



**ZiE**  
Fondation ZiE

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement  
International Institute for Water and Environmental Engineering



**Centre de Coordination des Ressources en Eau  
CCRE/CEDEAO**

**BILAN RESSOURCES/USAGES DE L'EAU DANS LE BASSIN DE LA VOLTA ET  
SCENARIO D'UTILISATION DE LA RESSOURCE EN EAU EN AFRIQUE DE  
L'OUEST**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET  
DE L'ENVIRONNEMENT  
OPTION : EAU**

Présenté et soutenu publiquement par :

**Parfait Wilfried SOCLO**

Sous la direction de :

**Dr Harouna KARAMBIRI** (Enseignant chercheur au ZiE)

**Mme Florence ARDORINO** (Conseiller technique au CCRE/CEDEAO)

**UTER : GVEA**

Jury d'évaluation du rapport :

Président : Dr Harouna KARAMBIRI

Membres et correcteurs : Dr Angelbert BIAOU

Dr Dial NIANG

---

## DÉDICACE

*Je dédie ce travail :*

*A mon fils Espoir Fresnel,*

*A mon épouse Yvette A. AGOSSOU,*

*A mes géniteurs, à mes beaux parents et à mes  
frères et sœurs*

---

## REMERCIEMENT

Le présent mémoire n'aurait jamais abouti sans la disponibilité et la bienveillance constantes de certaines personnes physiques et morales dont notamment :

**Dr. Harouna KARAMBIRI**, notre maître de mémoire, qui n'a pas ménagé ses efforts pour l'encadrement et le suivi des travaux et de la rédaction de ce mémoire ;

**Mme Florence ARDORINO**, Conseiller technique au CCRE/CEDEAO, notre encadreur, pour sa disponibilité et ses orientations ;

**M. Innocent OUEDRAOGO**, Directeur du CCRE/CEDEAO pour avoir mis à notre disposition les moyens nécessaires ;

**M. Maxwell BOATENG-GYIMAH**, Expert en ressources en eau à l'IUCN pour sa disponibilité et sa contribution à ma formation au modèle WEAP et son application, sa spontanéité à répondre à mes appels, son sens d'humanisme et le plaisir qu'il a eu sur tout le parcours à me former;

**Devaraj DE CONDAPPA**, pour avoir laissé un travail qui a été source de données ,d'inspiration et d'autres perspectives et partagé des connaissances avec Maxwell qui lui fait référence chaque fois.

**Dr. Jacob TUMBULTO**, Directeur exécutif par intérim de l'observatoire de Autorité du bassin de la Volta (ABV) pour sa disponibilité constante à répondre à mes sollicitudes lors de la collecte des données et ses recommandations ;

**Dr. Angelbert BIAOU**, hydrogéologue, diplômé de l'Ecole des mines de Paris, pour sa contribution à notre formation et sa spontanéité à répondre à nos sollicitudes ;

**Dr. Bruno BARBIER**, Enseignant chercheur au 2iE/IRD pour sa précieuse contribution ;

**Ing.I.MAINASSARA, Ing.I.BOUBACAR, Ing.J.TIROGO** pour leur contribution ;

**Mr kwame ODAME-ABABIO**, coordonnateur du projet PAGEV/UICN pour sa disponibilité et ses recommandations

**Tout le corps professoral** du 2ie pour l'enseignement de qualité reçu.

**M. Brice GBAGUIDI** pour sa précieuse contribution à la réalisation de cette œuvre.

Nous remercions également les bailleurs et toute l'équipe de coordination du projet NUFFIC/NPT151 qui a financé toute notre formation en particulier le **Professeur Marc KPODEKON**, ancien Directeur de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, qui a approuvé notre sélection et mis les moyens nécessaires ; le **Professeur Félicien AVLESSI**, Directeur de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi pour son soutien et son combat pour notre 3ème cycle, le **Dr BACHAROU Taofic** premier coordonnateur du projet qui nous a sélectionnés et donné cette opportunité de formation qui l'a gravé dans nos mémoires ; le **Dr AINA Martin** coordonnateur du projet pour les sacrifices qu'il consent et sa disponibilité constante à

---

répondre à nos préoccupations, **M. Olory** coordonnateur adjoint pour ses contributions et sa disponibilité, Mme Luce GANSE secrétaire du projet pour sa disponibilité.

**M<sup>me</sup> THIOMBIANO, Adéline S., M<sup>r</sup> ROUAMBA du CCRE/CEDEAO** pour leur aide

## RÉSUMÉ

Le thème intitulé " Bilan ressources/usages de l'eau dans le bassin de la Volta et scénario d'utilisation de la ressource en eau en Afrique de l'Ouest" soumis à notre réflexion traite d'une part des modèles développés dans les agences et organismes de bassin de l'Afrique de l'Ouest par rapport auxquels il s'agit de faire l'inventaire et l'analyse critique et d'autre part du bilan ressources/usages dans le bassin de la Volta. De l'analyse critique, a été dégagé le modèle le plus représentatif utilisable dans l'espace CEDEAO. Le modèle WEAP a été utilisé pour faire le bilan ressources /usages qui est une étude de la disponibilité de la ressource en eau face aux demandes en eau et différents prélèvements qui croissent d'année en année. Cette sélection de modèle et l'application du modèle WEAP pour le bilan ressources/usages au cas particulier du bassin de la Volta (étude pilote) permettront au CCRE/CEDEAO, unité spécialisée de la CEDEAO et partenaire technique et financier des agences et organismes de bassin d'assister les pays membres dans la promotion et la mise en place des politiques de gestion des ressources en eau.

## ABSTRAT

The theme titled " Balance resources/usages of water and scenario of use of the resource in the basin of the Volta " submitted to our reflection treats models developed in the agencies and organisms of basin of West Africa by report to which on the one hand it is about making the inventory and the critical analysis and on the other hand of the balance resources/usages in the basin of the Volta. Of the critical analysis, has been cleared the usable most representative model in the CEDEAO space. The WEAP model has been used to make balance resources / usages that are a survey of the availability of the resources of water facing the demands of water and different withdrawals that grow from year to year. This selection of model and the application of the WEAP model for the balance resources/usages to the particular case of the basin of the Volta (pilot survey) will permit to the CCRE/CEDEAO, specialized unit of the CEDEAO and technical and financial partner of the agencies and organisms of basin to attend the countries members in the promotion and the setting up of the policies of management of resources of water.

---

## LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

<b>VBA :</b>	Volta Basin Authority (Autorité du bassin de la Volta)
<b>GVP :</b>	Global Volta Project (Projet Glowa de la Volta)
<b>GV-LUDAS:</b>	Glowa Volta Land Use Dynamics Simulator
<b>WEAP:</b>	Water Evaluation and planning System
<b>CCRE/CEDEAO:</b>	Centre de Coordination des Ressources en Eau/Communauté Economique Des Etats de l’Afrique de l’Ouest
<b>M<sup>3</sup>-Water:</b>	Multi-Country Multi-sector, Multi-use Water Allocation Technology for the Efficient management of Resources in the Volta Basin
<b>LULC:</b>	Land Use and Land Cover Change
<b>CRU:</b>	Climate Research Unit (Unité de Recherche Climatique)
<b>PAGEV:</b>	Projet d’Amélioration de la Gouvernance de l’Eau dans le bassin de la Volta
<b>OMVS:</b>	Organisme de Mise en Valeur du Fleuve Sénégal
<b>OMVG :</b>	Organisme de Mise en Valeur du Fleuve Gambie
<b>ABN :</b>	Autorité du Bassin du Niger
<b>DGRE :</b>	Direction Générale des Ressources en Eau
<b>CPWF :</b>	Programme Challenge sur l’Eau et l’Agriculture
<b>SEI :</b>	Institut Environnemental de Stockholm
<b>BFP :</b>	Volta Basin Focal Project
<b>PADD :</b>	Plan d’Action de Développement Durable

