région de production de café et cacao. Ces cultures qui nécessitent une main-d'œuvre considérable (exploitée de façon traditionnelle) ont attiré de nombreuses populations venues des savanes ivoiriennes et des pays limitrophes (Brou *et al.*, 1998). La population du bassin versant de la Lobo qui était de 1 103 059 habitants en 2014 est passée à 1 329 069 habitants en 2021 (INS, 2021). L'on constate une augmentation progressive de la population entraînant un accroissement des besoins en eau. Cette situation impacte inéluctablement les ressources en eau disponible.

De plus, cette croissance démographique engendre une inadéquation entre l'offre et la demande en eau (Figures 17 et 18). De façon générale, le volume d'eau fourni par adduction d'eau potable (SODECI) reste inférieur aux besoins de la population. En effet, l'analyse des figures montre

que la demande en eau des principales villes augmente beaucoup plus vite que le volume d'eau produit. Cette situation traduit des cas de pénuries d'eau dans le bassin versant car la demande est supérieure à l'offre. Bien que les productions d'eau des années 2014 et 2021 soient à la hausse, elles demeurent très déficitaires par rapport aux demandes en eau de ces mêmes années.

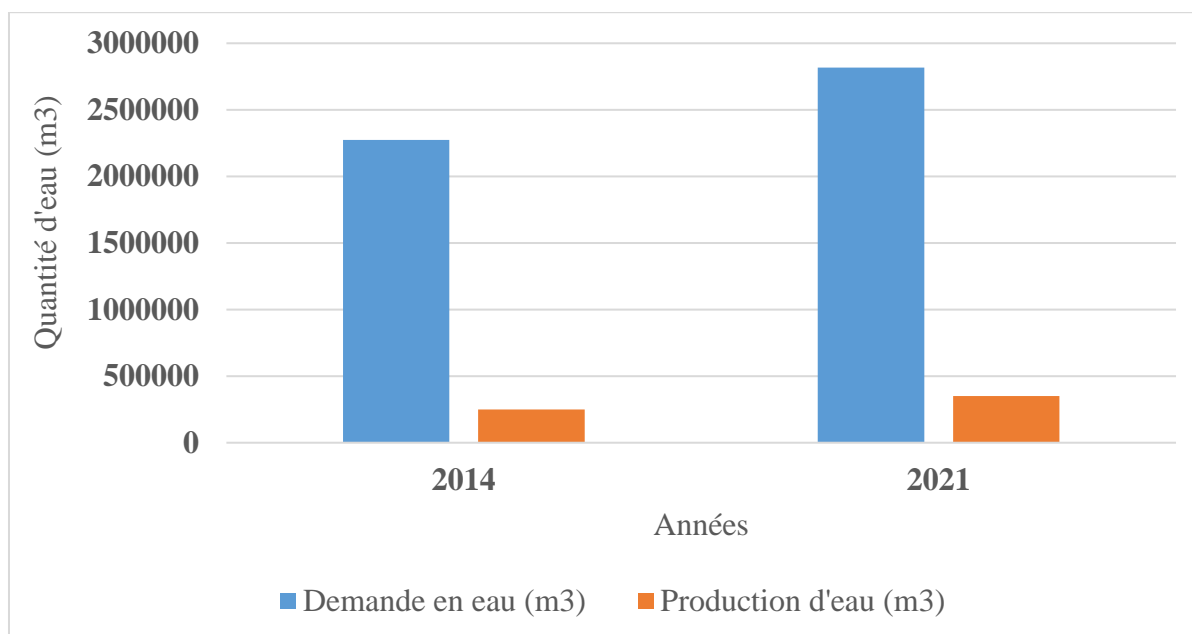


Figure 17 : Évolution de la production d'eau et de la demande en eau à Daloa (2014 et 2021)

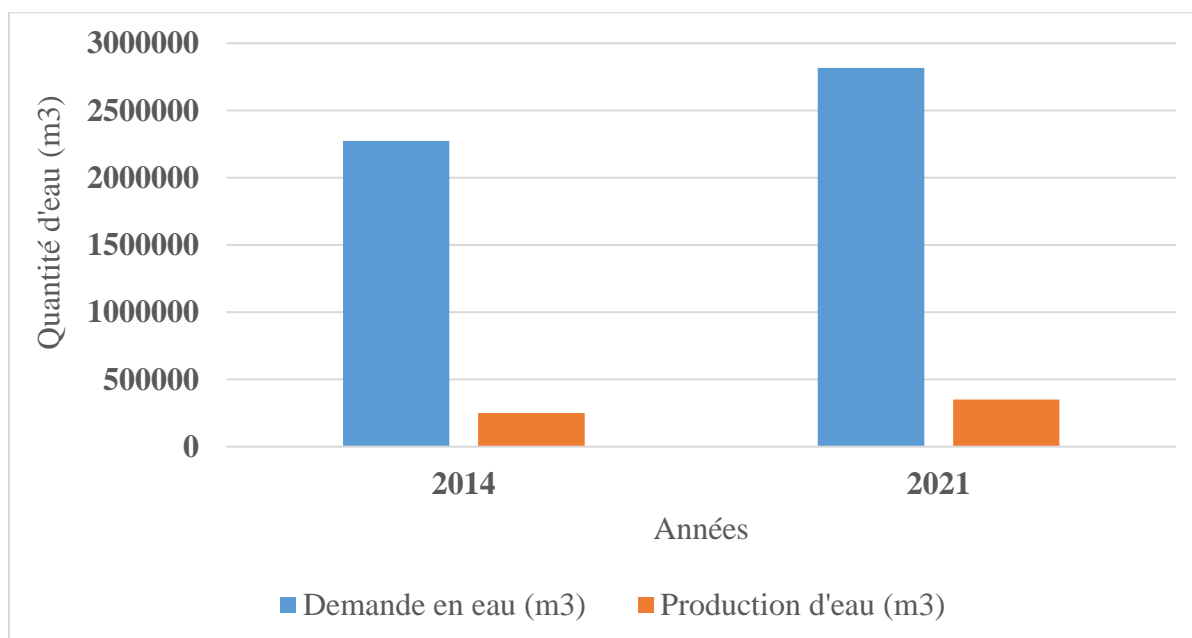


Figure 18 : Évolution de la production d'eau et de la demande en eau à Vavoua (2014-2021)

Conscient du fait que la demande en eau pourrait croître de façon démesurée dans un avenir très proche, la planification et la mise en œuvre d'actions de développement en matière de gestion rationnelle de ces ressources sont nécessaires.

Conclusion partielle

Le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé est caractérisé par un relief peu contrasté et peu varié, dominé par les plateaux de 200 à 500 m d'altitude. Le climat du bassin versant est de type équatorial de transition atténué caractérisé par une saison pluvieuse de mars à octobre et une saison sèche de novembre à février. Les formations géologiques appartiennent principalement au socle précambrien (précambrien moyen) et se regroupent en deux grandes entités géologiques que sont les granitoïdes et les schistes. Ces formations géologiques sont recouvertes par des sols ferrallitiques fortement et moyennement désaturés remaniés modaux avec recouvrement issus de schistes et de granites. Ce paysage est composé de forêt dense humide semi-décidue qui s'est progressivement dégradé au cours de ces dernières années. Sur le bassin versant, la forêt dégradée avec une alternance de cultures et de jachères est devenue de plus en plus l'élément dominant de cette végétation. La population du bassin de la Lobo est majoritairement rurale et agricole. La filière café-cacao constitue le moteur principal de l'économie de cette région. Elle est peu modernisée et nécessite une main d'œuvre importante d'où l'afflux massif de migrants provenant des pays limitrophes et d'ivoiriens du centre et du nord de la Côte d'Ivoire. L'accroissement de la population a augmenté les besoins en eau dans le bassin versant. Il est donc nécessaire de connaître la ressource en eau disponible (actuelle et future) afin de fournir de l'eau potable en quantité suffisante et en permanence à cette population sans cesse croissante. Le chapitre suivant fait l'état des connaissances sur les changements climatiques et la gestion intégrée des ressources en eau.

CHAPITRE 2 : CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU

2-1- Variabilité et Changement climatique

2-1-1- Définitions

2-1-1-1- Variabilité climatique

La variabilité climatique se réfère à la variation naturelle intra ou inter-annuelle du climat (Kouakou, 2011). Elle fait référence aux variations de l'état moyen du climat, à toutes les échelles temporelles et spatiales, qui dépassent les échelles typiques des évènements météorologiques (Gonzalez & Numer, 2020).

2-1-1-2- Changement climatique

Le terme changement climatique selon la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) adoptée en 1992, se réfère à des modifications du climat qui sont attribuées directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère globale et viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables. La CCNUCC fait ainsi une distinction entre les changements climatiques attribuables aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère et la variabilité du climat imputable à des causes naturelles (GIEC, 2007).

L'ampleur du changement climatique et de ses conséquences sur les ressources en eau peuvent être évaluée aux moyens des modèles climatiques globaux (ECHAM5, HadCM3, CSIRO-MK2, etc.) et régionaux (HIRAM, RegCM3, RACMO, etc.).

2-1-1-3- Scénarios climatiques

Les nouveaux scénarios dits RCP (Representative Concentration Pathways, en français Profils Représentatifs des Concentrations) sont des scénarios de l'évolution des concentrations de Gaz à Effet de Serre (GES) (Guivarch & Rozenberg, 2013). Associés à des trajectoires d'évolution de l'occupation des sols, ils ont été décrits par Van Vuuren *et al.* (2011) (pour une vue d'ensemble) impliquant quatre scénarios (RCP2.6 ; RCP4.5 ; RCP6.0 et RCP8.5). Chacun de ces quatre scénarios RCP est étiqueté en fonction du forçage radiatif qu'il atteint en 2100 : 2.6 W/m², 4.5 W/m², 6.0 W/m² et 8.5 W/m² (Figure 19).

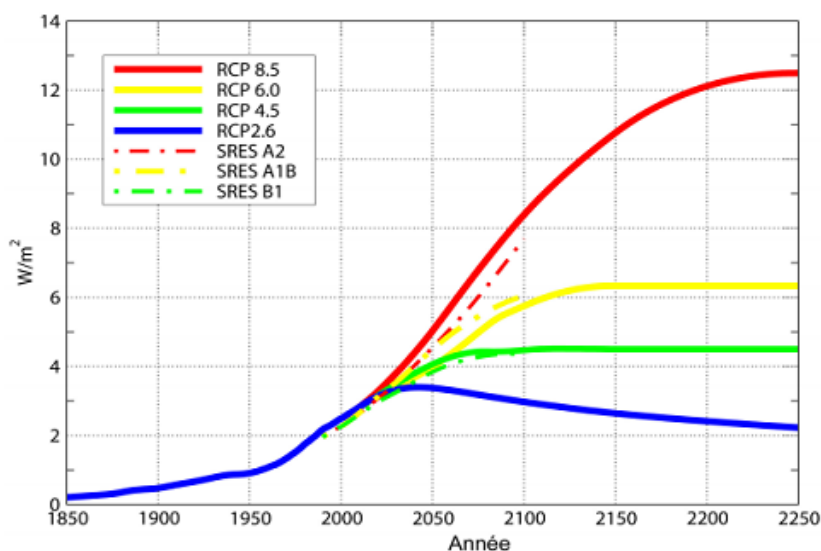


Figure 19 : Evolution du forçage radiatif suivant les différents scénarios (Van Vuuren *et al.*, 2011)

2-1-1-4- Modèles climatiques

La recherche d'une meilleure connaissance du système climatique et de son évolution a abouti depuis les années 1950 à l'élaboration d'outils informatiques de prévisions climatiques à court et à long terme appelés modèles (Ibrahim, 2012). Les premiers modèles climatiques étaient de simples modèles élaborés sur la base des interactions entre deux ou trois composantes du système climatique (terre, océan et atmosphère) (McGuffie & Henderson-Sellers, 2001).

Les modèles globaux (pour toute la planète) de faible résolution spatiale (plus de 400 km x 400 km) ont constitué la première génération des modèles climatiques appelés modèles climatiques globaux ou modèles de circulation générale (MCG). Ces modèles climatiques globaux ont une résolution spatiale trop faible pour permettre l'étude des impacts du climat à l'échelle du bassin versant. De ce fait, des méthodes de descente d'échelle sont utilisées afin d'obtenir à partir de ces MCG, des modèles climatiques régionaux (MCR) à plus forte résolution spatiale (Bauwens *et al.*, 2013). Depuis les années 1990, cette nouvelle génération de modèles climatiques dits régionaux (MCR) avec une haute résolution spatiale atteignant parfois moins de 10x10 km² sont mis au point (Castel *et al.*, 2010). Les MCR sont des représentations mathématiques des processus physiques à une petite échelle par rapport aux MCG (Kouakou, 2011). Ces modèles permettent de projeter à certaines conditions les principaux paramètres climatiques à des horizons temporels donnés. Ces conditions sont les scénarios de développement car les activités humaines déterminent l'évolution du climat.

2-1-2- Evolution des paramètres climatiques

2-1-2-1- Evolution des températures

L'augmentation des températures moyennes à la surface du globe pour la période 2081-2100, relativement à la période de référence 1986-2005, sera probablement dans les plages 0,3 °C à 1,7 °C (RCP2.6), 1,1 °C à 2,6 °C (RCP4.5), 1,4 °C à 3,1 °C (RCP6.0) et 2,6 °C à 4,8 °C (RCP8.5). Il est aussi précisé que la température continuera à présenter une variabilité interannuelle à décennale et ne sera pas uniforme d'une région à l'autre. En outre, le changement de la température moyenne à la surface du globe pour la période 2016-2035 relativement à 1986-2005, analogue pour les quatre RCP, sera probablement compris entre 0,3 °C et 0,7 °C (degré de confiance moyen) (GIEC, 2014).

De même, tous les modèles de circulation générale de l'atmosphère (MCGA) prévoient une hausse de la température moyenne du globe, de 2 à 6 °C d'ici la fin du XXI^{ème} siècle et une forte variabilité interannuelle du climat sera constatée (Giorgi, 2006), favorisant ainsi la recrudescence des événements extrêmes (précipitations intenses, sécheresses, canicules).

Les études de Kouakou (2011) ont montré qu'à l'horizon 2040, l'accroissement des températures en Côte d'Ivoire atteindra 0,8 °C (figure 20). Cependant cet accroissement varie selon les régions.

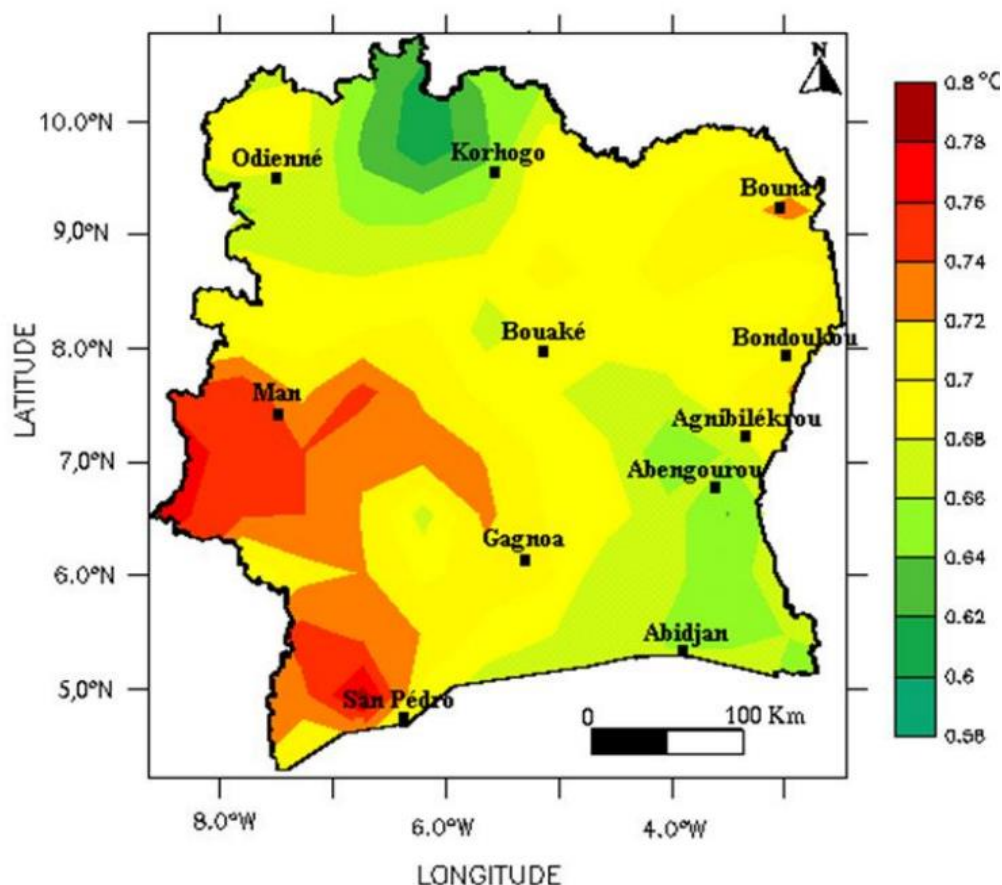


Figure 20 : Carte des taux de variations annuelles des températures attendues à horizon 2040 par rapport à la période 1991-2000 en Côte d'Ivoire (Kouakou, 2011)

2-1-2-2- Evolution des précipitations

Les variations des précipitations dépendent des MCGAO, des scénarios d'émission et des horizons (CEDEAO-CSAO, 2008).

Selon le GIEC (2008), le volume des précipitations augmenterait aux altitudes élevées alors qu'il diminuerait d'environ 20 % en 2100 dans la plupart des régions continentales subtropicales. La moyenne annuelle des précipitations augmentera probablement dans les hautes latitudes et l'océan Pacifique équatorial dans le cas du RCP8.5. Dans de nombreuses régions des latitudes moyennes et dans les régions subtropicales arides, les précipitations moyennes diminueront probablement, pendant que dans de nombreuses régions humides des latitudes moyennes, elles augmenteront probablement dans le cas du RCP8.5 (GIEC, 2014). Les épisodes de précipitations extrêmes deviendront très probablement plus intenses et fréquents sur une grande partie des continents des latitudes moyennes et dans les régions tropicales humides (GIEC, 2014).

En Côte d'Ivoire, les études effectuées par Goula *et al.* (2006) ont montré pour la zone de savane arborée et pré forestière, une diminution de 1,33 % des précipitations avec le modèle GFD3

contre une hausse de 8,4 % avec le modèle UK89 à l'horizon 2075. Dans la zone de savane, le modèle GFD3 prédit une diminution de 1,33 % contre 0,56 % pour le modèle UK89. Les études de Kouakou (2011) ont annoncé une baisse des précipitations en Côte d'Ivoire atteignant 30 % et une hausse de près de 20 % à l'horizon 2040 (Figure 21).

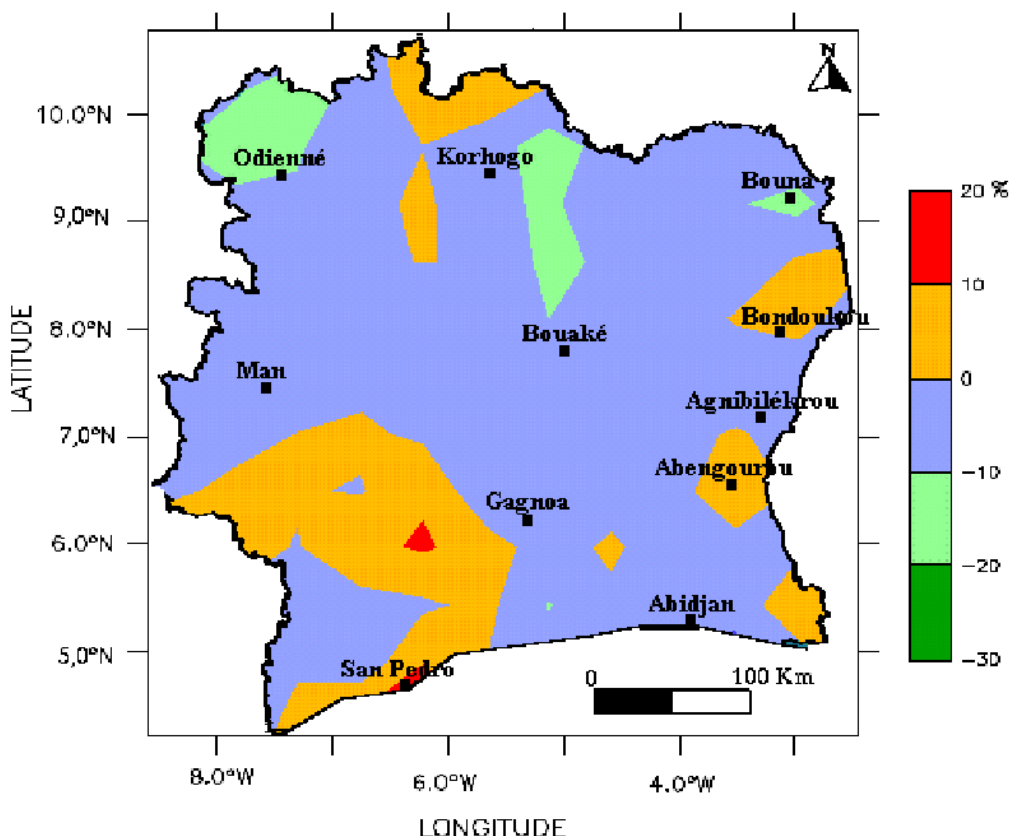


Figure 21 : Carte des variations moyennes annuelles de la pluviométrie à l'horizon 2040 en Côte d'Ivoire (Kouakou, 2011)

2-1-3- Impact des changements climatiques sur les ressources en eau

L'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau a fait l'objet de plusieurs études en Côte d'Ivoire. Ainsi, les travaux de Goula *et al.* (2006) montrent une diminution des précipitations de 13 et de 14 % respectivement sur les bassins versants du N'zi et du N'zo. Cependant, l'impact hydrologique de la raréfaction des pluies est environ deux fois plus intense sur le N'zi : - 49 % de 1969 à 2004, contre - 27 % sur le N'zo de 1970 à 1993. Dans le même ordre d'idée, Kouakou *et al.* (2007) ont mis en évidence des déficits pluviométriques importants, allant de 15 % à plus de 30 %, sur le bassin transfrontalier de la Comoé. Cette baisse de la pluviométrie s'est répercutée sur les débits avec un fort effet réducteur, puisqu'ils se sont effondrés de plus de 50 %.

De plus, les études de Kouassi *et al.* (2013), sur l'évolution des coefficients de tarissement de certains cours d'eau montrent que ceux-ci n'ont cessé d'augmenter depuis le début de la

sécheresse des années 1970. En effet, l'augmentation considérable du coefficient de tarissement correspond à une réduction des réserves d'eau mobilisées par les aquifères et donc de la quantité d'eau dans les nappes ; ce qui traduit un amenuisement croissant des réserves souterraines des bassins fluviaux (Kouassi *et al.*, 2013).

La baisse des écoulements peut atteindre la barre des 20 % (GIEC, 2008). Spécifiquement le régime des écoulements à l'horizon 2075 du Bandama à Marabadiassa pourrait diminuer de 22 % quand celui du Sassandra à Piéibly et à Kahin baisserait respectivement de 8,4 % et de 6,9 % (MEEF, 2000 ; Goula *et al.*, 2006).

L'évaluation des ressources en eau du bassin versant de la Lobo dans un contexte de la variabilité climatique a mis en exergue une forte perte en eau sur ce bassin due à la baisse de la pluviométrie (Yao *et al.*, 2012).

2-2- Gestion intégrée des ressources en eau

2-2-1- Définitions

La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est définie comme « un processus favorisant le développement et la gestion coordonnés des ressources en eau, du sol et des ressources associées, permettant de maximiser les bénéfices économiques et sociaux, de façon équitable sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux » (GWP, 2000).

2-2-2- Processus de la mise en œuvre de la GIRE en Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, les politiques sectorielles dans le domaine de l'eau ont fait apparaître des difficultés et des conflits à divers niveaux. Fort de ce constat, le gouvernement a manifesté sa volonté politique de s'engager dans une réforme du domaine de l'eau en 1996 en créant le Haut-Commissariat à l'Hydraulique. Il avait pour mission principale de conduire les réflexions devant permettre à la Côte d'Ivoire de se doter d'outils institutionnels, réglementaires, techniques et financiers en vue de la GIRE (MINEF, 2003).

2-2-2-1- Législation et cadre institutionnel

Une série d'actions pour remédier aux problèmes dans le domaine de l'eau a été menée suivant les principes de la GIRE. Les acquis sont entre autres, un nouveau cadre législatif et institutionnel.

2-2-2-1-1- Législation nationale

La Côte d'Ivoire a adhéré ou ratifié divers accords internationaux (Conventions, Protocoles et Traités) en matière d'eau. Conscient des lacunes du cadre juridique régissant le domaine de l'eau, la Côte d'Ivoire a mis un point d'honneur à se doter d'outils juridiques appropriés,

matérialisés par la promulgation du Code de l'environnement en 1996 et du Code de l'eau en 1998.

Le Code de l'eau constitue l'instrument juridique de référence pour assurer la gestion et la valorisation des ressources. Il définit les mécanismes de gestion intégrée des ressources en eau, consacre la notion et la définition du domaine public hydraulique. Aussi, institue-t-il la gestion par bassin versant hydrologique et met-il un accent particulier sur la planification et la coopération en matière de gestion des ressources en eau (MINEF, 2003).

2-2-2-1-2- Cadre institutionnel

Le domaine de l'eau, du fait de son caractère multisectoriel et transversal, est caractérisé par l'implication de plusieurs intervenants. Les acteurs institutionnels, au nombre de dix-sept, présentés dans le Tableau IV, interviennent dans les secteurs d'utilisation et de gestion des ressources en eau.

Sur le plan institutionnel, les actions menées dans le cadre de la réforme du domaine de l'eau ont abouti à des propositions qui traduisent l'esprit du Code de l'eau et les contraintes de l'organisation actuelle. Elles ont été élaborées en tenant compte de la situation institutionnelle actuelle et des perspectives d'évolution liées notamment à la politique de décentralisation. Ainsi, la responsabilité régaliennne de la gestion des ressources en eau est confiée à l'Autorité chargée (Ministère de l'environnement en des eaux et forêts) de l'eau et les utilisations se font par secteur (MINEF, 2003).

Tableau IV : Principaux Ministères et Acteurs intervenant dans le domaine de l'eau (MINEF, 2003)

N°	Institution	Domaine d'intervention
1	Ministère de l'environnement et des Eaux et Forêts	Gestion intégrée des ressources en eau, Réglementation Lutte contre la pollution des écosystèmes aquatiques Mise en application du Code de l'Environnement
2	Ministère de l'Agriculture	Irrigation et drainage
3	Ministère des Infrastructures Economiques	Hydraulique Humaine et météorologique
4	Ministère de la production animale et des ressources halieutiques	Pêche et élevage
5	Ministère des mines et de l'énergie	Hydroélectricité, mines
6	Ministère des transports	Transport fluvial et maritime
7	Ministère de la construction et de l'urbanisme	Assainissement et drainage
8	Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique	Recherche et élaboration de méthodes
9	Ministère de l'économie et des finances	Financement des activités des projets liés aux ressources en eau
10	Ministère de la santé publique	Contrôle de la qualité de l'eau de consommation Lutte contre les maladies liées à l'eau
11	Ministère de la défense	Marine nationale (pollution marine) Surveillance des eaux territoriales

12 Ministère du tourisme	Eco-tourisme
13 Ministère de l'intérieur	Aménagement du territoire Tutelle des collectivités territoriales
14 Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement (BNETD) Société d'Etat	Bureau d'étude du gouvernement dans divers domaines, notamment les projets de développement des ressources en eau
15 Société de distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI), Société privée	Société concessionnaire de l'alimentation en eau potable en milieu urbain et de l'Assainissement à Abidjan
16 Compagnie Ivoirienne d'électricité (CIE), Entreprise privée	Société concessionnaire de l'hydroélectricité
17 Société civile	Mobilisation sociale/sensibilisation

2-2-2-2- Contraintes dans la mise en œuvre

Depuis 1996, des réformes dans le domaine de l'eau ont été engagées sous la conduite de l'ex-Haut-Commissariat à l'Hydraulique puis arrêtées en 1999. Après la transition militaire survenue en 2000, les crises socio-politiques répétitives ont été un obstacle majeur pour la reprise et le développement du processus de mise en œuvre de la GIRE.

Les différents codes et textes réglementaires existants relatifs au domaine de l'eau, notamment le Code de l'environnement et le Code de l'eau connaissent un début d'application très timide. Ce qui constitue une entrave à la gestion durable de l'eau. Par ailleurs, l'instabilité des structures nationales du secteur de l'eau, notamment la structure chargée de la gestion des ressources en eau, n'a pas permis de faire progresser le processus de la GIRE (MINEF, 2003).

2-2-2-2-1- Contraintes financières

Comme dans la plupart des pays en développement, la Côte d'Ivoire fait appel aux appuis extérieurs pour soutenir sa politique d'investissement dans le domaine de l'eau. Le poids élevé de la dette est un handicap majeur pour la réalisation des investissements par l'État dans les infrastructures afin de suivre le rythme de croissance des besoins de la population et permettre aux couches défavorisées l'accès aux services de base.

De 1996 à 1999, le Gouvernement avait pris des dispositions afin de doter l'ex Haut-Commissariat à l'hydraulique de moyens financiers conséquents pour conduire le processus de la GIRE. Cette situation avait favorisé l'appui des partenaires au développement. Mais aujourd'hui, le budget mis à la disposition du Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts pour poursuivre le processus de la GIRE est faible et ne lui permet pas de remplir efficacement cette mission (MINEF, 2003).

2-2-2-2-2- Contraintes environnementales

La Côte d'Ivoire reçoit en moyenne 1 150 mm de pluie par an sur la période 1970-1990 (Kouakou, 2011). Cette moyenne cache des inégalités dans la répartition des ressources en eau

dans l'espace et dans le temps. Par endroits, il existe des zones de pénurie d'eau du fait de la sécheresse. En effet, depuis les années 1970, la réduction de la pluviométrie est marquée par la baisse des régimes des cours d'eau et du niveau des nappes phréatiques. De plus, le sous-sol de la Côte d'Ivoire est constitué à 97% d'un socle granitique. Les nappes d'eau souterraines du socle sont en majorité latéritique ou de fracture et peu productives. Les quantités mobilisables en eaux souterraines dans les zones de socles sont insuffisantes du fait de la discontinuité de ces aquifères. L'inconvénient majeur est le taux d'échec élevé dans la réalisation des forages. L'érosion entraîne la sédimentation au niveau des retenues d'eau et les effets immédiats sont notamment, la réduction de la capacité de stockage des retenues.

Les rejets d'eaux usées industrielles et domestiques dans le milieu naturel sans traitement efficient et le transport des déchets solides par les réseaux de drainage dégradent la qualité des eaux et cette pollution rend onéreux le traitement de ces eaux pour la consommation (MINEF, 2003).

2-2-2-2-3- Contraintes sociales

À ce niveau, la contrainte majeure se situe aux plans de l'appropriation et de l'exploitation des équipements. Les aménagements et ouvrages hydrauliques sont mal exploités et leur rentabilité amoindrie. L'attitude des populations vis-à-vis des questions concernant l'exploitation des aménagements et ouvrages hydrauliques est déterminante quant à leur appropriation par celles-ci. Elle conditionne aussi la participation effective des usagers aux travaux et au financement des charges récurrentes. Le contexte socio-économique difficile réduit, de plus en plus, la capacité à payer des populations rurales qui s'appauvrissent davantage (MINEF, 2003). De ce fait, il sera présenté dans le paragraphe suivant une chronologie de logiciel d'aide à la décision pour la gestion intégrée des ressources en eau.

2-2-3- Outils d'aide à la prise de décision

2-2-3-1- Logiciels

Parmi les logiciels cités en tant que Système d'Aide à la Décision (SAD) pour la GIRE, il y'a entre autres :

- **MIKE BASIN** développé par l'Institut d'Hydraulique Danois (DHI) se positionne comme un outil qui vise à étudier la répartition de l'eau dans le bassin versant. Ce logiciel est riche de modèles hydrologiques pour l'estimation des ruissellements dues aux précipitations. Cependant, il ne considère pas les aspects socio-économiques de la GIRE. Néanmoins, il fournit une plateforme de modélisation intégrée pour examiner les alternatives de gestion des sources d'eau sur le plan environnemental. Parmi ces modèles, il est possible de citer « PLOAD » pour

la pollution, « SWAT » (outil d'évaluation des sols et des eaux) pour l'évaluation du sol et l'eau.

- **IQQM** (Modèle Intégré de la Qualité et de la Quantité) est développé par le département de la conservation des terres et des eaux de la Nouvelles-Galles du sud. C'est un outil de modélisation hydrologique visant à simuler des systèmes fluviaux et de soutenir la planification et l'évaluation des impacts des options de gestion des ressources en eau, la surveillance et la protection de l'environnement. Cependant, la limitation principale de l'outil est l'absence de fonctionnalité SIG.

- **RIBASIM** (Simulation de bassin fluvial), développé par « Delft Hydraulics » en Hollande, est un ensemble de modèle pour la planification et la gestion des ressources en eau au niveau du bassin versant. L'absence de fonctionnalités SIG constitue la limitation du logiciel.

- **AQUATOOL**, développé par « le département d'ingénierie hydraulique et environnementale de l'Université polytechnique de Valence en Espagne », est un système d'aide à la décision qui se compose de modules pour la simulation et l'optimisation. Egalement pour la modélisation et l'évaluation des risques, de la planification des ressources en eau et la gestion opérationnelle à l'échelle des bassins versants. Il permet la simulation et la comparaison de politiques et de données hydrologiques. De plus, il offre une possibilité d'évaluer les risques. Ce logiciel est essentiellement un outil d'optimisation de l'allocation de l'eau. Par contre, en plus de l'absence de fonctionnalité SIG, AQUATOOL n'intègre pas les aspects économiques et écologiques de la GIRE (Nouri, 2014).

- **WEAP** (Système d'évaluation et de planification de l'eau), est développé par « l'institut de l'environnement de Stockholm à Boston aux Etats-Unis ». C'est un outil de planification des ressources en eau. L'outil évalue une gamme complète d'options de développement de l'eau et de gestion, et tient compte des multiples utilisations concurrentes de l'eau. WEAP permet d'établir des liens dynamiques vers d'autres modèles et des logiciels tels que MODFLOW (SEI, 2008), un programme informatique qui résout numériquement l'équation d'écoulement des eaux souterraines en trois dimensions pour un milieu poreux en utilisant la méthode des différences finies (Harbaugh, 2005). La limitation de WEAP est l'absence de fonctionnalités SIG. Il utilise les couches cartographiques comme fond de plan pour élaborer les schémas conceptuels des zones d'études.

Devant les complexités des processus naturels, des fonctionnements des infrastructures et du contexte socio-économique, il est nécessaire pour un gestionnaire ou un planificateur des ressources en eau de se doter de l'outil le plus efficace. Cependant, face à la large gamme de

logiciels disponibles et de méthodologies proposées par la communauté scientifique, le choix d'un SAD s'avère difficile.

Le logiciel gratuit qui offre une large gamme de fonctionnalités et de calculs hydrologiques, qui modélise les aspects socio-économiques et qui permet un interfaçage avec un outil de modélisation des aquifères est WEAP. Il est soumis à l'octroi d'une licence gratuite de la part de l'éditeur (SEI), renouvelable annuellement, pour les pays en voie de développement. Aussi, faut-il noter que le logiciel WEAP n'a pas encore été utilisé dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé qui est la zone de cette étude. Ainsi, à l'issue de cette analyse de la situation des SAD disponibles, il est choisi d'adopter le logiciel WEAP pour essayer de développer un outil d'aide à la décision pour la GIRE dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.

2-2-3-2- Contribution de WEAP à la gestion des ressources en eau

Le logiciel WEAP a été utilisé dans de nombreux pays pour la gestion des ressources en eau. À Madagascar en 2007, le logiciel WEAP a été utilisé pour l'étude de la vulnérabilité des ressources en eau face aux changements climatiques dans le bassin versant de Morondava. Il a permis l'évaluation des ressources en eau disponibles (eau de surface, eau souterraine). Cette étude a permis d'établir un plan durable de gestion des ressources en eau du bassin versant de Morondava en prenant en compte à la fois la vulnérabilité des ressources en eau et le changement climatique dans un futur proche (Rakotondrabe, 2007). De plus au Maroc en 2011, le logiciel WEAP a été utilisé pour la gestion de l'eau verte dans le bassin versant de Sebou. De même, il a servi à obtenir une première estimation d'une meilleure compréhension des processus dans le bassin du Sebou (Droogers *et al.*, 2011). Au Guatemala, une étude sur les changements climatiques réalisée avec WEAP a incité la prise de conscience des autorités politiques des dangers dans un futur proche des changements climatiques. De ce fait, une politique d'adaptation face au changement climatique a été mise en place par les autorités (Sarah, 2007). De plus, la gestion des eaux du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal a été effectuée avec WEAP. Cette étude a permis de faire une analyse quantitative d'un conflit d'objectifs sur les eaux de ce fleuve (Bader *et al.*, 2003). Aussi, le logiciel WEAP a permis de modéliser l'utilisation rationnelle des ressources en eau au niveau de trois communes du Mali, ce qui a permis de minimiser les conflits éventuels (NCAP, 2007). En Syrie, WEAP a été associé à MODFLOW pour une gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant de Zabadani et il a permis de créer un équilibre entre l'eau de surface et l'eau souterraine (Mabmann *et al.*, 2010). Ainsi, en Côte d'Ivoire, le logiciel WEAP a servi à l'évaluation et à l'allocation des ressources en eau pour le développement agricole et économique dans le bassin du fleuve Bandama. Cette étude a permis de subvenir aux besoins dans différents

domaines : agropastoral et domestique (Djombo, 2010). Aussi, a-t-il permis la simulation numérique de la demande en eau dans les complexes sucriers de Ferkessédougou dans le bassin versant du Haut Bandama en Côte d'Ivoire. Cette étude a permis d'analyser la disponibilité de la ressource en eau sur le long terme afin de planifier son allocation aux besoins des périmètres sucriers (Kouadio, 2017). Le logiciel a été utilisé par Ettien (2014) pour la planification des ressources en eau en contexte de changement climatique dans le bassin versant de la Comoé en Côte d'Ivoire. En effet, ce travail a montré que la quantité d'eau disponible est largement supérieure aux besoins en eau. Aussi, l'usage multisectoriel de l'eau et le changement climatique sont des facteurs qui engendrent de grandes pressions sur les ressources en eau. Néanmoins, malgré les changements qu'il peut avoir au cours des années à venir, la quantité des ressources en eau restera supérieure aux besoins des usagers.

Dao *et al.* (2018) dans le bassin versant de la Marahoué ont utilisé le logiciel WEAP pour estimer les demandes en eau de chaque secteur d'utilisation à savoir l'AEP, l'agropastoral et l'industrie à l'horizon 2040. Il est ressorti que la demande en eau pour l'AEP est de 39,5 millions de m³, l'agropastoral a une demande estimée à 25,2 millions de m³ et l'industrie a une demande de 1,4 million de m³. La demande en eau de chaque secteur atteindra le double à l'horizon 2050. Aussi, Noufé *et al.* (2019) dans le bassin versant de la lagune Aghien ont testé la capacité du logiciel WEAP à évaluer des scénarios de gestion quantitative de l'eau en comparant l'évolution de la demande avec celle de l'offre en termes de disponibilité de l'eau.

Conclusion partielle

La variabilité climatique et les changements climatiques sont une réalité en Afrique de l'Ouest. En effet, les résultats des recherches dans de nombreux domaines ont montré que le climat de l'Afrique a subi des fluctuations aussi bien à l'époque actuelle que dans le passé. En ce qui concerne les impacts des changements du climat sur les ressources en eau, l'on retient que la diminution des cumuls pluviométriques annuels (10% à 40%) entre la fin de la décennie 1960 et le début de la décennie 1970 se sont traduits par des baisses des écoulements plus importantes que celle de la pluviométrie.

Par ailleurs, des scénarios climatiques ont été élaborés dans le 5^{ème} rapport du GIEC. Il s'agit de quatre (4) nouveaux profils représentatifs de l'évolution des gaz à effet de serre, d'ozone et d'aérosols dit RCP dont le RCP2.6, le RCP4.5, le RCP6 et le RCP8.5. Ces scénarios prévoient à l'horizon 2035 par rapport à la période de référence (1986-2005), une augmentation de la température. Cependant, contrairement à la température, il n'y'a pas de consensus autour de l'évolution des précipitations. D'ici 2100, une augmentation des précipitations est prévue dans les zones aux altitudes élevées pendant qu'une diminution est prévue dans les moyennes

altitudes. Quant aux écoulements, une augmentation est prévue à l'horizon 2050 dans les hautes altitudes et certaines zones tropicales pendant qu'une baisse est à prévoir dans les régions de latitude moyenne et tropicales sèches.

Face à cette évidence de variabilité et de changement climatique, l'utilisation d'outils de gestion des ressources en eau est plus que nécessaire pour la mise en place des mesures d'adaptation afin de permettre une gestion rationnelle et durable des ressources en eau. Dans cette étude, l'outil d'allocation et de gestion des ressources en eau WEAP a été utilisé.

Après la présentation du contexte général de l'étude, nous présentons, aux chapitres suivants les données, outils et les différentes méthodes utilisés.

PARTIE II : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 3 : MATERIEL

3-1- Données d'étude

3-1-1- Données climatiques

3-1-1-1- Données climatiques observées

Les données climatiques observées collectées dans le cadre de cette étude sont les précipitations, les températures minimale et maximale au pas de temps journalier provenant de la station synoptique de Daloa et des stations pluviométriques de Vavoua et Zuénoula sur la période 1988-2013 (Figure 22). Elles ont été recueillies auprès de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM).

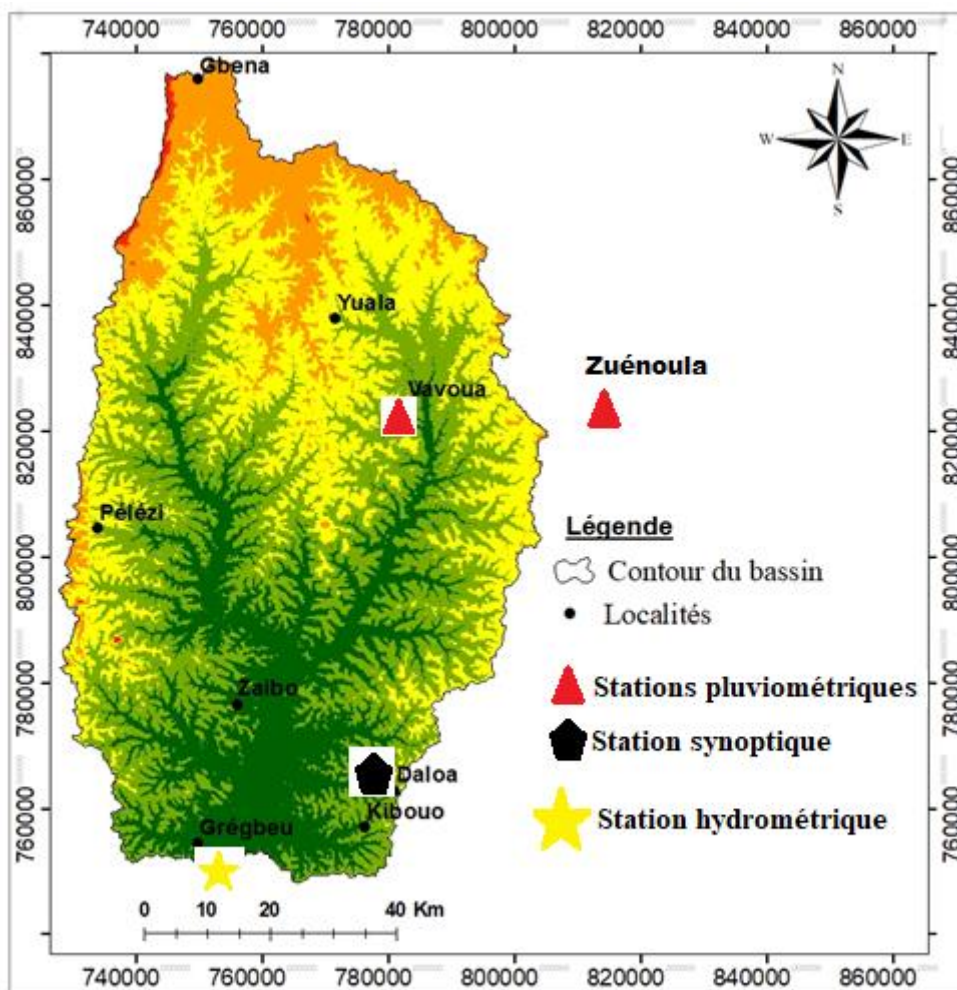


Figure 22 : Répartition des différentes stations utilisées dans cette étude

3-1-1-2- Données climatiques simulées

Ces données proviennent des sorties du modèle climatique régional CCLM4-8-17, provenant du modèle global Max Planck Institute (MPI). Elles sont relatives à la précipitation et à la température au pas de temps journalier, de résolution spatiale $0,44^\circ$ ($50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$). Ce modèle

est issu du projet CORDEX adapté à notre zone d'étude. En effet, selon Koffi (2022) le modèle climatique CCLM4-8-17 est celui qui reproduit le mieux possible le climat sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Les données climatiques historiques simulées couvrent la période 1971-2005 tandis que les données climatiques futurs s'étendent sur les périodes 2021-2040 et 2041-2060.

Pour cette étude, il a été considéré le scénario moyen (de stabilisation) RCP4.5 et le plus pessimiste (le plus extrême) RCP8.5.

3-1-2- Données hydrométriques

Les données hydrométriques collectées proviennent de la Direction de l'Hydrologie. Il s'agit des débits journaliers observés à la station hydrométrique de Nibéhibé sur la période 1988-2013.

3-1-3- Données des relevés de niveau piézométrique

Les relevés piézométriques réalisés par Kouadio *et al.* (2022) sont les cotes piézométriques mensuelles mesurées sur la période 2018-2020 à l'aide d'une sonde piézométrique. Les données ont servi au calcul de la recharge des nappes d'eau souterraines.

3-1-4- Images satellitaires

Les images satellitaires utilisées sont les images ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) de Landsat qui ont été téléchargées sur le site de l'USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Deux scènes ont été utilisées (197/055 et 198/055) (Tableau V).

Tableau V : Caractéristiques des images Landsat

Capteurs	Résolutions Spatiales	Nombre de bandes	Path/Row	Date d'acquisition	Source
L1-4 TM	30×30	5	197/055 198/055	16/01/1986	USGS
L4-5 TM	30×30	9	197/055 198/055	07/02/2000	
OLI	30×30	8	197/055 198/055	25/01/2019	

3-1-5- Données socio-économiques

✓ Données démographiques

Les données de population considérées dans cette étude sont celles des Sous-préfectures situées sur le bassin versant (Tableau VI). Ces données sont celles de l'Institut National de Statistiques de 2014 (INS, 2014). Selon le recensement général de la population et de l'habitat, la population du bassin s'évalue en 2021 à 1 329 069 habitants (INS, 2021).

Tableau VI : Répartition de la population du bassin de la Lobo à Nibéhibé par sous-préfecture (INS, 2021)

Départements	Sous-préfectures	Populations en 2014 habitants	Populations en 2021 habitants
DALOA	Bédiala	81 193	84 474
	Daloa	319 427	421 879
	Gadouan	57 470	62 056
	Gboguhé	58 103	69 020
	Gonaté	36 938	44 611
	Zaïbo	38 502	23 338
VAVOUA	Bazra-Nattis	39 218	67 048
	Dananon	31 384	36 746
	Dania	77 295	106 612
	Kéto-Bassam	24 934	24 968
	Séitifla	93 430	109 252
	Vavoua	134 651	132 528
ZOUKOUGBEU	Domangbeu	9 530	18 183
	Grégbeu	18 487	26 505
	Guéssabo	36 302	41 931
	Zoukougbeu	46 195	59 918
TOTAL		1 103 059	1 329 069

✓ Données agricoles

Les données agricoles utilisées concernent les surfaces rizicoles irriguées en 2019 autour des barrages hydro-agricoles (Kibouo, Brakaguhé et Yuala) ainsi que celles de la ville de Daloa. Les surfaces irriguées ont été fournies par l'Office National du Développement de la Riziculture (ONDR, 2012) devenu Agence pour le Développement de la Filière Riz (ADERIZ) et les valeurs sont consignées dans le tableau VII.

Tableau VII : Surfaces rizicoles irriguées dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (ONDR, 2012)

Sites agricoles	Superficies agricoles (ha)	Besoins théoriques (m ³ /ha/an)
Kibouo	60	20 000
Brakaguhé	97	
Yuala	163	
Daloa	130	

✓ Données de cheptel

Le cheptel du bassin est composé de bovins, d'ovins, de caprins, de porcins et de la volaille. L'effectif total est estimé à 2 385 234 têtes en 2015 et à 2 594 750 en 2021 (Tableau VIII) établi à partir du taux d'accroissement de l'INS (2014). L'élevage pratiqué est de type traditionnel

et/ou moderne. En général, l'alimentation en eau de ces bétails se fait directement sur les ressources en eau de surface. Les données de 2019 ont été utilisées pour cette étude.

Tableau VIII : Évolution du cheptel par type de bétail dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (INS, 2021)

Années	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Volailles	Total
2015	92 767	101 444	62 532	17 351	2 111 140	2 385 234
2017	97 000	106 000	65 400	18 130	2 210 000	2 496 530
2021	101 400	111 400	68 250	18 700	2 295 000	2 594 750

3-2- Outils

3-2-1- Matériel de terrain

Le matériel utilisé pour cette étude est composé de :

- GPS différentiel pour relever les coordonnées géographiques des différents sites et points d'eau (Figure 23 A) ;
- appareil photo numérique pour les prises de vues ;
- hors-bord pour le déplacement sur les différentes retenues (Figure 23 B) ;
- échosondeur de type LOWRANCE pour les levés bathymétriques (Figure 23 C) ;
- carnets de prise de note pour relever les informations constatées sur le terrain ;
- des fiches d'enquête relatives aux différents usages et à la perception des ressources en eau.



Figure 23 : Quelques outils de terrain : (A) GPS différentiel ; (B) Hors-bord ; (C) Echosondeur

3-2-2- Outils de traitement de données

Plusieurs outils de traitement de données ont été nécessaires pour la réalisation de cette étude.

Il s'agit de :

- Tableur Microsoft Excel 2013 pour le traitement statistique des données ;
- MapInfo Professionnel 10.0 pour le maillage du bassin versant et la détermination des données physiographiques pour le fonctionnement du modèle hydrologique CEQUEAU ;
- ENVI 4.3 pour le traitement des images satellitaires ;

- ArcGIS 10.2.2 pour la délimitation du bassin versant, la réalisation des différentes cartes et la détermination de la superficie des retenues.
- Modèle hydrologique CEQUEAU 4.0 pour l'évaluation des impacts du changement climatique et des changements d'occupation du sol sur l'hydrologie du bassin versant ;
- Modèle WEAP pour la simulation des besoins et la planification des ressources en eau du bassin.

Conclusion partielle

Cette étude a nécessité dans un premier temps l'emploi de données climatiques (observées et simulées), hydrométriques, des relevés de niveau piézométriques, d'images satellitaires et socio-économiques. Les données climatiques observées proviennent de la station synoptique de Daloa et des stations pluviométriques de Vavoua et Zuénoula sur la période 1988-2013. Quant aux données climatiques simulées, elles sont issues du projet CORDEX. Les données hydrométriques sont les débits au pas de temps journalier collectées à la station de Nibéhibé et couvrent la période 1988-2013. Les données de relevés de niveau piézométrique concernent les cotes piézométriques mensuelles mesurées sur la période 2018-2020. Les images satellitaires (OLI) utilisées sont les scènes 197/055 et 198/055. Elles concourent toutes à l'estimation des ressources en eau et à l'évaluation des impacts des changements climatique et d'occupation du sol sur l'hydrologie du bassin versant.

Dans un second temps, les données démographiques du bassin et les données agropastorales. Les données démographiques concernent le nombre d'habitant par département de l'année 2021 et les données agropastorales sont constituées des superficies rizicoles irriguées et le nombre du cheptel de l'année 2019. Ces données sont utilisées pour l'estimation des besoins en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.

Plusieurs outils ont été utilisés pour l'exploitation des différentes données. L'utilisation opérationnelle des différentes données à partir des outils définis nécessite des méthodes précises et rigoureuses.

CHAPITRE 4 : METHODES

La méthodologie adoptée dans ce travail s'articule autour de trois axes : (i) le diagnostic actuel de la gestion des ressources en eau, (ii) l'évaluation des ressources en eau du bassin actuelles et à l'horizon 2050, (iii) la modélisation de l'allocation des ressources en eau.

4-1- Diagnostic actuel de la gestion des ressources en eau

Cette section a pour but de faire l'inventaire des usagers de la ressource en eau, de l'utilisation ainsi que de la gestion qui en est faite.

4-1-1- Identification des usagers et des conflits d'usage des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

4-1-1-1- Méthode d'échantillonnage

Le choix des localités à enquêter a été défini à l'aide de la méthode de choix raisonnée et du calcul proportionnel. Cette technique s'appuie sur trois (3) facteurs déterminants que sont : 1) la prévalence estimative des variables étudiées (accès à l'eau potable) ; 2) le niveau de confiance à 95 % et 3) la marge d'erreur acceptable de 5 %.

Sur cette base, la taille de l'échantillon a été déterminée selon l'équation (1) (Tia & Seka, 2015 ; Diabagaté *et al.*, 2016) :

$$N = \frac{T^2 * P(1-P)}{M^2} \quad (\text{Eq.1})$$

où

N = Taille d'échantillon requise ;

T = Niveau de confiance à 95 % (valeur type de 1,96) ;

P = Proportion des ménages du bassin versant enquêtés ayant accès à l'eau potable (25 % selon l'INS, 2014) ;

M = Marge d'erreur à 5 % (valeur type de 0,05).

La nécessité de fixer à l'avance une taille minimale d'échantillon est liée au besoin d'avoir une marge d'erreur déterminée à un certain niveau de confiance (Trudel & Antonius, 1991). Ainsi, un total de 384 ménages répartis dans 30 localités du bassin versant a été retenu pour l'enquête par questionnaire.

Les critères de sélection des localités sont basés sur l'accessibilité et la répartition spatiale homogène. Les localités enquêtées à cet effet sont présentées sur la figure 24.

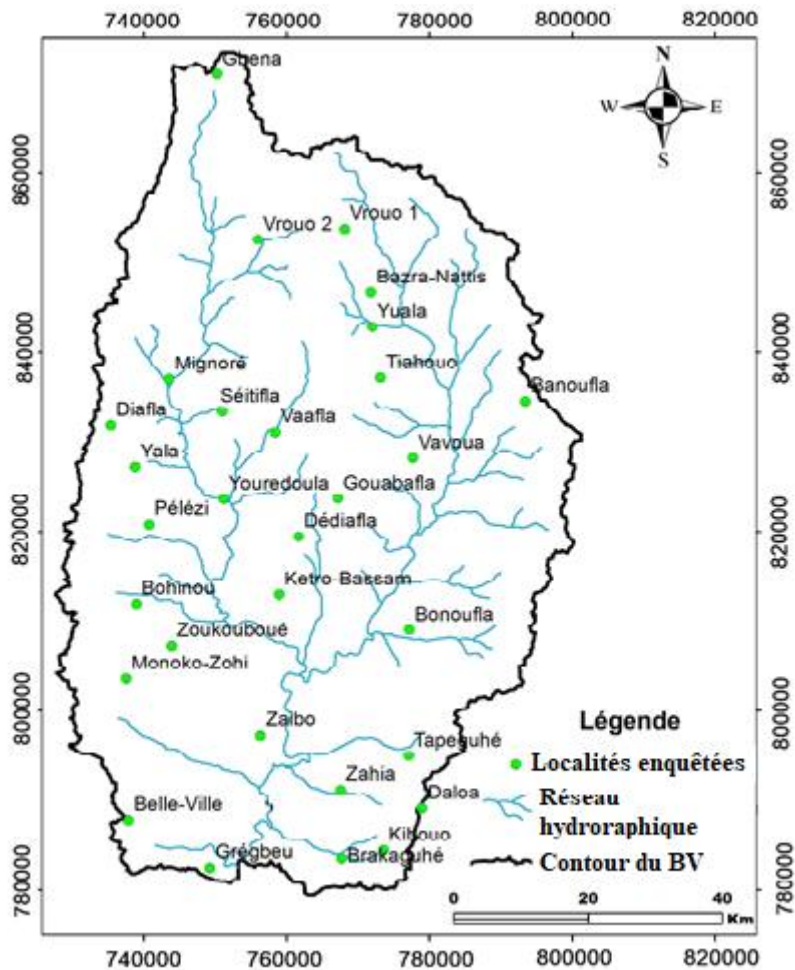


Figure 24 : Présentation des localités enquêtées

4-1-1-2- Enquête de terrain

L'objectif de l'enquête de terrain est d'identifier les différents usagers de l'eau et leurs modes d'approvisionnement. Ensuite, appréhender les relations entre ces usagers, leurs perceptions vis-à-vis des ressources en eau, de la gestion qui en est faite ainsi que les difficultés liées au coût d'approvisionnement.

Les guides d'entretien ont été orientés vers les structures étatiques intervenant dans le domaine de la gestion des ressources en eau et également auprès des ménages. Il s'agit notamment des Directions régionales de la Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) et de l'Hydraulique (DRH). Le secteur privé n'étant pas intégré du fait de l'absence de zone industrielle qui utiliserait une quantité importante des ressources en eau. L'enquête s'est déroulée du 25 mars au 14 avril 2019.

4-1-2- Evaluation des besoins en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

4-1-2-1- Besoins pour l'approvisionnement en eau potable

La demande en eau pour les usages domestiques est basée sur le rythme de croissance de la population et le choix d'une consommation spécifique. Il a été retenu une consommation spécifique de 65 l/hbt/j pour les zones urbaines et de 20 l/hbt/j pour les zones rurales (JICA, 2001). La demande domestique est estimée par l'équation (2) :

$$D_{dm} = C_s * N \quad (\text{Eq.2})$$

avec :

D_{dm} : demande en eau domestique (m³/an)

C_s : consommation spécifique (l/hbt/j)

N : population totale

4-1-2-2- Besoins en eau pour l'agriculture

Les besoins en eau dans le secteur de l'agriculture sont liés aux superficies cultivées. Les besoins théoriques en eau pour la riziculture irriguée sont de 20 000 m³/ha/an pour deux cycles (MINEF, 2003). Dans notre étude, seuls les besoins agricoles avec une maîtrise totale ou partielle d'eau ont été pris en compte.

Les surfaces irriguées ont été fournies par l'Office National du Développement de la Riziculture (ONDR, 2012) et les valeurs sont consignées dans le tableau IX.

Tableau IX : Surfaces rizicoles irriguées dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Sites agricoles	Superficies agricoles (ha)	Besoins théoriques (m ³ /ha/an)
Kibouo	60	20 000
Brakaguhé	97	
Yuala	163	
Daloo	130	

Les besoins en eau pour l'agriculture sont estimés par l'équation (3) :

$$D_{ir} = S * B_t \quad (\text{Eq.3})$$

avec :

D_{ir} : demande en eau pour l'irrigation (m³/an)

S : superficie totale irriguée (ha)

B_t : besoin unitaire du riz irrigué (m³/ha/an)

4-1-2-3- Besoins en eau pour l'élevage

Les besoins en eau du cheptel dépendent de l'espèce animale et de leurs consommations spécifiques.

Les consommations spécifiques ainsi que le cheptel correspondant sont consignés dans le tableau X.

Tableau X : Consommation spécifique du cheptel (JICA, 2020)

Cheptel	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Volailles
Consommation spécifique (l/tête/j)	25	5	5	7,5	0,1
Effectif du bétail	101 400	111 400	68 250	18 700	2 295 000

La demande en eau pour l'élevage s'obtient par l'équation (4) :

$$D_{el} = \sum E_i * B_t \quad (\text{Eq.4})$$

avec :

D_{el} : demande en eau pour l'élevage (m^3/an)

$\sum E_i$: effectif de bétail

B_t : besoin unitaire selon le type du bétail (l/tête/j)

Pour une gestion durable des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, il est impérieux de les évaluer dans le futur pour une meilleure utilisation et une planification adéquate.

4-2- Evaluation des ressources en eau actuelle et à l'horizon 2050 du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

4-2-1- Evaluation des ressources en eau actuelle du bassin versant

L'évaluation des ressources en eau superficielles et souterraines du bassin a été appréhendée dans cette partie. Ainsi, les ressources en eau superficielles ont été évaluées à travers la détermination du volume des retenues et de la simulation des débits à l'aide du modèle CEQEAU. L'évaluation des eaux souterraines a été réalisée à travers la détermination de la recharge.

4-2-1-1- Détermination du volume d'eau des différentes retenues

Des campagnes de terrain ont été effectuées sur les retenues des barrages hydro-agricoles de Kibouo et Brakaguhé respectivement le 27 et 28 octobre 2019 et le 23 août 2020 sur la retenue de Yuala (Figure 24). Celle effectuée sur la retenue de la SODECI s'est déroulée le 15 août 2020. Ainsi, ces différentes campagnes ont permis de réaliser des levés bathymétriques sur ces retenues. En effet, la bathymétrie consiste en la mesure de profondeur d'un plan d'eau par sondage et traitement des données correspondantes en vue de déterminer la configuration du fond. Ainsi, à l'aide d'un hors-bord, nous avons parcouru ces différentes retenues avec un échosondeur de type LOWRANCE ELITE 9Ti permettant d'enregistrer les différentes

profondeurs. L'échosondeur est muni d'un transducteur. Une fois dans l'eau, le transducteur émet des signaux acoustiques verticaux vers le fond de l'eau. Lorsque ces signaux rencontrent un obstacle (le fond), ils retournent au transducteur sous forme de signaux électriques qui sont captés, transformés et affichés par l'unité centrale sous forme de valeurs numériques. Les levés bathymétriques ont permis de réaliser les cartes bathymétriques à l'aide du logiciel ArcGis 10.2. La méthode d'interpolation retenue est l'IDW (Inverse Distance Weighting). Cette méthode s'appuie sur les trois points les plus proches au sein de la zone délimitée. Les levés bathymétriques ont été réalisés aussi bien dans le sens longitudinal que transversal.

Par la suite, il a été question de déterminer la profondeur moyenne de chaque retenue. Le logiciel ArcGis 10.2 a été également utilisé pour obtenir la superficie de chacune des retenues. Pour ce faire, une colonne est créée dans la table attributaire du fichier de forme. Après cela, un clic droit est effectué pour entrer dans l'onglet 'calcul de géométrie' en signifiant qu'il s'agit de la superficie et intégrer les coordonnées du fichier de forme. La profondeur moyenne et la superficie ainsi obtenues permettent de déterminer du volume de chaque retenue (Equation 5).

$$V = P_m * S \quad (\text{Eq.5})$$

avec :

V : Volume de la retenue (m³)

P_m : Profondeur moyenne de la retenue (m)

S : Superficie de la retenue (m²)



Figure 25 : Mesures bathymétriques sur la retenue de Yuala au nord du bassin versant

L'évaluation des écoulements de surface est réalisée à l'aide du modèle hydrologique CEQUEAU. Les variables climatiques et la dynamique de l'occupation du sol sont des facteurs qui influencent ces écoulements. Ainsi, est-il nécessaire de les prendre en compte dans l'évaluation des écoulements de surface.

❖ **Impacts des variables climatiques sur les écoulements**

La précipitation est le facteur climatique qui influence le plus les écoulements. De ce fait, ces derniers subissent l'influence de la fluctuation des précipitations qui constitue à long terme la cause principale de leur variabilité (Kone *et al.*, 2019).

En Côte d'Ivoire, la variabilité des précipitations s'est traduite par une alternance de périodes sèches et de périodes humides engendrant l'apparition de ruptures dans les séries pluviométriques mesurées (Kouakou, 2011). En effet, le pays a connu 4 périodes de sécheresse très marquées au cours du XX^{ème} siècle : l'année 1943 ; les années 1968-1970, les années 1982-1983 et les années 1993 (Brou, 2005). Ainsi, la baisse de la pluviométrie constatée depuis les années 1970 s'est poursuivie jusqu'à nos jours sur le bassin versant de la rivière Lobo (Koffi, 2022).

Les données de variables climatiques utilisées s'étendent sur la période 1988-2013. Cette période fait partie des 4 périodes sèches qu'a connu la Côte d'Ivoire. Il est donc impérieux de tenir compte de l'impact des précipitations dans l'évaluation des écoulements de surface du bassin versant.

❖ **Caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol**

L'étude de la dynamique de l'occupation du sol se fait nécessairement par l'acquisition et le traitement des images satellitaires. La figure 26 présente les différentes étapes du traitement des images satellitaires.

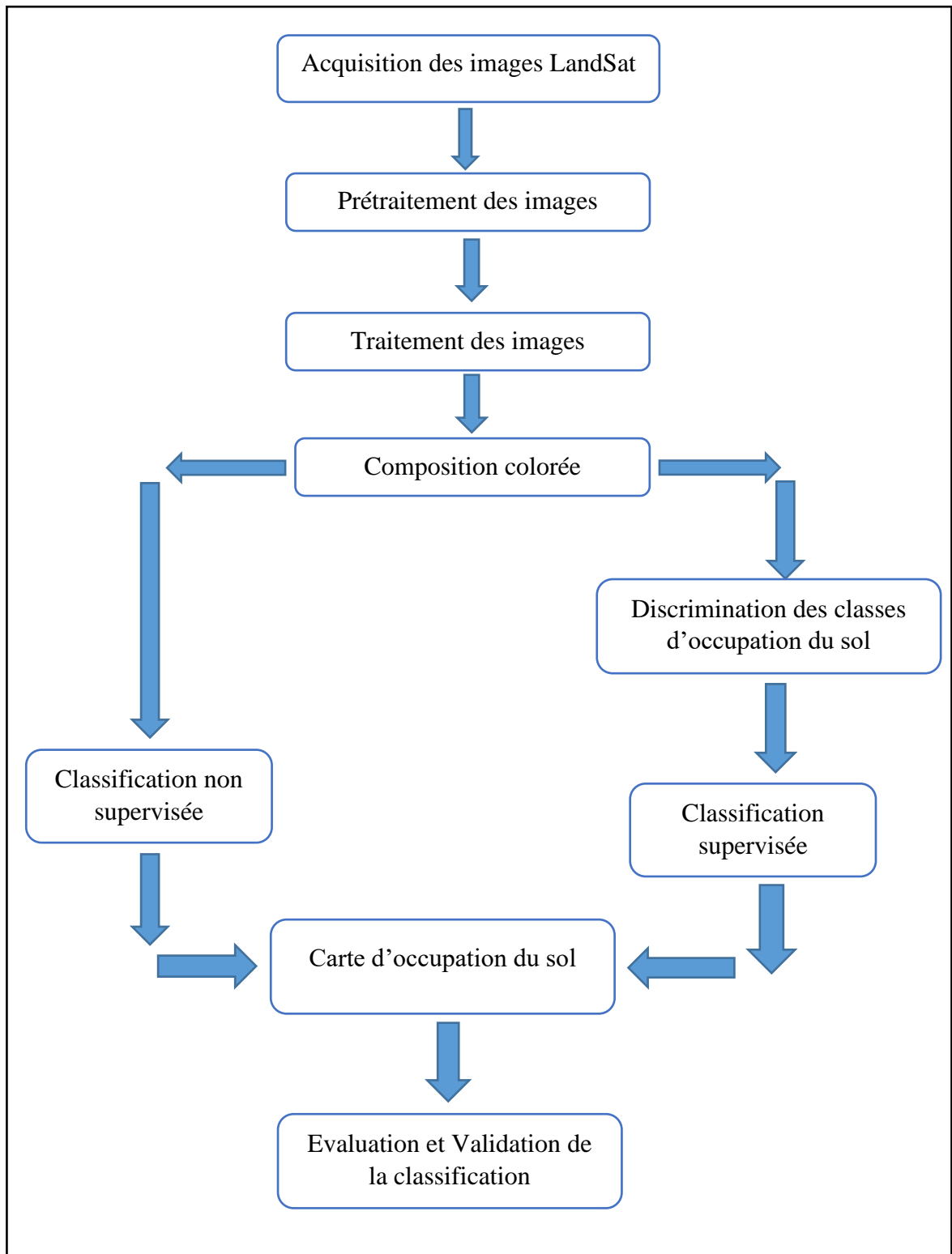


Figure 26 : Organigramme de l'étude de la dynamique de l'occupation du sol

✓ **Acquisition des images Landsat**

Les images Landsat TM et ETM+ ont été téléchargées sur le site USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

✓ **Prétraitement des images**

Le prétraitement des images a consisté en une correction géométrique et radiométrique des images dû aux capteurs. Mais cette opération a été effectuée par le CIGN (Centre d'Information Géographique et du Numérique) qui est la structure nationale chargée de l'établissement des cartes en Côte d'Ivoire. Les images utilisées présentent donc une qualité assez acceptable. Alors, dans le cadre de notre étude, cette étape a consisté à faire un assemblage des bandes, un mosaïquage (assemblage des images), et l'extraction de la zone d'étude.

- **Assemblage des bandes**

Les images téléchargées se trouvent dans des dossiers compressés. La première chose à faire, est de décompresser les dossiers. Chaque dossier comporte plusieurs bandes qui ont pour extension TIF. Pour procéder à des traitements, les bandes ont été empilées pour avoir une seule image multi bandes.

- **Mosaïquage**

La zone d'étude étant à cheval entre deux scènes d'image (197/055 et 198/055), une mosaïque (assemblage d'images) a été réalisée. Cette mosaïque consiste à compiler les scènes d'images afin d'obtenir une seule image recouvrant toute la zone d'étude. Elle a été réalisée grâce l'outil « Mosaic ».

- **Extraction de la zone d'étude**

La zone d'étude est extraite après la mosaïque à l'aide de l'outil Spatial Analyst Tools dans ArcGIS.

✓ **Traitement des images (composition colorée)**

La composition colorée a consisté à afficher simultanément à l'écran trois bandes d'images dans les canaux de base Rouge, Vert, Bleu tout en augmentant le contraste dans ces canaux pour une meilleure visibilité et faciliter l'extraction des informations. Cette opération permet l'interprétation sur la base de la connaissance du comportement spectral des différents types d'occupation du sol. Les bandes sont des bandes brutes multi-spectrales de Landsat. Les images Landsat TM et ETM+ sont composées respectivement de 5 et 8 bandes spectrales. Ces bandes conduisent à une grande possibilité de combinaisons pour une composition colorée. Finalement, la composition colorée des bandes 3-2-1 de Landsat TM et ETM+ a été utilisée dans ce travail parce qu'elle présente la meilleure discrimination des types d'occupation du sol.

✓ **Classification des images**

La classification d'une image consiste en une reconnaissance automatique des réflectances. En d'autres termes, elle consiste à assigner une classe particulière ou thème (par exemple végétation, eau, etc.) à chacun des pixels d'une image (Rasson *et al.*, 1990). Les deux méthodes de classification que sont la classification non supervisée et la classification supervisée ont été appliquées dans ce travail. La classification non supervisée a été effectuée en cliquant successivement sur les outils « classification, classification non supervisée et Iso Data ». Par la suite, le nom du contour du bassin versant est sélectionné, le choix du nombre de classe et l'ajout du nom du fichier sont effectués. Quant à la classification supervisée, elle a été réalisée à l'aide de la méthode du « maximum de vraisemblance » à travers le choix des parcelles d'entraînement de la zone d'étude. Cette méthode est très utilisée dans les classifications supervisées et est considérée comme la plus performante dans la production des cartes d'occupation du sol (Kangah, 2006). La sélection et la définition des classes d'intérêt sont nécessaires pour transformer avec succès les images satellitaires en information d'occupation du sol. Le choix de ces classes est fondé sur la mise en correspondance des informations sur les images et celles recueillies sur le terrain. Quatre catégories de classes ont ainsi été définies à partir d'une visite de terrain et des informations fournies par les images satellitaires (Tableau XI).

Tableau XI : Classes d'occupation du sol choisies pour la zone d'étude

Classes	Description
Eau	Lacs et rivières
Sols nus	Zones urbanisées, routes, les espèces ou le couvert végétal est absent
Forêt	Espaces couverts par la forêt dense et la forêt dégradée
Cultures	Les surfaces cultivées et les espaces ayant une végétation peu dense

✓ **Evaluation et validation de la classification**

L'évaluation de la classification est effectuée à partir de la matrice de confusion qui donne la précision du traitement (N'da, 2007). La diagonale de la matrice de confusion représente les pourcentages des pixels bien classés ; les valeurs de pourcentage hors de la diagonale, étant celles des pixels mal classés. La précision cartographique est l'expression de la validité du traitement ou le pourcentage de pixels bien classés pour un thème (indice de KAPPA). Plus,

cette valeur se rapproche de 100%, la classification est dite valide. La précision globale est le rapport entre le nombre total de pixels bien classés et le nombre total de pixels de l'image.

✓ **Dynamique de l'occupation du sol**

La dynamique de l'occupation du sol est appréciée par les variations spatio-temporelles des superficies des classes d'occupation du sol entre 1986 et 2019. L'analyse diachronique des images couvrant le bassin versant a permis de mieux apprécier la dynamique de l'occupation du sol.

Les changements à l'échelle globale ont été déterminés en ressortant les superficies des différentes unités d'occupation des terres pour chaque période. Cette détermination a été effectuée en générant les superficies des classes d'occupation du sol à partir des tables attributaires des images classifiées, grâce à l'outil « calculate geometry » du logiciel ArcGis. Les changements ont été déterminés sur les trois (3) périodes que sont : la période 1986-2000, la période 2000-2019 et la période 1986-2019. Une analyse approfondie basée sur l'évaluation des changements intervenus au sein de chaque unité d'occupation prise isolément fut faite à travers le calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale, couramment utilisé dans les études sur le changement d'occupation du sol (Mama & Oloukoi, 2003). Ce taux de changement s'évalue à partir de la formule de Bernier (1992) couramment employée pour mesurer la croissance des agrégats macroéconomiques entre deux périodes données.

Les taux de changement (Tc) des différentes classes d'occupation du sol sont ainsi donnés par l'équation (6).

$$TC = \frac{\ln S_2 - \ln S_1}{(t_2 - t_1) * \ln e} * 100 \quad (\text{Eq.6})$$

Avec S1 la surface d'une classe d'unité de surface à la date t1 ; S2 la superficie de la même classe d'unité de surface à la date t2 ; ln logarithme népérien ; e la base des logarithmes népériens (e = 2,71828).

L'analyse des valeurs du taux de changement montre que les valeurs positives indiquent une "progression" et les valeurs négatives, une "régression". Les valeurs proches de zéro indiquent que la classe est relativement "stable".

La caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol permettra de simuler le comportement hydrologique du bassin versant à l'aide du modèle hydrologique CEQUEAU qui exige l'intégration des cartes d'occupation du sol.

4-2-1-2- Evaluation des écoulements de surface à l'aide du modèle CEQUEAU

4-2-1-2-1- Présentation du modèle CEQUEAU

Le modèle hydrologique destiné à la simulation des débits sur le bassin versant de la rivière Lobo à Nibéhibé est le modèle hydrologique distribué CEQUEAU version 4.0 développé par l'INRS-EAU (Morin & Paquet, 2007). Le logiciel CEQUEAU est un modèle déterministe qui permet de simuler la quantité et la qualité de l'eau en rivière au pas de temps horaire ou journalier. L'obtention de meilleurs résultats de simulation demande de disposer de données à l'entrée du modèle fournies par l'utilisateur. Ces données sont qualifiées de non-préparées. Ainsi, après une phase de soumission aux modules de préparation (compilation des données) réussie, ces données préparées sont désormais aptes à poursuivre la chaîne de simulation. Aussi, selon le type de simulation, les données à l'entrée du modèle diffèrent. La simulation quantité prend en compte les données physiographiques, les données hydrométriques et météorologiques. La simulation quantité-qualité, en plus des données hydrométriques et météorologiques, elle dispose typiquement des données de qualité propre à elle.

Dans le cadre de ce travail, seul le volet relatif à la simulation de quantité de l'eau est abordé.

4-2-1-2-2- Mise en œuvre du modèle CEQUEAU sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

❖ Discrétisation du bassin versant

Il s'agit de découper (discrétiser) le bassin versant à l'aide du logiciel MapInfo en des unités élémentaires carrées appelées carreaux entiers. Ces carreaux entiers sont eux-mêmes subdivisés en carreaux partiels.

• Carreaux entiers

La première discrétisation du bassin versant est un ensemble de carreaux de mêmes dimensions appelées "carreaux entiers" (Figure 27). En application, cela se traduit par la superposition d'une grille délimitant les surfaces élémentaires ou mailles de même dimension à partir de la carte du bassin versant de la Lobo.

Le maillage considère des mailles carrées de 10 km de côté.

Les données physiographiques à déterminer pour chacun des carreaux entiers sont :

- le pourcentage de superficie recouverte par les lacs et les rivières ;
- le pourcentage de superficie recouverte par la forêt ;
- le pourcentage de superficie recouverte par les marais ;
- l'altitude du coin sud-ouest, en mètres.

Pour identifier les carreaux entiers, un repère orthonormé où l'abscisse est nommée I et l'ordonnée J est utilisé. On procède à la numérotation des mailles en prenant comme origine

($I=10, J=10$) avec I désignant l'axe des abscisses et J l'axe des ordonnées. Le point $(0 ; 0)$ n'est pas pris comme origine pour ne pas obtenir des coordonnées négatives si jamais des stations hors du bassin sont utilisées (Morin & Paquet, 1995).

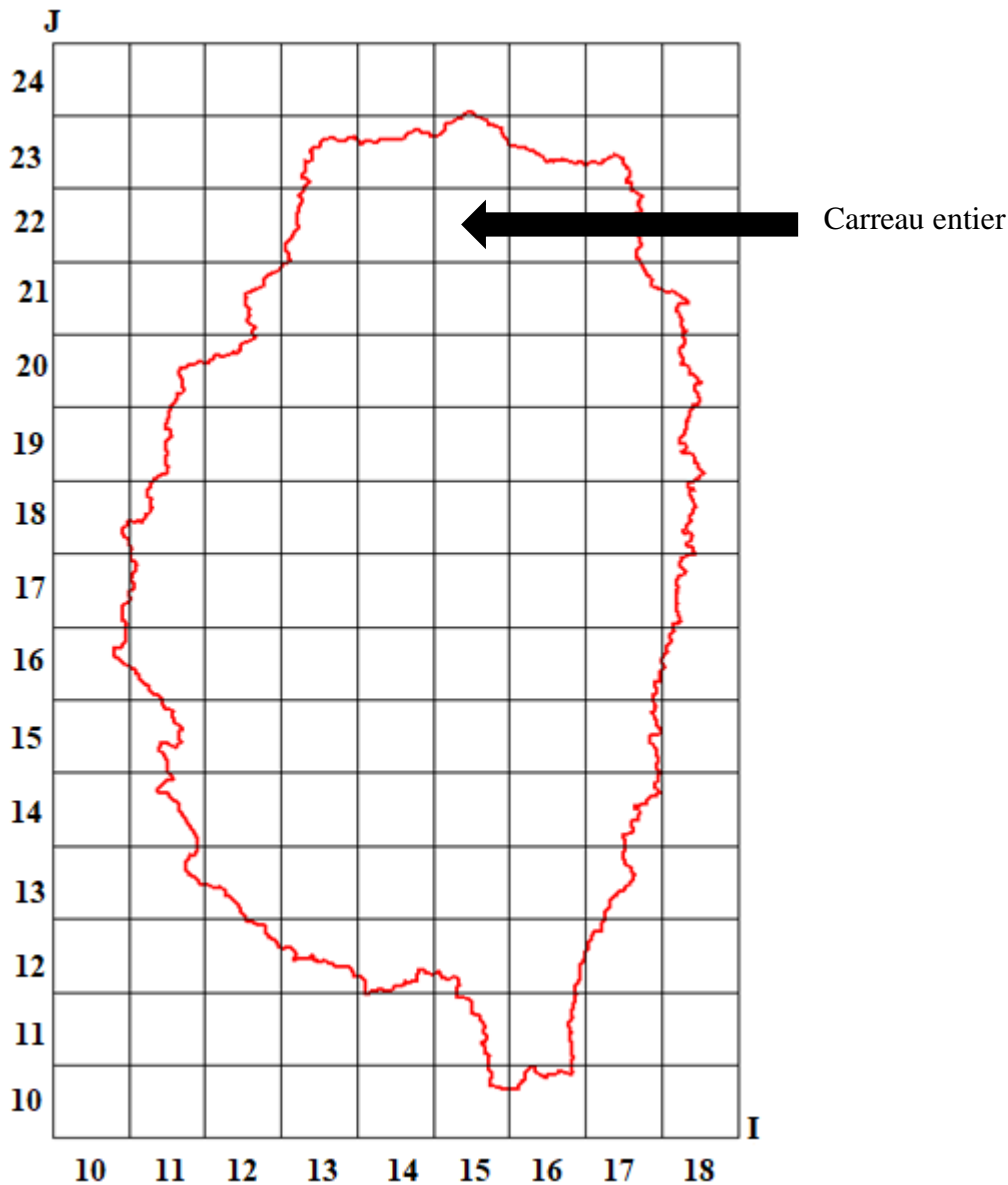


Figure 27 : Discretisation du bassin versant en carreaux entiers

- **Carreaux partiels**

Dans le but de représenter le sens de l'écoulement de l'eau sur le bassin versant, il est nécessaire d'effectuer un second découpage. Ainsi, chaque carreau entier de la première discrétisation est subdivisé par la ligne de partage des eaux en parcelles appelées "carreaux partiels". Le modèle CEQUEAU permet d'avoir quatre carreaux partiels au maximum à l'intérieur d'un carreau entier. En considérant les données topographiques telles que dénivelées du terrain, ruisseau, rivière, il est facile de déterminer dans quel sens s'écoule l'eau transitant sur un carreau partiel.