---

## SOMMAIRE

DÉDICACE I

REMERCIEMENT II

RÉSUMÉ III

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS IV

Introduction 11

1. Objectif de l'étude 12

1.1 Objectif général 12

1.2 Objectifs spécifiques 12

2. Matériels et méthodes 13

2.1 Présentation du Bassin de la Volta 13

2.1.1 Situation géographique 13

2.1.2 Le réseau hydrographique du bassin de la Volta 14

2.2 Les données ressources 15

2.2.1 Nature des données collectées 15

2.2.1.1 Données hydrométriques 15

2.2.1.2 Les données climatiques 16

2.2.1.3 Données bioclimatiques et physiques 19

2.2.2 Les données usages 22

2.2.2.1 Données collectées par usages et hypothèses 24

2.2.2.2 Les consommations domestiques de l'eau, l'eau pour le bétail  
et l'irrigation le long des rivières. 27

2.3 Modèles et méthodologie 30

2.3.1 Méthodologie pour le bilan ressources/usages 30

2.3.2 Modèles développés dans les agences de bassin 34

2.3.2.1 Typologie et prépondérance des modèles identifiés 34

---

2.3.2.2	Inventaire des modèles identifiés	34
2.3.2.3	Examen des modèles identifiés	35
2.3.3	Analyses des modèles	36
2.3.3.1	Cadres des analyses	36
2.3.3.2	Analyses critiques des modèles	36
2.4	Calibration du modèle WEAP	38
2.4.1	Les paramètres calibrés du modèle	39
2.4.2	Les simulations pour l'obtention des paramètres optimaux	39
2.4.3	Choix des paramètres optimaux	46
3.	Résultats	53
3.1	Bilan ressource/ usages	53
3.1.1	Principes de base	53
3.1.2	Hypothèses et projections	54
3.2	Représentation de la vue schématique (Construction du modèle)	58
4.	Analyses et discussions	61
4.1	Le scénario de Climat chaud et sec	62
4.2	Le scénario de Climat chaud et humide	63
4.3	Le scénario de développement des petits réservoirs	64
5.	Recommandations	66
	Conclusion et perspectives	67
	Bibliographie	69
	ANNEXES	70

---

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau N° 1: Nature des données collectées.....	15
Tableau N° 2: Données bioclimatique et physiques des bassins versant de la Volta (PAGEV, 2007) .....	20
Tableau N° 3 : Demandes en eau des petits réservoirs du bassin de la Volta .....	25
Tableau N°4 : Capacités de stockage et demande en eau des grands réservoirs .....	26
Tableau N°5: Données physiques et hydrauliques des barrages hydro-électriques .....	27

---

Tableau N°6: Facteur d'usine du barrage hydro-électrique de Bagré .....	27
Tableau N° 7: Demande en eau dans les sous-bassins de la Volta.....	29
Tableau N°8 : Nature et prépondérance des modèles .....	34
Tableau N°9 : Inventaire et sources des modèles identifiés .....	35
Tableau N°10: Désignation des combinaisons d'aménagement.....	144
Tableau N°11: Résultats des combinaisons d'aménagement (ABN, BRL, Ingénierie, 2008) 145	
Tableau N°12: Analyses comparatives des modèles combinés .....	151
Tableau N°13: Premières valeurs choisies des paramètres.....	40
Tableau N°14 : Valeurs de Nash et périodes de calibration et des observations .....	45
Tableau N°15: Dernières valeurs choisies des paramètres .....	47
Tableau N°16 : Nouvelles valeurs de Nash et périodes de calibration et des observations ....	51
Tableau N°17: Consommation d'eau annuelle (m <sup>3</sup> /an) de la ville de Ouagadougou .....	56
Tableau N°18: Consommation d'eau annuelle (m <sup>3</sup> /an) de la ville de Tamalé (Nawuni) .....	57
Tableau N°19: Variation mensuelle de Consommation domestique de Ouagadougou.....	57
Tableau N°20 : Variation mensuelle de Consommation domestique de Tamale .....	57
Tableau N°21: Variation mensuelle des prélèvements pour l'irrigation dans le bassin de la Volta .....	58

---

## LISTE DES FIGURES

Figure N°1: Situation et limites du bassin de la Volta (source : ABV).....	13
Figure N°2 : Réseau hydrographique du bassin de la Volta (source : ABV).....	14
Figure N°3: Débits à la station de Dapola .....	16
Figure N°4: Précipitations sur le bassin de Dapola.....	17
Figure N°5: Température sur le bassin de Dapola.....	18
Figure N°6: Humidité sur le bassin de Dapola .....	18
Figure N°7: Vent sur le bassin de Dapola. ....	18
Figure N°8: Couverture nuageuse du bassin de Dapola .....	19
Figure N°9 : Coefficients culturaux Kc des couvertures végétales savanes et agriculture pluviale dans le bassin de Dapola .....	22
Figure N°10: Les principaux cours d'eau et sous-bassins de la Volta (De Condappa et al, 2007).....	23
Figure N°11: Demande en eau par principal cours d'eau du bassin de la Volta .....	30
Figure N°12: Les différentes phases du bilan ressources/usages dans le bassin de la Volta ..	33
Figure N°13: Zones de développement ZD considérées (PADD Niger, 2007).....	146
Figure N°14: Total annuel des débits simulés et des débits observés du bassin versant de Yakala. ....	42
Figure N°15: Total mensuel des débits observés et simulés du bassin versant de Yakala .....	43
Figure N°16: Total annuel des débits observés et simulés du bassin versant de Dapola .....	44
Figure N°17 : Total mensuel des débits observés et simulés du bassin versant de Dapola .....	45
Figure N°18: Total annuel des débits observés et simulés du bassin de Yakala .....	49

---

Figure N°19 : Total annuel des débits observés et simulés du bassin de Dapola.....	50
Figure N°20: Total mensuel des débits observés et simulés du bassin de Dapola.....	50
Figure N°21: Priorité d'allocation de l'eau dans les systèmes de rivière du bassin de la Volta (Audit de l'eau, Bassin de la Volta, 2007) .....	55
Figure N°22: Vue schématique des sites de demande et d'approvisionnement des sous-bassins du bassin de la Volta .....	61

## Introduction

Les cours d'eau d'où les hommes tirent les ressources en eau pour leur survie se sont naturellement mis en place sans tenir compte des frontières artificielles que l'homme semble leur donner aujourd'hui. Avec les découpages territoriaux qui sont des œuvres humaines certains cours d'eau se retrouvent sur les territoires de plusieurs pays où ils sont partagés entre plusieurs usagers.

Pourtant les utilisateurs de ces ressources sont le plus souvent organisés par circonscriptions administratives. Plusieurs entités de ressource se trouvent de ce fait étendues à plusieurs pays, et donc suivant les pays, sont régies par des textes d'exploitation et de gestion différents. Cette situation a souvent entraîné de graves conséquences socio-économiques et environnementales, et de pression sur les ressources en eau.

Pour essayer de pallier à tout cela, les communautés de la sous région se sont organisées de façon à promouvoir une gestion concertée des ressources, notamment les ressources en eau. C'est ainsi que se sont mises en place des associations d'usagers qui ont évolué progressivement en organismes de bassin. Plusieurs organismes de bassin ont donc été mis en place en Afrique de l'Ouest. Ces organismes de bassin ont entre autres missions celle d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies de gestion durable des ressources et de développement concerté des aires couvertes par les bassins versants (Lienou et al, 2010).

Au nombre de ces agences et organismes de bassin de l'Afrique de l'Ouest, on compte l'Autorité du Bassin de la Volta (ABV), l'Autorité du Bassin du Niger (ABN), l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS), l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Gambie (OMVG) et autres.

Les ressources en eau en Afrique de l'Ouest depuis les années 70 connaissent de stress dus aux changements climatiques (PAGEV, 2007). Et ceci face à une demande en eau qui ne cesse de croître.

Comme la pression du développement humain sur les bassins se développe, les Etats membres demandent l'aide des institutions internationales pour les assister dans la gestion des bassins.

C'est ainsi que des projets et études financés par ces institutions se sont développés dans les bassins de l'Afrique de l'Ouest pour l'obtention d'une vision partagée sur les tendances des changements climatiques et de ses effets sur les ressources en eau. L'objectif est d'établir des outils interactifs d'aide à la décision scientifiquement solides et pertinents pour la gestion de l'eau et des terres. L'outil d'aide à la décision fournit un cadre de surveillance et de simulation qui permet aux décideurs

d'évaluer les impacts des tendances climatiques, des politiques, des investissements et autres interventions sur la productivité sociale, économique et biologique des ressources en eau.

Aujourd'hui, ces projets et études laissent derrière eux dans les agences de bassins beaucoup de modèles d'aide à la décision restitués sous forme de rapport et de fichiers numériques. Ces modèles suscitent très peu d'intérêt et même sont seulement connus de nom dans les agences de bassin. Ceci étant dû au fait que la formation à ces modèles n'est pas relayée et le modèle non appliqué suite aux séances limitées de formation que les chercheurs donnent une fois les projets terminés. Pourtant les services qu'ils rendent en matière de bilan ressources/usages et d'évaluation des impacts sont considérables. Par ailleurs, ces modèles très nombreux et aussi efficaces les uns que les autres se recoupent en plusieurs points dans leurs applications.

Cette étude vise d'une part le choix du modèle le plus représentatif après l'inventaire et l'analyse critique des modèles développés dans les agences et organismes de bassins de l'Afrique de l'Ouest et d'autre part le bilan ressources/usages dans le bassin de la Volta au modèle WEAP. Cette sélection de modèle et l'application du modèle WEAP pour le bilan ressources/usages au cas particulier du bassin de la Volta (étude pilote), permettront au CCRE/CEDEAO, unité spécialisée de la CEDEAO et partenaire technique et financier des agences et organismes de bassin d'assister les pays membres dans la promotion et la mise en place des politiques de gestion des ressources en eau.

## 1. Objectif de l'étude

### 1.1 Objectif général

Bilan ressources/usages de l'eau dans le bassin de la Volta et scénario d'utilisation de la ressource en eau en Afrique de l'Ouest

#### 1. Objectifs spécifiques

1. Inventorier et présenter les modèles identifiés des points de vue scénarios analysés, éléments d'entrée, éléments de sortie et éléments d'aide à la décision fournis ; les analyser de façon critique pour le choix du modèle le plus représentatif et acceptable des agences et organismes de bassin de l'espace CEDEAO ;
2. projection de la demande en eau, détermination et analyse des disponibilités en eau sous différents scénarios après collecte des données ressources et usages ;
3. Faire le bilan ressources/ usages avec le modèle de bilan WEAP dans le bassin de la Volta sous différentes conditions de demande et scénarios de disponibilité de l'eau notamment : en

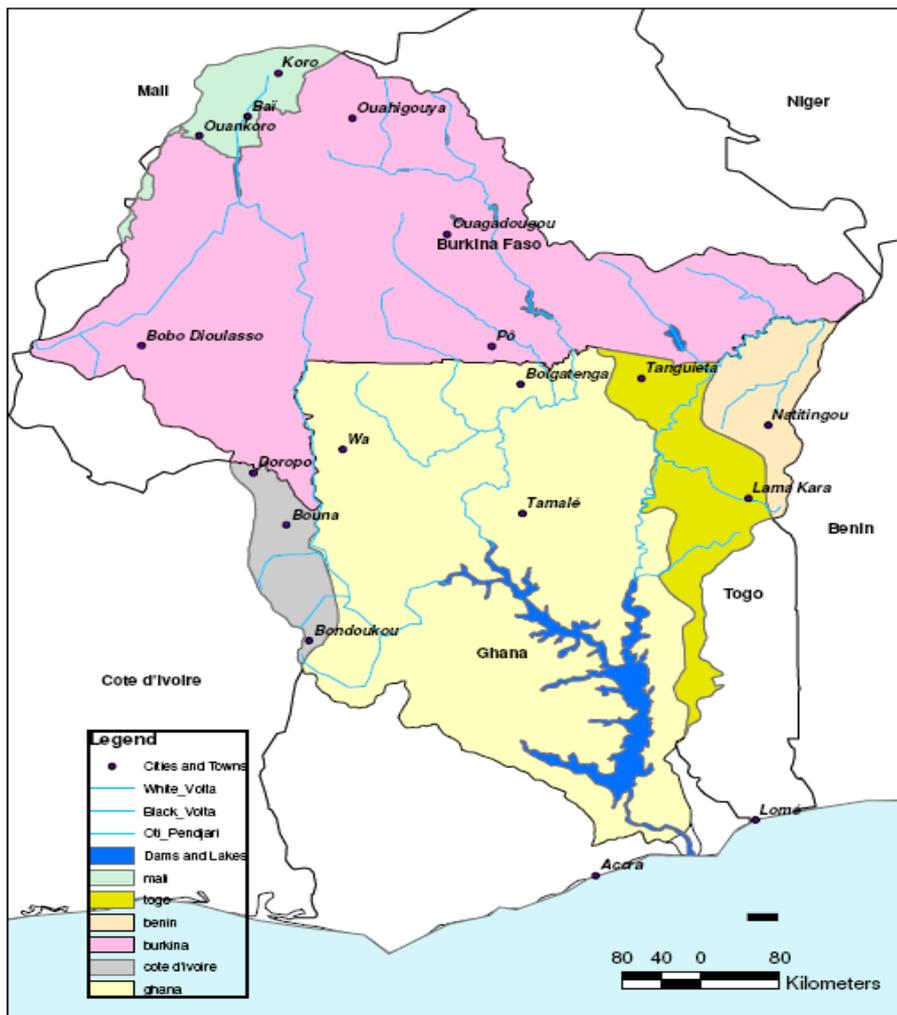
climat chaud et sec, climat chaud et humide et sous le scénario de développement des petits réservoirs en amont du bassin.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Présentation du Bassin de la Volta

#### 2.1.1 Situation géographique

Situé en Afrique de l'Ouest, le bassin de la Volta a une superficie d'environ 400 000 km<sup>2</sup> et couvre six pays, à savoir le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Mali et le Togo. Le Burkina Faso et le Ghana occupent la plus grande partie du bassin, près de 85% (Figure N°1).



**Figure N°1: Situation et limites du bassin de la Volta (source : ABV)**

Le climat dans le bassin de la Volta varie entre le sahélien à l'extrême Nord du Burkina Faso (moyenne annuelle de précipitation <500 mm/an), le soudano-sahélien au centre du Burkina Faso (~700 mm/an) et le Guinéen au sud du Ghana (~1600 mm/an).

### 2.1.2 Le réseau hydrographique du bassin de la Volta

Le bassin de la Volta est drainé par 4 cours d'eau principaux : la Volta Blanche ou Nakanbé, (dont l'affluent principal est la Volta Rouge ou « Nazinon»), la Volta Noire ou Mouhoun, et l'Oti (Figure N°2). La partie située à l'aval de la confluence de ces 3 affluents est le quatrième cours d'eau qui est désigné par « Volta Inférieure » (Jacob TUMBULTO, 2009).



Figure N°2 : Réseau hydrographique du bassin de la Volta (source : ABV)

La Volta Blanche (ou Nakanbé), et son affluent principal la Volta Rouge (ou Nazinon) prennent respectivement leur source au Nord (dans la zone sahélienne) et au centre du Burkina Faso. Elles contribuent à 23 % au volume annuel entrant dans le Lac Volta (Andrei ni et al, 2000).

La Volta Noire ou Mouhoun prend sa source au Sud Ouest du Burkina Faso, dans la région de Bobo-Dioulasso. Elle contribue à 23 % au volume annuel entrant dans le Lac Volta (Andreini et al, 2000).

L'Oti prend sa source dans la partie Nord Ouest du Bénin, au niveau du massif de l'Atacora. Il porte le nom de Pendjari et constitue sur plus de 1000 km la frontière entre le Burkina Faso et le Bénin.