Le sens de l'écoulement est indiqué par une flèche qui va d'un carreau partiel à un autre. Le carreau partiel est identifié par les coordonnées I-J du carreau entier suivi d'une lettre, soit de A à D, puisqu'un maximum de quatre subdivisions est permis. L'ordre n'a pas d'importance. S'il existe un seul sens d'écoulement de l'eau sur le carreau entier (cas 1) figure 28, le découpage n'est pas nécessaire et on donne la lettre A à ce carreau entier qui est considéré comme partiel. Par contre, s'il y a plusieurs sens d'écoulement de l'eau sur le carreau entier (cas 2), le découpage en carreaux partiels devient alors nécessaire et ces derniers sont codifiés par des lettres A, B, C et D. Tous les carreaux partiels doivent avoir une lettre, même ceux en dehors du bassin versant.

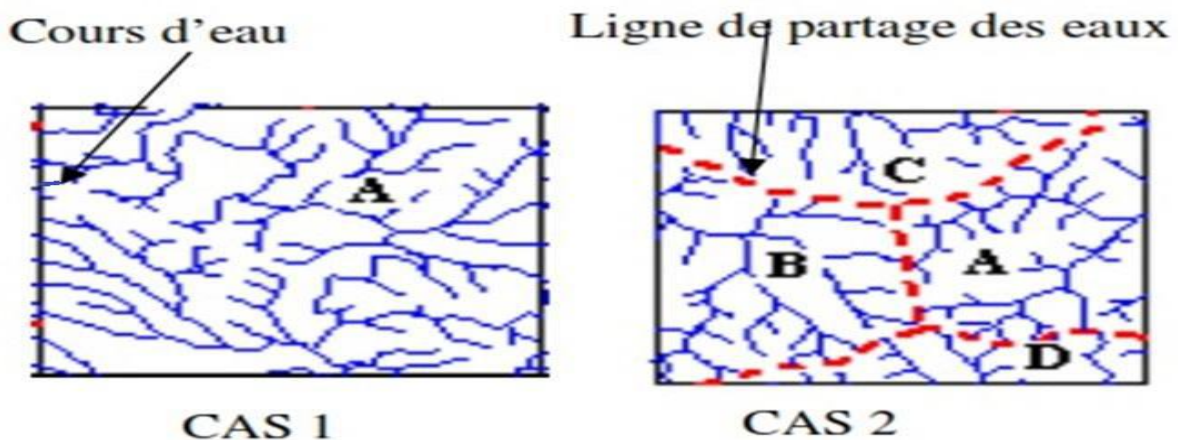


Figure 28 : Discretisation en carreaux partiels (Kouamé, 2017)

❖ **Préparation des données physiographiques et de bassin versant**

Pour faire fonctionner le modèle CEQUEAU, il faut d'abord préparer les données d'entrées parmi lesquelles, on a les données physiographiques (données générales des carreaux et celles du bassin), les données de températures, de pluies et de débits.

○ **Données physiographiques**

Les données nécessaires pour chaque "Carreau entier" sont :

- **Altitude aux nœuds des mailles**

La détermination des altitudes aux nœuds (coins) Sud-Ouest de chaque maille permet d'obtenir la répartition des altitudes dans le domaine étudié. Pour ce faire, une règle est utilisée :

- si le nœud se trouve sur une courbe de niveau, la côte de cette courbe lui est affectée.
- sinon, une interpolation linéaire de l'altitude est réalisée en tenant compte des deux (2) côtes des deux (2) courbes de niveau entre lesquelles se trouve le nœud.

- **Pourcentages de superficie des carreaux partiels**

La détermination des superficies des carreaux partiels se fait à l'aide du logiciel MapInfo. Le pourcentage de superficie d'un carreau partiel s'obtient en divisant la superficie de ce carreau partiel par celle du carreau entier.

- Sens d'écoulement

La détermination du sens d'écoulement d'une maille partielle à une autre permet de suivre le transfert de l'eau vers l'exutoire indiqué par l'intermédiaire de flèches (Figure 29).

Une règle est adoptée pour ce faire ; c'est qu'au niveau d'un même carreau partiel, il n'y a pas plus d'une flèche sortante. De plus, on ne peut avoir plus de cinq entrées dans un carreau partiel (critères d'exigence du modèle CEQUEAU).

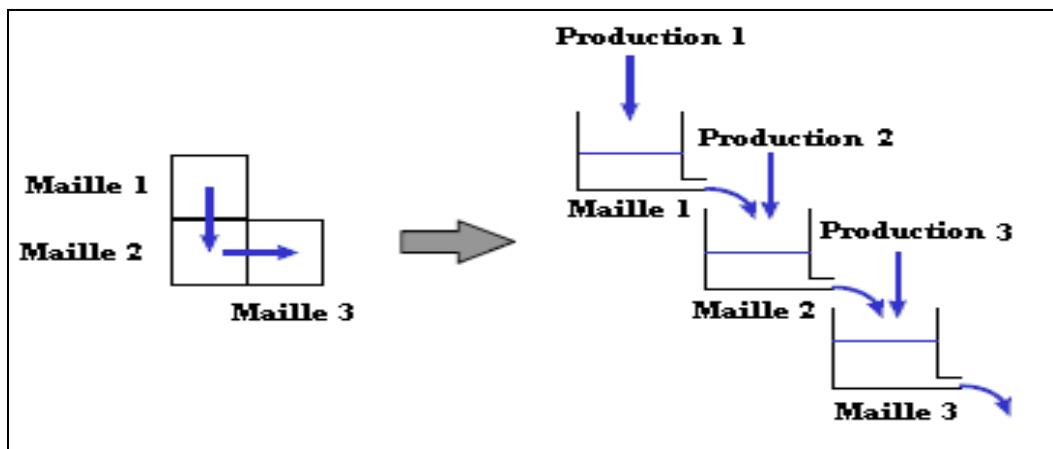


Figure 29 : Schématisation du transfert de l'eau d'une maille à l'autre (Morin & Paquet, 1995)

- Pourcentages des lacs et marais

Les informations sur les lacs et les marais ont été mentionnées à travers la valeur de 1% affectée à tout carreau entier sur lequel le lit principal est important.

- Pourcentages des forêts

Le pourcentage des superficies de forêts est déterminé à l'aide du logiciel MapInfo. Les différents types de végétation (forêt dense, forêt claire, savane arborée, savane herbeuse) sont pris en compte dans l'estimation de l'évapotranspiration et de l'infiltration.

o Données du bassin versant

Les données du bassin versant sont obtenues en repérant sur les cartes topographiques les coordonnées I et J et le code du carreau partiel (A, B, C, D) des stations ainsi que ceux de l'exutoire du bassin étudié. Les stations hydrométriques du bassin versant étudiées sont identifiées par leurs coordonnées I et J et le code du carreau partiel où elles se situent tandis que les stations météorologiques sont repérées avec I-J seulement. Pour en déterminer les coordonnées, les stations sont placées normalement sur le quadrillage. Les stations

hydrométriques et météorologiques sont représentées respectivement par les 5 et 6 derniers chiffres du numéro pour des raisons de commodité : les stations hydrométriques commençant par 10925 et les stations météorologiques par 1090. Par exemple, le numéro 01903 est utilisé pour la station hydrométrique N°1092501903 de Nibéhibé et 008000 pour la station météorologique N°1090008000 de Daloa.

❖ **Préparation des données hydrométriques et météorologiques**

En plus du fichier des données physiographiques préparées, les simulations nécessitent un fichier constitué des données hydrométriques et météorologiques préparées.

○ **Données hydrométriques**

Les données hydrométriques sont constituées de débits au pas de temps journalier exprimés en mètre cube par seconde (m^3/s). Ces données sont rangées sur un fichier Excel selon la disposition requise par le modèle CEQUEAU quant aux débits à savoir 45 lignes et 8 colonnes pour une année de simulation. Ensuite, ce fichier Excel est transformé en fichier texte et exporté dans le modèle pour les phases de préparation et simulation. Les données hydrométriques sont utilisées dans le modèle pour la vérification de la précision des simulations.

○ **Données météorologiques**

Les données météorologiques nécessaires au modèle au pas de temps journalier contiennent les informations suivantes :

- la température maximale de l'air en degré Celsius ;
- la température minimale de l'air en degrés Celsius ;
- la précipitation liquide en millimètres.

Toutes ces données ont été rangées sur un fichier Excel en 16 lignes et 24 colonnes pour une année de simulation. Ensuite, ce fichier est transformé en fichier texte et exporté dans le modèle CEQUEAU pour la préparation et la simulation.

4-2-1-2-3- Simulation des débits par le modèle CEQUEAU

La simulation des débits par le modèle CEQUEAU est réalisée à travers les fonctions de production et de transfert intégrées dans le modèle.

❖ **Fonction de production**

La fonction de production a pour but de représenter de manière simple, mais réaliste, les différentes voies que suivra l'eau entre le moment où elle atteint le sol et celui où elle rejoint la rivière. L'origine de l'alimentation en eau du bassin versant est dans notre cas la pluie.

L'eau provenant des pluies est immédiatement disponible pour les opérations de transformation conduisant aux débits. Quelle que soit l'origine de l'eau entrant dans un carreau, avant sa mise en disponibilité pour l'écoulement vers l'exutoire, elle sera soumise à divers processus qui

auront une influence directe sur la formation de l'onde d'écoulement. Ces processus sont schématisés dans le modèle CEQUEAU par la présentation du sol sous forme de réservoirs communiquant entre eux à l'aide de relations mathématiques reproduisant, à l'échelle journalière, les différents transferts de masse (figure 30). Il y a ainsi 3 réservoirs représentant : les lacs et marécages, le sol, la nappe. Le premier se déverse directement dans le réseau hydrographique. Le second présente une sortie vers le troisième. Les deux réservoirs sol et nappe peuvent se vidanger selon leur état de remplissage, à différents niveaux. Le bilan de ces réservoirs est fait à chaque pas de temps et sur chaque carreau entier, en fonction de la hauteur des orifices et des coefficients de vidange. Les hauteurs des orifices et les coefficients de vidanges des réservoirs sont déterminés lors de la calibration du modèle soit par essais et erreurs ou à l'aide du programme d'optimisation des paramètres.

Les paramètres intervenant dans CEQUEAU sont de trois types :

- les paramètres de dimension des réservoirs et de leurs orifices dont les valeurs seront déterminées par essai et erreur au cours de la phase de calage du modèle ;
- les paramètres déterminés selon la physique du phénomène (constant pour un bassin donné) ;
- les paramètres déterminés à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques.

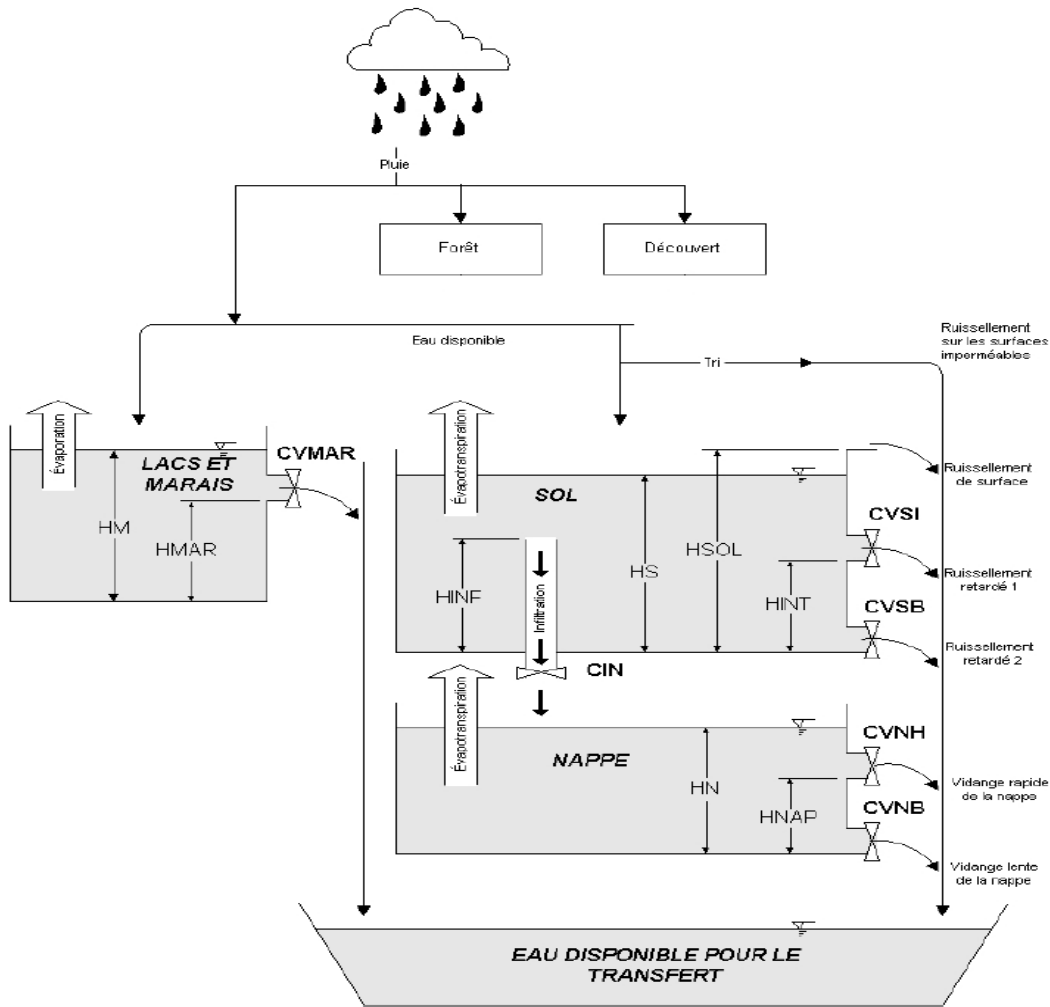


Figure 30 : Schéma de production du modèle CEQUEAU (Morin, 2002)

❖ **Fonction de transfert**

Le schéma de production décrit précédemment aboutit à l'obtention d'un volume d'eau sur chaque carreau entier, disponible pour le transfert en rivière. Ce transfert est effectué de carreau partiel à carreau partiel (Figure 31). Il n'y a pas de transfert souterrain.

Le volume d'eau disponible sur un carreau partiel est obtenu en multipliant le volume produit sur le carreau entier par le pourcentage de superficie du carreau partiel considéré. Ce volume est ajouté aux volumes entrant dans ce carreau depuis le ou les carreaux partiels directement en amont. Le volume résultant devient le volume disponible pour le transfert vers le carreau immédiatement en aval. Ce processus est répété de carreau en carreau jusqu'à l'exutoire.

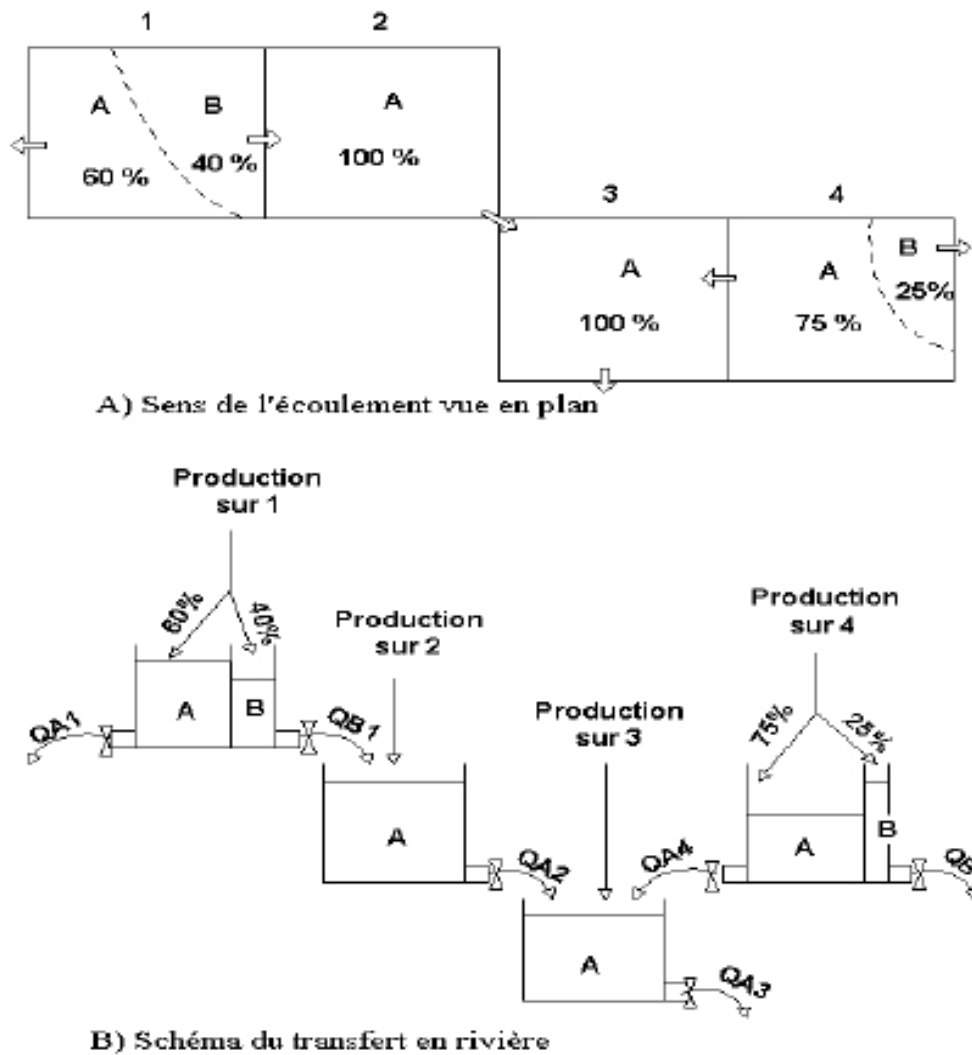


Figure 31 : Schématisation de la fonction de transfert (Morin, 2002)

4-2-1-2-4- Calage et validation du modèle

Les données de trois stations météorologiques (Daloa, Vavoua, Zuenoula) et une station hydrométrique (Nibéhibé) ont été utilisées. Les évaluations des paramètres du modèle sont faites par deux méthodes (la méthode par essais-erreurs et la méthode d'optimisation). Lors du calage du modèle, les deux méthodes utilisées ont permis à chaque simulation de définir la valeur optimale de chaque paramètre. Dans la pratique, lors d'un premier essai, les paramètres sont modifiés et les nouveaux résultats sont analysés. Ainsi, les paramètres sont modifiés jusqu'à l'obtention de résultats assez satisfaisants. Le calage du modèle CEQUEAU utilise trois à cinq années de données. Ainsi, le maximum d'années qui est de cinq a été utilisé et le calage du modèle s'est effectué sur la période (1988-1993). Dans le but d'estimer la fiabilité du modèle sur différentes périodes de l'étude, la validation a porté sur les périodes suivantes : 1994-2000, 2001-2007, 2008-2013, 1994-2013 et 1988-2013. Pour le premier essai, les valeurs des

paramètres de la simulation sur la rivière Lobo élaboré par Koffi (2022) sont utilisées comme support. La vérification de l'ajustement du modèle se fait par l'analyse des résultats numériques et graphiques. Le modèle génère pour chaque essai plusieurs fichiers qui servent à analyser les sorties à l'aide de critères numérique et graphique.

❖ Critères numériques

Pour la station hydrométrique (Nibéhibé) du bassin versant étudié, et pour les données de chaque année simulée, le modèle CEQUEAU compare les débits observés et calculés. Le modèle adopte le critère de Nash pour qualifier la précision des résultats (Nash & Sutcliffe, 1970) (Equation 7).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (\text{Eq.7})$$

avec :

$Q_{obs,i}$: débit observé pour le pas de temps i ;

$Q_{sim,i}$: débit simulé pour le pas de temps i ;

\bar{Q}_{obs} : moyenne des débits observés ;

$NS < 0,6$: le modèle est mauvais ;

$0,6 \leq NS < 0,8$: le modèle est satisfaisant ;

$0,8 \leq NS < 0,9$: le modèle est très satisfaisant ;

$NS \geq 0,9$: le modèle est excellent.

On peut également, avec les graphiques, obtenir les lames d'eau écoulées, en millimètres (mm) et les débits moyens journaliers ou mensuels, en mètre cube par seconde (m^3/s), observés et calculés.

❖ Critères graphiques

L'adéquation entre observations et simulations a été appréhendée à l'aide des graphiques. Il s'agit des hydrogrammes permettant l'analyse des simulations pour déterminer la précision des simulations des composantes spécifiques telles que les étiages, les crues, le synchronisme des débits calculés par rapport aux débits observés. Pour faciliter cette étude, CEQUEAU permet de produire différents graphiques à partir des débits observés et calculés, des données météorologiques et avec des données spatiales utilisées pour les simulations.

❖ Simulation des débits et lames d'eau entrants dans chaque retenue

Dans le but d'estimer le volume d'eau écoulé que pourrait mobiliser les retenues (Yuala, Kibouo, Brakaguhé et la prise d'eau de la SODECI), une station fictive a été intégrée au niveau

de chacune d'entre-elles afin de simuler les débits et les lames d'eau entrants pour une meilleure gestion de ces retenues.

Il faut souligner que les retenues de Yuala, Kibouo et Brakaguhé sont utilisées pour l'irrigation des superficies rizicoles. Quant à la prise d'eau de la SODECI, elle est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Daloa et environs.

Pour ce faire, il a été intégré dans le modèle CEQUEAU la surface drainée par chaque retenue, les coordonnées et le code du carreau partiel dans lequel se situe chacune de ces retenues.

Les débits observés n'existent pas, étant donné qu'il ne s'agit pas de stations hydrométriques réelles, mais plutôt des stations fictives intégrées à l'emplacement de chaque retenue. Cependant, le débit entrant dans chaque retenue et la lame d'eau sont simulés par le modèle CEQUEAU.

Le modèle étant déjà calé et validé à la station hydrométrique de Nibéhibé (station réelle avec des débits observés) donne la possibilité de simuler les débits et les lames d'eau à n'importe quel point du bassin où l'on désire avoir ces informations (débits et lames d'eau).

Ainsi, les lames d'eau connues, les volumes entrant dans chaque retenue sont établis à partir de l'équation (8) :

$$V_e = L_e * S \quad (\text{Eq.8})$$

avec :

V_e : Volume d'eau écoulé (m^3)

L_e : Lame d'eau écoulée (m)

S : Superficie drainée (m^2)

Les superficies drainées, les coordonnées et les codes des carreaux partiels de chaque station fictive sont consignés dans le tableau XII.

Tableau XII : Données physiographiques des stations fictives

Stations fictives	Superficie drainée (Km ²)	Coordonnées		Code du carreau partiel
		I	J	
Yuala	533	15	14	A
Kibouo	8	15	20	A
Brakaguhé	86	13	20	A
SODECI	5 190	14	21	A

Les descriptions des paramètres d'optimisation du modèle CEQUEAU sont consignées dans le tableau XIII.

Tableau XIII : Description des paramètres d'optimisation du modèle CEQUEAU (Morin, 2002)

Paramètres	Description
JOEVA	Variables décalant la date d'insolation potentielle maximale respectivement pour l'évapotranspiration et pour la neige
CVMAR	Coefficient de vidange du réservoir LACS et MARECAGES
CVNB	Coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange basse)
CIN	Coefficient d'infiltration du réservoir SOL au réservoir NAPPE
CVNH	Coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange haute)
CVSB	Coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange basse)
CVSI	Coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange intermédiaire)
XINFMA	Infiltration maximale par jour (mm/jour)
HINF	Seuil d'infiltration vers le réservoir NAPPE (mm)
HINT	Seuil de vidange intermédiaire du réservoir SOL (mm)
HMAR	Seuil de vidange du réservoir LACS et MARECAGES (mm)
HNAP	Seuil de vidange du réservoir NAPPE (mm)
HPOT	Seuil de prélèvement de l'eau à taux potentiel (mm)
HSOL	Hauteur du réservoir SOL (mm)
HRIMP	Hauteur de précipitation pour qu'il y ait ruissellement sur des surfaces imperméables (mm)
COEP	Coefficient de correction des précipitations avec l'altitude (mm/m/an)
EVNAP	Pourcentage d'évapotranspiration pris dans le réservoir NAPPE
TRI	Pourcentage de surface imperméable
XAA	Exposant de la formule de Thornthwaite
XIT	Valeur de l'index thermique Thornthwaite
XLA	Latitude moyenne du bassin versant
COET	Coefficient de correction des températures avec l'altitude (°C/1000 m)
HSINI	Niveau d'eau initial dans le réservoir SOL (mm)
HNINI	Niveau d'eau initial dans le réservoir NAPPE (mm)
HMINI	Niveau d'eau initial dans le réservoir LACS et MARAIS (mm)
Qo	Débit initial à l'exutoire du bassin versant (m ³ /s)
EXXKT	Paramètre d'ajustement du coefficient de transfert
ZN	Temps de concentration du bassin

4-2-1-3- Evaluation des ressources en eau souterraine

L'évaluation des eaux souterraines a été réalisée à travers la détermination de la recharge annuelle dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. En effet, Kouadio *et al.* (2022) ont estimé les recharges annuelles de 2019 et 2020 dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Pour ce faire, la recharge a d'abord été estimée par des méthodes basées sur l'analyse des hydrogrammes

fluviaux. Ensuite, la recharge directe a également été estimée par la méthode des fluctuations piézométriques à travers les cotes piézométriques de 32 forages repartis sur le bassin. Cette méthode est basée sur l'hypothèse qu'une élévation du niveau de la nappe phréatique dans un aquifère non confiné est due au fait que l'eau rechargée atteint la nappe phréatique. Elle nécessite des données sur le rendement spécifique et les variations des niveaux d'eau dans le temps. Enfin, les débits de base des stations hydrométriques de Sikaboutou et de Nibéhibé estimés par la méthode WHAT ont été combinés à la recharge directe afin d'obtenir la recharge annuelle.

4-2-2- Evaluation des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé à l'horizon 2050

L'évaluation des ressources en eau à l'horizon 2050 est influencée par les variables climatiques et la dynamique de l'occupation du sol. Il est donc nécessaire de connaître le modèle climatique représentant le mieux l'évolution du climat de la zone d'étude ainsi que la dynamique de l'occupation du sol afin de refléter les écoulements réels sur le bassin versant.

4-2-2-1- Choix du modèle climatique

La caractérisation des changements climatiques consiste à analyser les taux de variations des paramètres (précipitations et températures) simulés par le modèle climatique sur une période de référence déjà vécue (1986-2005) et un horizon futur (2030-2050). Les paramètres de projection climatique du modèle CCLM4-8-17 sous les scénarii RCP4.5 et RCP8.5 ont été retenus pour cette étude. Notre choix s'est porté sur les scénarii RCP4.5 et RCP8.5, car ils sont les plus plausibles dans le bassin versant du fait de la croissance rapide de la population et de l'émission des gaz à effet de serre. Les données climatiques (précipitations et températures) utilisées sont celles des stations de Daloa, Vavoua et Zuénoula. En effet, selon Koffi (2022) le modèle climatique CCLM4-8-17 est celui qui reproduit le mieux possible le climat sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé avec un taux d'erreur relative estimé à -29,27% (Daloa), -09,51% (Vavoua) et -27,70% (Zuénoula). Il est suivi dans cet ordre par le modèle climatique régional RACMO22T avec une erreur relative de simulation évaluée à -35,81% (Daloa), -29,11% (Vavoua) et -39,34% (Zuénoula). Le modèle climatique régional RCA4 ferme la marche avec une erreur relative de simulation très significative de -64,41% (Daloa), -55,55% (Vavoua) et -60,40% (Zuénoula) qui fait de lui un modèle peu fiable pour l'étude des phénomènes des changements climatiques dans le bassin versant la Lobo à Nibéhibé.

4-2-2-2- Dynamique de l'occupation du sol à l'horizon 2050

La dynamique de l'occupation du sol est appréciée par les variations spatio-temporelles des superficies des classes d'occupation du sol entre 2019 et 2050. L'analyse diachronique des images couvrant le bassin versant a permis de mieux apprécier la dynamique de l'occupation du sol. Kouassi *et al.* (2020) ont utilisé la combinaison d'automates cellulaires (CA) et du modèle de Markov (CA-Markov) afin de simuler les changements d'occupation et d'utilisation des sols dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé à l'horizon 2050. Ce modèle (combinaison d'automates cellulaires et chaînes de Markov) a été choisi pour ses performances et le fait qu'il a été appliqué avec succès à de multiples reprises dans les régions tropicales. De plus, ce modèle combine des chaînes de Markov, des Evaluations Multicritères (EMC) et des automates cellulaires.

La performance du modèle est définie par les différents critères de Kappa. Ainsi, le Kappa de localisation ($K_{\text{Localisation}}$) exprime la capacité du modèle à prédire la localisation des changements. L'indice de concordance Kappa Standard (K_{Standard}) quantifie le niveau de concordance entre les cartes simulées et les cartes de référence. Enfin, le Kappa pour l'absence d'information (K_{Non}) définit la précision globale de la simulation. Lorsque les trois Kappa sont égaux à 1, cela indique une simulation parfaite (Pontius, 2000).

Une analyse approfondie basée sur l'évaluation des changements intervenus au sein de chaque unité d'occupation prise isolément a été faite à travers le calcul du taux moyen annuel d'expansion spatiale, couramment utilisé dans les études sur le changement d'occupation du sol (Mama & Oloukoi, 2003). Ce taux de changement s'évalue à partir de la formule de Bernier (1992) couramment employée pour mesurer la croissance des agrégats macroéconomiques entre deux périodes données.

Les taux de changement (T_c) des différentes classes d'occupation du sol sont ainsi donnés par l'équation (9).

$$T_c = \frac{\ln S_2 - \ln S_1}{(t_2 - t_1) * \ln e} * 100 \quad (\text{Eq.9})$$

Avec S_1 la superficie d'une classe d'unité de surface à la date t_1 ; S_2 la superficie de la même classe d'unité de surface à la date t_2 ; \ln logarithme népérien ; e la base des logarithmes népériens ($e = 2,71828$).

4-2-3- Lames d'eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé face aux changements climatiques et à la dynamique de l'occupation du sol

✓ Simulations des lames d'eau futures

Les données climatiques (températures journalières minimales et maximales, et précipitations journalières) de la station synoptique de Daloa et des stations pluviométriques de Vavoua et Zuénoula aux périodes de simulation (2021-2040) et (2041-2060) ont été intégrées dans le modèle CEQUEAU. Il s'agit des paramètres climatiques du modèle CCLM4-8-17 sous les scénarii RCP4.5 et RCP8.5. De même, la surface drainée par chaque retenue, les coordonnées et le code du carreau partiel dans lequel se situe chaque retenue ont été insérés dans le modèle pour l'intégration des stations fictives. La carte d'occupation du sol de 2030 a été intégrée dans la simulation de la période (2021-2040) et la carte d'occupation du sol de 2050 a été intégrée dans la simulation de la période (2041-2050).

Pour une planification à long terme des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, il est indispensable d'évaluer les demandes en eau des différents usagers. Cette évaluation permettra d'analyser l'impact des usages sur les ressources en eau afin de trouver des mesures alternatives et combler les demandes en eau non satisfaites des différents usagers.

4-3- Modélisation de l'allocation des ressources en eau

Le modèle hydrologique WEAP a été utilisé à cet effet.

4-3-1- Modélisation avec le modèle WEAP

4-3-1-1- Description du modèle WEAP

WEAP ou « *Water Evaluation and planning System* » (ou Système d'Evaluation et de Planification des Ressources en Eau) a été mis en place par les chercheurs Jack Seiber, Chris Swartz et Annette Huber (SEI, 2008). C'est un outil de planification intégrée des ressources en eau. Il vise l'incorporation des projets de distribution d'eau dans le contexte des questions de la demande, la qualité de l'eau et de la préservation des écosystèmes dans un contexte de planification des ressources en eau. De plus, il permet de traiter une large gamme de questions telles que :

- les relations entre les différents usagers des ressources en eau ;
- la gestion des ressources en eau ;
- le droit à l'eau et les priorités d'allocation ;
- la simulation des eaux souterraines et de surface ;
- la gestion des retenues ;
- la production d'énergie hydraulique ;
- le suivi des caractéristiques physico-chimiques et des pollutions ;
- les exigences des écosystèmes ;
- les mesures de vulnérabilité ;
- les analyses bénéfice - coût des projets.

4-3-1-2- Approche WEAP

Le système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) se distingue par son approche intégrée de la simulation des systèmes d'approvisionnement en eau et par son orientation politique à travers la mise en place de plans de gestion. Opérant avec les principes de base de l'offre et la demande, WEAP est applicable aux systèmes municipaux et agricoles, à des zones de planification uniques ou à des hydrosystèmes complexes à limites étendues. La structure des données et le niveau de détails peuvent être facilement personnalisés pour atteindre les exigences d'une analyse particulière et pour refléter les limites imposées par des données restreintes (Tutorial WEAP, 2008).

Les applications de WEAP incluent généralement plusieurs étapes. La définition de l'étude qui identifie la période de simulation, les limites spatiales, les composantes du système et la configuration du problème. L'état actuel, qui peut être considéré comme une étape de calage dans l'élaboration d'une application, fournit une vue instantanée de la demande en eau actuelle, des ressources et des fournitures pour le système. Les hypothèses de base doivent être construites dans cet état actuel pour représenter les facteurs qui affectent la demande en eau. Les Scénarios sont construits sur la base de l'état actuel. Ils permettent d'explorer les impacts d'hypothèses alternatives ou des politiques sur la disponibilité et l'usage de l'eau dans le futur.

4-3-2- Application du modèle WEAP au bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

L'application de WEAP a suivi les étapes suivantes :

- la création du projet ;
- la création du compte courant ;
- l'élaboration des hypothèses de prévision de la demande en eau ;
- la création des scénarii.

4-3-2-1- Création du projet

La première étape est la création du nouveau projet. Ensuite, la définition des limites de la zone d'étude a été réalisée en important le contour du bassin versant et le réseau hydrographique sous fichier vecteur à partir du logiciel ArcGIS comme couche du fond dans le logiciel WEAP 21. Enfin, les éléments importés (contour du bassin versant et réseau hydrographique) ont servi de couche de fond pour l'emplacement de la rivière, des sources d'eaux souterraines, des retenues et sites de demande. Ces composantes aussi appelées nœuds sont des objets prédéfinis dans WEAP et qui regroupent les sites de captage et de demande d'eau ainsi que les liaisons de transmission et retour.

❖ Création des sites de demande en eau

C'est dans cette étape que l'on dessine les éléments articulateurs de la modélisation tels que : la rivière, les sites de demande, la connexion du site avec une alimentation (rivière ou eau souterraine), liaison de débit de retour, etc. Cette étape est appelée la numérisation des éléments. Les sites de demande ainsi créés sont : les sites urbains et ruraux des départements de Daloa, Vavoua et Zoukougbeu, les sites agricoles (Kibouo, Brakaguhé et Yuala) et les sites d'élevage (Daloa, Vavoua et Zoukougbeu). Pour tous ces sites de demande, il a été entré le niveau d'activité annuelle, la consommation annuelle et le taux de consommation.

✓ **Priorités d'approvisionnement**

La modélisation de la demande en eau étant basée sur les priorités de distribution, l'allocation de la ressource a été orientée suivant le tableau XIV, en temps de déficit. En effet, un site de priorité « 1 » (grande priorité) signifie que l'allocation de la ressource sera orientée prioritairement vers celui-ci en temps de déficit. Les priorités de distribution sont ainsi affectées en fonction de l'importance du site de demande.

Tableau XIV : Priorités d'allocation de l'eau

Usages	Priorités
Agriculture	3
Elevage	2
AEP	1

❖ **Création des sites de captage**

La création des sites de captage suit les mêmes étapes que celui des sites de demande. Ainsi, les sites de captage créés sont : les retenues de Kibouo, Brakaguhé, Yuala, de la SODECI et les sites de prélèvement des eaux souterraines.

4-3-2-2- Création du compte courant

L'élaboration du compte courant permet le calage du modèle. Ainsi, l'année de base pour cette étude est 2021. Cette année prise comme l'année de début de la simulation représente l'état actuel pour toutes les informations sur le système, avec un pas de temps annuel.

A la suite de la création du compte courant, on projette les simulations jusqu'en 2050.

4-3-2-3- Hypothèse de prévision de la demande en eau à l'horizon 2050

Les hypothèses clés sont des variables définies qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons six hypothèses clés. Ce sont l'utilisation unitaire de l'eau domestique urbaine et rurale, le besoin unitaire en eau d'irrigation, l'utilisation unitaire

en eau du cheptel, la variation mensuelle d'eau domestique et le taux d'accroissement de la population.

Ainsi, la création d'hypothèse de prévision a-t-elle pour objectif d'estimer la demande future en eau afin d'adapter le système de gestion des ressources en eau. L'approche méthodologique consiste en une démarche simple : la description de la situation actuelle afin de dessiner les contours de son évolution future. Selon SMC (2011), pour les projections des besoins en eau, une échéance de 10 à 20 ans semble adéquate pour prévoir l'évolution quantitative des ressources en eau. Cependant, cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet qui fait une projection à l'horizon 2050. Ainsi, cet objectif du projet a permis de choisir l'année de projection de cette étude qui est l'horizon 2050.

Les six hypothèses ainsi créées se regroupent en trois prévisions de demande en eau. A savoir :

❖ **Prévision de la demande en eau potable**

La demande en eau pour les usages domestiques (besoin de la population) est basée sur le rythme de croissance de la population et le choix d'une consommation spécifique. Il a été retenu une consommation spécifique de 65 l/hbt/j pour les populations en zones urbaines et de 20 l/hbt/j pour les populations en zones rurales (JICA, 2001). L'approvisionnement des populations urbaines en eau potable se fait par l'hydraulique urbaine et par hydraulique villageoise (HV) ou hydraulique villageoise améliorée (HVA) pour les populations en zones rurales. Selon INS (2021), le taux d'accroissement est de 2,50% dans la région du Haut-Sassandra au sein de laquelle se trouve le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Pour les projections, le taux d'accroissement démographique a été calculé selon l'équation (10) :

$$\alpha = \left(\left(\frac{P_n}{P_0} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right)} - 1 \right) * 100 \quad (\text{Eq.10})$$

avec :

α : taux d'accroissement ; n : nombre d'années ($n = P_n - P_0$) ; P_n : population de l'année projetée ; P_0 : population de l'année initiale.

❖ **Prévision de la demande en eau d'irrigation**

Les surfaces rizicoles dans le bassin versant de la rivière Lobo vont augmenter, étant donné que la région présente encore beaucoup de surfaces cultivables. Ainsi, l'hypothèse clé « besoin unitaire en eau d'irrigation » a été ajoutée pour refléter l'évolution de la situation agricole du bassin pour les années à venir. Cette hypothèse clé a été appliquée sur la base de la référence (2021-2050). Pour les périmètres rizicoles irrigués, l'évolution de la demande en eau est basée sur les prévisions de croissance de l'ONDR (2012). Ce taux d'accroissement est de 4 % avec

un ratio de 20 000 m³/ha/an. Les besoins en eau d'irrigation sont obtenus à l'aide de l'équation (11) :

$$B_y = B_x * (1 + t)^n \quad (\text{Eq.11})$$

avec :

By : besoin en eau pour l'année y ; Bx : besoin en eau pour l'année x (année de base) ; t : taux d'accroissement ; n : nombre d'années comptés à partir de l'année de base, n = y - x.

❖ **Prévision de la demande en eau pour l'élevage**

Les prévisions du Ministère de la Production Animale et des Ressources Halieutiques (MPARH) pour toute la période de 2000 à 2021 sont de 2,25% de croissance annuelle dans la Région du Haut-Sassandra. Ce même taux sera retenu pour la période 2021-2050 et permettra de simuler la demande en eau pour le secteur de l'élevage dans le scénario de référence (SR).

4-3-2-4- Création de scénarii

❖ **Scénario de référence**

Dans cette étude, l'année du compte courant est 2021. Ainsi, les taux de croissance, ratio de consommation pour l'AEP, l'agriculture et l'élevage sont maintenus constants sur toute la période de simulation (2021-2050). De même que pour les ressources en eau. Ce scénario servira de base de comparaison pour les autres scénarii qui seront par la suite créés en simulant d'éventuels changements qui pourraient affecter les sites de demande en eau. Le scénario de référence est un scénario hérité du compte courant du fait de l'architecture adoptée par le modèle WEAP.

❖ **Scénario de faible taux de croissance démographique**

A partir des taux d'accroissement de 1975 à 1998 et de 1998 à 2021 (INS, 2021), un rapport a été établi afin d'estimer le plus faible taux d'accroissement qui est de 0,33%. Ce scénario permet d'évaluer l'impact d'un tel accroissement sur la demande en eau domestique et est hérité du scénario de référence.

❖ **Scénario de fort taux de croissance démographique**

Ce même rapport a été établi à partir des taux d'accroissement de 1975 à 1998 et de 1998 à 2021 (INS, 2021) pour estimer le fort taux d'accroissement qui est de 4,85% afin d'évaluer l'impact d'un tel accroissement sur la demande en eau domestique. Ce scénario est hérité du scénario de référence.

❖ **Scénario relatif à l'amélioration du niveau de vie**

Selon les projections à l’horizon 2050, il a été affecté aux différents sites de demande pour l’AEP (urbain et rural) des consommations spécifiques respectives de 100 l/hbt/j et 25 l/hbt/j afin d’évaluer l’impact d’une telle consommation sur la demande en eau domestique. Ce scénario est hérité du scénario de référence.

❖ **Scénario relatif au changement climatique**

Le scénario relatif au changement climatique est un moyen pour prendre en considération les variations de données climatiques (la pluviométrie et la température) dans le modèle WEAP à travers les analyses des scénarii. Il s’agit d’intégrer les débits simulés avec les données climatiques du modèle CCLM4-8-17 dans le modèle WEAP. Ce scénario permet d’évaluer l’impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau.

La méthodologie employée pour l’utilisation du logiciel WEAP est résumée dans la figure 32.

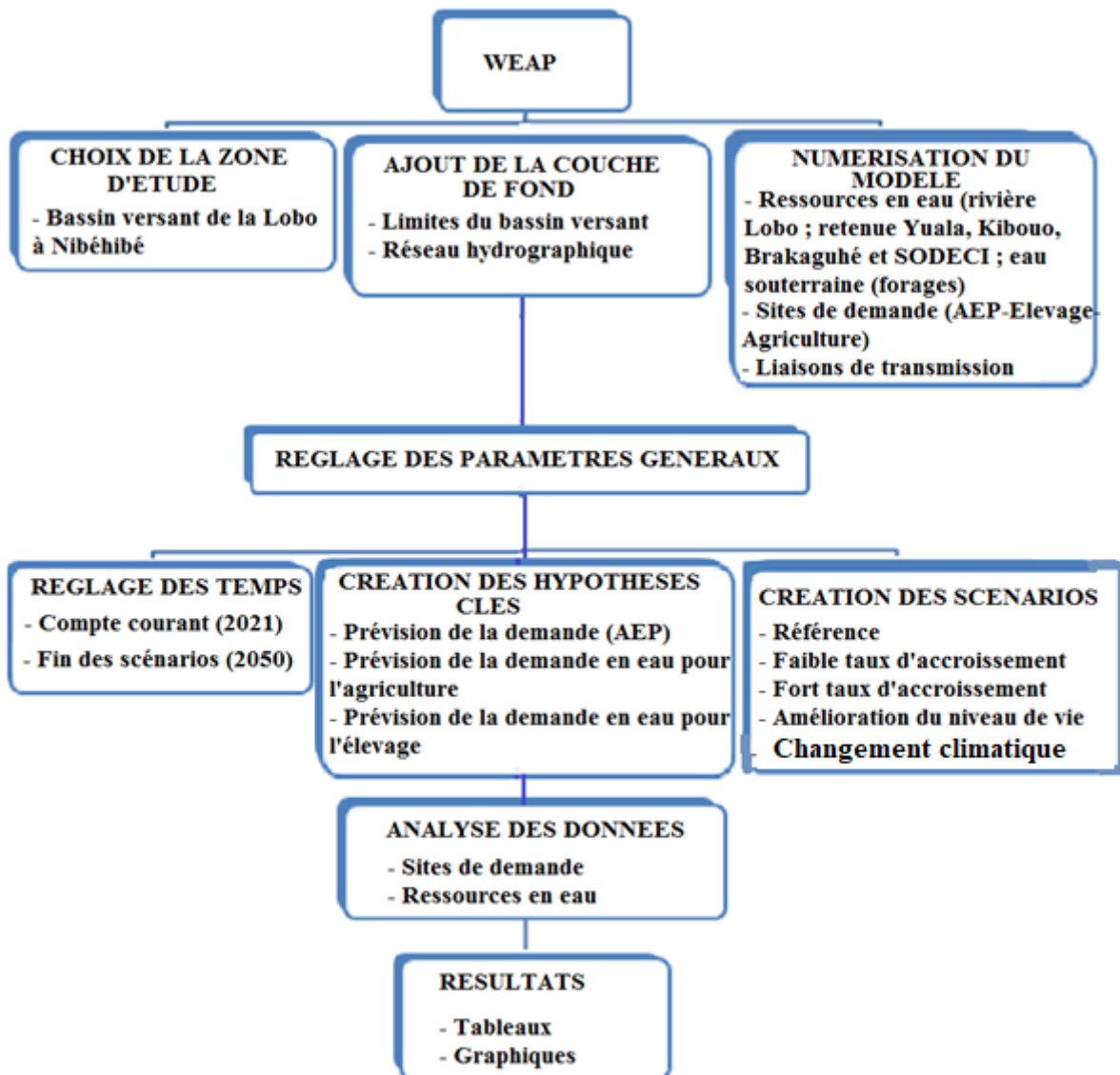


Figure 32 : Organigramme du fonctionnement du modèle WEAP

Conclusion partielle

Le diagnostic actuel de la gestion des ressources en eau a consisté d'abord à l'identification des usagers et des conflits d'usage des ressources en eau à travers une enquête. Ensuite, des formules empiriques ont été utilisées pour évaluer les besoins en eau des usagers (Approvisionnement en eau potable, agriculture et élevage).

L'évaluation des ressources en eau actuelle dans un premier temps a consisté à déterminer le volume d'eau des différentes retenues présentes sur le bassin versant (Kibouo, Brakaguhé, Yuala et SODECI) à travers la caractérisation de leur morphologie. Par la suite, les lames d'eau de surface ont été évaluées à l'aide du modèle hydrologique CEQUEAU.

Quant à la recharge, elle a été déterminée à travers la méthode de la fluctuation piézométrique. Dans un second temps, l'évaluation des ressources en eau à l'horizon 2050 a consisté à la détermination des débits entrants dans les retenues à l'aide du modèle hydrologique CEQUEAU en intégrant les variables climatiques ainsi que la dynamique de l'occupation du sol.

Enfin, à travers son principe de l'équilibre des ressources en eau avec les demandes en eau des différents usagers, le modèle WEAP a été utilisé pour la modélisation de l'allocation des ressources en eau.

Toute cette démarche méthodologique a permis d'obtenir les résultats qui font l'objet de la troisième partie de ce travail.

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 5 : INVENTAIRE ET GESTION ACTUELLE DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO A NIBEHIBE

5-1- Usagers de la ressource en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

L'enquête de terrain dans le cadre de cette étude sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé a permis d'enregistrer différents usagers de la ressource en eau à savoir : les acteurs culturels et économiques.

5-1-1- Acteurs culturels des ressources en eau dans le bassin versant

Les populations autochtones s'approprient les ressources en eau qui leur rendent pour la plupart des services de protection. Aussi, sont-elles des milieux pour les consultations dans le cadre de l'obtention de certaines bénédictions et même des pratiques sont faites avec ces eaux pour la grâce de l'enfantement. À cet effet, l'eau devient une ressource naturelle qui fait partie intégrante de la culture des peuples Autochtones. Ces acteurs culturels représentent 19 % des usagers de la ressource. Le peuple Bété faisant partie des acteurs culturels considère l'eau comme source de vie. Cette substance est à la base de toute existence au niveau des êtres vivants. Il y a également les autochtones Gouro, Niamboua et Niédeboua, pour qui l'eau fait partie également des us et coutumes. Ainsi, ces différents peuples deviennent-ils les acteurs culturels exclusifs de la ressource en eau dans le bassin versant de la Lobo.

5-1-2- Acteurs économiques des ressources en eau dans le bassin versant

Ce groupe d'acteurs est celui des exploitants dans un but commercial et de recherche d'un profit économique sur la ressource en eau et représente 81 % des usagers de la ressource. La figure 33 présente les proportions d'utilisation des ressources en eau par les différents acteurs.

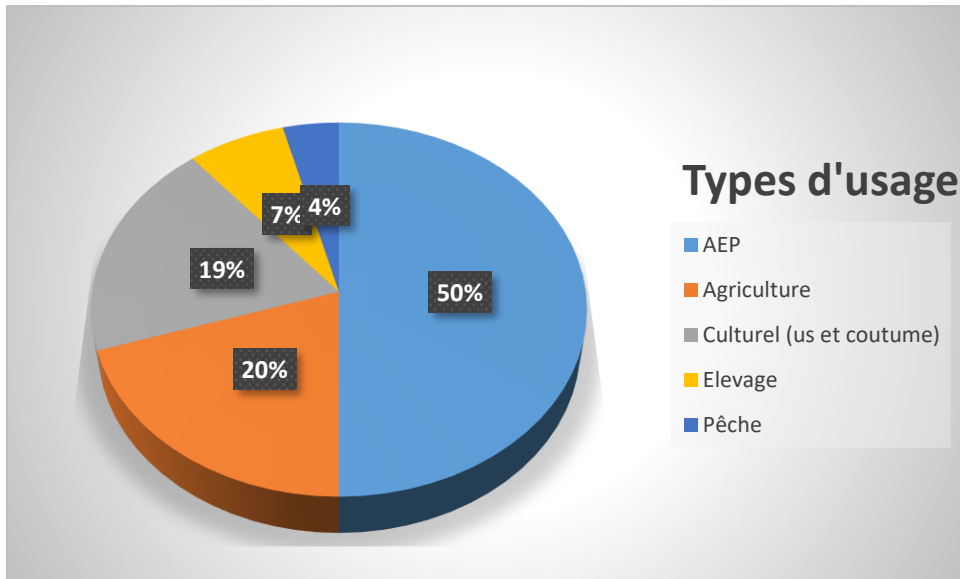


Figure 33 : Proportion d'utilisation des ressources en eau par les différents acteurs

En premier lieu nous avons la Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire (SODECI) qui exploite la rivière TCHRATO (Lobo) pour l'approvisionnement en eau potable destinée aux populations de la commune de Daloa et environs. En second lieu, nous avons les agriculteurs qui utilisent les retenues hydro-agricoles pour l'irrigation des surfaces rizicoles ainsi que des cultures maraîchères (Figure 34 a et b) et les éleveurs pour l'abreuvement du bétail. Enfin, à ces groupes d'acteurs s'ajoutent les pêcheurs venus de la sous-région plus précisément du Mali et communément appelés « pêcheurs Bozo » qui utilisent ces ressources pour leurs activités de pêche.

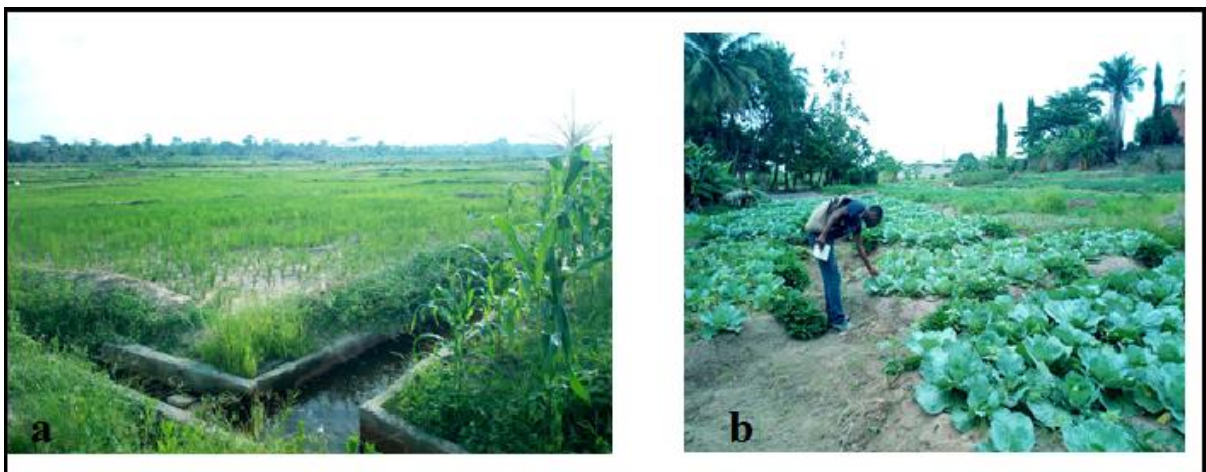


Figure 34 : a) Surface rizicole à partir de la retenue hydro-agricole de Brakaguhé ; b) Cultures maraîchères à Daloa quartier Savonnerie

5-2- Perception des acteurs face à la ressource en eau

Une gestion durable des ressources en eau ne peut se faire sans la participation de tous. Par ailleurs, cette gestion ne peut également se faire avec pertinence dans l'ignorance et le mépris des cultures propres à chacun des groupes sociaux et économiques concernés. Ainsi, convient-il d'appréhender la perception des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé afin de définir les stratégies d'une gestion optimale.

5-2-1- Perception des usagers culturels de la ressource en eau

Les autochtones principalement les Bété, Yandeboua, Niamboua et Gouro considèrent les eaux de surface comme un patrimoine foncier. Ils utilisent ces ressources en eau pour les adorations, les rituels et les libations. Ainsi, accordent-ils un intérêt particulier en érigeant des interdits autour de la ressource dans le but de la protéger.

5-2-2- Perception des acteurs économiques de la ressource en eau

La perception économique des ressources en eau s'intéresse plus au prélèvement de l'eau pour l'approvisionnement en eau potable des populations (AEP), des pratiques agropastorales qui se font autour des différentes ressources en eau du bassin versant qu'elle soit surfacique ou souterraine et des activités de pêche à but commercial pratiquées principalement par les Bozo dans les localités de Zaïbo, Zahia, Sikaboutou, Yuala, Kibouo et Brakaguhé).

Les différents acteurs (culturels et économiques), selon les objectifs qu'ils souhaitent atteindre développent des attitudes divergentes par rapport à la ressource en eau.

5-2-2-1- Prélèvement pour l'approvisionnement en eau potable (SODECI)

Au niveau de l'Approvisionnement en Eau Potable (AEP), il convient de signifier que la Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) voit en la ressource en eau une propriété de l'Etat. En effet, il ressort de l'entretien réalisé avec l'agent technique de la Direction Régionale de la SODECI que l'Etat a l'autorisation d'utiliser la ressource en eau pour satisfaire le besoin de développement et l'intérêt général qui se résume à l'alimentation en eau potable des populations. Cette manière de percevoir la ressource amène cette structure à travailler chaque jour en vue de satisfaire les besoins des populations en matière d'accès à l'eau potable.

5-2-2-2- Usages des ressources en eau pour les activités agropastorales

A la lumière des entretiens relatifs aux activités agropastorales, il ressort que les agriculteurs ont une autre manière de voir l'eau avec laquelle ils sont en contact. Pour ceux-ci, cette ressource doit être en quantité suffisante pour irriguer leurs différentes cultures. Ces agriculteurs exploitent de grandes surfaces nécessitant une quantité importante d'eau pour l'irrigation.

Ainsi, les agriculteurs, principalement ceux qui font les cultures maraîchères, au centre-ville, aménagent des parcelles qu'ils utilisent pour l'irrigation des cultures. De façon générale, les agriculteurs ont une idée selon laquelle sans eau ils ne peuvent pas faire leurs exploitations. Aussi, pensent-ils que ce sont des ressources qu'il faut utiliser au moment où le besoin se fait ressentir. Ils ne se penchent surtout pas sur le fait que cette eau pourrait tarir. Par ailleurs, il est important de retenir que les cultures maraîchères sont particulièrement dépendantes d'un apport régulier en eau, contrairement aux cultures traditionnelles.

Concernant les usages pastoraux, différents types d'élevage sont rencontrés. Il s'agit de l'élevage des bovins, ovins, porcins, caprins et volailles. Dans cette zone, les usages pastoraux des ressources en eau se limitent généralement à l'abreuvement du bétail. En effet, le gros bétail (bovins) est généralement conduit sur les zones de pâturage et sur les bords de la rivière Lobo et ses affluents pour leur alimentation et leur abreuvement. Cependant, le petit bétail et les volailles sont pratiqués dans les enclos et les fermes modernes et/ou traditionnelles à proximité des points d'eau. Ces éleveurs perçoivent la ressource comme le fondement de leur activité car le bétail ne saurait subsister sans cette ressource. Ainsi, accordent-ils une place de choix à cette ressource qui leur permet de maintenir en vie le bétail et de se faire des économies par la vente.

5-2-2-3- Usages des ressources en eau pour la pêche

L'activité de pêche constitue l'une des activités exercées sur les plans d'eau du bassin versant de la Lobo. Elle est plus accentuée dans les localités de Zahia précisément à Zimeguhé et Château et pratiquée sur la rivière Tchrato, dans la Sous-Préfecture de Zaïbo plus précisément à Sikaboutou, ainsi qu'au niveau des trois retenues hydroagricoles (Yuala, Kibouo et Brakaguhé). Cette activité présente des intérêts pour chacune des communautés qui la pratique. Pour les populations autochtones (Bété, Niédeboua et Niamboua), c'est une activité saisonnière principale de subsistance. Ils font la pêche juste pour la consommation à domicile et non à but lucratif. Cette réalité diffère de celle des Bozo qui sont majoritairement des ressortissants de la CEDEAO. Cette activité leur permet de tirer du profit. Les ressources en eau de surface sont perçues par la communauté des Bozo comme des sources de revenus. Cette ressource joue un rôle primordial dans l'assise de l'économie de ce groupe en favorisant la pratique de la pêche. La figure 35 présente le schéma des logiques de l'activité de la pêche sur les plans d'eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.

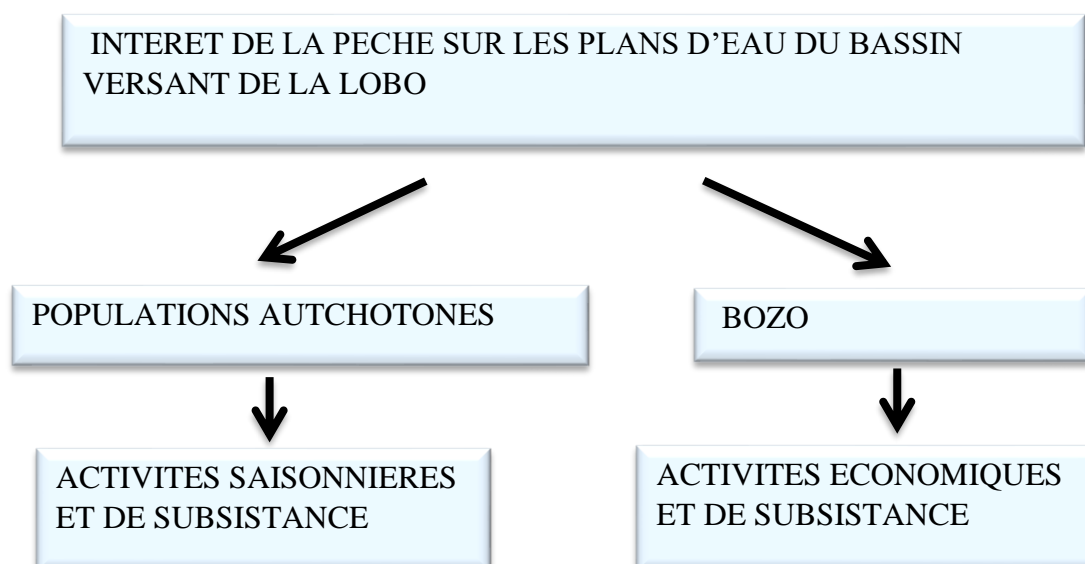


Figure 35 : Schéma des logiques de l'activité de pêche sur les plans d'eau

Le tableau XV présente le résumé des usages des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.

Tableau XV : Résumé des usages des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo selon les acteurs

Différents acteurs	Intérêt de l'exploitation des ressources en eau	Activités pratiquées	Fréquence de l'activité	Lieux de réalisation
Autochtones (Bété, Niamboua, Yandeboua, Gouro)	Social	Activités domestiques	Quotidien	Domicile
	Culturel	Pêche de subsistance	Quotidien	Rivière ; Bas-fond
		Pêche saisonnière	Périodique	Rivière
		Adorations, rituels, libations	Irrégulier	Rivière
Économique	Activités agricoles (cultures maraichères, Riz irrigué)	Quotidien	Rivière ; Barrage ; Bas-fond	
Allochtones (Baoulé et autres)	Social	Activités domestiques	Quotidien	Domicile
	Économique	Activités agricoles (cultures maraichères, Riz irrigué)	Quotidien	Rivière ; Barrage ; Bas-fond
Allogènes (Bozo)	Social	Activités domestiques	Quotidien	Domicile
	Économique	Pêche lucrative Elevage lucratif	Quotidien	Rivière (Tchrato et affluents)
SODECI	Économique	Prélèvement pour l'AEP	Quotidien	Rivière (Tchrato),

5-3- Conflits d'usages des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Les multiples usages et perceptions des ressources en eau engendrent des conflits entre acteurs liés notamment aux finalités divergentes.

5-3-1- Conflits entre autochtones et pêcheurs (Bozo)

Les conflits entre autochtones et pêcheurs (Bozo) se manifestent par la perte du contrôle du plan d'eau par le peuple Bété pour qui la rivière constitue un patrimoine foncier, un lieu d'adoration, milieu de vie des ancêtres. Ainsi, le fait que les pêcheurs soient sur cette rivière n'est pas toujours apprécié par ces communautés autochtones. Ces conflits sont vécus dans les localités de Zahia et Zimeguhé. Il ressort des entretiens réalisés que le conflit entre autochtones et Bozo se manifeste plus souvent par la confiscation des outils de travail par les communautés autochtones due à l'installation illicite ou sans la permission des communautés autochtones qui s'attribuent la ressource en eau. Au niveau des pêcheurs interrogés, c'est la présence de l'hippopotame dans la retenue de la SODECI qu'ils considèrent comme mystique qui engendrent des frustrations qui sont source de perturbation de la cohésion sociale entre pêcheurs et la communauté Bété. En effet, cet animal est le facteur majeur de destruction des équipements de pêche. Il s'agit principalement des filets que cet animal détruit sur le plan d'eau.

5-3-2- Conflits entre autochtones et la SODECI

S'inscrivant dans la considération selon laquelle la ressource en eau est une propriété de l'Etat, le projet d'installation de l'usine de traitement a négligé l'intégration des populations locales. Cette négligence a entraîné selon nos différents entretiens avec les populations des localités de Ziméguhé et Château la non-participation de ces populations dans la gestion du projet de la SODECI censé répondre à leurs besoins.

De plus, l'agent technique de la Direction Régionale de la SODECI fait remarquer que la présence de l'hippopotame dans la rivière Tchtrato, constitue un véritable danger pour les agents de la SODECI dans l'exercice de leur tâche. Aussi, l'animal (hippopotame) est source de nombreux dégâts du matériel de la SODECI. Une destruction que cette structure déplore.

Toutes ces mésententes engendrent des tensions sociales entre ces populations et la SODECI dans ces localités troublant ainsi la cohésion sociale.

5-4- Diagnostic des sources d'accès à l'eau potable dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Les ménages du bassin versant s'approvisionnent en eau soit à partir du réseau de la SODECI, soit à partir des forages équipés de pompe hydraulique, soit à partir des sources alternatives selon les caractéristiques socio spatiales (niveau de vie, la disponibilité des points d'eau, etc.).

5-4-1- Accès des populations à l'eau potable

Les points d'eau auxquels les ménages ont recours pour leurs besoins quotidiens varient selon le lieu de résidence (milieu rural ou urbain). Cependant, à l'échelle du bassin versant, ces

sources d'approvisionnement en eau dont disposent les ménages sont inégalement réparties (Figure 36).

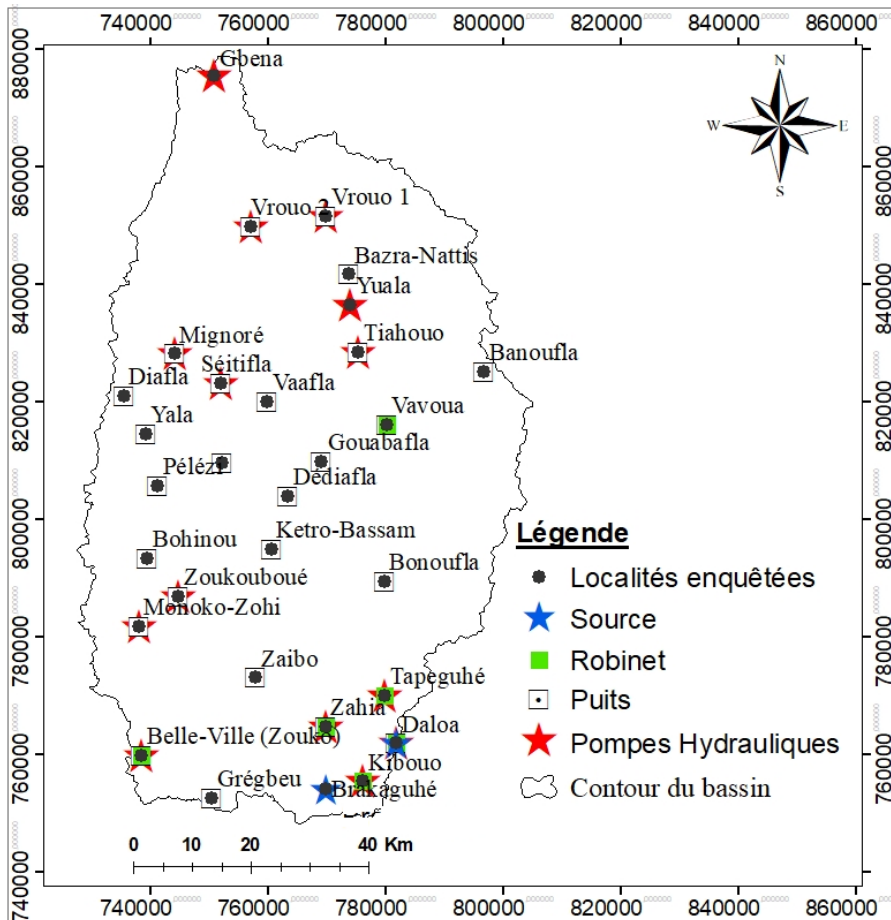


Figure 36 : Répartition spatiale des localités possédant des sources d'approvisionnement en eau selon les ménages

L'approvisionnement en eau potable des populations est assuré par les systèmes d'adduction d'eau de la SODECI pour les grands centres urbains (Daloa et ses environs, Vavoua) et par le système d'hydraulique villageoise (HV) et d'hydraulique villageoise améliorée (HVA) dans les localités rurales. En effet, les enquêtes ont révélé que 25,24% des ménages en zone urbaine et 11,03% en zones rurales y ont recours pour leur approvisionnement en eau potable. Dans certaines localités rurales, les populations utilisent comme eaux de boisson les puits et par endroits les eaux de sources aménagées. Globalement, il ressort que la majorité des localités demeurent dépourvues d'équipement hydraulique amélioré. L'on note également que la majorité des installations de la SODECI se situe dans la partie sud du bassin versant. A cet effet, plusieurs localités ne disposent pas d'installation de la SODECI.

5-4-2- Etat de fonctionnement des pompes hydrauliques sur le bassin versant

En principe, dans chaque village disposant d'une ou plusieurs pompes, il devrait y avoir un comité de gestion local de ces pompes, or cela n'est pas le cas dans tous les villages. La gestion prend en compte un aspect financier et un aspect organisationnel. En ce qui concerne le volet financier, il se traduit par la fixation d'un prix pour l'accès à l'eau, de l'emploi d'une personne qui est chargée de collecter les fonds des prestations. Quant à l'aspect organisationnel, il permet d'éviter les querelles et de veiller à l'entretien du site d'installation des pompes hydrauliques. Ainsi, en cas de panne de ces infrastructures, il est du ressort du comité de gestion de réparer ces pompes. Malheureusement, dans de nombreuses localités, les pompes en panne sont soit abandonnées soit transformées en puits (Figure 37).



Figure 37 : a) Pompe hydraulique transformée en puits à Gouabafla (Centre du bassin versant) ; b) Pompe hydraulique non fonctionnelle à Brakaguhé (Sud du bassin versant)

Le tableau XVI fait la synthèse de l'état de fonctionnement des pompes hydrauliques sur l'ensemble du bassin versant.

Tableau XVI : Etat de fonctionnement des pompes hydrauliques sur le bassin versant

Département	Nombre de pompes hydrauliques villageoises non fonctionnelles	Nombre de pompes hydrauliques villageoises fonctionnelles	Nombre total de pompes hydrauliques villageoises
Daloa	20	2	22
Vavoua	329	99	428
Zoukougbeu	7	17	24
Proportions	75%	25%	100%
Total	356	118	474

Les pompes non fonctionnelles représentent une proportion de 75% alors que celles fonctionnelles se résument à 25%. Ce taux élevé de pompes non fonctionnelles dans le bassin versant démontre les difficultés qu'ont les populations pour l'accès à l'eau potable.

Par ailleurs, la majorité des localités enquêtées éprouvent des difficultés quant à la réparation des infrastructures qui constitue leurs sources d'approvisionnement en eau potable. Ces infrastructures hydrauliques sont réparties à travers tout le bassin versant (Figure 38).

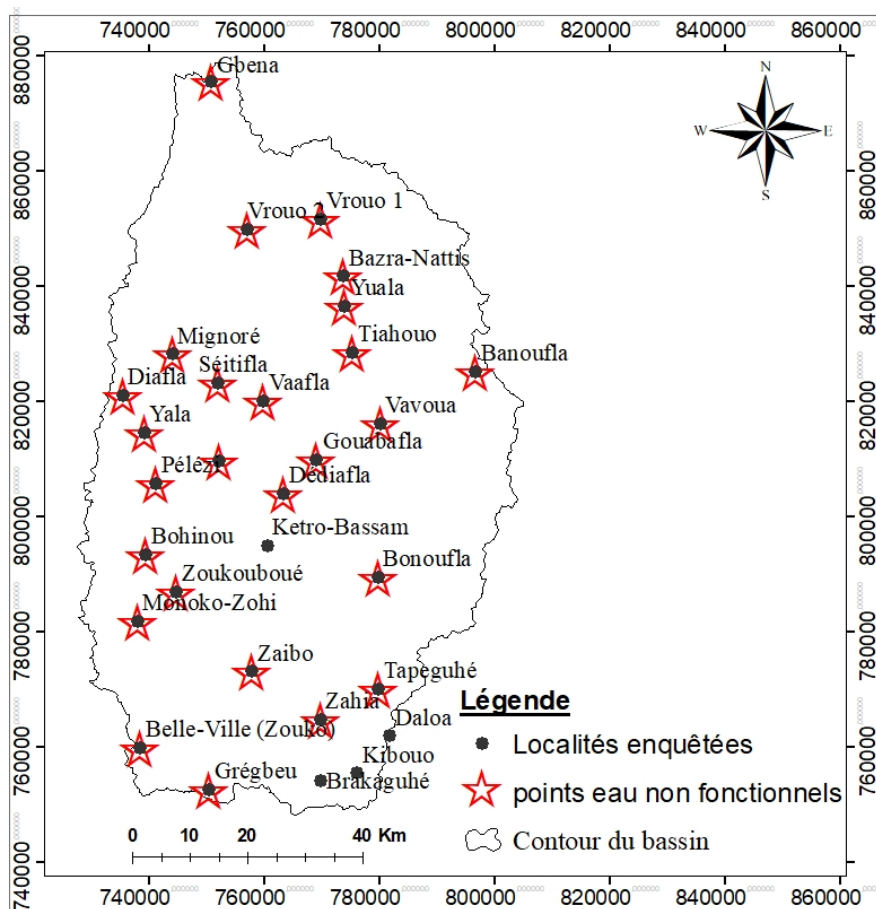


Figure 38 : Répartition des localités présentant des points d'eau non fonctionnelle sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

5-5- Difficultés d'accès à l'eau potable dues au prix de l'eau

5-5-1- Contraintes liées au raccordement du réseau de la SODECI

La pose d'un compteur nécessite des moyens financiers. Les populations interrogées affirment dans leur majorité avoir des difficultés financières pour se raccorder au réseau de la SODECI (Figure 39).

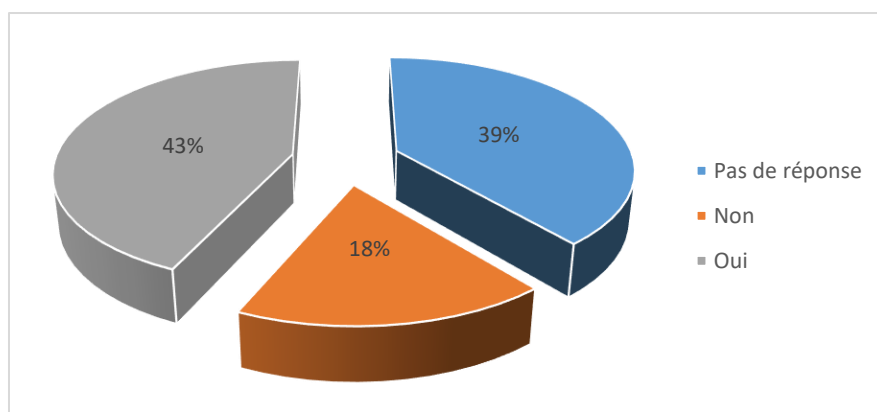


Figure 39 : Répartition du taux de difficultés des populations à s'abonner au réseau de la SODECI

Ainsi, il y'a 43% de la population du bassin qui affirme avoir réellement des problèmes financiers pour s'abonner à la SODECI, contre 18% des personnes n'ayant eu aucune difficulté à s'abonner. Aussi, on a 39% des populations n'ayant aucune réponse à nous donner du fait qu'elles ne sont pas le chef de ménage ou sont situées dans des localités où il n'y pas d'installation de la SODECI (Pélézi, Diafla, Gouabafla, Mignoré, Yala, Seitifla, Youredoula, Kéto Bassam, Dédiafla, Zoukouboué, Grégbeu, Zaibo).

En effet, le coût du raccordement à la SODECI varie en fonction du type de branchement. On remarque que, les coûts varient de 19 500F à 166 886 F CFA (Tableau XVII).

Tableau XVII : Coût des types d'abonnement proposé par la SODECI

Types de branchement	Type de compteur	Montant du branchement HT	Montant du branchement TTC
Branchement normal sans compteur (Branchement Simple)	Diamètre 15	125 110 FCFA	147 630 FCFA
Branchement normal avec compteur	Diamètre 15	147 630 FCFA	166 886 FCFA
Branchement social ou branchement subventionné	Diamètre 15	0 F	19 500 FCFA

Le montant du branchement social est plus bas que ceux du branchement normal avec compteur ou sans compteur. En effet, comme son nom l'indique, ce type de branchement est subventionné par l'Etat. Par ailleurs, l'accès à ces types de branchement n'est pas toujours aisé pour la plupart des populations interrogées dans le bassin versant de la Lobo du fait également des fréquentes coupures d'eau et de son goût pas toujours agréable.

5-5-2- Difficultés des ménages face aux revendeurs d'eau

Au regard des frais de raccordement élevés à la SODECI, il ressort que, des populations urbaines non desservies dépendent des opérateurs privés locaux qui distribuent l'eau en camion-citerne, en charrette à bras ou au seau, moto tricycle moyennant une certaine somme d'argent (Figure 40). Le bassin versant est très pourvu en eau de sources naturelles. Les enquêtes ont révélé que plusieurs sources naturelles font l'objet d'une activité lucrative notamment les sources de Gbokora, Labia et Lobia à Daloa.



Figure 40 : Revendeurs d'eau à moto tricycle dans la localité de Gbokora (Daloa)

Au bout de cette chaîne d'approvisionnement non réglementée, le coût du litre d'eau est souvent beaucoup plus élevé que celui que facture la SODECI. Par exemple, pour ces opérateurs observés sur cette photo, le transport d'un récipient de 20 L s'élève à 150 Fcfa alors que la moyenne du nombre de récipient s'élève à 5 par jour pour les utilisateurs. Ce coût est exorbitant pour cette couche de population défavorisée.

En plus de tous ces problèmes suscités, l'entretien réalisé avec le Directeur Régional de l'hydraulique appuyé par l'enquête de terrain fait ressortir que les populations du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé font face à des défaillances récurrentes d'ouvrages hydrauliques ainsi que des difficultés d'ordre économique pour un accès durable à l'eau potable.

Ainsi, toutes ces difficultés mettent-elles en lumière l'absence de gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.

L'estimation des besoins en eau permettra ainsi d'avoir une connaissance des quantités d'eau nécessaires pour satisfaire les différents usagers.

5-6- Besoins en eau des différents usagers

5-6-1- Besoins pour l'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Le tableau XVIII présente les besoins en eau potable des populations du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Les besoins journaliers totaux pour l'AEP sont estimés à 54 227 m³ avec un besoin estimé à 39 932 m³ pour les zones urbaines et 14 295 m³ pour les zones rurales. Le besoin total annuel du bassin versant est estimé à 19 792 493 m³ pour l'année 2021 avec un besoin de 14 574 861 m³ pour les zones urbaines et 5 217 632 m³ pour les zones rurales. Les besoins élevés des zones urbaines sont liés aux consommations spécifiques en milieu urbain (65l/hbt/j) contre 20l/hbt/j en milieu rural.

Tableau XVIII : Besoin pour l'Approvisionnement en Eau Potable (AEP)

	Zones urbaines	Zones rurales
Besoins journaliers (m ³ /j)	39 932	14 295
Total journalier (m³/j)	54 227	
Besoins annuels (m ³ /an)	14 574 861	5 217 632
Total annuel (m³/an)	19 792 493	

5-6-2- Besoins en eau pour l'agriculture irriguée dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Les besoins en eau pour l'agriculture irriguée sont estimés à 9 000 000 m³/an pour l'année 2021 et dépendent de la superficie agricole irriguée totale (450 ha) ainsi que de la consommation spécifique (20 000 m³/ha/an). Le tableau XIX présente les besoins annuels en eau pour l'agriculture dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.