La Volta inférieure est constituée des petits affluents du lac Volta, et de la rivière Volta située en aval du barrage d'Akosombo. Les petits affluents contribuent à 17 % au volume annuel entrant dans le Lac Volta (Andreini et al, 2000).

## 2.2 Les données ressources

### 2.2.1 Nature des données collectées

Les données ont été collectées des bases de données de l'Autorité du Bassin de la Volta (ABV), de PAGEV, de la DGRE et surtout des travaux de recherches et publications mis à notre disposition à l'ABV et à PAGEV. Les données ont été collectées de ses sources par bassin versant (sous-bassin) et sont nécessaires pour faire le bilan ressources/usages. Elles sont présentées par nature dans le tableau N°1 ci-dessous.

Tableau N° 1: Nature des données collectées

Natures	Sources des données
Données hydrométriques	ABV et PAGEV, 2002
Données climatiques	PAGEV, 2002
Données bioclimatiques et physiques	PAGEV, 2002 et DGRE
Données géographiques	PAGEV, 2002

Ces données sont nécessaires lorsque le bilan ressources/usages doit être fait au modèle WEAP.

#### 2.2.1.1 Données hydrométriques

Les données hydrométriques sont les débits mesurés à l'exutoire des bassins versants (sous-bassins du bassin de la Volta) par les stations de mesures. Les périodes d'observations varient de 1951 à 2007, 1951 étant l'année de début des observations la plus ancienne et 2007 l'année

de fin des observations le plus récent parmi les dates de début et de fin des observations. Les données hydrométriques de chaque bassin versant ont été mises à notre disposition sous forme de fichier texte et on a pu constater par chroniques de débits qu'il n'y a pas eu de rupture d'années sur les périodes d'observation. Les débits enregistrés à la station de Dapola sur la période 1959-2006 se présentent par exemple comme représentés à la figure 3 ci-dessous.

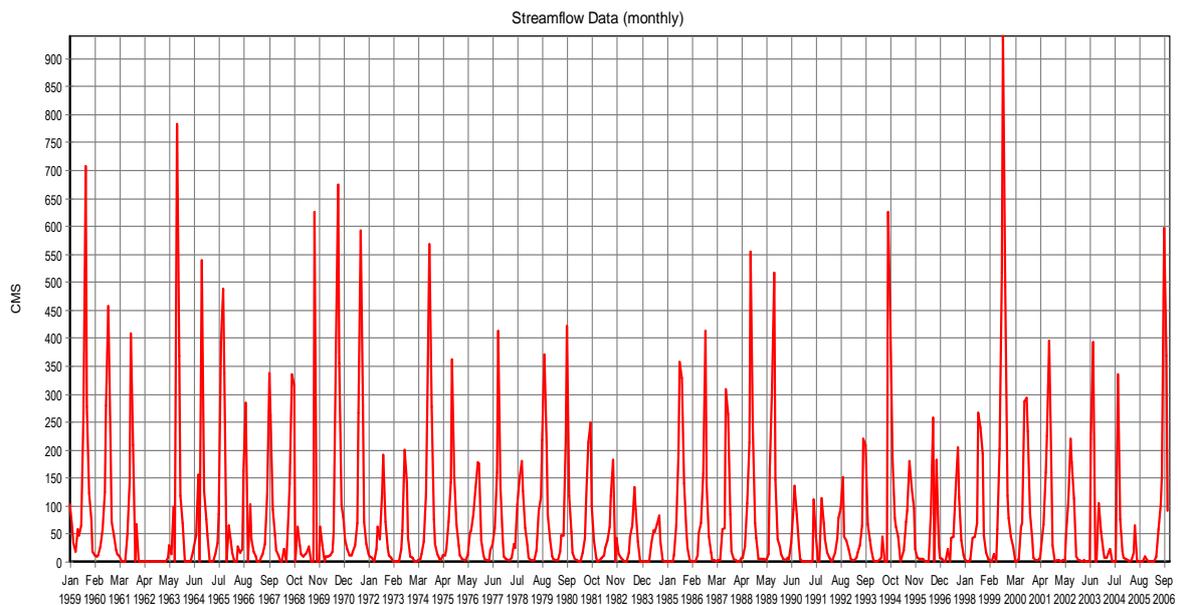


Figure N°3: Débits à la station de Dapola

Les données hydrométriques ont surtout été utilisées pour calibrer le modèle WEAP afin de pouvoir faire les prévisions avec le modèle. Cette calibration a été faite sur les périodes où le modèle reproduit le mieux les débits observés.

#### 2.2.1.2 Les données climatiques

Les données climatiques sont constituées des précipitations, de la température, de l'humidité, du vent et de la couverture nuageuse. Elles sont les données les plus importantes car ce sont elles qui génèrent la pluie, la pluie étant l'élément capital au niveau du bassin versant sans laquelle il ne peut y avoir écoulement dans les rivières et infiltration alimentant les eaux souterraines sur chacun desquels se font les prélèvements. Les périodes d'observation des données climatiques sont toutes sur la période 1961-2002 et leurs chroniques ne connaissent pas de ruptures d'années sur cette période. Elles sont des données montées sous trois différents formats de régime climatique par De Condappa et al, le travail en amont ayant duré plus de deux ans selon les propos de ces derniers. Chaque format entré au modèle permet de

faire des prévisions sous les scénarios de changement climatiques suivants : climat chaud, climat chaud et sec et climat chaud et humide. Ces scénarios sont définis par rapport à la durée des prévisions appelée scénario de référence qui traduit la situation normale où il n'y a pas de changement climatique. La présente étude a surtout utilisé les formats de climat chaud et sec et climat chaud et humide pour analyser les disponibilités de la ressource à l'horizon 2030 et aux horizons intermédiaires 2015 et 2020 pour certaines analyses. Les données climatiques de référence pour le bassin versant de Dapola sur la période 1960-2002 sont par exemple celles représentées sur les figures 4 à 8 ci-dessous.

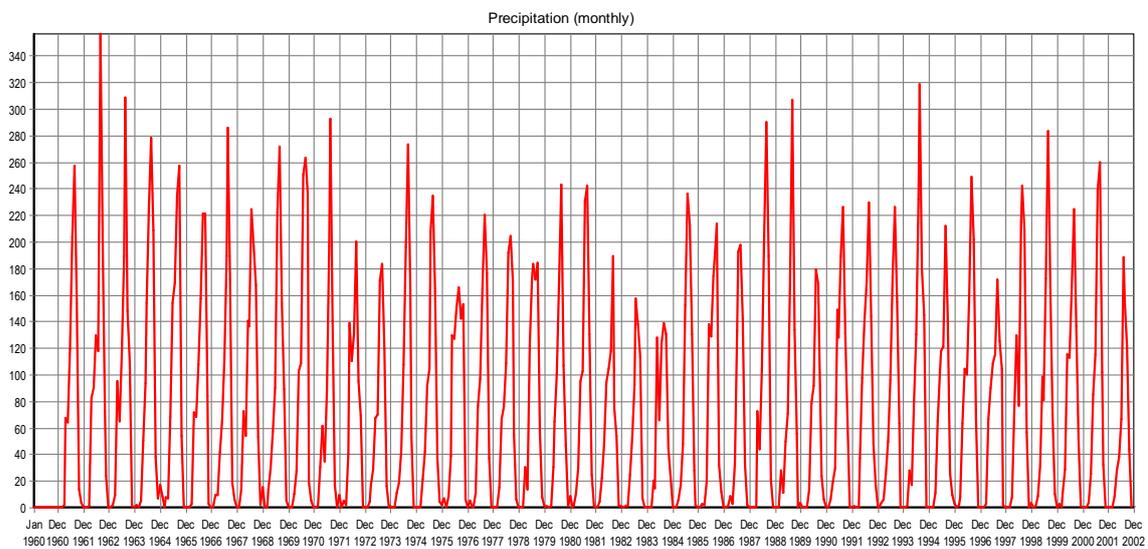


Figure N°4: Précipitations sur le bassin de Dapola

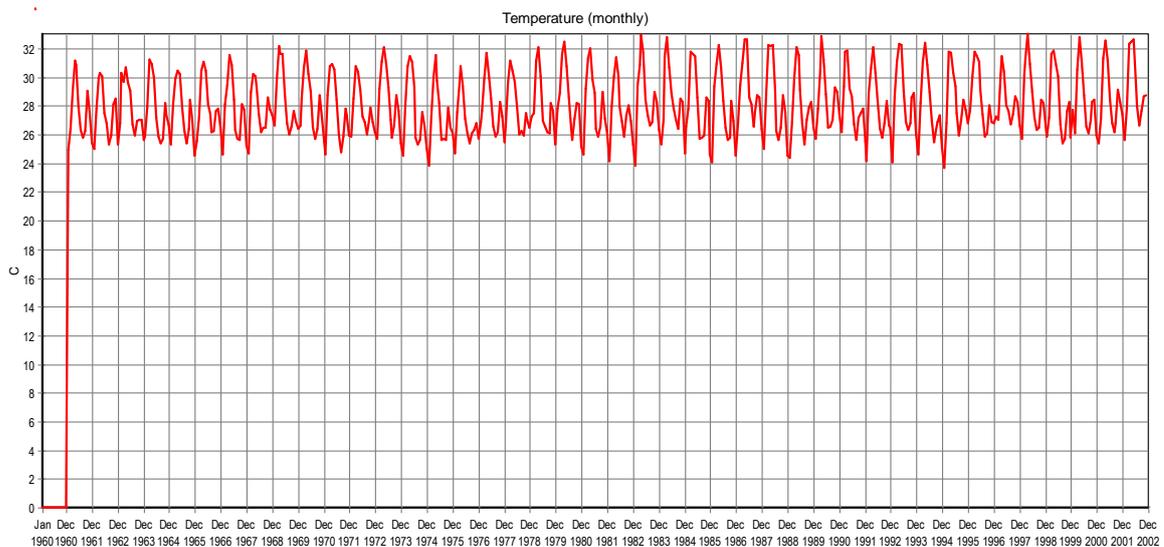


Figure N°5: Température sur le bassin de Dapola

Il s'agit par rapport à la température de la moyenne des températures hautes et basses sur la période.

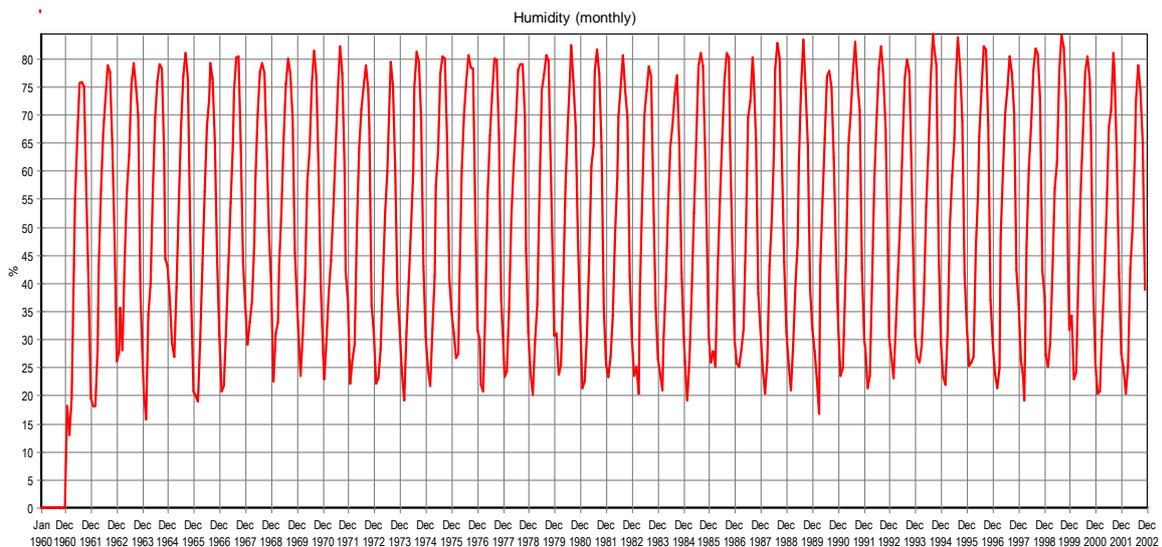


Figure N°6: Humidité sur le bassin de Dapola

Par rapport à l'humidité, il s'agit de l'humidité relative.

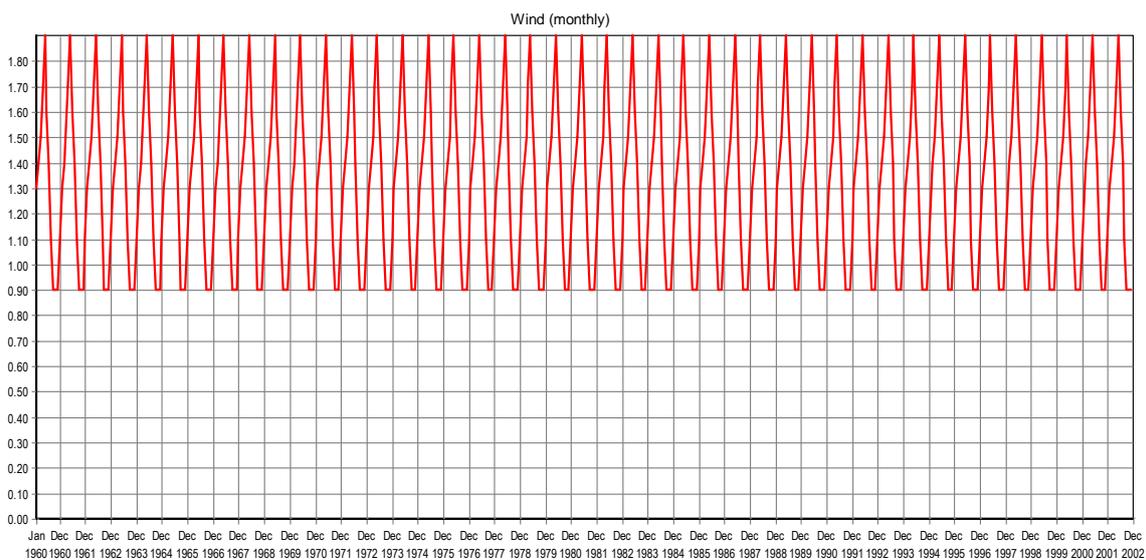


Figure N°7: Vent sur le bassin de Dapola.

Par rapport au vent, il s'agit de sa vitesse moyenne en m/s

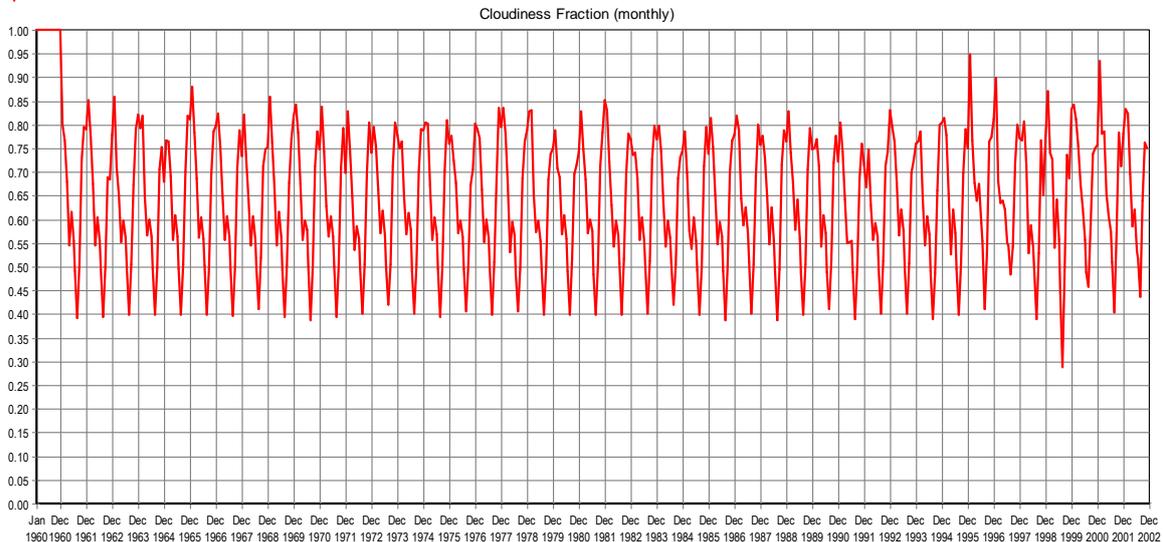


Figure N°8: Couverture nuageuse du bassin de Dapola

Il s'agit ici des fractions d'heure de la journée sans nuage. Elles varient entre 0 et 1. Lorsqu'elles sont sans nuage, elles prennent la valeur 1, la valeur 0 lorsqu'elles sont complètement couvertes et les valeurs intermédiaires pour les situations intermédiaires.