Tableau XIX : Besoins en eau pour l'agriculture

Superficie totale (ha)	450
Consommation spécifique (m ³ /ha/an)	20 000
Besoins agricoles (m³/an)	9 000 000

5-8-3- Besoins en eau pastoraux dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Le tableau XX présente les besoins en eau pour l'élevage dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé pour l'année 2021. Le besoin en eau des bovins est le plus important avec 925 275 m³/an. Ensuite, viennent respectivement les besoins en eau des ovins (203 305 m³/an), caprins (124 556,25 m³/an), volailles (83 767,5 m³/an) et porcins (51 191,25 m³/an). Ces besoins sont plus élevés d'autant que le nombre du cheptel ainsi que les consommations spécifiques sont élevés.

Tableau XX : Besoins en eau pour l'élevage

Cheptel	Nombre	Consommation spécifique (m3/an)	Consommation (m3/an)
Bovins	101 400	9,125	925 275
Ovins	111 400	1,825	203 305
Caprins	68 250	1,825	124 556,25
Porcins	18 700	2,7375	51 191,25
Volailles	2 295 000	0,0365	83 767,5
Total	2 594 750		1 388 095

5-7- Discussion

Les ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé se répartissent entre plusieurs types d'usagers à savoir les acteurs socio-culturels (populations autochtones) et économiques (pêcheurs, agriculteurs, éleveurs et la SODECI). Ainsi, ces différents usagers utilisent-ils les ressources en eau en fonction de leurs perceptions. Les autochtones principalement les Bété, Yandeboua, Niamboua et Gouro considèrent les eaux de surface comme un patrimoine foncier. Ils utilisent ces ressources en eau pour les adorations, les rituels et les libations, avec une fréquence irrégulière. Ils considèrent ces endroits comme des lieux sacrés qui leur sert de lien de contact avec les ancêtres et leur procurent une protection. Ainsi, accordent-ils un intérêt particulier en érigeant des interdits autour de la ressource dans le but de la protéger et cela contribue à la gestion durable de cette ressource. La perception économique des ressources en eau s'intéresse plus au prélèvement de l'eau pour l'AEP, les pratiques agropastorales et les activités de pêche à but commercial pratiquées principalement par les Bozo. Ainsi, chaque acteur, selon l'objectif qu'il souhaite atteindre, développe des attitudes divergentes par rapport à la ressource en eau entraînant des conflits d'usages. Selon Baron & Bonnassieu (2011), là où l'eau est perçue comme patrimoine communautaire d'une part, suivant les préceptes sociaux et culturels, elle est aussi conçue comme bien économique pour certaines catégories socio-professionnelles et les services publics de l'hydraulique considérant les principes d'intérêts généraux. Ce qui explique les représentations le plus souvent contradictoire autour des ressources en eau, source du déséquilibre social. Boko (2009) montre d'autres pans des causes des conflits liés à l'eau à savoir : la poussée démographique, les perturbations climatiques et ses conséquences, telles que la sécheresse, la désertification, l'infertilité des sols, la rareté de l'eau, la dégradation des pâturages sont souvent citées comme les causes principales de conflits.

Dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, il n'existe pas de véritable politique de gestion des ressources en eau se traduisant par la forte proportion d'ouvrages hydrauliques non

fonctionnels. L'absence de cadre de concertation et de comité de gestion engendre des conflits d'usage ainsi que des difficultés d'approvisionnement en eau des populations du bassin versant. Les ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo sont utilisées par deux types d'utilisateurs à savoir les utilisateurs consommateurs (AEP, agriculture et élevage) et les utilisateurs non consommateurs (usages culturels et pêcheurs Bozo).

Pour l'estimation des besoins en eau, nous avons tenu compte des utilisateurs consommateurs car ce sont ces acteurs qui agissent sur la disponibilité de la ressource en eau. Ainsi, l'estimation pour l'approvisionnement en eau potable est-elle de 14 574 861 m³/an pour les zones urbaines et de 5 217 632 m³/an pour les zones rurales faisant un total de 19 792 493 m³/an. La consommation élevée dans les zones urbaines pourrait être due à la consommation spécifique en milieu urbain. Ce constat est similaire à ceux faits par Coulibaly (2009) et par Mangoua (2013) respectivement pour les centres urbains d'Odienné et de Bondoukou. La demande en eau est plus élevée dans les zones urbaines qu'en milieu rural bien que les zones rurales soient fortement peuplées. Ce résultat est dû au choix de la consommation spécifique fixé selon le milieu. En effet, de nombreux travaux relatifs à l'estimation de la demande en eau Treyer (2002) ; JICA (2001) ; MINEF (2003) ; Benmalek (2009) ; Ouanouki (2011) ont montré qu'il existe une grande variabilité des normes théoriques en matière d'approvisionnement en eau potable. Comme on peut le constater, son caractère théorique est par conséquent extrêmement variable selon le type d'habitat (collectif ou individuel) et selon le niveau de vie.

L'estimation des usages agropastoraux est de 10 388 095 m³/an. Il s'agit de la combinaison des demandes en eau agricole et pastorale. Ces différentes valeurs dépendent des surfaces rizicoles irriguées ainsi que du nombre de cheptel. Yao (2015) dans le bassin versant de la Lobo à Loboville a obtenu pour les usages agropastoraux une valeur de 42 589 231 m³/an. Ces valeurs importantes sont le fait de la grande superficie du bassin versant comportant de vastes surfaces rizicoles irriguées et du nombre élevé de cheptel.

Conclusion partielle

Les ressources en eau sont réparties entre acteurs socio-culturels et économiques. Les objectifs divergents face à ces ressources entraînent des situations conflictuelles dans le bassin versant. Aussi, l'approvisionnement en eau des populations est mis à mal du fait de l'insuffisance et du mauvais état de fonctionnement des ouvrages hydrauliques. De plus, la majorité de la population du bassin éprouve des difficultés financières concernant le raccordement au réseau de la SODECI.

L'estimation des besoins en eau à partir de formules empiriques a permis d'obtenir les besoins pour l'approvisionnement en eau potable qui est de 14 574861 m³/an pour les zones urbaines et

de 5 217 632 m³/an pour les zones rurales faisant un total de 19 792 493 m³/an. Cette estimation est de 10 388 095 m³/an pour les usages agropastoraux.

Pour une meilleure gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, il convient de les évaluer à l'état actuel ainsi que dans le futur.

Les résultats obtenus font l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 6 : RESSOURCES EN EAU ACTUELLE ET A L'HORIZON 2050 DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO A NIBEHIBE

6-1- Ressources en eau actuelle

6-1-1- Caractéristiques volumétriques des différentes retenues

6-1-1-1- Caractéristiques volumétriques de la retenue de Kibouo

Le tableau XXI présente les caractéristiques volumétriques de la retenue de Kibouo.

Tableau XXI : Caractéristiques volumétriques de la retenue de Kibouo

Retenue	Superficie (m ²)	Profondeur moyenne (m)	Capacité (m ³)	Volume actuel (m ³) (2019)
Kibouo	350 399,69	3,78	2 000 000	1 324 510,9

La superficie de la retenue de Kibouo est de 350 399,69 m² avec une profondeur moyenne de 3,78 m, une capacité de 2 000 000 m³ et un volume actuel de 1 324 510,9 m³. La capacité représente le volume maximal que peut contenir la retenue. La différence entre la capacité et le volume montre qu'il faudrait 675 489,1 m³ pour que la retenue de Kibouo atteigne son maximum de volume.

6-1-1-2- Caractéristiques volumétriques de la retenue de Brakaguhé

Les caractéristiques volumétriques de la retenue de Brakaguhé sont présentées dans le tableau XXII.

Tableau XXII : Caractéristiques volumétriques de la retenue de Brakaguhé

Retenue	Superficie (m ²)	Profondeur moyenne (m)	Capacité (m ³)	Volume actuel (m ³) (2019)
Brakaguhé	551 985,68	3,66	2 660 000	2 020 267,59

La superficie de la retenue de Brakaguhé est de 551 985,68 m² avec une profondeur moyenne de 3,66 m, une capacité de 2 660 000 m³ et un volume actuel de 2 020 267,59 m³. La différence entre la capacité et le volume est de 639 732,41 m³.

6-1-1-3- Caractéristiques volumétriques de la retenue de Yuala

Les caractéristiques volumétriques de la retenue de Yuala sont présentées dans le tableau XXIII.

Tableau XXIII : Caractéristiques volumétriques de la retenue de Yuala

Retenue	Superficie (m²)	Profondeur moyenne (m)	Capacité (m³)	Volume actuel (m³) (2020)
Yuala	688 124,04	2,28	3 800 000	1 568 922,811

La superficie de la retenue de Yuala est de 688 124,04 m² avec une profondeur moyenne de 2,28 m, une capacité de 3 800 000 m³ et un volume actuel de 1 568 922,811 m³. La différence entre la capacité et le volume montre que la retenue de Yuala n'a pas encore atteint la moitié de son volume maximal.

6-1-1-4- Caractéristiques volumétriques de la retenue de la SODECI

Les caractéristiques volumétriques de la retenue de la SODECI sont présentées dans le tableau XXIV.

Tableau XXIV : Caractéristiques volumétriques de la retenue de la SODECI

Retenue	Superficie (m²)	Profondeur moyenne (m)	Volume actuel (m³) (2019)
Exhaure	120 000	3,3	396 000

La superficie de l'exhaure est de 120 000 m² avec une profondeur moyenne de 3,3 m et un volume actuel de 396 000 m³.

6-1-2- Lame d'eau écoulee sur le bassin versant de la Lobo à l'aide du modèle CEQUEAU

6-1-2-1- Résultats de la préparation des données physiographiques

6-1-2-1-1- Carreaux entiers et carreaux partiels

La discrétisation du bassin en maille de 10 km de côté a permis d'obtenir 135 mailles au total. La subdivision de ces mailles donne 201 carreaux partiels. L'abscisse de la discrétisation varie de 10 à 18 et son ordonnée de 10 à 24 (Figure 41).

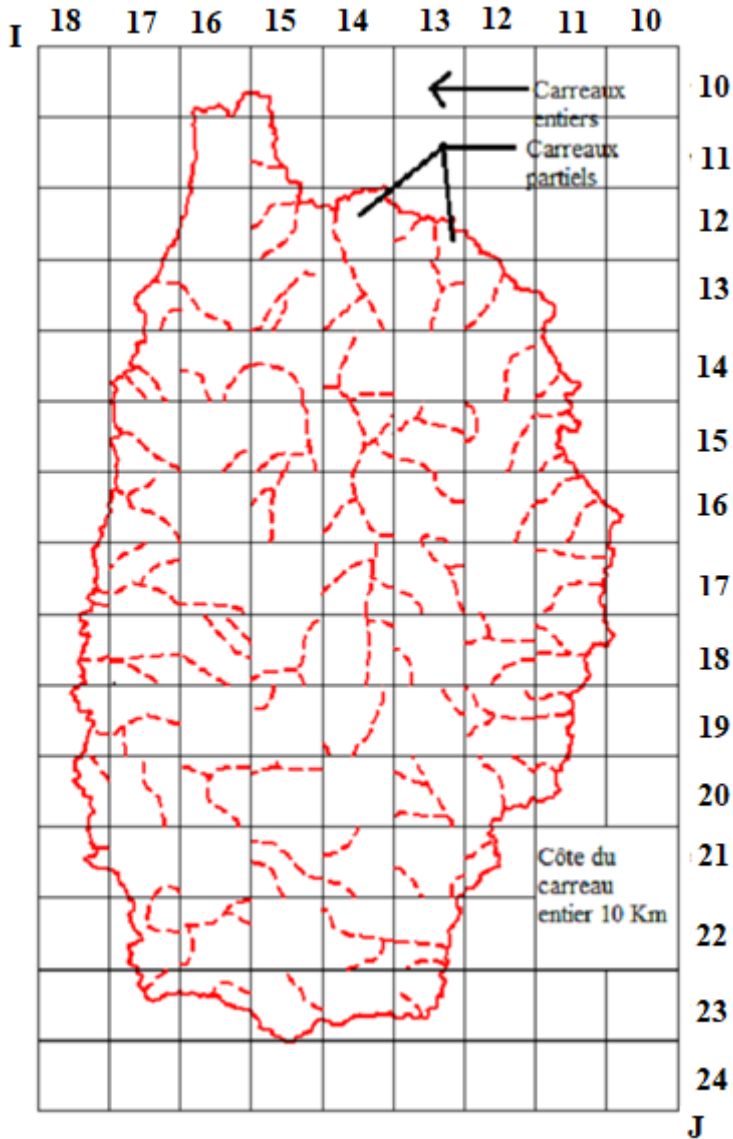


Figure 41 : Maillage du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Le tableau XXV présente les numéros des stations hydrométéorologiques, les coordonnées relatives aux carreaux entiers et partiels ainsi que les altitudes des stations. Les numéros des stations hydrométéorologiques permettent d'identifier les stations car chacune d'entre-elle porte un numéro spécifique. Aussi, selon la discrétisation effectuée, chaque station appartient à un repère de coordonnée (I, J) pour le carreau entier et un code du carreau partiel permettant de déterminer sa situation exacte sur le bassin versant. Quant aux altitudes, elles donnent la position des stations par rapport au niveau de la mer.

Tableau XXV : Caractéristiques des stations hydrométéorologiques

Nom de la station	Numéro de la station	Coordonnées		Code du carreau partiel	Altitude (m)
		I	J		
STATION HYDROMETRIQUE					
Nibéhibé	01903	15	23	B	
STATIONS METEOROLOGIQUES					
Daloa	008000	13	22	C	250
Vavoua	021400	13	17	A	285
Zuénoula	022200	8	16	A	300

6-1-2-1-2- Etats de l'occupation du sol du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

La carte d'occupation du sol générée à partir des images de 1986 (figure 42a) montre une dominance de la forêt dense qui couvre 74,1% du bassin versant et 17,2% de la forêt dégradée. Les cultures occupent 3,9% de la zone, l'eau occupe 1,5% enfin les sols nus occupent 3,3% de la superficie du bassin versant.

En 2000, le résultat montre une augmentation de la classe de cultures et des sols nus au détriment de la forêt dense et des surfaces occupées par l'eau en 1986. On peut ainsi constater sur la figure 42b que :

- les zones agricoles couvrent une superficie de 16,7% de la superficie totale ;
- la forêt dense occupe quant à elle 48,7% de la zone d'étude ;
- les zones urbanisées et le sol nu s'étalent sur 7,8% de la superficie de la zone ;
- la forêt dégradée constituée de confusion de forêt peu arborée et de plantation couvre 25,8% de la superficie ;
- les surfaces couvertes par l'eau représentent 1% de la superficie de la zone d'étude.

En comparant les cartes d'occupation du sol de l'année 2019 (figure 42c) et de l'année 2000 (figure 42b), il ressort que la forêt dense connaît une réduction de 35,4% de sa superficie par rapport à l'année 2000, occupant ainsi, 13,3% de la superficie totale. Les zones cultivées et les sols nus prédominent avec des surfaces respectives de 53,68% et de 16,8%. La forêt dégradée et l'eau représentent respectivement 16% et 0,22% de la zone d'étude.

Il ressort que les zones de culture représentent plus de la moitié de la superficie du bassin versant avec une dominance des cultures pérennes que sont le café, le cacao et l'anacarde suivies des cultures pluviales et des cultures maraîchères.

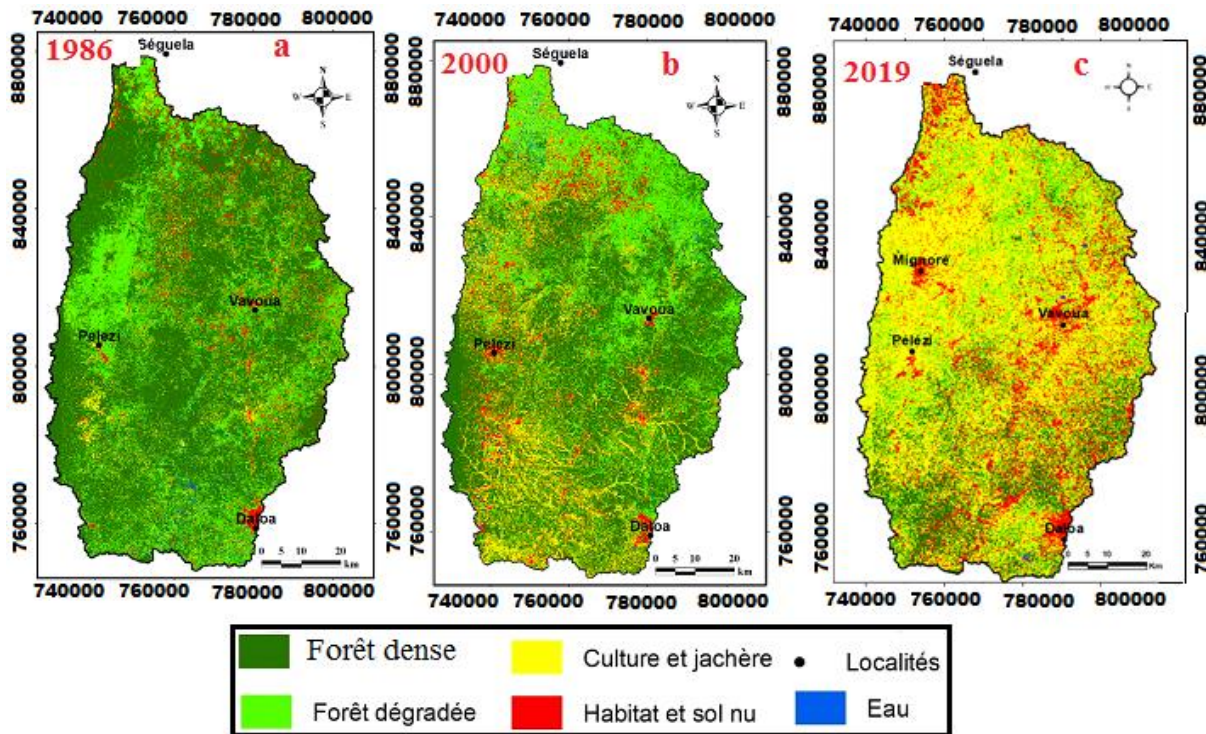


Figure 42 : Répartition des classes d'occupation du sol entre 1986 et 2019

Le tableau XXVI présente les taux de changement des classes d'occupation du sol entre l'année 1986 et 2019.

Un taux de changement positif indique une augmentation du type d'occupation du sol tandis qu'un taux de changement négatif montre une diminution.

Tableau XXVI : Evolution du taux de changement des classes d'occupation entre 1986, 2000 et 2019

Classes	Superficie						Taux de changement (Tc)		
	1986		2000		2019		1986-2000	2000-2019	1986-2019
	ha	%	ha	%	ha	%			
Forêt dense	512994,3	74,1	337150,1	48,7	92075,9	13,3	-3,03	-6,91	-5,26
Forêt dégradée	119075,6	17,2	178613,4	25,8	110768	16	2,89	-2,50	-0,21
Cultures	26999,7	3,9	115614,1	16,7	371626,64	53,68	10,53	6,22	8,05
Eau	10384,5	1,5	6923	1	1523,06	0,22	-2,96	-8,03	-5,88
Sols nus	22845,9	3,3	53999,4	7,8	116306,4	16,8	6,20	4,04	4,96
Total	692300	100	692300	100	692300	100			

➤ Entre 1986 et 2000

Les résultats montrent des taux de changements positifs pour les classes d'occupations comme la forêt dégradée (2,89%), les cultures (10,53%) et sols nus (6,20%). Tandis que les classes

d'occupation telles que la forêt dense et l'eau, ont connu des taux de changements négatifs respectifs de 3,03% et 2,96% par an.

➤ **Entre 2000 et 2019**

Sur les périodes 2000 et 2019, la forêt dense, la forêt dégradée et l'eau diminuent respectivement de 6,91%, 2,5% et 8,03% au profit des cultures et sols nus ayant des taux de changement respectifs de +6,22% et +4,04%.

➤ **Entre 1986 et 2019**

D'après les résultats, les formations forestières qui occupaient 74,1 % en 1986 sont passées à 13,3 % en 2019, soit une diminution de 5,26 % par an. Le même constat est fait au niveau de la forêt dégradée qui est passée, durant la période 1986- 2019, de 119075,6 ha à 110768 ha ce qui équivaut à une baisse annuelle de 0,21 %. Aussi, constate-t-on une régression des surfaces occupées par l'eau qui passent de 10384,5 ha à 1523,06 ha entre 1986 et 2019 soit une régression de 5,88 par an. Quant aux classes cultures et sols nus, elles augmentent respectivement de 8,05 % et 4,96 % par an de 1986 à 2019.

6-1-2-2- Calage et validation du modèle CEQUEAU

6-1-2-2-1- Critères numériques

Le calage du modèle sur la période de l'étude a porté sur cinq années de 1988-1993. La validation a porté sur les périodes suivantes : 1994-2000, 2001-2007, 2008-2013, 1994-2013 et 1988-2013. Les résultats de ces simulations sont présentés dans le tableau XXVII. Le critère de Nash, principal élément de comparaison entre débits observés et calculés a donné au calage la valeur de 94,6%. Ce résultat est excellent car il est supérieur à 90% et tend vers 1 (valeur optimale).

En validation, le critère de Nash vaut 95,07%, 83,56%, 71,18%, 91,62% et 88,49%

respectivement sur les périodes 1994-2000, 2001-2007, 2008-2013, 1994-2013 et 1988-2013.

Ces résultats sont satisfaisants car ils sont supérieurs à 70% et tendent vers 1.

Tableau XXVII : Evaluation statistique de CEQUEAU pour la période de calage et de validation

Périodes	Débits moyens (m ³ /s)		Lame interannuelle (mm)		Critères Nash (%)
	Observés	calculés	Observées	calculées	
CALAGE					
1988-1993	5,7012	5,9595	26,076	27,257	94,6
VALIDATIONS					
1994-2000	14,27	14,03	65,269	64,172	95,07
2001-2007	12,071	11,75	55,209	53,74	83,56
2008-2013	18,688	20,062	85,475	91,76	71,18
1994-2013	15,342	15,336	70,172	70,141	91,62

1988-2013	13,004	14,527	59,477	66,445	88,49
-----------	--------	--------	--------	--------	-------

6-1-2-2-2- Critères graphiques

❖ Analyse des hydrogrammes au calage

Les résultats graphiques du calage du modèle sont présentés à la figure 43. Les débits calculés sont sous-estimés en août, octobre puis de novembre à décembre et sont surestimés de mars à juillet et en septembre.

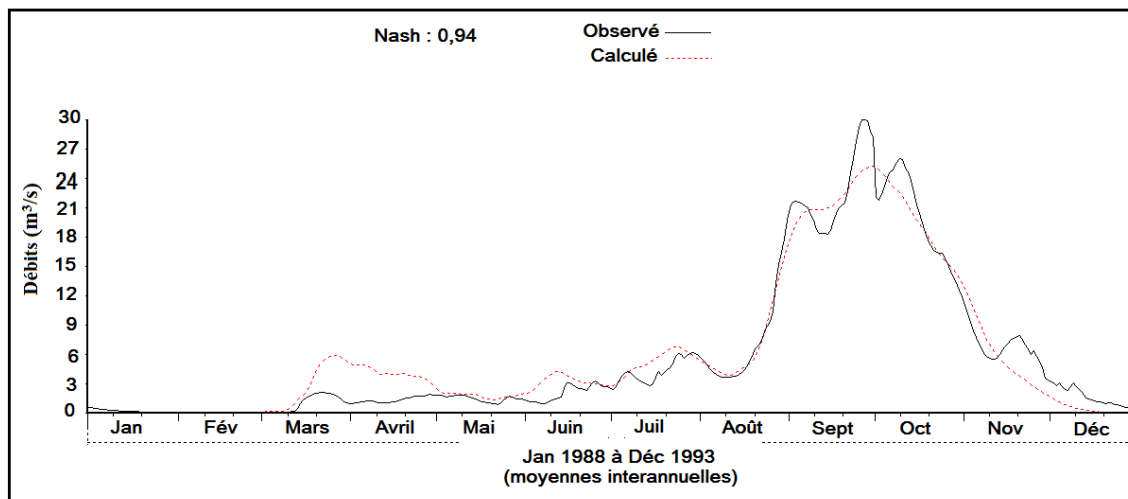


Figure 43 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de calage (1988-1993) à la station de Nibéhibé

❖ Analyse des hydrogrammes à la validation

Sur les périodes de validation retenues (1994-2000, 2001-2007, 2008-2013, 1994-2013 et 1988-2013), les coefficients moyens de Nash sont tous supérieurs à 70% et sont respectivement de 95,07%, 83,56%, 71,18%, 91,62% et 88,49%. Ces valeurs témoignent d'une bonne validation malgré le changement de période de simulation. Les figures 44, 45, 46, 47 et 48 présentent les hydrogrammes journaliers observés et calculés. Sur la figure 44, les débits calculés sont sous-estimés en janvier, avril, mai, septembre et octobre et sont surestimés de novembre à décembre. En ce qui concerne la figure 45, il y'a une sous-estimation des débits calculés en mars, avril, mai, novembre et décembre et une surestimation en juin, septembre et octobre. Au niveau de la figure 46, les débits calculés sont sous-estimés en avril, août, septembre, octobre et décembre et sont surestimés en janvier, mars, mai, juin, juillet et novembre. De plus, sur la figure 47, il y'a une sous-estimation des débits calculés en avril, mai, juin, septembre, novembre et décembre et une surestimation en juillet, août et octobre. Les débits calculés sont sous-estimés en septembre, octobre et décembre et sont surestimés de janvier à août et en novembre sur la figure 48.

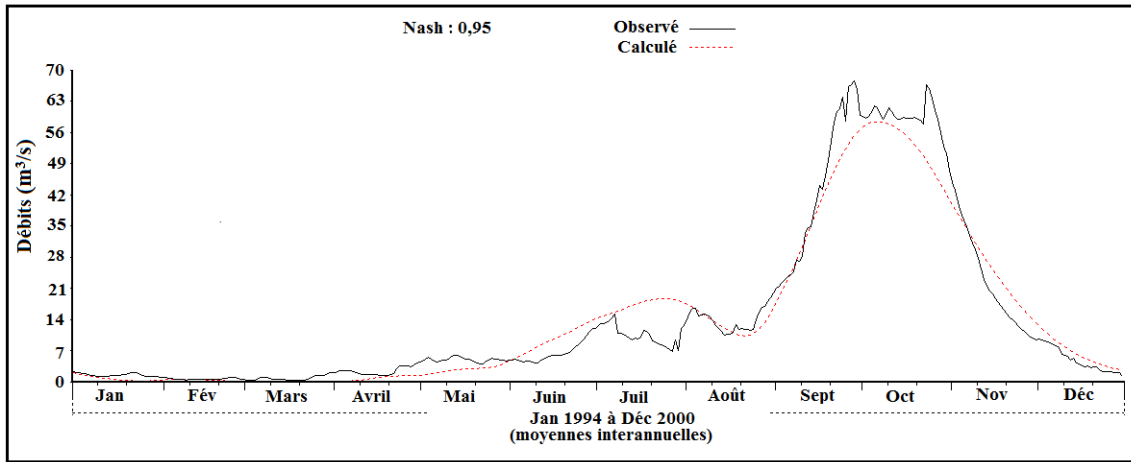


Figure 44 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (1994-2000) à la station de Nibéhibé

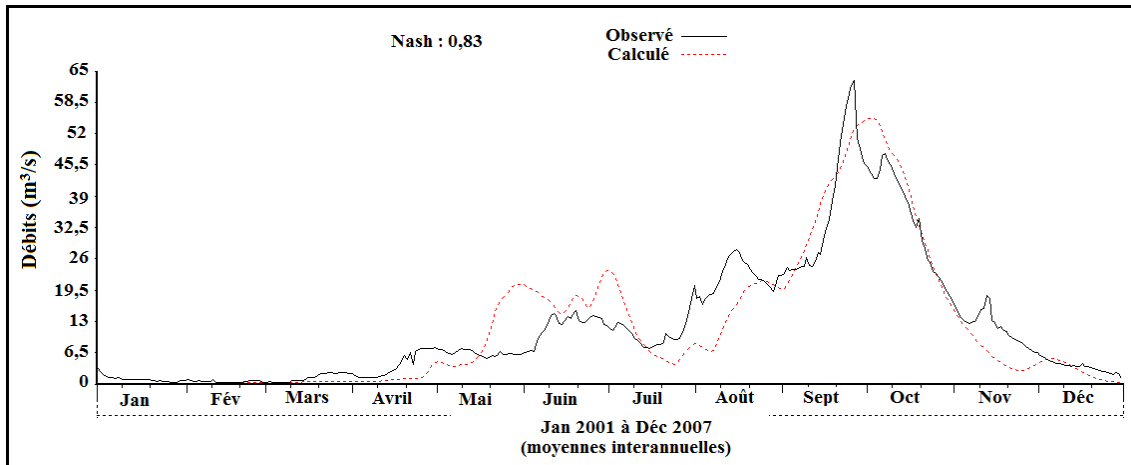


Figure 45 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (2001-2007) à la station de Nibéhibé

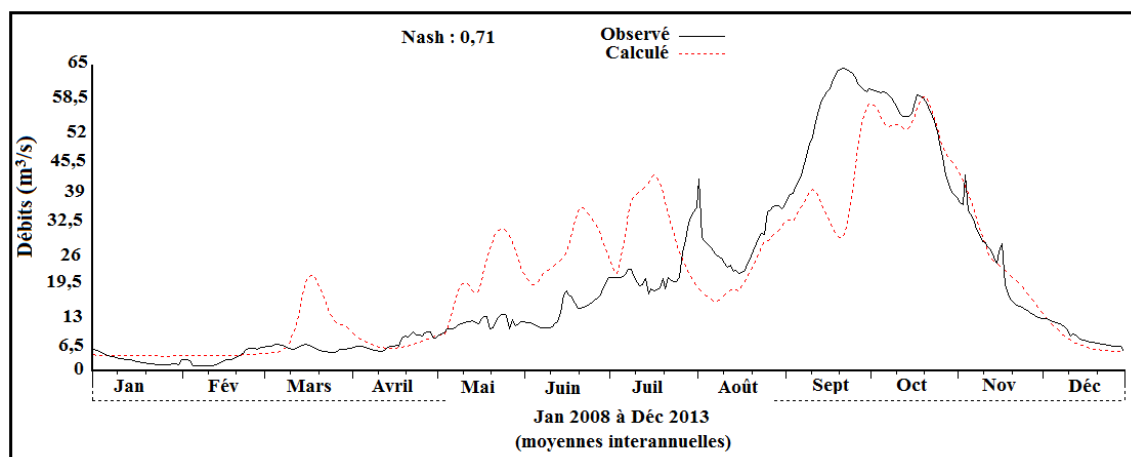


Figure 46 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (2008-2013) à la station de Nibéhibé

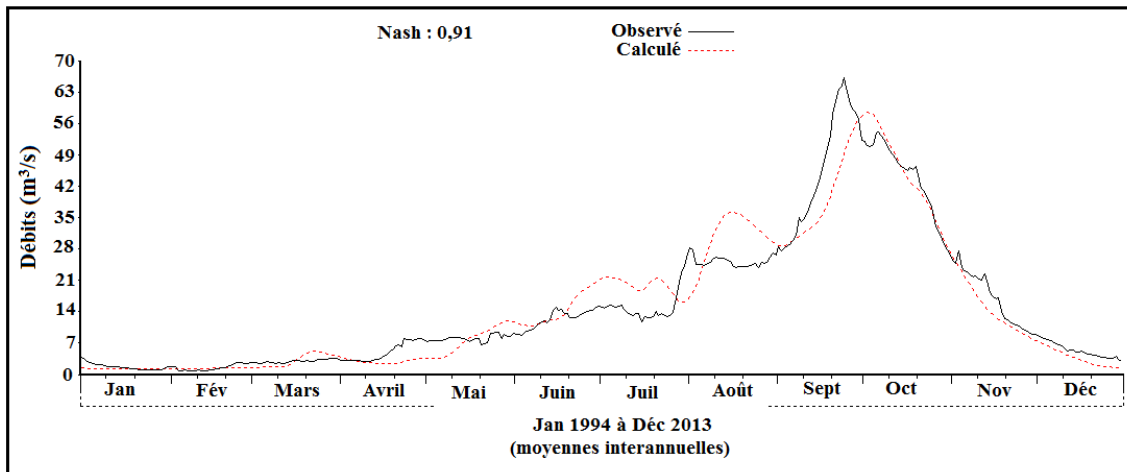


Figure 47 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (1994-2013) à la station de Nibéhibé

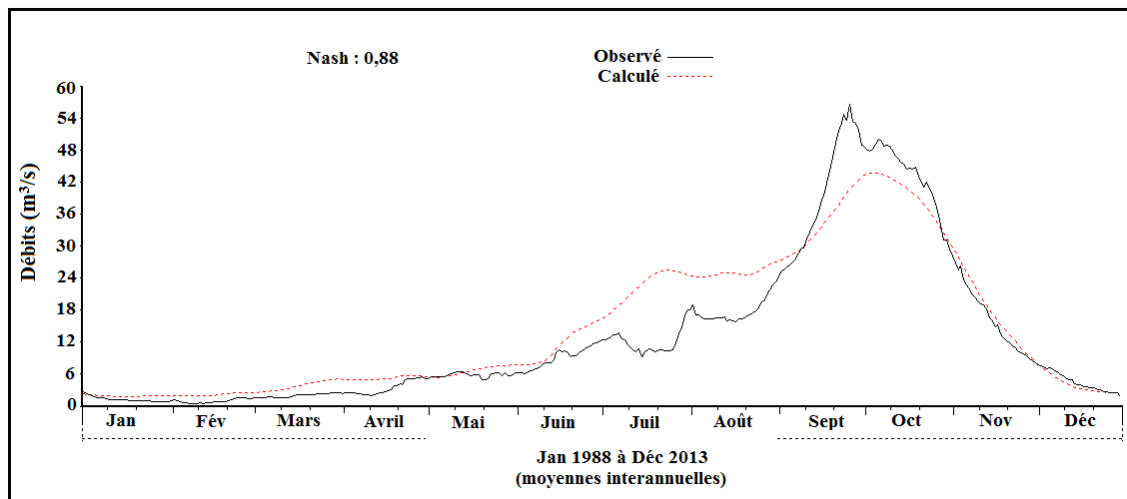


Figure 48 : Débits journaliers interannuels observés et calculés pour la période de validation (1988-2013) à la station de Nibéhibé

Les paramètres optimaux obtenus après plusieurs ajustements sont en annexe 4. Les valeurs des paramètres sont optimales parce que la valeur du coefficient de Nash correspondante la plus élevée est de 95,07%.

Le calage et la validation effectués, les débits et lames d'eau entrant dans les retenues ont été estimés. Ces retenues constituent des sources d'approvisionnement en eau pour les activités agropastorales. Ainsi, est-il nécessaire de connaître les débits et lames d'eau qu'elles reçoivent pour une meilleure gestion de ces ressources en eau.

6-1-2-3- Débits et lames d'eau entrant dans les retenues

Les débits et lames d'eau entrant dans les retenues sont consignés dans le tableau XXVIII.

Tableau XXVIII : Débits et lames d'eau entrant dans les retenues

Retenue	Débit entrant (m ³ /s)	Lame d'eau (mm/an)	Volume écoulé (10 ⁶ m ³ /an)
Yuala	0,57	34	18,122
Kibouo	0,02	79	0,632
Brakaguhé	0,05	18	1,548
SODECI	10,5	64	332,16

La retenue de la SODECI mobilise la plus importante quantité d'eau avec un débit entrant de 10,5 m³/s et un volume écoulé de 332,16.10⁶ m³. Cette retenue est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Daloa. Ensuite, les retenues de Yuala, Brakaguhé et Kibouo avec des volumes respectifs de 18,122.10⁶ m³, 1,548.10⁶ m³ et 0,632.10⁶ m³. Elles sont utilisées pour les activités agropastorales.

Les débits et lames d'eau entrant dans les retenues couvrent la période 1988-2013.

6-1-3- Ressources en eau souterraine du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

Les ressources en eau souterraine du bassin versant sont estimées à travers les recharges annuelles et sont consignées dans le tableau XXIX. Ces recharges annuelles constituant les ressources en eau souterraine sont de 84 et 66,4 mm respectivement pour les années 2019 et 2020.

Tableau XXIX : Recharge annuelle du bassin sur la période (2019-2020)

	Station	Année		
		2018	2019	2020
Recharge directe (mm)		44	57,3	43
Débit de base (mm)	Sikaboutou	-	42,6	23,4
	Nibéhibé	-	10,8	-
Recharge annuelle (mm)		-	84	66,4

➤ Analyse de l'adéquation entre les ressources en eau et les besoins actuels

Bien avant d'évaluer les ressources en eau future du bassin versant, il convient d'analyser l'adéquation entre les ressources en eau actuelle et les besoins des usagers. Le tableau XXX présente l'adéquation entre l'offre et les besoins en eau de la période actuelle.

Tableau XXX : Adéquation entre l'offre et les besoins en eau de la période actuelle

Retenue	Offre (10 ⁶ m ³ /an)	Besoin (10 ⁶ m ³ /an)	Besoin non satisfait (10 ⁶ m ³ /an)
Yuala	18,122	3,26	0
Kibouo	0,632	1,2	0,568

Brakaguhé	1,548	1,94	0,392
SODECI	332,16	6,998 875	0

L'analyse de l'adéquation entre les ressources en eau et les besoins des différentes retenues a permis de faire ressortir les demandes en eau non satisfaites actuelles. Ainsi, au niveau des retenues de Yuala et de la SODECI, les besoins sont-ils satisfaits. Par contre, au niveau des retenues de Kibouo et de Brakaguhé, les demandes en eau non satisfaites sont respectivement de $0,568.10^6$ et de $0,392.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Suite aux demandes en eau non satisfaites constatées dans la gestion actuelle des ressources en eau, il convient nécessairement d'estimer ces ressources en eau à l'horizon 2050 dans le but de connaître leur disponibilité future.

6-2- Ressources en eau du bassin versant à l'horizon 2050

6-2-1- Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé à l'horizon 2050

Pour mieux apprécier la dynamique de l'occupation du sol, les cartes de changement d'état des catégories d'occupation du sol (forêt dense, forêt dégradée, cultures, eau et sols nus) ont été réalisées sur les périodes 2019-2030, 2030-2050 et 2019-2050. Ainsi les taux d'évolution de chaque catégorie d'occupation du sol ont-ils permis de mieux apprécier cette dynamique.

La carte d'occupation du sol générée à partir des images de 2019 (figure 49a) montre une dominance des cultures et de sols nus qui couvrent respectivement 53,68% et 16,8% du bassin versant. La forêt dégradée occupe 16% de la zone alors que la forêt dense couvre 13,3% du territoire. L'eau occupe 0,22% de la superficie du bassin versant. En 2030, l'analyse montre une augmentation de la classe de cultures et des sols nus au détriment de la forêt dense et de la forêt dégradée en 2019. On peut ainsi remarquer sur la figure 49b que :

- les zones agricoles couvriront dans leur ensemble une superficie de 68,17% de la superficie totale ;
- les zones urbanisées et sols nus s'étalent sur 19,8% de la superficie de la zone d'étude ;
- la forêt dense occupe quant à elle 6,73% de la zone d'étude ;
- la forêt dégradée constituée de confusion de forêt peu arborée et de plantation couvre 5,09% de la superficie ;
- les surfaces couvertes par l'eau sont de 0,21 % de la superficie.

L'analyse de la carte d'occupation du sol de l'année 2050 (Figure 49c) révèle que les zones cultivées et les sols nus prédominent avec des surfaces respectives 69,18% et de 21,87%. La forêt dense connaît une réduction de sa superficie par rapport à l'année 2030 occupant ainsi

4,42% de la superficie totale. Ensuite vient la forêt dégradée qui occupe 4,32%, suivi de l'eau représentant 0,21% de la zone d'étude.

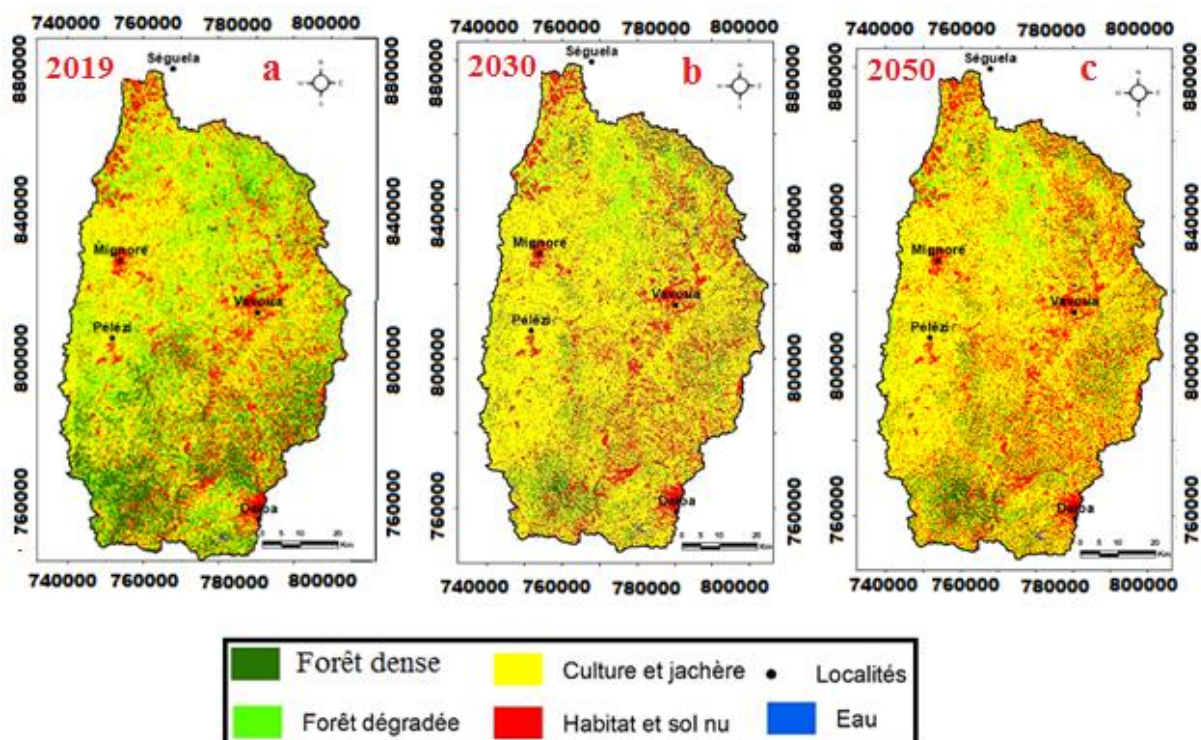


Figure 49 : Répartition des classes d'occupation du sol entre 2019 et 2050

Les résultats statistiques des différentes classes permettent de donner plus de précision sur les superficies de chaque classe. Les statistiques sont supérieures à 80% et évoluent dans le même ordre de grandeur ($K_{Standard} = 84,33\%$, $K_{Non} = 86,02\%$, et $K_{Location} = 86,89\%$).

Le tableau XXXI présente les différents taux de changement des classes d'occupation du sol entre l'année 2019 et 2050.

Tableau XXXI : Evolution du taux de changement des classes d'occupation du sol entre 2019, 2030 et 2050

Classes	Superficie						Taux de changement (Tc)		
	2019		2030		2050		2019-2030	2030-2050	2019-2050
	ha	%	ha	%	ha	%			
Forêt dense	92075,9	13,3	46600,4	6,73	30600,3	4,42	-6,19	-2,10	-3,55
Forêt dégradée	110768	16	35300,7	5,09	29900	4,32	-10,39	-0,83	-4,22
Cultures	371626,64	53,68	471800,7	68,17	478850	69,18	2,16	0,07	0,81
Eau	1523,06	0,22	1500,2	0,21	1500,2	0,21	-0,13	0	-0,05
Sols nus	22845,9	16,8	137098	19,80	151449,5	21,87	1,49	0,49	0,85
Total	692300	100	692300	100	692300	100			

➤ **Entre 2019 et 2030**

L'analyse des résultats montre que les taux positifs révèlent une augmentation des superficies, entre les années 2019 et 2030 des classes d'occupation du sol comme les cultures (2,16%) et sols nus (1,49%). Les valeurs négatives indiquent que durant cette même période, les superficies des unités d'occupation des terres telles que la forêt dense, la forêt dégradée et l'eau régressent respectivement de 6,19%, 10,39 et 0,13% par an dues à la surexploitation des surfaces forestières et à la baisse de la pluviométrie constatées dans la zone.

➤ **Entre 2030 et 2050**

Pour la période 2030-2050, le tableau XXXI indique des diminutions annuelles de 2,10% et 0,83% respectivement pour la forêt dense et la forêt dégradée. L'eau reste quasi constante, tandis qu'une augmentation moyenne annuelle de 0,07% et 0,49% des superficies de cultures et sols nus est observée.

➤ **Entre 2019 et 2050**

D'après les résultats, les formations forestières qui occupaient 13,3 % en 2019 passeront à 4,42 % en 2050, soit une diminution de 3,55 % par an. Le même constat est fait au niveau de la forêt dégradée qui passera, durant la période 2019-2050, de 110 768 à 29 900 ha ce qui équivaut à une baisse annuelle de 4,22 %. Aussi, constate-t-on une régression des surfaces occupées par l'eau qui passent de 1 523,06 à 1 500,2 ha entre 2019 et 2050, soit une régression de 0,05 par an. Quant aux classes cultures et sols nus, elles augmenteront respectivement de 0,81 % et 0,85 % par an de 2019 à 2050.

6-2-1-1- Débits et lames d'eau futurs entrant dans les retenues

6-2-1-1-1- Débits et lames d'eau entrant dans les retenues selon le modèle CCLM4-8-17 sous le scénario RCP4.5 sur la période 2021-2040

Les débits et lames d'eau entrants dans les retenues sur la période 2021-2040 sont consignés dans le tableau XXXII.

Les débits et lames d'eau alimentant les différentes retenues pour les activités agropastorales et pour l'approvisionnement en eau potable des populations sont estimés en volume écoulé. La retenue de la SODECI utilisée pour l'approvisionnement en eau potable des populations de Daloa mobilise le plus important volume d'eau ($1\,640,04 \cdot 10^6 \text{ m}^3$). Ensuite, viennent les retenues de Yuala, Brakaguhé et Kibouo utilisées pour les activités agropastorales.

Tableau XXXII : Débits et lames d'eau entrant dans les retenues

Retenue	Débit entrant (m ³ /s)	Lame d'eau (mm/an)	Volume écoulé (10 ⁶ m ³ /an)
Yuala	2,39	141	75,153
Kibouo	0,11	434	3,472
Brakaguhé	0,33	121	10,406
SODECI	52,08	316	1 640,04

6-2-1-1-2- Débits et lames d'eau entrant dans les retenues selon le modèle CCLM4-8-17 sous le scénario RCP8.5 sur la période 2021-2040

Les débits et lames d'eau entrant dans les retenues sont consignés dans le tableau XXXIII.

Les débits et lames d'eau alimentant les différentes retenues pour les activités agropastorales et pour l'approvisionnement en eau potable des populations sont estimés en volume écoulé. La retenue de la SODECI utilisée pour l'approvisionnement en eau potable des populations de Daloa mobilise la plus grande quantité d'eau (1 235,22.10⁶ m³). Ensuite, viennent les retenues de Yuala, Brakaguhé et Kibouo utilisées pour les activités agropastorales.

Tableau XXXIII : Débits et lames d'eau entrant dans les retenues

Retenue	Débit entrant (m ³ /s)	Lame d'eau (mm/an)	Volume écoulé (10 ⁶ m ³ /an)
Yuala	1,81	107	57,031
Kibouo	0,09	355	2,84
Brakaguhé	0,27	99	8,514
SODECI	39,22	238	1 235,22

6-2-1-1-3- Débits et lames d'eau entrant dans les retenues selon le modèle CCLM4-8-17 sous le scénario RCP4.5 sur la période 2041-2060

Les débits et lames d'eau entrant dans les retenues sont consignés dans le tableau XXXIV.

La retenue de la SODECI drainant une surface importante et utilisée pour l'approvisionnement en eau potable des populations de Daloa mobilise la plus grande quantité d'eau (1 427,25.10⁶ m³). Ensuite, viennent les retenues de Yuala, Brakaguhé et Kibouo du fait de leurs surfaces drainées moins importantes que celle drainée par la retenue de la SODECI et utilisées pour les activités agropastorales.

Tableau XXXIV : Débits et lames d'eau entrant dans les retenues

Retenue	Débit entrant (m ³ /s)	Lame d'eau (mm/an)	Volume écoulé (10 ⁶ m ³ /an)
Yuala	2,1	124	66,092
Kibouo	0,11	434	3,472
Brakaguhé	0,32	117	10,062
SODECI	45,21	275	1 427,25

6-2-1-1-4- Débits et lames d'eau entrant dans les retenues selon le modèle CCLM4-8-17 sous le scénario RCP8.5 sur la période 2041-2060

Les débits et lames d'eau entrant dans les retenues sont consignés dans le tableau XXXV.

Les débits et lames d'eau alimentant les différentes retenues pour les activités agropastorales et pour l'approvisionnement en eau potable des populations sont estimés en volume écoulé. La retenue de la SODECI utilisée pour l'approvisionnement en eau potable des populations de Daloa mobilise la plus grande quantité d'eau ($1\,562,19 \cdot 10^6 \text{ m}^3$). Ensuite, viennent les retenues de Yuala, Brakaguhé et Kibouo utilisées pour les activités agropastorales.

Tableau XXXV : Débits et lames d'eau entrant dans les retenues

Retenue	Débit entrant (m^3/s)	Lame d'eau (mm/an)	Volume écoulé ($10^6 \text{ m}^3/\text{an}$)
Yuala	2,37	140	74,62
Kibouo	0,09	355	2,84
Brakaguhé	0,27	99	8,514
SODECI	49,5	301	1 562,19

L'estimation des débits entrant dans les retenues a permis de mettre en évidence la disponibilité des ressources en eau dans le bassin versant.

6-3- Discussion

Les ressources en eau en (2019-2020) et sur les périodes futures (2021-2040) et (2041-2060) ont été estimées afin d'appréhender leur disponibilité quant à la satisfaction des besoins des usagers. Ainsi, l'évaluation des ressources en eau de surface à travers la détermination du volume des différentes retenues a-t-elle été faite. Ce volume est de $1\,324\,510,9 \text{ m}^3$ pour la retenue de Kibouo et de $2\,020\,267,59 \text{ m}^3$ pour la retenue de Brakaguhé. Quant aux retenues de Yuala et de la SODECI, les volumes sont respectivement de $1\,568\,922,11$ et $396\,000 \text{ m}^3$ (2019-2020). Ces retenues dans l'ensemble mobilisent des quantités importantes d'eau utilisées. Celles de Kibouo, Brakaguhé et Yuala sont utilisées pour les activités agropastorales et celle de la SODECI est utilisée pour l'approvisionnement en eau potable des populations. En termes de disponibilité en eau, ces différentes retenues permettent de combler les besoins en eau des usagers. Par la suite, le modèle CEQUEAU a permis d'évaluer les écoulements de surface à travers les débits et lames d'eau entrant dans les retenues. Pour ce faire, la caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol a été réalisée. Ainsi, l'évaluation de la dynamique des classes d'occupation du sol a mis en évidence sur le bassin versant une augmentation des classes de cultures et sols nus sur la période d'étude et une réduction des classes de forêt dense, forêt dégradée et eau. En effet, l'agriculture qui est la principale activité se pratique sur la surface du bassin versant. La présence de forte extension d'aires de cultures ou de jachères sur le bassin

versant est le fait de l'introduction de nouvelles cultures moins exigeantes en sols fertiles (hévée, anacarde, manioc, teck, etc.). Selon Avit *et al.* (1999), ces mesures d'introduction de nouvelles cultures sont prises par la Côte d'Ivoire pour diversifier son agriculture. Noufou (1998), dans une étude similaire a montré que la superficie forestière actuelle est inférieure à celle qu'elle devrait être, alors que la superficie agricole actuelle est supérieure à son niveau optimal.

Ainsi, constate-t-on de façon générale que les zones de culture représentent plus de la moitié de la superficie du bassin versant (53,68%) avec une dominance des cultures pérennes que sont le café, le cacao et l'anacarde suivies des cultures pluviales et des cultures maraîchères dû à la forte migration de la population agricole en quête de terre fertile et pluviométrie propice à l'activité agricole. Les zones urbanisées qui témoignent de la forte anthropisation du milieu représentent une tranche assez importante sur le bassin versant (16,8%).

Les variables climatiques des périodes d'étude (2021-2040 et 2041-2060) ont été intégrées à la dynamique de l'occupation du sol du fait que ces deux facteurs influencent les écoulements de surface.

L'estimation des débits en amont des retenues a permis d'obtenir pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI des débits respectifs de 0,57 m³/s, 0,02 m³/s, 0,05 m³/s et 10,5 m³/s. Le débit élevé de la retenue de la SODECI est dû au fait qu'elle est située sur le cours d'eau principal (Lobo) et draine une superficie importante. Quant aux autres retenues, elles ne sont pas sur le cours d'eau principal, drainent des superficies réduites comparées à celle de la prise d'eau et ne sont pas alimentées permanemment. Les sous bassins drainés par ces retenues sont de 533 Km², 8 Km², 86 Km² et 5 190 Km² respectivement pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI. Le volume d'eau écoulé à la retenue de la SODECI est le plus élevé (332,16.10⁶ m³) du fait de sa plus grande superficie et aussi le fait qu'elle soit sur le cours d'eau principal et alimentée permanemment. Du fait qu'elles ne soient pas alimentées permanemment, les autres retenues hormis celle de la SODECI ne peuvent pas être utilisées pour l'approvisionnement en eau potable des populations.

Concernant l'évaluation des eaux souterraines, les recharges annuelles ont été estimées à 84 mm pour l'année 2019 et à 66,4 mm pour l'année 2020 (Kouadio *et al.*, 2022). Bien qu'étant en baisse de 17,6 mm entre l'année 2019 et 2020, les ressources en eau souterraine du bassin versant ne sont pas négligeables et peuvent alimenter les populations rurales. Les difficultés d'approvisionnement en eau sont du fait de l'insuffisance ainsi que de la mauvaise gestion des ouvrages hydrauliques. En effet, ces ouvrages hydrauliques permettant de capter ces ressources en eau souterraine sont pour la plupart non fonctionnels.

L'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé à l'horizon 2050 indique une tendance à la régression de la forêt dense qui passera de 13,3 % en 2019 à 4,42 % en 2050. De même, la forêt dégradée et l'eau qui passeront respectivement de 16 % en 2019 à 4,32 % en 2050 et de 0,22% en 2019 à 0,21% en 2050. Dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, la pluviométrie est en baisse comme dans les régions tropicales humides d'Afrique depuis 1960 (Lambin & Ehrlich, 1997). Cette baisse de la pluviométrie pourrait expliquer la diminution des surfaces en eau observée dans la zone.

Aussi, la gestion non coordonnée des ressources en eau entre différents usagers dans le bassin pourrait expliquer cette réduction des surfaces en eau.

La réduction des surfaces forestières est due au fait qu'après une ou deux années de cultures vivrières, les paysans abandonnent les parcelles cultivées pour coloniser de nouvelles terres forestières plus fertiles, laissant les anciennes en jachère afin de restaurer leur fertilité.

Cette conversion de la forêt en culture et jachère est observée dans la forêt classée du Haut-Sassandra dans l'extrême ouest du bassin versant de la rivière Lobo. Les populations se sont installées clandestinement dans la forêt classée du Haut-Sassandra en développant des activités agricoles au détriment des surfaces forestières. Cela a entraîné une régression considérable de la forêt au profit des cultures de rente notamment le café et le cacao (Zanh *et al.*, 2018). Les différentes crises politico-militaires qu'a connues la Côte d'Ivoire en Septembre 2002, pourraient être l'une des causes de la conversion des forêts en culture et jachère. En effet, selon Sangne *et al.* (2015), cette crise a favorisé l'infiltration des populations des pays voisins dans plusieurs forêts de Côte d'Ivoire, notamment celle du Haut-Sassandra.

Quant aux classes de cultures et sols nus, la tendance est à la hausse avec des valeurs respectives de 53,68 % en 2019 à 69,18 % en 2050 et de 16,8 % en 2019 à 21,87 % en 2050. En effet, l'agriculture qui est la principale activité se pratique sur la surface du bassin versant. La présence de forte extension d'aires de cultures ou de jachères sur le bassin est le fait de l'introduction de nouvelles cultures moins exigeantes en sols fertiles (hévéea, anacarde, manioc, teck, etc.,).

L'estimation des débits en amont des retenues avec le modèle CCLM4-8-17 sur la période 2021-2040 sous le scénario RCP4.5 a permis d'obtenir pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI des débits respectifs de 2,39 m³/s, 0,11 m³/s, 0,33 m³/s et 52,08 m³/s. Cette estimation des débits sur la période 2041-2060 est respectivement de 2,1 m³/s, 0,11 m³/s, 0,32 m³/s et 45,21 m³/s pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI. Cette baisse des débits en amont des retenues entre ces deux périodes pourrait être due à la baisse des précipitations et des écoulements constatés dans la zone. En Côte d'Ivoire, plusieurs

études sont unanimes sur l'augmentation de la température suivie d'une baisse importante de la pluie sur les bassins versants de la Côte d'Ivoire (Coulibaly *et al.*, 2018a ; Yao *et al.*, 2019). La diminution de la pluie moyenne dans cette région pourrait probablement être induite en partie par un affaiblissement de l'humidité provenant des sources locales, ce qui ralentit le cycle hydrologique (Diallo *et al.*, 2016).

Les débits en amont des retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI sur la période 2021-2040 sous le scénario RCP8.5 seront respectivement de 1,81 m³/s, 0,09 m³/s, 0,27 m³/s et 39,22 m³/s. Sur la période 2041-2060 ces débits seront respectivement de 2,37 m³/s, 0,09 m³/s, 0,27 m³/s et 49,5 m³/s pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI. La tendance concernant les débits entrant dans les retenues est à la hausse. Cette augmentation des débits pourrait se justifier par la disparition du couvert forestier qui engendrerait la hausse des écoulements. Selon Yao (2015), cette augmentation des débits pourrait être due à la forte dégradation des états de surface, par l'intensification des activités agricoles. De plus, à l'instar des zones forestières de la Côte d'Ivoire, le bassin versant de la Lobo subit une déforestation rapide due aux activités agricoles (Brou, 1997). Les travaux de Kouadio (2011) et Touao *et al.* (2018) sur les bassins du Boubo, l'Agneby et de la Davo ont clairement montré qu'une réduction de la couverture végétale participe à une augmentation des débits.

Les lames d'eau sont ramenées en volume écoulé à travers la superficie drainée par chaque retenue. Ainsi, quel que soit les scénarii et périodes de l'étude, la retenue de la SODECI mobilise la plus importante quantité d'eau du fait de sa position sur le cours d'eau principal, sa superficie drainée et de la disparition du couvert forestier sur le bassin versant. Par la suite, les retenues de Yuala, Brakaguhé et Kibouo qui mobilisent des quantités d'eau moins importantes. Les demandes en eau des différents usagers étant exprimées en volume, les débits entrants dans les retenues ont été ramenés en volume également afin de mieux apprécier l'analyse de l'adéquation entre l'offre et la demande en eau. Ainsi, outre la retenue de Kibouo, les retenues de Yuala, Brakaguhé et de la SODECI parviennent-elles à satisfaire leurs usages respectifs.

Conclusion partielle

L'évaluation des ressources en eau actuelle dans un premier temps a consisté à déterminer les volumes des différentes retenues. Ces volumes sont de 1 324 510,9 m³ pour la retenue de Kibouo et de 2 020 267,59 m³ pour la retenue de Brakaguhé. Ils sont estimés à 1 568 922,811 m³ et à 396 000 m³ respectivement pour les retenues de Yuala et de la SODECI. Ensuite, l'évaluation des écoulements de surface a permis d'estimer les volumes écoulés dans ces retenues. Ces volumes sont de 18,122.10⁶ m³ pour la retenue de Yuala. Pour la retenue de

Kibouo, il est estimé à $0,632.10^6 \text{ m}^3$ et de $1,548.10^6 \text{ m}^3$ pour la retenue de Brakaguhé. Quant à la retenue de la SODECI, il est estimé à $332,16.10^6 \text{ m}^3$.

Les ressources en eau souterraine sont estimées à 84 et 66,4 mm respectivement pour l'année 2019 et 2020.

Dans un second temps, les ressources en eau à l'horizon 2050 ont été estimées. Ainsi, l'estimation des débits en amont des retenues avec le modèle CCLM4-8-17 sur la période 2021-2040 sous le scénario RCP4.5 a permis d'obtenir les volumes écoulés dans les retenues. Ces volumes seront de $75,153.10^6 \text{ m}^3$, $3,472.10^6 \text{ m}^3$, $10,406.10^6 \text{ m}^3$ et $1\ 640,04.10^6 \text{ m}^3$ respectivement pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI. Cette estimation des volumes sur la période 2041-2060 sera respectivement de $66,092.10^6 \text{ m}^3$, $3,472.10^6 \text{ m}^3$, $10,062.10^6 \text{ m}^3$ et $1\ 427,25.10^6 \text{ m}^3$ pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI.

Les volumes écoulés dans les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI sur la période 2021-2040 sous le scénario RCP8.5 seront respectivement de $57,031.10^6 \text{ m}^3$, $2,84.10^6 \text{ m}^3$, $8,514.10^6 \text{ m}^3$ et $1\ 235,22.10^6 \text{ m}^3$. Sur la période 2041-2060, ces volumes seront respectivement de $74,62.10^6 \text{ m}^3$, $2,84.10^6 \text{ m}^3$, $8,514.10^6 \text{ m}^3$ et $1\ 562,19.10^6 \text{ m}^3$ pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI.

Pour une meilleure gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, il conviendrait d'analyser l'adéquation entre l'offre et la demande en eau à l'horizon 2050.

Les résultats obtenus font l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 7 : MODELISATION DE L'ALLOCATION DES RESSOURCES EN EAU

7-3- Demande en eau du bassin à l'horizon 2050

➤ Présentation cartographique du modèle

Le modèle cartographique du bassin versant créé avec WEAP, est présenté à la figure 50. Le projet WEAP ainsi élaboré comprend les objets suivants :

- une rivière (Lobo) (en bleu foncé) et son affluent (Dé) (en bleu clair) dont l'écoulement est simulé par le modèle WEAP ;
- treize sites de demandes (les points rouges) représentant les différents usages de l'eau ;
- treize liaisons de transmission (les flèches vertes) permettant les transits de l'eau des sources aux sites de demandes ;
- treize liaisons de débits de retour (les flèches rouges) du fait de la consommation de l'eau au niveau des sites de demandes qui n'est pas entière et dont une partie retourne au cours d'eau ;
- quatre retenues représentées par les triangles en vert alimentant les sites agricoles (Yuala, Kibouo, Brakaguhé) et l'approvisionnement en eau potable de la ville de Daloa ;
- cinq points de captages des eaux souterraines matérialisés par les carrés en vert alimentant les départements de Vavoua et Zoukougbeu.

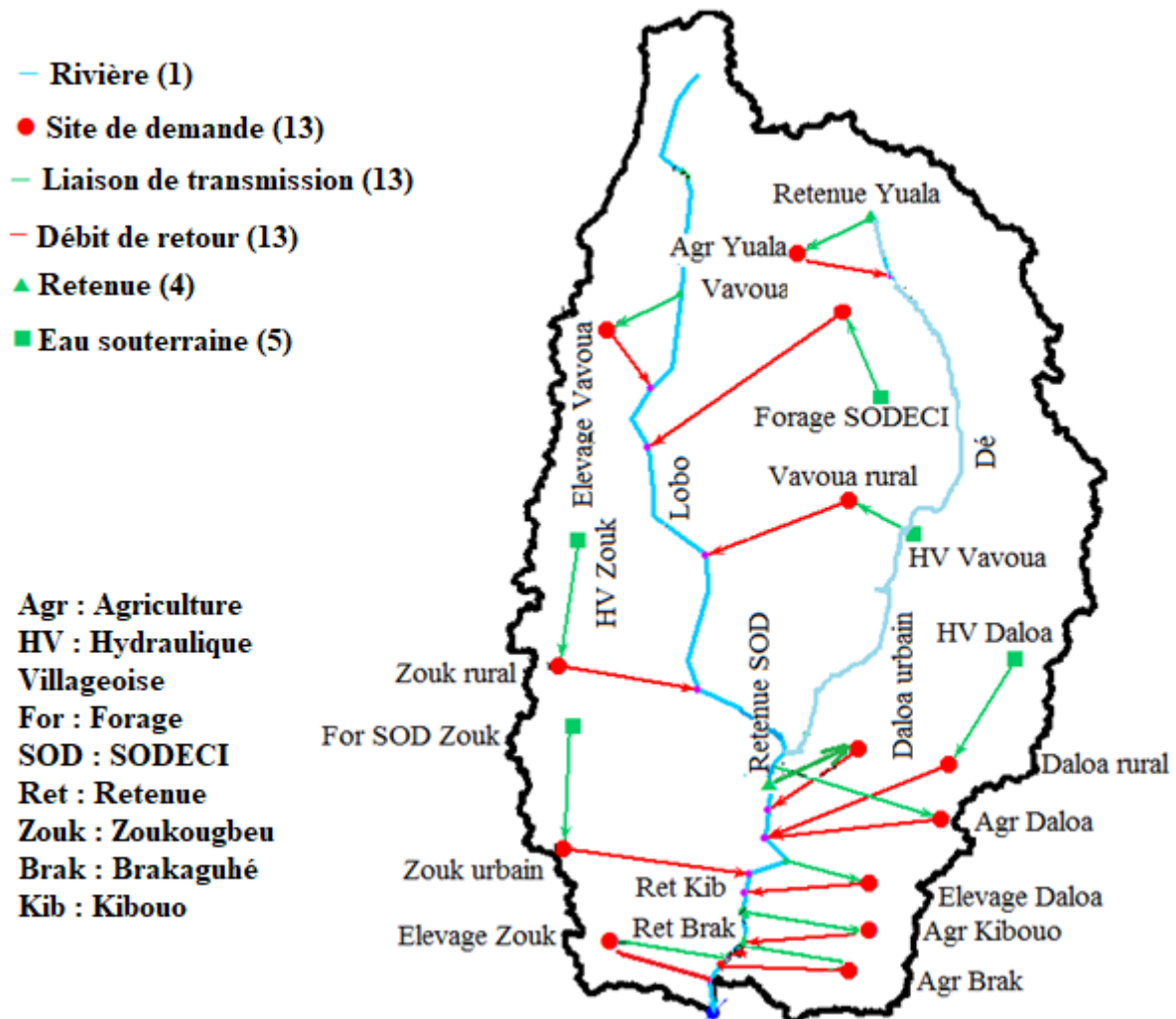


Figure 50 : Représentation schématique du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé à l'aide du modèle WEAP

La simulation de la demande en eau permet de connaître les besoins en eau des différents usagers représentés par les différents sites de demandes et regroupés à travers trois types d'usages à savoir l'AEP, l'agriculture et l'élevage. Cette simulation a été faite sur la période 2021-2050 selon différents scénarii.

7-3-1- Scénario de référence

Le scénario de référence permet de simuler la demande en eau actuelle sans aucun changement.

➤ Demande en eau

Dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, la demande en eau est actuellement estimée à 30 180 588 m³. Les demandes en eau pour l'AEP, l'agriculture et l'élevage sont estimées respectivement à 19 792 493 m³, 9 000 000 m³ et 1 388 095 m³. La demande en eau pour l'AEP s'élève à 65,58% de la demande en eau totale. Ensuite, le secteur agricole représentant 29,82% et le secteur du cheptel avec une demande de 4,6% de la demande en eau totale. A l'horizon 2050, la demande en eau totale du bassin sera estimée à 83 700 000 m³ avec une demande en

eau de 47 900 000 m³, 33 100 000 m³ et 2 700 000 m³ respectivement pour l'AEP, l'agriculture et l'élevage. Ces demandes en eau pour l'AEP, le secteur agricole et du cheptel représenteront respectivement 57,1%, 39,45% et 3,45% de la demande en eau totale (Figure 51).

Dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, l'AEP utilise la plus grande part de la demande en eau totale, ensuite viennent le secteur agricole et le cheptel.

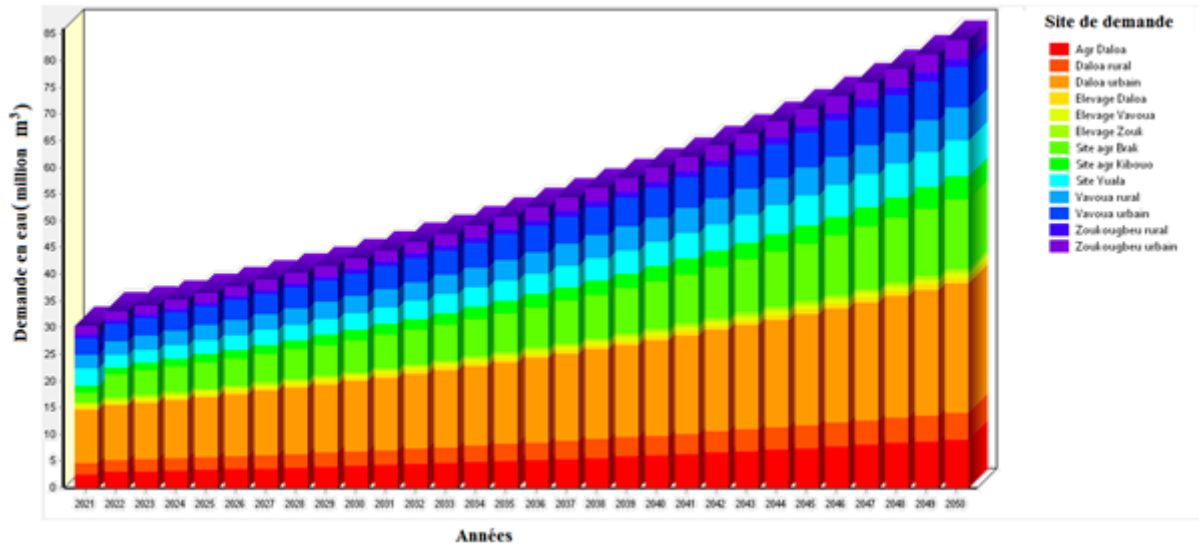


Figure 51 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario de référence

➤ **Demande en eau Non Satisfaite**

La Demande en eau Non Satisfaite (DNS) représente les pénuries d'eau constatées sur le bassin versant. Cette Demande en eau Non Satisfaite actuelle est estimée à 4 500 000 m³. La Demande en eau Non Satisfaite est constatée dans le secteur de l'AEP notamment dans les zones rurales de Daloa (1 800 000 m³), de Vavoua (100 000 m³) et Zoukougbeu (500 000 m³). Elle est également constatée dans les zones urbaines de Vavoua (1 600 000 m³) et de Zoukougbeu (500 000 m³). A l'horizon 2050, la DNS s'estimera à 23 700 000 m³. Elle sera respectivement de 5 000 000 m³, 6 100 000 m³ et 1 500 000 m³ dans les zones rurales de Daloa, Vavoua et Zoukougbeu. Cette demande en eau non satisfaite s'élèvera à 7 600 000 m³ dans la zone urbaine de Vavoua et à 3 500 000 m³ dans la zone urbaine de Zoukougbeu (Figure 52). Dans le secteur agropastoral, la demande en eau non satisfaite sera nulle du fait que les ressources en eau existantes parviennent à combler ces usages.

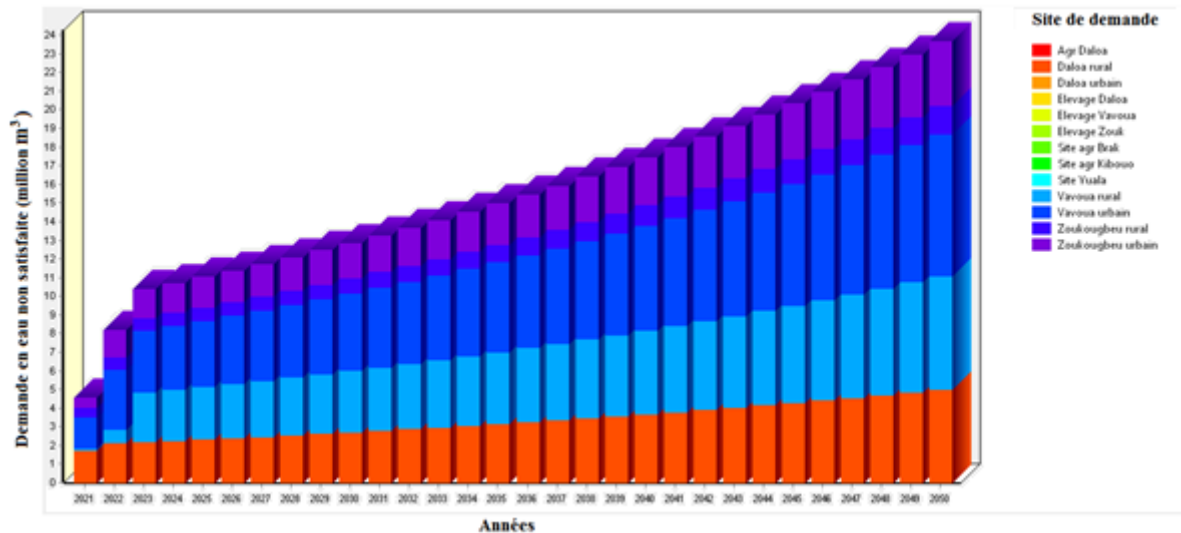


Figure 52 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario de référence

7-3-2- Scénario de faible taux de croissance démographique

La simulation de la demande en eau selon le scénario de faible taux de croissance démographique permet de simuler l'impact du taux d'accroissement le plus faible (0,33%) constaté sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé sur les ressources en eau.

➤ Demande en eau

La demande en eau actuelle dans le bassin versant selon le scénario de faible taux de croissance démographique est estimée à 30 180 588 m³. La demande en eau à l'horizon 2050 sera de 57 700 000 m³. Comparativement à la demande en eau du scénario de référence, une baisse de la demande en eau de 31,23% sera constatée en appliquant le scénario de faible taux de croissance démographique. (Figure 53).

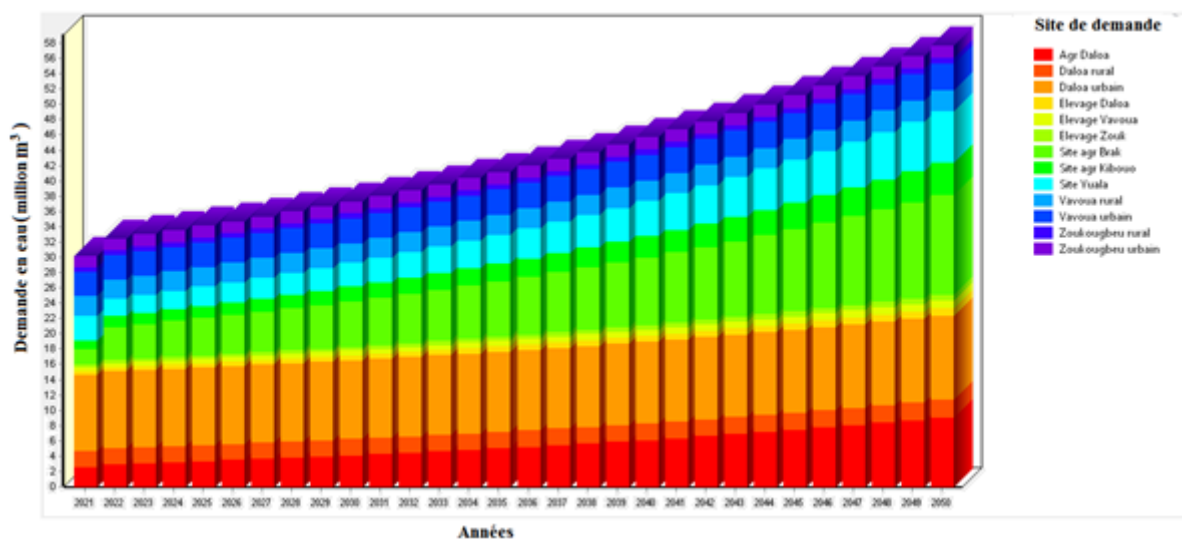


Figure 53 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario de faible taux de croissance démographique

➤ Demande en eau Non Satisfaite

La Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario de faible taux de croissance démographique part de 4 500 000 à 10 700 000 m³. La demande en eau non satisfaite est exclusivement constatée dans le secteur de l'AEP. En effet, les zones rurales de Daloa, Vavoua et Zoukougbeu ont des demandes en eau non satisfaites respectives de 1 800 000 m³, 100 000 m³ et 500 000 m³. Quant aux zones urbaines de Vavoua et Zoukougbeu, elles sont respectivement de 1 600 000 et 500 000 m³. Par contre, la zone urbaine de Daloa a une demande satisfaite. A l'horizon 2050, la demande en eau non satisfaite s'élèvera à 10 700 000 m³ d'où une baisse de 54,85% comparativement au scénario de référence. (Figure 54).

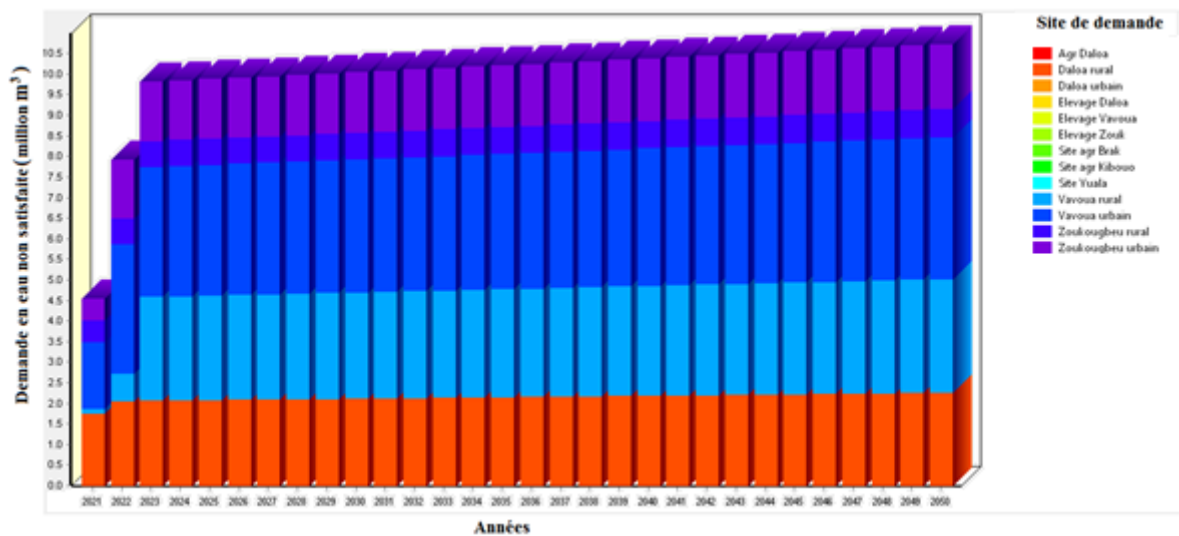


Figure 54 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario de faible taux de croissance démographique

7-3-3- Scénario de fort taux de croissance démographique

La simulation de la demande en eau selon le scénario de fort taux de croissance démographique permet de simuler l'impact du taux d'accroissement le plus élevé (4,85%) constaté sur le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé sur les ressources en eau.

➤ Demande en eau

La demande en eau actuelle dans le bassin selon le scénario de fort taux de croissance démographique est estimée à 30 180 588 m³. La demande en eau à l'horizon 2050 s'élèvera à 114 100 000 m³. Comparativement à la demande en eau du scénario de référence, une hausse de la demande en eau de 36% sera constatée en appliquant le scénario de fort taux de croissance démographique. (Figure 55).