Le plus important par rapport aux facteurs climatiques, c'est la pluie qu'ils génèrent et qui est utilisée par le modèle WEAP pour simuler les débits sur les années à venir. Il permet ainsi de faire le bilan hydrique et le bilan ressource/usage au niveau d'un bassin versant sur les années à venir.

#### 2.2.1.3 Données bioclimatiques et physiques

Les données bioclimatiques collectées par bassin versant sont les couvertures végétales des sols des bassins, les coefficients culturaux  $K_c$  des végétaux. Les données physiques concernent les superficies des bassins versants et le taux de couverture des végétaux qu'on y rencontre. Les 3 principales couvertures végétales des bassins versants de la Volta par rapport auxquelles on a pu avoir de données sont la savane, l'agriculture pluviale et la forêt. C'est par rapport à ces couvertures que se choisissent les paramètres Capacité de rétention de sol, facteur de résistance au ruissellement et zone de conductivité racinaire qui sont les clés du modèle WEAP pour les prévisions. Leur coefficient cultural est utilisé pour tenir compte du

phénomène d'évapotranspiration dans le bilan hydrique. Et comme les bilans se font à l'échelle du bassin versant, la superficie du bassin versant, le taux de couverture des végétaux qu'il porte et sa position géographique donnée par sa latitude sont des données que le modèle WEAP exige. Le tableau N°2 ci-dessous donne par bassin versant les données bioclimatiques, physiques et géographiques collectées et entrées au modèle pour faire le bilan. Les valeurs Kc recueillies par bassin versant changent d'une couverture végétale à une autre et varient aussi mensuellement selon les stades phénologiques des végétaux. La figure 9 donne l'exemple des valeurs mensuelles de Kc par couverture végétale du bassin versant de Dapola.

Tableau N° 2: Données bioclimatiques et physiques des bassins versant de la Volta (PAGEV, 2007)

Bassins Versants	Superficie (km <sup>2</sup> )	Latitude(°)	Couvertures Végétales	Taux de couverture
Wayen	20045	13	Savane	86
			Agriculture pluviale	14
Yakala	15408	12	Savane	82
			Agriculture pluviale	18
Nangodi	11205	11.5	Savane	85
			Agriculture pluviale	15
Pwalugu	8988	11	Savane	73
			Agriculture pluviale	27
Nawuni	43146	10	Savane	88
			Agriculture pluviale	12
Nwokuy	16126	11.5	Savane	87
			Agriculture pluviale	13
Lérinord	16163	13	Savane	89

			Agriculture pluviale	11
			Savane	85
Dapola	55368	12	Agriculture pluviale	15
			Savane	83
Noumbiel	14268	10	Agriculture pluviale	17
			Savane	86
Bamboi	23739	9	Agriculture pluviale	14
			Savane	92
Kompienga	5772	11.5	Agriculture pluviale	8
			Savane	86
Mango	27533	11	Agriculture pluviale	14
			Savane	81
Koumangou	7542	10	Agriculture pluviale	19
			Savane	75
Sabari	16169	9.5	Agriculture pluviale	25
			Savane	93
Ekumdipe	6350	9	Agriculture pluviale	7
			Savane	85
Prang	9193	7.5	Agriculture pluviale	11
			Savane	86
Senchi	84229	8	Agriculture pluviale	12
			Savane	98
Arly	6818	11	Savane	

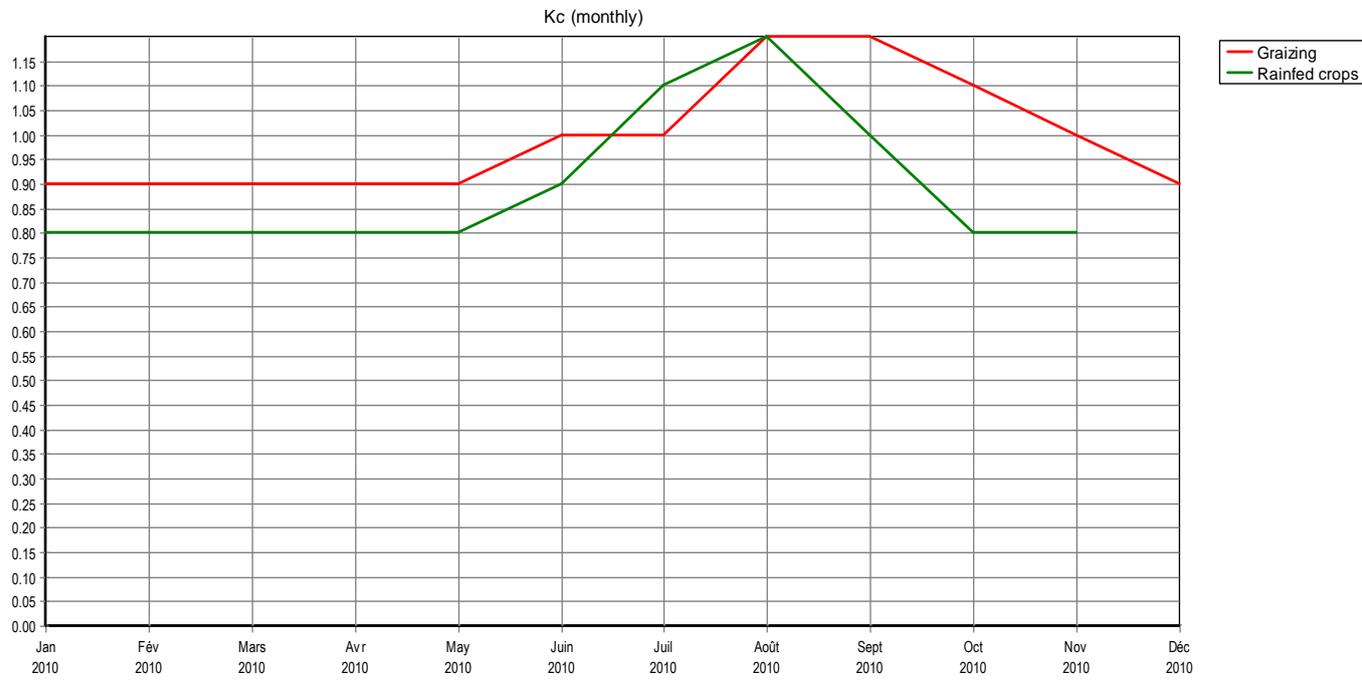


Figure N°9 : Coefficients culturaux Kc des couvertures végétales savanes et agriculture pluviale dans le bassin de Dapola

### 2.2.2 Les données usages

Les données collectées concernent les besoins en eau domestique, les besoins en eau pour le bétail et les prélèvements d'eau pour les activités agricoles (irrigation) et industrielle (barrage hydro-électrique) dans le bassin la Volta. Les usages qui s'effectuent dans le bassin ont été collectés de travaux de recherche et documents existants à l'autorité du bassin de la volta. C'est ainsi qu'on a pu disposer par sous-bassin qui sont au nombre de 19 les demandes existantes sur leur rivière. Les biefs des cours d'eau Nakanbé, Mouhoun, Oti et du lac Volta compris entre l'entrée et la sortie des découpages du bassin adoptés sont appelés rivières qui portent chacun le nom de la station de mesure placée à son exutoire. Ces découpages du bassin identiques à ceux de De Condappa et al (2007) et appelés sous-bassin ou bassin versant portent aussi le nom des stations de mesure placées à leur exutoire. Les sous-bassins sont ceux de la figure10 ci-dessous.