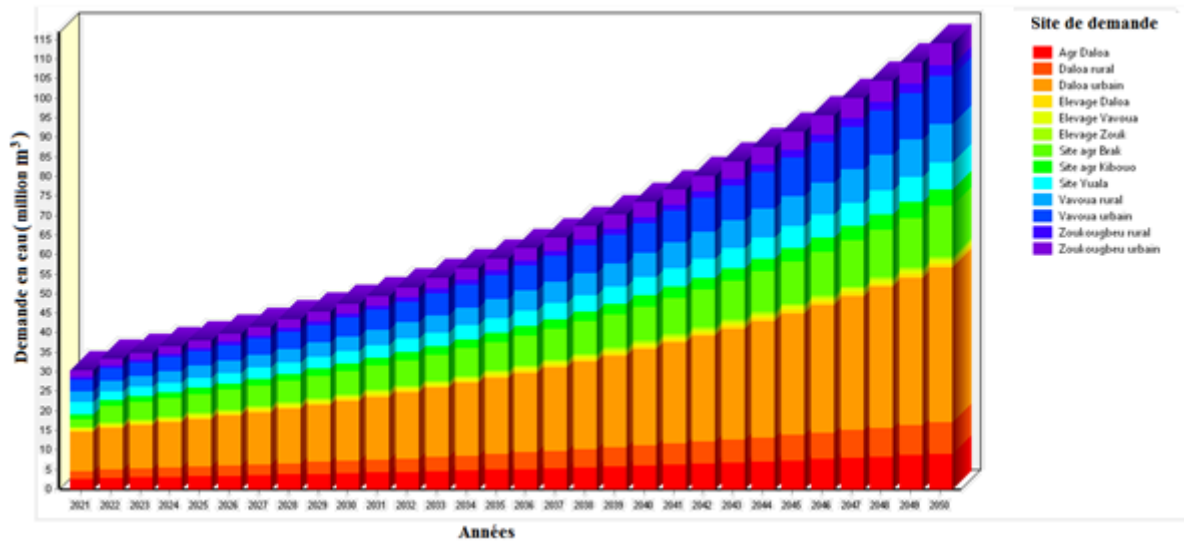


Figure 55 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario de fort taux de croissance démographique

➤ **Demande en eau Non Satisfaite**

La Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario de fort taux de croissance démographique part de 4 500 000 à 38 600 000 m³. La Demande en eau Non Satisfaite est uniquement constatée dans le secteur de l’AEP. A l’horizon 2050, les zones rurales de Daloa, Vavoua et Zoukougbeu auront des Demandes en eau Non Satisfaites respectives de 8 200 000 m³, 9 900 000 m³ et 2 500 000 m³. Quant aux zones urbaines de Vavoua et Zoukougbeu, elles seront respectivement de 12 400 000 et 5 600 000 m³. Par contre, la zone urbaine de Daloa aura une demande satisfaite. La Demande en eau Non Satisfaite sera estimée à 38 600 000 m³ soit une hausse de 62,86% comparativement au scénario de référence. (Figure 56).

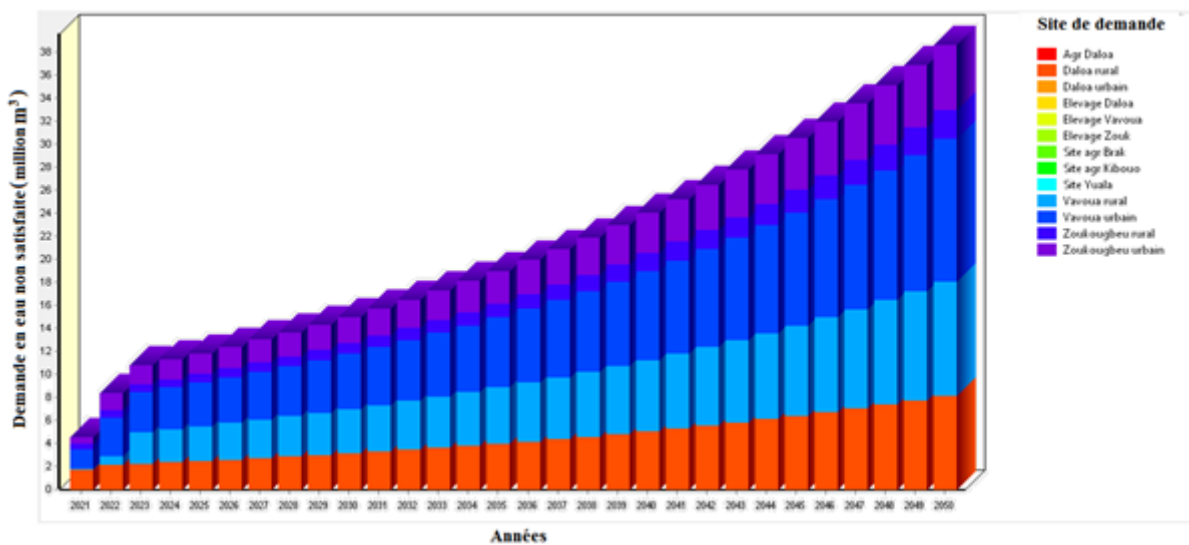


Figure 56 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario de fort taux de croissance démographique

7-3-4- Scénario relatif à l'amélioration du niveau de vie

La simulation de la demande en eau selon le scénario relatif à l'amélioration du niveau de vie permet de simuler l'impact de l'augmentation des consommations spécifiques des populations urbaines (100 l/hbt/j) et rurales (25 l/hbt/j) sur les ressources en eau.

➤ Demande en eau

La demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif à l'amélioration du niveau de vie part de 30 180 588 à 107 600 000 m³. A l'horizon 2050 la demande en eau de ce scénario connaîtra une hausse de 28,25% comparativement au scénario de référence. Cette demande en eau pour l'AEP sera de 71 800 000 m³ et s'estimera à 35 800 000 m³ pour les usages agropastoraux (Figure 57).

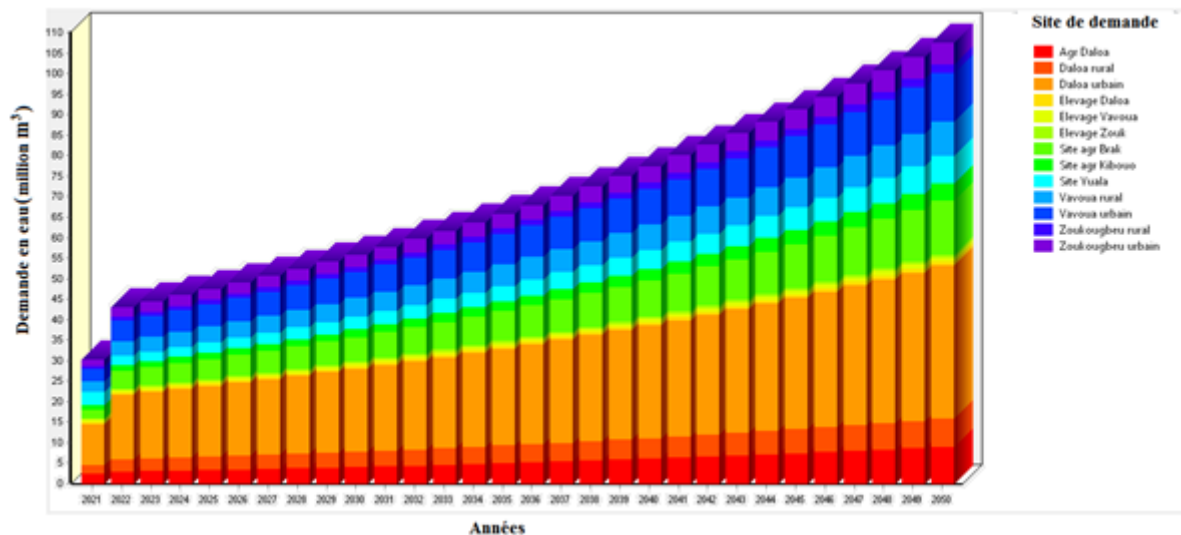


Figure 57 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif à l'amélioration du niveau de vie

➤ Demande en eau non satisfaite

La demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon ce scénario part de 4 500 000 à 34 300 000 m³. A l'horizon 2050, la Demande en eau Non Satisfaite connaîtra une hausse de 44,72% comparativement au scénario de référence. Cette Demande en eau Non Satisfaite concernera le secteur de l'AEP sur toute la période de la simulation sauf la zone urbaine de Daloa qui connaîtra une demande en eau non satisfaite de 500 000 m³ durant l'année 2041. Ces Demandes en eau Non Satisfaites seront nulles dans le secteur agropastoral excepté le site agricole de Daloa où des Demandes en eau Non Satisfaites surviendront au cours de l'année 2041 (Figure 58).

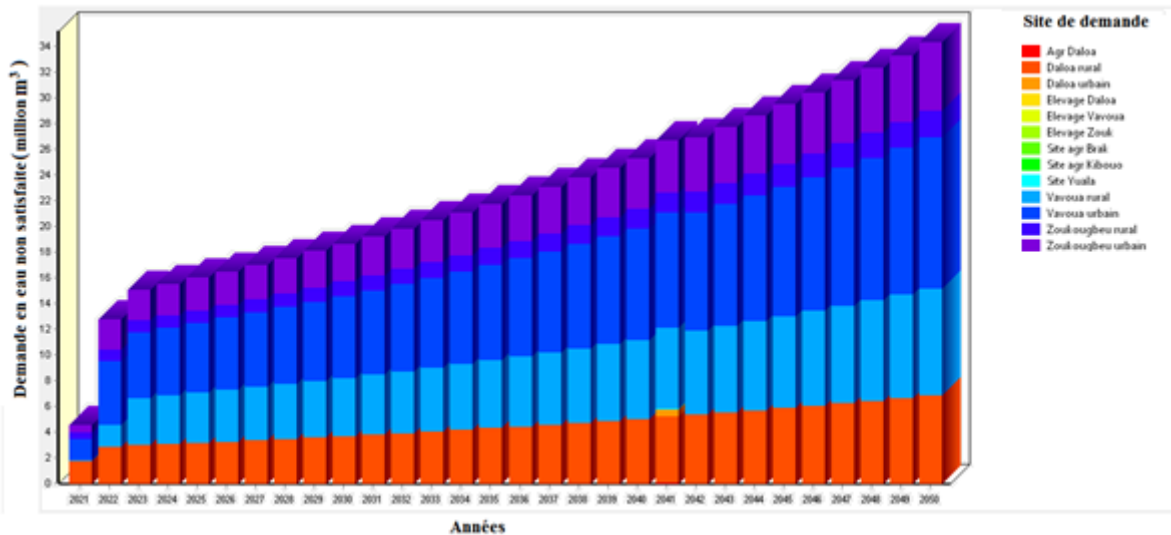


Figure 58 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif à l’amélioration du niveau de vie

7-3-5- Scénario relatif au changement climatique

➤ Demande en eau

La demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif au changement climatique part de 30 180 000 à 114 100 000 m³ (Figure 59). Les demandes en eau actuelles sont plus importantes dans les zones urbaines de Daloa et Vavoua avec des demandes respectives de 10 000 000 et 3 100 000 m³. De même ces demandes en eau sont importantes dans la zone rurale de Vavoua et sur le site agricole de Yuala avec des demandes respectives de 2 500 000 et 3 300 000 m³. A l’horizon 2050, ces demandes en eau atteindront respectivement 39 500 000, 12 400 000 et 9 900 000 m³ pour les zones urbaines de Daloa, Vavoua et pour la zone rurale de Vavoua. Les demandes en eau seront de 13 000 000 et 6 800 000 m³ respectivement pour les sites agricoles de Brakaguhé et Yuala.

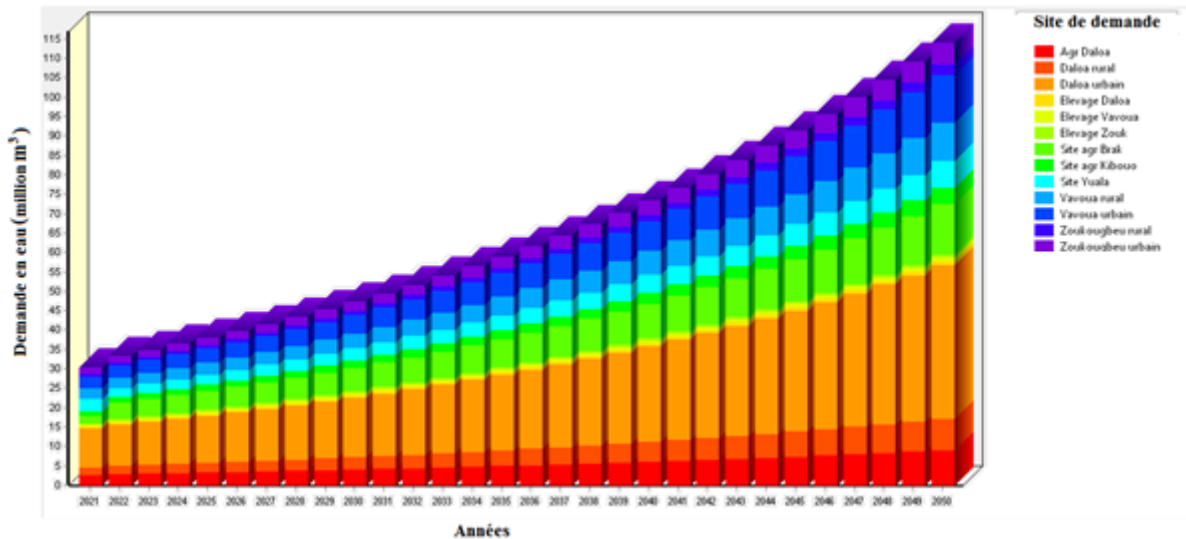


Figure 59 : Simulation de la demande en eau sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif au changement climatique

➤ **Demande en eau Non Satisfaite**

Les Demandes en eau Non Satisfaites sont estimées actuellement à 4 500 000 m³ et atteindront 38 600 000 m³ à l'horizon 2050. Quelque soient les effets des changements climatiques, les usages agropastoraux seront satisfaits sur toute la période 2021-2050 selon la simulation, excepté le site agricole de Daloa. En effet, ce site connaîtra une Demande en eau Non Satisfaite estimée à 100 000 m³ en 2048. Quant à l'AEP, la zone rurale de Daloa et la zone urbaine de Vavoua connaissent actuellement des Demandes en eau Non Satisfaites respectives de 2 200 000 et 3 300 000 m³. A l'horizon 2050, ces Demandes en eau Non Satisfaites seront de 8 200 000 m³, 9 900 000 m³, 12 400 000 m³ et 5 600 000 m³ respectivement pour les zones rurales de Daloa et Vavoua, pour les zones urbaines de Vavoua et Zoukougbeu. Cette Demande en eau Non Satisfaite sera de 400 000 m³ au cours de l'année 2048 pour la zone urbaine de Daloa (Figure 60).

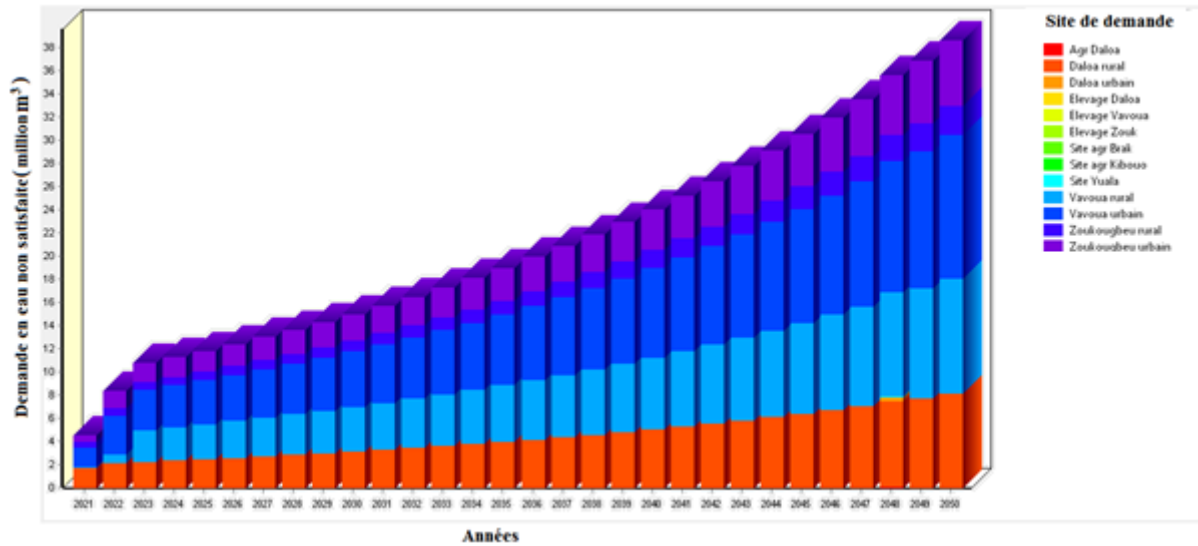


Figure 60 : Simulation de la Demande en eau Non Satisfaite sur la période 2021-2050 selon le scénario relatif aux changements climatiques

L'objectif de ce travail est de proposer des alternatives de gestion des ressources en eau pour une utilisation rationnelle et équitable. Ainsi, après avoir estimé les demandes en eau et faire ressortir les demandes en eau non satisfaites des secteurs d'utilisation, il est important de proposer des scénarii d'optimisation pour une meilleure gestion des ressources en eau. Ces différents scénarii permettront de réduire au maximum ou de combler les Demandes en eau Non Satisfaites pour le bien être des différents usagers. Les scénarii de fort taux de croissance démographique et relatif aux changements climatiques sont utilisés pour évaluer l'évolution des Demandes en eau Non Satisfaites. En effet, les demandes en eau non satisfaites de ces deux scénarii sont les plus importantes. Ainsi combler leurs Demandes en eau Non Satisfaites reviendrait à combler celles de tous les scénarii.

Le tableau XXXVI présente la synthèse des résultats des différents scénarii concernant la demande en eau ainsi que la Demande en eau Non Satisfaite.

Tableau XXXVI : Synthèse des résultats des différents scénarii concernant la demande en eau et la Demande en eau Non Satisfaite

Scénarii	Année 2021		Année 2050	
	Demande en eau	DNS (10^6 m^3)	Demande en eau	DNS (10^6 m^3)
Référence	30,18	4,5	83,7	23,7
Faible taux de croissance	30,18	4,5	57,7	10,7
Fort taux de croissance	30,18	4,5	114,1	38,6
Amélioration du niveau de vie	30,18	4,5	107,6	34,3
Changement climatique	30,18	4,5	114,1	38,6

7-3-6- Scénarii d'optimisation

7-3-6-1- Scénario d'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement en eau

La figure 61 montre l'effet de l'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement en eau dans les zones rurales de Daloa, Vavoua et Zoukougbeu ainsi que les zones urbaines de Vavoua et Zoukougbeu selon le scénario de fort taux de croissance démographique. En effet, l'apport d'un volume d'eau de $180 \text{ m}^3/\text{h}$ dans chacune des zones comblerait les Demandes en eau Non Satisfaites sur toute la période de simulation.

Cet apport pourrait provenir des sources de résurgence, de la mise en place des ouvrages de captage des eaux souterraines ainsi que de leur mis en état de fonctionnement.

Ces différentes zones qui avaient des Demandes en eau Non Satisfaites sont à présent représentées par des courbes linéaires avec pour ordonnées 0 m^3 désignant ainsi l'absence de demande en eau non satisfaite. La linéarité des courbes des autres sites de demande démontre qu'il n'y avait pas de Demande en eau Non Satisfaite auparavant. Ainsi toutes les courbes ont une allure linéaire correspondant à une absence de Demande en eau Non Satisfaite.

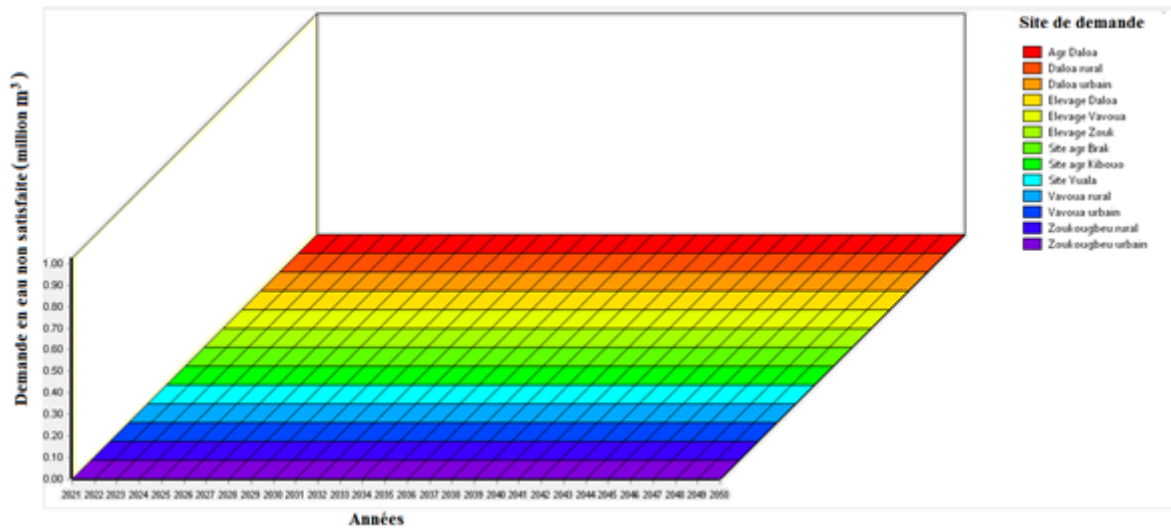


Figure 61 : Scénario d'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement sur la Demande en eau Non Satisfaite selon un fort taux d'accroissement démographique

Dans le scénario relatif aux changements climatiques, en plus des zones suscitées, la zone urbaine et le site agricole de Daloa manifesteront des Demandes en eau Non Satisfaites respectives de 400 000 et 100 000 m³ au cours de l'année 2048. Ainsi, l'apport d'un volume d'eau de 180 m³/h dans chaque zone comblerait les Demandes en eau Non Satisfaites (Figure 62).

La linéarité des courbes représentant les différents sites de demande démontre une absence de Demande en eau Non Satisfaite.

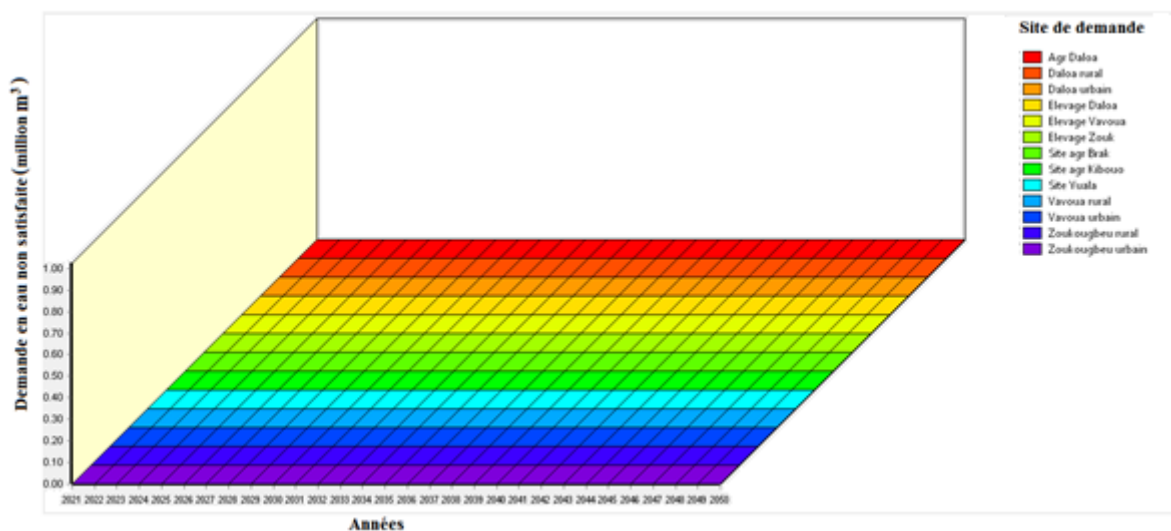


Figure 62 : Scénario d'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement sur la Demande en eau Non Satisfaite selon les changements climatiques

7-3-6-2- Scénario relatif à la gestion des vannes des surfaces agricoles

Dans ce scénario, il est question de réguler la quantité d'eau à apporter aux surfaces agricoles en fonction du stade phénologique du riz. Le but est d'apporter la quantité d'eau exacte aux surfaces agricoles afin d'éviter le gaspillage. Ainsi, il ressort que sous les effets des changements climatiques, la Demande en eau Non Satisfaite constatée sur le site agricole de Daloa (100 000 m³) au cours de l'année 2048 sera comblée (Figure 63). Le site agricole de Daloa (Agr Daloa) représente une allure linéaire justifiant l'absence de Demande en eau Non Satisfaite. L'allure des courbes des sites de demande de l'AEP et de l'élevage n'est pas considérée car il s'agit ici d'un scénario relatif aux surfaces agricoles.

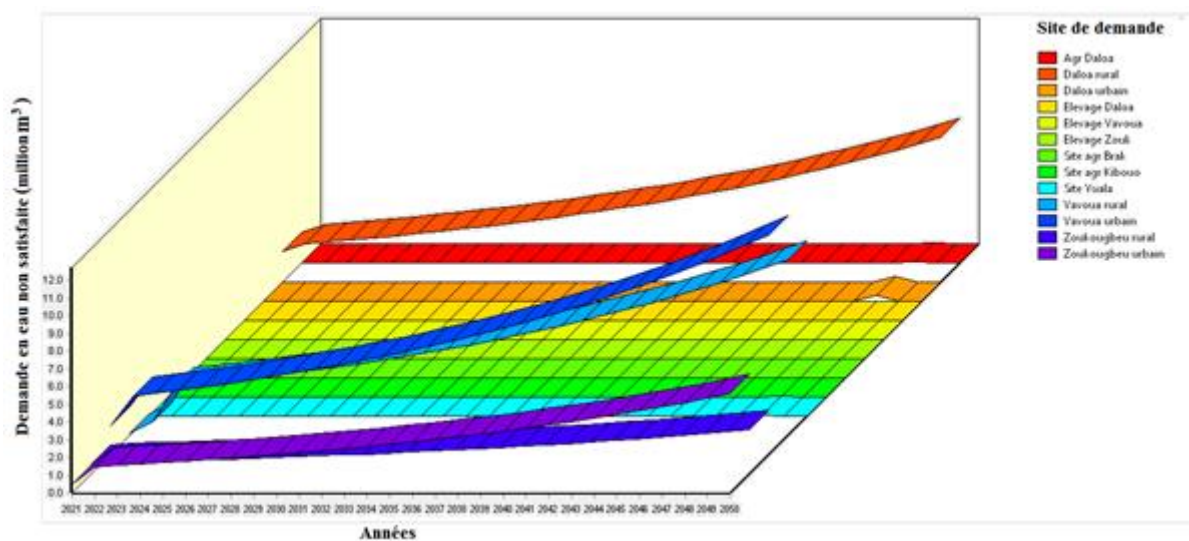


Figure 63 : Scénario de la gestion des vannes sur la Demande en eau Non Satisfaite selon les changements climatiques

7-3-6-3- Scénario relatif à l'augmentation de l'approvisionnement en eau de la zone urbaine de Daloa

Dans un contexte de changement climatique, en appliquant ce scénario, la Demande en eau Non Satisfaite constatée dans la zone urbaine de Daloa (400 000 m³) au cours de l'année 2048 sera comblée ainsi que sur toute la période de simulation (Figure 64). En effet, il s'agit d'octroyer à ce site une source d'approvisionnement en eau potable supplémentaire de 360 m³/h afin de combler tout le déficit. Ce supplément pourrait provenir des sources de résurgence et de l'augmentation de la production d'eau par la SODECI. Ainsi, la Demande en eau Non Satisfaite traduite par la pénurie d'eau constatée régulièrement dans la ville de Daloa sera nulle. Cette absence de Demande en eau Non Satisfaite est représentée par l'allure linéaire de la courbe du site d'AEP de la ville de Daloa (Daloa urbain). Ce scénario ne concerne que le site de demande urbain de Daloa.

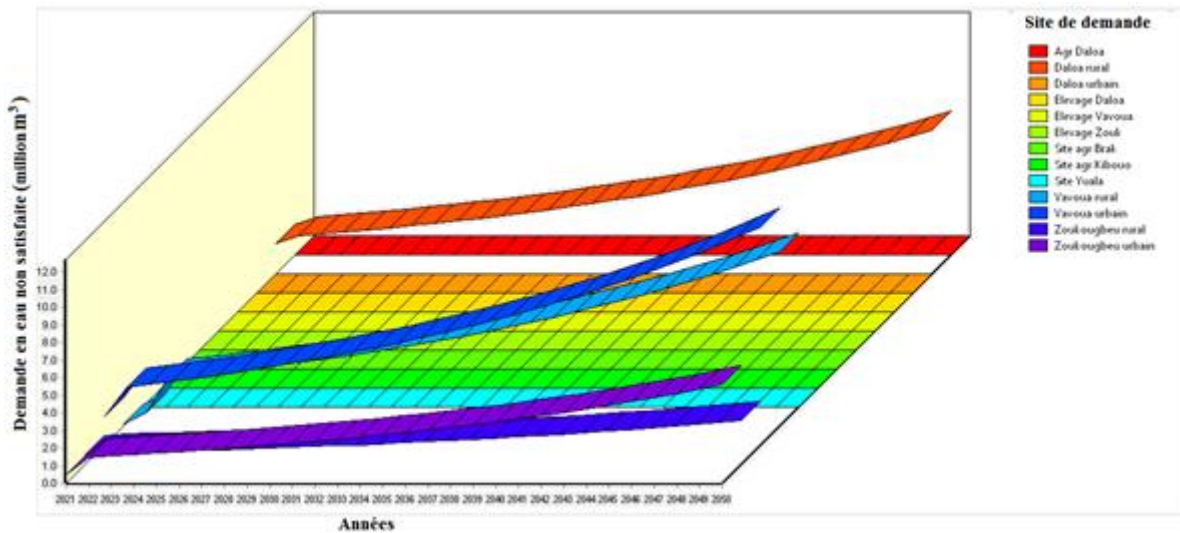


Figure 64 : Augmentation de l’approvisionnement en eau dans la zone urbaine de Daloa sur la Demande en eau Non Satisfaite en fonction des changements climatiques

7-4- Discussion

L’application du modèle WEAP au bassin versant de la rivière Lobo à Nibéhibé a révélé des besoins en eau de plus en plus croissants sur toute la période de simulation (2021-2050). Dans le scénario de référence, la demande en eau actuelle est estimée à 30 180 588 m³ et évolue jusqu’à atteindre 83 900 000 m³ à l’horizon 2050. Cette demande en eau sera de 57 700 000 m³ sous le scénario lié au faible taux de croissance démographique à l’horizon 2050 et de 114 100 000 m³ pour le scénario lié fort taux de croissance démographique. En effet, l’application du scénario lié au faible taux de croissance démographique fait baisser la demande en eau de 31,23% comparativement au scénario de référence. La demande en eau connaît une hausse de 36% en appliquant le scénario lié au fort taux de croissance démographique. L’évolution des demandes en eau est due aux faible (0,33%) et fort (4,85%) taux d’accroissement démographique appliqués dans chaque scénario. Concernant les scénarii liés à l’amélioration du niveau de vie et au changement climatique, les demandes en eau à l’horizon 2050 sont respectivement de 107 600 000 et 114 100 000 m³. Ces demandes en eau correspondent à des hausses respectives de 28,25 et 36% comparativement au scénario de référence. Cette croissance est due à l’accroissement des niveaux d’activité (population, superficies agricoles et effectif du cheptel) en milieu urbain et rural, sur les sites agricoles et d’élevage. En effet, les différents usagers de la ressource en eau à travers leurs effectifs de plus en plus importants exercent une forte pression sur la ressource en eau se traduisant par l’augmentation de la demande en eau au fil du temps.

Ces résultats sont confirmés par ceux de Andrianarivony (2016) et Kouadio (2017) en appliquant le même modèle respectivement sur les bassins de la Lokoho (Nord-est de Madagascar) et du Haut Bandama en Côte d'Ivoire. Selon ces auteurs, plus les différents usagers sont abondants, plus les besoins en eau de la région seront plus importants pour les années à venir. De plus, la croissance démographique est l'une des principales causes de l'évolution dans le temps de la demande en eau (Ettien, 2014). Aussi, selon Phingsaliao (2019), le changement climatique est l'un des facteurs importants qui affectent l'état de l'eau, en particulier la disponibilité de l'eau dans le futur.

En ce qui concerne les Demandes en eau Non Satisfaites (DNS), le scénario de référence enregistre une valeur actuelle de 4 500 000 m³ qui atteindra 23 700 000 m³ à l'horizon 2050. Ces Demandes en eau Non Satisfaites sont exclusivement constatées dans le secteur de l'approvisionnement en eau potable. Les DNS actuelles sont plus importantes dans la zone rurale de Daloa et la zone urbaine de Vavoua et sont respectivement de 1 800 000 et 1 600 000 m³. Ces DNS pourraient être dues au faible taux de recouvrement des ouvrages de captage. A l'horizon 2050, les DNS élevées seront de 7 600 000 et 3 500 000 m³ respectivement pour les zones urbaines de Vavoua et Zoukougbeu. Dans le scénario lié au faible taux de croissance démographique, la DNS sera de 10 700 000 m³ à l'horizon d'où une baisse de 54,85% comparée au scénario de référence. Pour le scénario lié au fort taux de croissance démographique, la DNS s'estimera à 38 600 000 m³ équivalant à une hausse de 62,86% comparée à la DNS du scénario de référence. Ces différentes évolutions de la DNS sont dues aux taux d'accroissement démographiques appliqués dans chaque scénario. Il ressort que l'application de ces scénarii n'affecte pas les demandes en eau des usages agropastoraux qui sont comblés par les ressources en eau du bassin. Les DNS à l'horizon 2050 des scénarii liés à l'amélioration du niveau de vie et au changement climatique seront respectivement de 34 300 000 et 38 600 000 m³. Ces DNS représentent respectivement des hausses de 44,72 et 62,86% pour les scénarii liés à l'amélioration du niveau de vie et au changement climatique. En effet, la zone urbaine de Daloa jusqu'à présent satisfait, connaîtra une DNS estimée à 400 000 m³ au cours de l'année 2041 pour le scénario lié à l'amélioration du niveau de vie. Quant au scénario lié au changement climatique la DNS concernera l'AEP et le site agricole de Daloa. Au cours de l'année 2048, les DNS de la zone urbaine de Daloa et du site agricole de Daloa surviendront avec des DNS respectives de 400 000 et 100 000 m³. Ces DNS pourraient être liées à l'amenuisement des ressources en eau engendré par la baisse des précipitations et à la mauvaise gestion de ces ressources en eau.

Les Demandes en eau Non Satisfaites évoluent dans le même sens que les demandes en eau. En effet, quel que soit le type d'usage et le type de scénario considéré, la demande en eau est loin d'être satisfaite car les ressources ne couvrent que partiellement la demande en eau. Les déficits constatés dans la satisfaction des besoins en eau potable ont diverses origines : la disponibilité de la ressource, l'insuffisance des investissements et des prélèvements au niveau de la ressource. Ce qui est justifié par les Demandes en eau Non Satisfaites (DNS) enregistrées durant toute la période de simulation avec le modèle WEAP dans les différents scénarii créés. De plus, les volumes écoulés pourraient satisfaire les demandes en eau mais ce sont les volumes présents dans les retenues qui sont utilisés pour l'approvisionnement en eau des usagers. A travers l'intégration de ces volumes présents dans les retenues, le modèle WEAP a permis de mettre en évidence les Demandes en eau Non Satisfaites. Ainsi, sur les sites domestiques et agropastoraux, les DNS de plus en plus croissantes observées sont liées à la contrainte de débit qui devrait être progressivement réadaptée aux besoins croissants des populations et usages agropastoraux. Selon Höllermann *et al.* (2010), la Demande en eau Non Satisfaite est rarement nulle dans un contexte de croissance et de variabilité climatique. A cet effet, les sites de demande pourraient être partiellement satisfaits ou pas quel que soit le scénario utilisé. Ainsi, cette demande en eau non satisfaite sur les sites domestiques est l'une des causes qui oriente les populations du bassin versant à la recherche d'autres points d'eau telles que les sources et les puits traditionnels pour satisfaire leurs besoins primaires. C'est dans cette optique que pour Ligban *et al.* (2009), la préservation des ressources en eau telles que les sources et leur aménagement pourrait constituer une source potentielle d'alimentation en eau des populations du Haut Sassandra. Pour une meilleure gestion des ressources en eau, des scénarii d'optimisation ont été mis en place afin de combler toutes les Demandes en eau Non Satisfaites. Le scénario d'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement en eau dans les zones rurales de Daloa, Vavoua et Zoukougbeu ainsi que les zones urbaines de Vavoua et Zoukougbeu selon le scénario de fort taux de croissance démographique a été appliquée. En effet, l'apport d'un volume d'eau de 180 m³/h dans chacune des zones comblerait les Demandes en eau Non Satisfaites sur toute la période de simulation. En appliquant le scénario lié à l'utilisation de nouvelles sources d'approvisionnement en eau, Yérima (2017) dans le bassin versant du Sourou au Burkina Faso a réussi à combler les DNS de tous les sites jusqu'en 2043. Les DNS après 2043 seraient dues aux effets des changements climatiques qui auraient été accentués après cette année impactant ainsi les ressources en eau. De plus, le scénario relatif à la gestion des vannes des surfaces agricoles permettrait de combler la Demande en eau Non Satisfaite sur le site agricole de Daloa (100 000 m³) au cours de l'année 2048 à travers la régulation de la

quantité d'eau à apporter à ce site. Cette régulation de la quantité d'eau à apporter éviterait les pertes d'eau qui constituent d'éventuels gaspillages. Quant au scénario relatif à l'augmentation de l'approvisionnement en eau de la zone urbaine de Daloa, il a été octroyé à ce site une source d'approvisionnement en eau potable supplémentaire de 360 m³/h afin de combler tout le déficit. En effet, dans un contexte de changement climatique, l'application de ce scénario permettrait de combler les DNS constatées dans la zone urbaine de Daloa (400 000 m³) au cours de l'année 2048. Ainsi, la Demande en eau Non Satisfaite traduite par la pénurie d'eau constatée régulièrement dans la ville de Daloa sera nulle.

L'application de tous ces scénarii d'optimisation permettrait de combler les Demandes en eau Non Satisfaites de tous les usagers sur toute la période de la simulation.

Conclusion partielle

L'application du modèle WEAP au bassin versant de la rivière Lobo à Nibéhibé a révélé des besoins en eau de plus en plus croissants quel que soit le type de scénario utilisé sur toute la période de simulation (2021-2050). Cette croissance est due à l'accroissement des niveaux d'activité (population, superficies agricoles et effectif du cheptel) en milieux urbain et rural, sur les sites agricoles et d'élevage. La demande en eau à l'horizon 2050 pour le scénario lié au fort taux de croissance démographique est la plus prononcée dans le bassin versant. L'intégration dans le modèle WEAP des volumes d'eau présents dans les retenues a permis de faire ressortir les Demandes en eau Non Satisfaites. Les demandes en eau non satisfaites de tous les usagers ont été comblées sur toute la période de la simulation à travers différents scénarii d'optimisation mis en place.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Il était question dans ce travail d'élaborer un modèle de gestion intégrée des ressources en eau pour un accès durable à l'eau potable. De façon spécifique, il s'agissait de diagnostiquer la gestion actuelle des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, ensuite évaluer les ressources en eau actuelle et à l'horizon 2050 du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé et enfin modéliser l'allocation des ressources en eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Au terme de cette étude, il ressort ce qui suit :

Les ressources en eau sont réparties entre acteurs socio-culturels et économiques. Les acteurs socio-culturels constitués des populations autochtones utilisent ces ressources pour des rituels et les considèrent comme un patrimoine foncier. Les acteurs économiques sont constitués de la SODECI, des agriculteurs, des éleveurs et des pêcheurs. Les objectifs divergents face à ces ressources entraînent des situations conflictuelles dans le bassin versant. Aussi, l'approvisionnement en eau des populations est mis à mal du fait de l'insuffisance et du mauvais état de fonctionnement des ouvrages hydrauliques. De plus, la majorité de la population du bassin versant éprouve des difficultés financières concernant le raccordement au réseau de la SODECI.