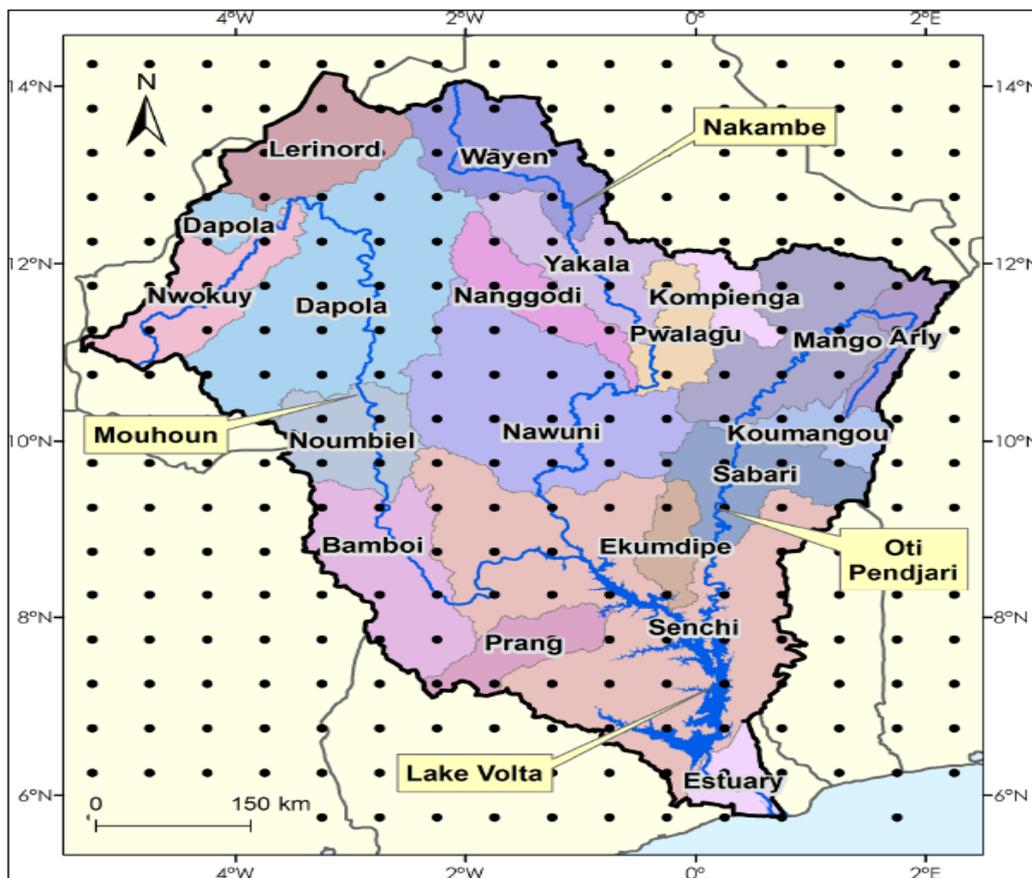


Figure 10: Les principaux cours d'eau et sous-bassins de la Volta (De Condappa et al, 2007)

Des travaux et documents existants à l'Autorité du bassin de la Volta, les données collectées concernent les usages suivants :

1. Les petits réservoirs privés SR (Small Reservoir) majoritaires au Burkina-Faso dont la plupart sont informels
2. Les grands réservoirs d'irrigation installés de façon formelle et qui sont les propriétés de l'Etat
3. Les grands barrages Hydro-électriques
4. Les demandes domestiques surtout des zones urbaines
5. L'irrigation le long des rivières et les besoins en eau pour le bétail.

Des 19 sous-bassins, seuls ceux par rapport auxquels les données sont disponibles ont été considérés dans la présente étude.

#### 2.2.2.1 Données collectées par usages et hypothèses

##### *Petits réservoir privés*

L'eau stockée dans ces réservoirs est en grande partie utilisée pour l'irrigation. Les données ne sont disponibles ni sur leurs propriétés physiques (capacité de stockage, relation volume-niveau d'eau) ni sur les règles d'opération (lâchure d'eau, le volume mort) à l'Autorité du bassin de la Volta au moment des travaux consultés.

Les données que nous avons récoltées des travaux de De Condappa et al ont dû faire les suppositions suivantes pour la détermination de la demande annuelle en eau de ces petits réservoirs comme les petits réservoirs sont principalement utilisés pour l'irrigation et qu'il n'y a pas d'information disponible sur leur fonctionnement :

- il définit un petit réservoir comme étant tout réservoir ayant une capacité de stockage inférieure ou égale à 1 Mm<sup>3</sup> (1million de m<sup>3</sup>)
- Il n'y a pas de retour pour l'eau prélevée pour l'irrigation. La grande partie est totalement consommée par l'irrigation et l'autre partie par l'évapotranspiration (la partie de l'eau qui s'infiltre dans l'eau souterraine étant négligée dans l'étude par manque de données)
- la demande en eau pour l'irrigation des petits réservoirs est considérée comme égale à 75% de sa capacité de stockage pour la modélisation au modèle WEAP de la demande en eau pour irrigation des petits réservoirs. Les sources de ces hypothèses utilisées par De Condappa sont : l'IRD Ouagadougou et Liebe (2002)-Glowa-Volta

Les demandes annuelles en eau des petits réservoirs des sous- bassins du bassin la volta collectés des travaux de De Condappa sont présentées dans le tableau N°3 ci-dessous.

Tableau N° 3 : Demandes en eau des petits réservoirs du bassin de la Volta

Sous-bassins	Irrigation (Mm <sup>3</sup> /an)
	Petits réservoirs
Arly	0
Bamboi	-
Dapaola	31
Ekumdipe	-
Kompienga	6
Lérinord	4
Mango	1
Nanggodi	18
Nawuni	17
Noumbiel	2
Nwokuy	5
Pwalagu	10
Sabari	-
Senchi	-
Yakala	49
Wayen	32
Total	174

### ***Grands réservoirs d'irrigation***

Leur eau est utilisée pour l'irrigation mais à une échelle plus grande. Comme les petits réservoirs, leurs propriétés physiques et les règles de leur fonctionnement ne pas disponibles dans les travaux consultés à l'autorité du bassin de la volta.

Les hypothèses que De Condappa et al ont fait dans le cadre de leur travaux sont les mêmes que pour les petits réservoirs à l'exception de la dernière où il est supposé que la demande en eau pour l'irrigation d'un grand réservoir peut être modélisée dans le modèle WEAP comme une consommation d'eau égale à la capacité du réservoir moins le volume mort si le volume mort du réservoir est connu et égale à 75 % de sa capacité si le volume mort est inconnu. Les sources de ces hypothèses utilisées par De Condappa sont: Liebe (2002)-Glowa-Volta, la DGRE(2001) et autres.

Les demandes en eau annuelles des grands réservoirs collectés des travaux de De Condappa et al sont reportées dans le tableau N°4 ci-dessous.