L'estimation des besoins en eau à partir de formules empiriques a permis d'obtenir les besoins pour l'approvisionnement en eau potable qui est de 14 574 861 m³/an pour les zones urbaines et de 5 217 632 m³/an pour les zones rurales faisant un total de 19 792 493 m³/an. Cette estimation est de 10 388 095 m³/an pour les usages agropastoraux.

Dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, il n'existe pas de comité de gestion des points d'eau se traduisant par la forte proportion d'ouvrages hydrauliques non fonctionnels (75%). L'absence de cadre de concertation regroupant tous les usagers engendre des conflits d'usage ainsi que des difficultés d'approvisionnement en eau des populations du bassin versant.

Pour une meilleure connaissance des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, elles ont été évaluées à l'état actuel ainsi que dans le futur.

Ainsi, l'évaluation des ressources en eau actuelle dans un premier temps a consisté à déterminer les volumes des différentes retenues. Ces volumes sont de 1 324 510,9 m³ pour la retenue de Kibouo et de 2 020 267,59 m³ pour la retenue de Brakaguhé. Ils sont estimés à 1 568 922,811 m³ et à 396 000 m³ respectivement pour les retenues de Yuala et de la SODECI. Les retenues de Kibouo, Brakaguhé et Yuala sont utilisées pour les activités agropastorales et celle de la SODECI pour l'approvisionnement en eau potable des populations. Ensuite, l'évaluation des écoulements de surface a permis d'estimer les débits et lames d'eau entrant dans ces retenues. Ces débits et lames d'eau sont de 0,57 m³/s et 34 mm/an pour la retenue de Yuala. Pour la retenue de Kibouo, ils sont estimés à 0,02 m³/s et 79 mm/an. Ils sont de 0,05 m³/s et 18 mm/an

Conclusion générale

pour la retenue de Brakaguhé. Quant à la retenue de la SODECI, ils sont estimés à 10,5 m³/s et 64 mm/an.

Les ressources en eau souterraine sont estimées à 84 et 66,4 mm respectivement pour l'année 2019 et 2020.

Dans un second temps, les ressources en eau à l'horizon 2050 ont été estimées. Ainsi, l'estimation des débits en amont des retenues avec le modèle CCLM4-8-17 sur la période 2021-2040 sous le scénario RCP4.5 permettrait d'obtenir pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI des débits respectifs de 2,39 m³/s, 0,11 m³/s, 0,33 m³/s et 52,08 m³/s. Cette estimation des débits sur la période 2041-2060 sera respectivement de 2,1 m³/s, 0,11 m³/s, 0,32 m³/s et 45,21 m³/s pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI. Les débits en amont des retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI sur la période 2021-2040 sous le scénario RCP8.5 seront respectivement de 1,81 m³/s, 0,09 m³/s, 0,27 m³/s et 39,22 m³/s. Sur la période 2041-2060, ces débits seront respectivement de 2,37 m³/s, 0,09 m³/s, 0,27 m³/s et 49,5 m³/s pour les retenues de Yuala, Kibouo, Brakaguhé et de la SODECI.

Les volumes actuels écoulés parviennent à combler les retenues pour les différents usages, exceptée la retenue de Kibouo avec un volume écoulé de 0,632.10⁶ m³ pour une capacité de 2.10⁶ m³.

Pour une gestion durable des ressources en eau dans le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé, l'analyse de l'adéquation entre l'offre et la demande en eau à l'horizon 2050 a été établie.

L'application du modèle WEAP au bassin versant de la rivière Lobo à Nibéhibé a révélé des besoins en eau de plus en plus croissants quel que soit le type de scénario utilisé sur toute la période de simulation (2021-2050). Cette croissance est due à l'accroissement des niveaux d'activité (population, superficies agricoles et effectif du cheptel) en milieux urbain et rural, sur les sites agricoles et d'élevage. La demande en eau à l'horizon 2050 pour le scénario lié au fort taux de croissance démographiques est la plus prononcée dans le bassin versant. Les Demandes en eau Non Satisfaites de tous les usagers ont été comblées sur toute la période de la simulation à travers différents scénarii d'optimisation mis en place dans cette étude.

Les recommandations vont à l'endroit des différents acteurs impliqués d'une façon ou d'une autre dans la gestion des ressources en eau.

Aux responsables (ONEP, DH, SODEXAM), il faut :

- faciliter l'accès aux données ;
- intensifier le réseau de mesures des données hydro-climatiques afin de disposer des données de qualité à l'entrée des modèles hydrologiques ;

Conclusion générale

-aménager les sources présentes sur le bassin versant afin de mobiliser leurs eaux pour l’approvisionnement en eau potable des populations.

Aux gestionnaires et agriculteurs autour de la retenue de Kibouo, il est indispensable de :

- réguler l’ouverture et la fermeture des vannes ;
- éviter le gaspillage en apportant juste la quantité d’eau nécessaire aux parcelles rizicoles en fonction du stade phénologique.

Quant aux populations, elles doivent :

- mettre en place des comités de gestion des points d’eau prenant en compte tous les acteurs pour une approche participative ;
- mettre en place un cadre de concertation comprenant les différents usagers (socio-culturels, AEP, pêche, agropastoraux) afin de prévenir et régler les cas de conflits constatés.

Perspectives

Cette étude n’est pas exhaustive, elle ouvre la voie à plusieurs perspectives en vue de parvenir à une gestion plus efficace de la ressource en eau. Il s’agit de :

- mettre en place un outil de gestion à l’aide du logiciel Acces à travers l’élaboration d’une base de données (hydro-climatiques et socio-économiques) afin de suivre et actualiser leur évolution spatio-temporelle pour la prise de décision ;
- analyser la qualité physico-chimique et microbiologique des différentes retenues afin d’appréhender leur apport pour l’approvisionnement en eau potable des populations.
- étudier la dynamique de la morphologie du fond des retenues (sédimentation) afin de connaître leur évolution temporelle pour une meilleure gestion.

REFERENCES

Références

- Ahimon O.A. (1990). Notice explicative de la carte géologique à 1/200 000, feuille de Daloa. Direction de la géologie, Abidjan, 28 p.
- Alla D. (1991). Dynamisme de l'espace péri-urbain de Daloa, étude géographique. Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 453 p.
- Amoussou E., Camberlin P. & Mahé G. (2012). Impact of climatic variability and the Nangbeto Dam on the hydrology of the Mono-Couffo system (West Africa). *Hydrological Sciences Journal*, 57(4) : 805-817.
- Andrianarivony A. (2016). Modélisation hydrologique par Weap 21 pour une gestion intégrée des ressources en eau : cas du Bassin versant de la Lokoho (Nord-Est de Madagascar). Mémoire de Master, Université d'Antananarivo (Antananarivo, Madagascar), 84 p.
- Ardoin B.S. (2004). Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II (Montpellier, France), 330 p.
- Avenard J.M. (1971). Aspect de la géomorphologie. In : *Milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM*, 50, Paris (France) : 8-73.
- Avit J.B., Pedia P.L. & Sankaré Y. (1999). Diversité biologique de la Côte d'Ivoire. Rapport de synthèse du Ministère de l'Environnement et de la Forêt, 273 p.
- Bader J.C., Lamagat J.P. & Guiguen N. (2003). Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal : analyse quantitative d'un conflit d'objectifs. *Hydrological Sciences Journal*, 48(4) : 525-538.
- Barbier B., Yacouba H., Maiga A.H., Mahé G. & Paturel J.E. (2009). Le retour des grands investissements hydrauliques en Afrique de l'Ouest : les perspectives et les enjeux. *Géocarrefour*, 84(1-2) : 31-41.
- Baron C. & Bonnassieu A. (2011). Les enjeux de l'accès à l'eau en Afrique de l'Ouest : diversité des modes de gouvernance et conflits d'usages. *Mondes en développement*, 4 : 17-32.
- Bauwens A., Sohier C. & Degré A. (2013). Impacts du changement climatique sur l'hydrologie et la gestion des ressources en eau du bassin de la Meuse (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 17(1) : 76-86.
- Benmalek Y. (2009). La confrontation entre les ressources en eau et les besoins en eau en moyenne montagne cristalline : Quelles contraintes, quels acteurs et quelles politiques de gestion ? Thèse de Doctorat, Université de Saint Etienne (Saint Etienne, France), 515 p.
- Bernier B. (1992). Introduction à la macroéconomie. *Dunod*, Paris (France), 217 p.
- Biémi J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et 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 aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 424 p.

Références bibliographiques

- Boko S.Y.W. (2009). Gestion communautaire des ressources en eau et conflits d'usage dans la basse vallée de l'Ouémé. Diplôme d'Etude Supérieure Spécialisée, Université Abomey Calavi (Cotonou, Benin), 62 p.
- Bonnot H. (1985). Rapport de fin de levé géologique du demi degré carré nord de Daloa ; partie située à l'Est de la rivière Lobo à 1/200 000. Direction de la géologie, 27 p.
- Boyd E., Corbera E. & Estrada M. (2008). UNFCCC negotiations (pre-Kyoto to COP-9) : what the process says about the politics of CDM-sinks. *International Environmental Agreements : Politics, Law and Economics*, 8 : 95-112.
- Brou Y.T. (1997). Analyse et dynamique de la pluviométrie en milieu forestier ivoirien : recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 210 p.
- Brou Y.T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques. Mémoire D'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille (Lille, France), 226 p.
- Brou Y.T., Servat E. & Paturel J.E. (1998). Activités humaines et variabilité climatique : cas du Sud forestier ivoirien. *International Association of Hydrological Sciences*, 252 : 365-373.
- Castel T., Xu Y., Richard Y., Pohl B., Cretat J., Thevenin D., Cuccia C., Bois B. & Roucou P. (2010). Désagrégation dynamique haute résolution spatiale du climat du centre Est de la France par le modèle climatique régional ARW/WR. *XXIIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, septembre 2010, Rennes, France, pp 102-112
- CEDEAO-CSAO. (2008). Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest. Série environnement, le climat et les changements climatiques, 13 p.
- Cornelissen T., Diekkrüger B. & Giertz S. (2013). A comparison of hydrological models for assessing the impact of land use and climate change on discharge in a tropical catchment. *Journal of Hydrology*, 498 : 221-236.
- Coulibaly N. (2009). Conception d'un outil d'aide à la décision pour la gestion intégrée des ressources en eau dans la région du Denguelé (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 155 p.
- Coulibaly N., Coulibaly T., Mpakama Z. & Savané I. (2018a). The Impact of Climate Change on Water Resource Availability in a Trans-Boundary Basin in West Africa : The Case of Sassandra. *Hydrology*, 5(1) : 1-12.
- Dao A., Soro G.E., Fadika V., Djè B. D., Goula B.T.A. (2018). Modelling Future Water Demand With WEAP Model: The Case Study of Marahoué Basin in Côte d'Ivoire. *International Journal of Engineering Research and Application*, 8(2) : 46-53.
- Delor C., Simeon Y., Vidal M., Zeade Z., Kone Y. & Adou M. (1995). Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, feuille de Séguéla. Mémoire n°9 de la Direction des Mines et de la Géologie de la Côte d'Ivoire, 19 p.

Références bibliographiques

- Descroix L., Mahé G., Lebel T., Favreau G., Galle S., Gautier E., Olivry J., Albergel J. & Amogu O. (2009). Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa : A synthesis. *Journal of Hydrology*, 375(1-2) : 90-102.
- Diabagaté A., Konan G.H. & Koffi A. (2016). Stratégies d’approvisionnement en eau potable dans l’agglomération d’Abidjan (Côte d’Ivoire). *Geography-Ecology-Tropical*, (4) : 345-360.
- Diallo I., Giorgi F., Deme A., Tall M., Mariotti L. & Gaye A.T. (2016). Projected changes of summer monsoon extremes and hydroclimatic regimes over West Africa for the twenty-first century. *Climate Dynamics*, 47(12) : 3931-3954.
- Djombo V. (2010). Evaluation et allocation des ressources en eau pour le développement agricole et économique dans le bassin du fleuve Bandama : contribution du modèle WEAP. Mémoire de Master, Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (Ouagadougou, Burkina Faso), 37 p.
- Droogers P., Terink W., Hunink J., Kauffman J.H. & Van Lynden G.W.J. (2011). Options de gestion de l’eau verte dans le bassin du Sebou, Maroc– Analyse avantages-coûts utilisant le modèle WEAP. *Green Water Credits Report*, M2a : 1-38.
- Ettien Y.C. (2014). Utilisation du modèle WEAP pour la planification des ressources en eau en contexte de changement climatique : Application au bassin versant de la Comoé en Côte d’Ivoire. Mémoire de Master de Sciences de la Terre, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan, Côte d’Ivoire), 52 p.
- GIEC- Groupe d’experts Intergouvernemental sur l’Évolution du Climat (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d’évaluation du Groupe D’Experts Intergouvernemental sur l’évolution climat, Genève, Suisse, 103 p.
- GIEC- Groupe d’experts Intergouvernemental sur l’Évolution du Climat (2008). Le changement climatique et l’eau. Document technique VI du GIEC, 237 p.
- GIEC- Groupe d’experts Intergouvernemental sur l’Évolution du Climat (2014). Climate change 2014 : Impact, adaptation and vulnerability. Part A : Global and Sectoral Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1 150 p.
- Giorgi F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8) : 1-4.
- Gonzalez S.C. & Numer E. (2020). Le glossaire climatique pour les jeunes. *Fonds des Nations Unies pour l'Enfance (UNICEF)*, Panama (République du Panama), 28 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*, 1 : 1-12.
- Goula B.T.A., Kouassi W.F., Fatika V., Kouakou K.E. & Savané I. (2009). Impacts du changement climatique et de la variabilité climatique sur les eaux souterraines en zone

Références bibliographiques

- tropicale humide : cas du bassin versant de la Comoé. *International Association of Hydrological Sciences*, 334 : 190-202.
- Guillaumet J.-L. & Adjahohoun E. (1971). La végétation de la Côte d'Ivoire. *In : Milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM*, 50, Paris (France) : 161-262.
- Guivarch C. & Rozenberg J. (2013). Les nouveaux scénarios socio-économiques pour la recherche sur le changement climatique. *Pollution Atmosphérique, APPA*, Numéro Spécial Climat : 1-9.
- GWP- Global Water Partnership (2000). La gestion intégrée des ressources en eau. *Background Papers n°4, GWP*, 76 p.
- Harbaugh A.W. (2005). The U.S. Geological Survey modular ground-water model-the Ground-Water Flow Process, 253 p.
- Höllermann B., Glertz S. & Diekkruger B. (2010). Benin 2025 Balancing Future Water Availability And Demand Using the Weap (Water Evaluation And Planning system). *Water Resource Management*, 24 : 3591-3613.
- Ibrahim B. (2012). Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakambé. Thèse de Doctorat, UPMC-2iE (France-Burkina Faso), 270 p.
- INS-Institut National de la Statistique (2014). Recensement général de la population et de l'habitat de Côte d'Ivoire. Répertoire des localités, région du Haut-Sassandra, 47 p.
- INS-Institut National de la Statistique (2021). Recensement général de la population et de l'habitat de Côte d'Ivoire. Résultats globaux, 37 p.
- JICA- Agence Japonaise de Coopération Internationale (2001). Plan directeur de gestion intégrée des ressources en eau en République de Côte d'Ivoire. Rapport principal, Sanyu Consultants Inc. Katahira et Ingeneers International, 451 p.
- JICA- Agence Japonaise de Coopération Internationale (2020). Rapport annuel, 133 p.
- Kangah A. (2006). Utilisation de la télédétection et d'un système d'information géographique (SIG) pour l'étude des pressions anthropiques sur les paysages géomorphologiques des savanes sub-soudanaises : exemple du degré carré de Katiola (Centre-nord ivoirien). Thèse de Doctorat, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 186 p.
- Kanohin F., Saley B. & Savané I. (2009). Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 26(2) : 209-222.
- Karambiri H., Garcia Galiano S.G., Giraldo J.D., Yacouba H., Ibrahim B., Barbier B. & Polcher J. (2011). Assessing the impact of climate variability and climate change on runoff in West Africa : the case of Senegal and Nakambe River basins. *Atmospheric Science Letters*, 12 : 109-115.
- Koffi B. (2022). Modélisation du fonctionnement hydro-sédimentaire de la rivière Lobo dans la zone de captage pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Daloa (Centre-

Références bibliographiques

- ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 213 p.
- Koffi Y.B., Lasm T., Ayrat P.A., Anne J., Kouassi A.M., Assidjo E. & Biemi J. (2007). Optimization of Multi-layers Perceptions models with algorithms of first and second order. Application to the modelling of rainfall-rainoff relation in Bandama Blanc catchment (north of Ivory Coast). *European Journal of Scientific Research*, 17(3) : 13-328.
- Kone B., Dao A., Fadika V., Noufe D. & Kamagate B. (2019). Effect of Rainfall Variability on Surface Runoff in the Agnéby Watershed in South-East Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 15(27): 1 857-7 881.
- Kouadio A.Z. (2011). Dynamique de l'occupation du sol et comportement hydrologique : cas des bassins versants côtiers de l'Agneby et du Boubo (Côte d'Ivoire). Thèse unique de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 188 p.
- Kouadio K.J.O. (2017). Simulation numérique de la demande en eau des complexes sucriers de Ferkessedougou dans le bassin versant du Haut-Bandama (Côte d'Ivoire). Mémoire de Master, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 61 p.
- Kouadio K.J.O., Dibi B., Mangoua M.J., Eblin S.G., Paran F. & Graillet D. (2022). Estimation of Groundwater Recharge in the Lobo Catchment (Central Western Region of Côte d'Ivoire). *Hydrology*, 9(23) : 1-18.
- Kouakou K.E., Goula B.T.A. & Savane I. (2007). Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide : cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire-Burkina Faso). *Journal of Sciences Research*, 16 : 31-43.
- Kouakou K.E. (2011). Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest : cas du bassin versant de la Comoé. Thèse unique de Doctorat, Université Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 206 p.
- Kouamé Y.M. (2017). Impacts des changements climatiques et de la dynamique d'occupation du sol sur les eaux de surface dans le bassin versant de la Davo, Côte d'Ivoire. Thèse unique de Doctorat, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 208 p.
- Kouassi A.M., Kouamé K.F., Saley M.B. & Biemi J. (2013). Application du modèle de maillet à l'étude des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest : cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Journal of Asian Scientific Research*, 3(2) : 214-228.
- Kouassi K.H., Konan-Waidhet A.B., Yao A.B., Koffi B. & Kadjo E.D. (2020). Simulation of the Dynamics of Land Cover and Land Use in the Lobo River Watershed Upstream of Nibéhibé (Center-West of Côte d'Ivoire). *Journal of Geographic Information System*, (12) : 519-530.
- Koukougnon W.G. (2012). Milieu urbain et accès à l'eau potable : cas de Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse unique de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 364 p.

Références bibliographiques

- Lachassagne P., Wyns R. & Dewandel B. (2011). The fracture permeability of Hard Rock Aquifer is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23 : 145-161.
- Lambin E.F. & Ehrlich, D. (1997). Land-Cover Changes in Sub-Saharan Africa (1982-1991): Application of a Change Index Based on Remotely-Sensed Surface Temperature and Vegetation Indices at a Continental Scale. *Remote Sensing of Environment*, 61 : 181-200.
- Ligban R. (2013). Caractérisation hydrogéologique et origine des eaux de sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre-ouest ; Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 121 p.
- Ligban R., Gone L.D., Kamagaté B., Saley M.B. & Biémi J. (2009). Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal Biological Chemical Sciences*, 3(1) : 38-47.
- Mabmann J., Wolfer J., Markus H., Klaus S., Volker H., Abdallah D. & Mahmoud A. (2010). WEAP-MODFLOW as a Decision Support System (DSS) for integrated water resources management : Design of the coupled model and results from a pilot study in Syria. *XXXVIII IAH Congress Groundwater Quality Sustainability*, 12-17 September 2010, Krakow, Varsovie, pp 1-9.
- Mama V.J. & Oloukoi J. (2003). «Évaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol». *Téledétection*, 3(5) : 429-441.
- Mangoua M.J. (2013). Evaluation des potentialités et de la vulnérabilité des ressources en eau souterraine des aquifères fissurés du bassin versant de la Baya (Est de la Côte d'Ivoire). Thèse unique de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 169 p.
- Maréchal J.C., Dewandel B. & Subrahmanyam K. (2004). Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered-fractured layer of a hard rock aquifer : Fracture network properties in hard rock. *American Geophysical Union*, 40 p.
- Maréchal J.C., Robert W., Patrick L., Kambhampati S. & Frédéric T. (2003). Anisotropie verticale de la perméabilité de l'horizon fissuré des aquifères de socles : concordance avec la structure géologique des profils d'altération. *Comptes rendus, Géoscience*, 335(5) : 451-460.
- McGuffie K. & Henderson-Sellers A. (2001). Forty years of numerical climate modelling. *International Journal of Climatology*, 21(9) : 1067-1109.
- MEEF (2000). Communication nationale initiale de la Côte d'Ivoire préparée en application de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques. Rapport du Ministère de l'Environnement et des Eaux et Forêts de la Côte d'Ivoire, 97 p.
- MINEF- Ministère des Eaux et Forêt (2003). Gestion Intégrée des Ressources en Eau : Bilan et perspectives. Rapport du Ministère des eaux et forêts de la Côte d'Ivoire, 68 p.

Références bibliographiques

- Morin G. (2002). Le modèle de simulation de quantité et de qualité CEQUEAU, guide de l'utilisateur. Version 4.0 pour Windows. INRS-EAU, Canada, 89 p.
- Morin G. & Paquet P. (1995). Le modèle de simulation de quantité et de qualité CEQUEAU. Guide de l'utilisateur. Version 2.0 pour Windows. INRS-EAU, rapport de recherche n°435, 54 p.
- Morin G. & Paquet P. (2007). Modèle hydrologique CEQUEAU. INRS-ÉTÉ. Rapport de recherche n°R000926, 458 p.
- Nash J.E. & Sutcliffe J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models : part I-A : discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10 : 282-290.
- NCAP-Programme d'Assistance aux Etudes sur les Changements Climatiques. (2007). Elaboration de stratégie d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques, 80 p.
- N'Da D.H. (2007). Etude et suivi par télédétection et système d'information géographique d'une aire protégée soumise aux pressions anthropiques : cas du parc national de la Marahoué. Thèse de Doctorat, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 139 p.
- Noouf D.D., Zamblé A.T.B., Diallo s., Soro E.G., Dao A., Diomandé S., Effebi K.R., Kamagaté B., Goné D.L., Patrel J.E., Mahé G., Goula B.T.A., Servat E. (2019). Application of the water evaluation and planning model (WEAP) to the management of surface water resources in the Ivory Coast basin of the Aghien lagoon. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10(10) : 2229-5518.
- Nooufou C. (1998). Déforestation et activités agricoles en Côte d'Ivoire : recherche d'un nouvel équilibre. Thèse de Doctorat, Faculté des études supérieures de l'Université Laval (Québec, Canada), 159 p.
- Nouiri I. (2014). Multi-Objective tool to optimize the Water Resources Management using Genetic Algorithm and the Pareto Optimality Concept. *Water Resources Management*, 28(10) : 2885-2901.
- Odada O.E. (2006). Freshwater resources of Africa : major issues and priorities. *Global Water News*, 3 : 1-12.
- ONDR - Office Nationale de Développement de la Riziculture (2012). Stratégie Nationale Révisée de Développement de la filière riz en Côte d'Ivoire (SNDR) 2012-2020. Rapport du Ministère de l'Agriculture de la Côte d'Ivoire, 40 p.
- Ouanouki B. (2011). Modélisation de la demande en eau dans une région aride. Cas de la Wilaya de Djelfa. *Nature & Technologie*, 6 : 93-105.
- Perraud A. & Souchère de La P. (1969). Esquisse pédologique de la Cote d'Ivoire à l'échelle 1/500000. Mémoire ORSTOM. Ministère de l'Agriculture de la Côte d'Ivoire. Etude pour le reboisement et la protection des sols, 93 p.
- Phingsaliao S. (2019). Projecting water demand and availability under climate change through the application of WEAP in the Nam Ngum downstream area, Laos. Master Of Science (Water Resources Management), Flinders University (Adelaide, Australia), 98 p.

Références bibliographiques

- Pontius R.G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 66(8) : 1011-1016.
- Praskievicz S. & Chang H. (2011). Impacts of climate change and urban development on water resources in the Tualatin River Basin, Oregon. *Annals of the association of American geographers*, 101 : 71-249.
- Rakotondrabe F. (2007). Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar). Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo (Antananarivo, Madagascar), 87 p.
- Rasson J.P., Ferauge F.O., Dawagne J.M. & Delpere F. (1990). Apport d'une nouvelle hypothèse de base en classification d'images satellitaires pour la cartographie de la couverture végétale. In : Lafrance P. Dubois J. M. 'Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse'. Actes des journées scientifiques de Thiès. Edition AUPELURE, Thiès : 1-295.
- Sangne C.Y., Barima Y.S.S., Bamba I. & N'Doumé C.-T.A. (2015). Dynamique forestière post-conflits armés de la Forêt classée du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). *Vertigo*, 15(3) : 1-18.
- Sarah H. (2007). Beyond Building Models : Using WEAP to inform climate change adaptation policy in Guatemala, 34 p.
- Sawadogo A.N. (1984). Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de la Haute Volta : étude régionale du bassin versant de Ima Sissili. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble (Grenoble, France), 350 p.
- SEI - Stockholm Environment Institute (2008). *WEAP tutorial*, 228 p.
- SMC- Stratégies Municipales Concertées (2011). Analyser la demande des usagers et futurs usagers des services d'eau et d'assainissement dans les villes africaines. *PDM/pS-Eau*, 192 p.
- Tia L. & Seka S.G. (2015). Acteurs privés et approvisionnement en eau potable des populations de la commune d'Abobo-Côte d'Ivoire. *Revue canadienne de géographie tropicale*, 2(2) : 15-28.
- Touao K.M.G., Kouamé Y.M., Méléde N.H., Sekongo G.L. & Soro G.E. (2018). Impact des changements d'occupation du sol et des changements climatiques sur le bassin versant de la rivière Davo, Côte d'Ivoire. *Scientific Journal*, 14(33) : 408-426.
- Toure F.F., Konan-Waidhet A.B., Diarra A., Yao A.B., Koua T.J.J. & Koita M. (2020). Spatial Analysis of the Mode of Management and Conflicts of Use of Water Resources in the Watershed of the Lobo River in Nibehibe (Central-Western Côte d'Ivoire). *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 24(7) : 25-38.
- Toure F.F., Konan-Waidhet A.B., Yao A.B., Diarra A. & Koua T.J.J. (2022). Spatial Analysis of Access to Drinking Water for the Populations of the Lobo Watershed in Nibéhibé (Central-Western Côte d'Ivoire). *European Journal of Applied Sciences*, 10(3) : 352-366.

Références bibliographiques

- Traoré K. (2018). Le couvert forestier en Côte d'Ivoire : une analyse critique de la situation de gestion des forêts (classées, parcs et réserves). *International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, 5(2) : 4387-4397.
- Treyer S. (2002). Analyse des stratégies et perspectives de l'eau en Tunisie. Rapport I : Monographie de l'eau en Tunisie. Rapport II : Perspective de l'eau en Tunisie. *Plan Bleu, PNUE*, Sophia-Antipolis, 83 p.
- Trudel R. & Antonius R. (1991). Méthodes quantitatives appliquées aux sciences humaines, 545 p.
- Tutorial WEAP. (2008). « Une collection de modules autonomes pour aider à apprendre le logiciel WEAP », https://www.weap21.org/downloads/WEAP_Tutorial_French.pdf, 228 p.
- Van Vuuren D.P., Jae E., Mikiko K., Keywan R., Allison T., Kathy H., George C.H., Tom K., Volker K., Jean-Francois L., Toshihiko M., Malte M., Nebojsa N., Steven, J.S. & Steven, K.R. (2011). The representative concentration pathways : an overview. *Climatic change*, 109 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 A.B., Goula B.T.A., Kouadio Z.A., Kouakou K.E., Kane A. & Sambou S. (2012). Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide. Cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 19 : 136-157.
- Yao A.B., Kouassi L.K., Kouakou K.E., Goula B.T.A. & Gaye A.T. (2019). Evaluation des impacts potentiels des changements climatiques sur les écoulements de la rivière Lobo, Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 15(4) : 330-342.
- Yérima M. (2017). Optimisation de l'allocation des eaux de surface dans une vision prospective : application du modèle WEAP 21 dans la vallée du Sourou au Burkina Faso. Master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2iE (Ouagadougou, Burkina Faso), 78 p.
- Zanh G.G., Koua K.A.N., Kouakou K.A. & Barima Y.S.S. (2018). Saturation foncière à la périphérie de la Forêt Classée du Haut-Sassandra (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire) durant la période de 1990 à 2016. *Tropicultura*, 36(2) : 171-182.

ANNEXES

Annexe 1 :

Guide d'entretien avec l'Agent Technique de la SODECI

- 1- Quelles sont les différentes ressources en eau dans votre zone ?
- 2- Qu'est-ce que ces ressources en eau représentent pour vous ?
- 3- Comment appréciez-vous la qualité et la quantité de ces ressources en eau ?
- 4- Etes-vous impliqués dans des associations de gestion des ressources en eau dans le bassin ?
Si oui lesquelles ? Et quels sont vos différents rôles ?
Si non pourquoi ?
- 5- Quels sont les modes de gestion des ressources en eau à votre niveau ?
- 6- Selon vous comment les populations locales perçoivent ces ressources en eau ?
- 7- Quelle activité faites-vous avec ces ressources en eau ?
- 8- Quelle est la fréquence de cette activité sur les ressources en eau ?
- 9- Quels intérêts ou quelles importances accordez-vous à ces ressources en eau ?
- 10- Vous utilisez ces ressources en eau avec quel groupe ou avec quelle communauté ?
- 11- Quelles sont vos attitudes vis-à-vis des autres acteurs dans la gestion de la ressource en eau ?
- 12- Existe-t-il des cas de conflits dans l'utilisation de la ressource en eau ? Si oui, comment les avez-vous résolus ?
- 13- Quelles difficultés rencontrez-vous dans l'exploitation de la ressource en eau ?
- 14- Quelles sont vos suggestions pour une meilleure gestion de la ressource en eau ?

Annexe 2 :

Guide d'entretien avec le Directeur Technique de l'Hydraulique

- 1- Quels sont les forages existants et leurs débits d'exploitation ?
- 2- Quelle est la proportion des forages fonctionnels ainsi que ceux en panne ?
- 3- Existe-t-il des comités de gestion des points d'eau ? Si oui, quel est leurs rôles?
- 4- Quelles sont vos préoccupations concernant l'exploitation et la gestion de ces points d'eau ?
- 5- Quels sont vos rapports avec les autres acteurs ?

Annexe 3 :

Fiche d'enquête auprès des ménages

I- PROFIL SOCIO-DEMOGRAPHIQUE

1- Age : [10-15] [16-20] [21-25] [26-30] [31-35] [36-40]
[41-45] [46-50] [51et + [

2- Sexe : M F

3- Nationalité : Ivoirienne CEDEAO,
précisez.....

4- Religion : Chrétienne Musulmane Bouddhiste Animiste Autre
Précisez.....

5- Niveau d'instruction : Primaire Secondaire Supérieur Aucun

6- Statut socio professionnel : Fonctionnaire Etudiant Sans emploi
Ménagère Autres, précisez.....

7- Lieu de Résidence : Le quartier Un autre quartier,
précisez.....

II- LES DIFFERENTS ACTEURS DE LA RESSOURCE EN EAU

8- Quelles sont vos sources d'approvisionnement en eau ?

SODECI Puits Fleuve Marigot Source

9- A quel usage cette eau répond ?

Usage domestique Boisson Toilette Lessive

Autre précisez.....

10- Quelles sont vos activités autour de la ressource en eau?

Agriculture Elevage Pêche Autre

Précisez.....

11- Existe-t-il des comités de gestion des ressources en eau dans votre zone ?

Si oui citez-les.....

12- Quelle relation d'usage existe entre vous et les autres acteurs du bassin versant ?

Collaboration Concertation Pas de relation

13- Qui est en charge des corvées d'eau dans le ménage ?

Homme Femme Enfant

14- Les femmes sont-elles Actrices dans l'usage des ressources en eau ?

Oui Non

15- Sont-elles impliquées dans le processus de gestion ?

Oui Comment ?.....

Non Pourquoi ?.....

III- PERCEPTION DES RESSOURCES EN EAU PAR LES ACTEURS

16- Quelles sont les différentes ressources en eau dans votre zone?

Fleuve Rivière Marigot Barrage Autre

Précisez.....

17- Pour vous à quel besoin ces ressources en eau répondent?

Agriculture Activité domestique Riziculture Maraichage

Pêche Elevage Autre

Et pourquoi ?.....

19- Pensez-vous que cette ressource en eau peut tarir un jour ?

Si oui Pourquoi ?

Si non Pourquoi ?

20- Est-ce que votre religion impacte votre usage des ressources en eau ?

Si oui,

Comment ?.....

Non

21- Quelle idée faites-vous de la ressource en eau dans votre zone ?

C'est une ressource à vie Elle me sert à faire la pêche uniquement Pour l'irrigation

Que pour les sacrifices Autres.....

22- Existe-t-il un mode de gestion des différentes ressources

Oui Non

23- Comment vous trouvez le mode actuel de gestion des ressources en eau dans ce bassin ?

Bon Pourquoi ?.....

Mauvais Pourquoi ?.....

24- Etes-vous organisé en association ? Si Oui quels sont vos rôles dans la gestion des ressources en eau

.....

25- Existe-t-il une concertation entre les différents acteurs dans l'usage de l'eau ?

.....

26- Existe-t-il des interdits sur les ressources en eau ?

Si oui citez-les.....

27- Est-ce que les interdits en rapport avec la ressource en eau conditionnent votre mode de gestion ?

Si oui.....

Comment ?.....

28- Quelle planification faites-vous pour la préservation des ressources en eau ?

.....

29- Aimerez-vous être impliqués dans les discussions et débats sur la gestion des ressources présentes et futures de la ressource ?

Si oui, Pourquoi ?.....

Si non Pourquoi ?.....

30- Selon vous est ce que les générations futures pourront bénéficier de la ressource en eau ?

Si oui pourquoi ?.....

Si non pourquoi ?.....

Annexe 4 :

Liste des paramètres obtenus après plusieurs ajustements

Paramètres	Valeurs	Paramètres	Valeurs
JOEVA	80	HRIMP	0,0
CVMAR	0,0	COEP	0,050 (mm/m)
CVNB	0,0	EVNAP	0,025
CIN	0,046	TRI	0,0
CVNH	0,034	XAA	1,43
CVSB	0,00025	XIT	30,101
CVSI	0,005	XLA	88,0
XINFMA	20,0	COET	-0,001°C/1000 m
HINF	6,905 (mm)	HSINI	10,0 (mm)
HINT	900,0 (mm)	HNINI	0,0 (mm)
HMAR	0,0 (mm)	HMINI	0,0 (mm)
HNAP	800,5 (mm)	Qo	0,0 (m ³ /s)
HPOT	26,5 (mm)	EXXKT	0,02
HSOL	1100,0 (mm)	ZN	2 (j)

Résumé

Le présent manuscrit pose le problème des difficultés d'accès à l'eau dans le bassin de la Lobo à Nibéhibé. En effet, la mauvaise qualité organoleptique de l'eau distribuée par la SODECI et les baisses de pressions allant jusqu'aux coupures d'eau sont récurrentes dans la ville de Daloa qui représente le pôle économique du bassin. Aussi, les difficultés d'approvisionnement en eau potable sont-elles dues à l'insuffisance des infrastructures de traitement, de stockage et de distribution de la SODECI. Ainsi, conscient du fait que, la demande en eau s'est accrue de façon démesurée ces dernières années, la planification et la mise en œuvre d'actions de développement en matière de gestion rationnelle de ces ressources sont nécessaires. C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée avec pour objectif d'élaborer un modèle de gestion intégrée des ressources en eau pour un accès durable à l'eau potable. La méthodologie élaborée a reposé d'une part sur une enquête de terrain et d'autre part, sur les modèles hydrologiques CEQUEAU et WEAP. L'enquête de terrain s'est basée sur des entretiens semi-structurés et une enquête par questionnaire afin de collecter des données sur la gestion actuelle des ressources en eau. Le modèle CEQUEAU a été utilisé pour estimer les débits actuels (1988-2013) et futurs (2021-2040 et 2041-2060) sous les scénarii RCP4.5 et 8.5 entrants dans les retenues en utilisant les données du modèle climatique CCLM4-8-17 adaptée à la zone d'étude et des données de télédétection. Le modèle WEAP a été quant à lui utilisé en vue de présenter plusieurs scénarii basés sur l'évolution des besoins en eau de tous les secteurs d'activité et proposer des scénarii d'optimisation pour combler les demandes en eau non satisfaites. Les résultats montrent une absence de gestion concertée des ressources en eau entraînant des cas de conflits dans certaines localités du bassin. La retenue de la SODECI mobilise la plus importante quantité d'eau actuelle avec un débit entrant de 10,5 m³/s. Quant au scénario RCP4.5 sur la période 2021-2040, le débit est de 52,08 m³/s et de 39,22 m³/s pour le scénario RCP8.5. Sur la période 2041-2060 selon les scénarii RCP4.5 et 8.5, les débits sont respectivement de 45,21 et 49,5 m³/s. Les demandes en eau non satisfaites pour le scénario de référence passent de 4 500 000 m³ (2021) à 23 700 000 m³ (2050). Quelque soit le type de scénario appliqué, les demandes en eau non satisfaites surviennent. Ainsi, la réduction de ces demandes insatisfaites pour le bien-être des populations du bassin nécessite la mise en place de systèmes de planification et de gestion intégrée des ressources en eau du bassin à travers des scénarios d'optimisation afin de combler les demandes en eau non satisfaites sur toute la période de la simulation.

Mots-clés : Allocation – Changement climatique – GIRE- Modèle CEQUEAU – Modèle WEAP- Télédétection Daloa.

Abstract

This manuscript addresses the problem of access to water in the Lobo basin in Nibéhibé. Indeed, the poor organoleptic quality of the water distributed by SODECI and the drops in pressure leading to water cuts are recurrent in the city of Daloa, which represents the economic hub of the basin. Also, the difficulties of drinking water supply are due to the insufficiency of the infrastructures of treatment, storage and distribution of the SODECI. Thus, aware of the fact that the demand for water has increased excessively in recent years, the planning and implementation of development actions for the rational management of these resources are necessary. It is in this context that this study was initiated with the objective of developing an integrated water resources management model for sustainable access to drinking water. The methodology developed was based, on the one hand, on a field survey and, on the other hand, on the hydrological models CEQUEAU and WEAP. The field survey was based on semi-structured interviews and a questionnaire survey in order to collect data on the current management of water resources. The CEQUEAU model was used to estimate current (1988-2013) and future (2021-2040 and 2041-2060) flows under the RCP4.5 and 8.5 scenarios entering the reservoirs using data from the CCLM4-8-17 climate model adapted to the study area and remote sensing data. The WEAP model was used to present several scenarios based on the evolution of water needs of all sectors of activity and to propose optimization scenarios to meet unmet water demands. The results show a lack of concerted management of water resources leading to cases of conflict in some localities of the basin. The SODECI reservoir mobilizes the largest amount of water at present with an inflow of 10.5 m³/s. For the RCP4.5 scenario over the period 2021-2040, the flow is 52.08 m³/s and 39.22 m³/s for the RCP8.5 scenario. Over the period 2041-2060 under the RCP4.5 and 8.5 scenarios, the flows are 45.21 and 49.5 m³/s respectively. Unmet water demands for the base case scenario increase from 4,500,000 m³ (2021) to 23,700,000 m³ (2050). Regardless of the type of scenario applied, unmet water demands occur. Thus, the reduction of these unsatisfied demands for the well-being of the basin populations requires the implementation of planning and integrated management systems of the basin water resources through optimization scenarios in order to meet the unsatisfied water demands over the whole simulation period.

Keywords : Allocation - Climate change - IWRM - CEQUEAU model - WEAP model - Remote sensing - Daloa.