**Tableau N°4 : Capacités de stockage et demandes en eau des grands réservoirs**

Grands réservoirs	Capacité de stockage (Mm <sup>3</sup> /an)	Volume mort (Mm <sup>3</sup> /an)	Demande (Mm <sup>3</sup> /an)	Sous-bassin	Source
Sourou	<b>370</b>	<b>inconnu</b>	<b>277</b>	<b>Lérinord et Nwokuy</b>	<b>Direction Générale de l'Hydraulique (2001)</b>
Tono	<b>90</b>	<b>inconnu</b>	<b>67</b>	<b>Nawuni</b>	<b>Liebe et al. (2005)</b>
Vea	<b>20</b>	<b>inconnu</b>	<b>15</b>	<b>Nawuni</b>	<b>Liebe et al. (2005)</b>
Yako Kanazoé	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>Wayen</b>	<b><a href="http://aochycos.ird.ne/HTML/F/PARTNAT/MEE/GRD_REAL.HTM">http://aochycos.ird.ne/HTML F/ PARTNAT/MEE/GRD_REAL.HTM</a></b>
Ziga	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>Wayen</b>	<b>Direction Générale de l'Hydraulique (2001)</b>

***Les grands Barrages hydro-électriques***

Les grands barrages hydro-électrique du bassin de la volta sont le barrage de Bagré, le barrage de Kompienga et le barrage de Akosombo. Les données dont nous avons besoin pour ces

ouvrages sont la capacité de stockage, le stockage initial (volume mort), la courbe Volume-hauteur, le débit de turbinage min, le débit de turbinage max, le débit de turbinage min, le facteur d'usine, le rendement de production.etc. Les courbes volumes hauteurs sont mis en annexe 1, figures A et B.

Les données que nous avons pu collecter sont reportées dans les tableaux N°5 et 6 ci-après.

Tableau N°5: Données physiques et hydrauliques des barrages hydro-électriques

Barrages	Capacité de Stockage Mm <sup>3</sup>	Stockage initial Mm <sup>3</sup>	Débit de turbinage min Mm <sup>3</sup> /an	Débit de turbinage max Mm <sup>3</sup> /an	Débit de turbinage moyen visé Mm <sup>3</sup> /an	Rendement de production	Source
Akosombo	148 000	70 000	17500	38500	31570		van de Giesen et al. (2001), Obeng-Asiedu (2004)
Bagré	1 700	400	600	1550	870	96 ,8%	SONABEL, SIEREM
Kompienga	2025	500	400	680	580		SONABEL, SIEREM

Le facteur d'usine du barrage de Bagré varie comme montré dans le tableau N°6 ci-après.

Tableau N°6: Facteur d'usine du barrage hydro-électrique de Bagré

Mois	Jan	févr.	Mar	Avr	mai	juin	juil.	Aou	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Facteur d'usine en %	95,9	95,7	95,4	96,1	96	96,1	96	96,7	95,6	96 ,7	96,6	96,3

Le facteur d'usine des autres barrages n'est pas disponible dans les travaux consultés.

#### 2.2.2.2 Les consommations domestiques de l'eau, l'eau pour le bétail et l'irrigation le long des rivières.

Les demandes en eau liées à ces différents usages ont été obtenues à la Direction Générale de l'eau (DGRE), des travaux de Barry et al. (2005) et de Nii Consult (2007). Comme il n'y a

pas de données disponibles sur les ressources souterraines dans le bassin de la Volta, les interactions de ces demandes avec l'eau souterraine ont été négligées.

L'irrigation le long des rivières dont il est question ici concerne les irrigations à petite échelle différente des deux précédentes qui prélèvent directement l'eau des rivières. L'irrigation le long des rivières n'a pas été prise en compte car les données ne sont disponibles que pour quelques sites.

Par ailleurs les demandes pour la consommation domestique du tableau 7 sont des données agrégées des sources eaux de surface et eaux souterraines. Elles ne pourront pas être utilisées dans la présente étude comme les eaux souterraines ne sont pas à considérer par manque de données d'après nos hypothèses et ces données restent encore des données agrégées.

Les demandes de ces usages d'eau par sous-bassin collectées sont reportées dans le tableau 7 récapitulatif des demandes ci-après.

#### **Aperçu sur les usages d'eau considérés**

Toutes les demandes en eau des sous-bassins liées aux différents usages considérés sont reportées dans le tableau N°7 ci-après. Les demandes par principal cours d'eau du bassin de la Volta sont présentées sur la figure 11 ci-après pour une vue des demandes par sous-bassins et cours d'eau principal.

Les débits de turbinage visés au niveau des 3 barrages hydro-électriques (au total 33.020 Mm<sup>3</sup>/an en moyenne), spécialement à Akosombo est de loin la plus grande demande en eau du bassin de la Volta.

Cependant, contrairement à toutes les autres demandes, ce débit n'est pas consommé (retourne à 100% en aval). La plus grande consommation est observée au niveau du périmètre irrigué de Sourou, le long du cours d'eau Mouhoun (277 Mm<sup>3</sup>, pris des sous bassin de Lérinord et Nwokuy).

Sous-bassins	Domestique Mm <sup>3</sup> /an	Bétail Mm <sup>3</sup> /an	Irrigation Mm <sup>3</sup> /an			Barrages hydro- électrique Mm <sup>3</sup> /an
			Le long des rivières	Grand réservoir	Petit réservoir	
Arly	0	-	-	-	0	-
Bamboi	12	4	-	-	-	-

a b l e u N ° 7 : D e m a n d e e n	Diapaola	17	13	19	-	31	-
	Ekumdipe	2	1	-	-	-	-
	Kompienga	3	3	-	-	6	580
	Lérinord	4	4	-	89	4	-
	Mango	-	-	-	-	1	-
	Nangodi	5	4	3	-	18	-
	Nawuni	23	13	-	82	17	-
	Noumbiel	-	-	-	-	2	-
	Nwokuy	13	6	46	188	5	-
	Pwalagu	-	-	-	-	10	-
	Sabari	7	3	27	-	-	-
Senchi	30	5	81	-	-	31570	
Yakala	38	16	66	-	49	870	
Wayen	-	-	-	150	32	-	
Total	156	71	242	509	174	33020	

eau dans les sous-bassins de la Volta



Figure N°11: Demande en eau par principal cours d'eau du bassin de la Volta

## 2.3 Modèles et méthodologie

Les modèles ont été collectés à partir des travaux et études effectués disponibles dans les agences et organismes de bassin et sur internet. Ils ont été inventoriés et présentés dans des tableaux selon le schéma : contexte d'utilisation, scénarios analysés, éléments d'entrée, éléments de sortie, éléments d'aide à la décision fournis, limites et perspectives avant d'être analysés de façon critique.

### 2.3.1 Méthodologie pour le bilan ressources/usages

La méthodologie adoptée pour le bilan ressources/usages dans le bassin de la volta s'est déroulée en des phases avec des tâches bien définies :

#### ***Phase 1***

Elle a été consacrée à la collecte des données ressources(données hydrométriques), des données climatiques, des données bioclimatiques et physiques , des données géographiques et des données sur les usages en eau à partir des bases de données de PAGEV, de la DGRE, de l'ABV, des travaux, études et thèses disponibles à l'Autorité du Bassin de la Volta (ABV) :

Tâche 1.1: a consisté à la collecte des:

1. données hydrométriques : débits des stations de mesure placées à l'exutoire des bassins versants
2. données climatiques : Précipitations, température, vent, humidité, couverture nuageuse
3. données bioclimatiques et physiques : superficie des bassins versants, leurs couvertures végétales, taux de couverture des végétaux, les coefficients culturaux Kc des végétaux
4. données géographiques : Latitude des bassins versants

Les données sur la ressource souterraine à l'échelle du bassin de la Volta ne sont pas disponibles dans les bases de données, travaux et études consultées à l'ABV, PAGEV, DGRE et autres.

Tâche 1.2: a consisté à collecter les données sur l'utilisation de l'eau pour les besoins domestiques, l'irrigation, l'élevage, et l'hydro-électricité. Les données sur les usages industriels ne sont pas disponibles dans les bases de données de l'ABV, travaux et études consultées. Comme les données relatives aux demandes en eau pour les usages domestiques sont des données agrégées inexploitable dans la présente étude, le bilan ressource/usages par rapport à l'usage domestique a été fait pour une ville importante de chacun des deux principaux pays du bassin de la Volta : Ouagadougou pour le Burkina Faso et Tamalé pour le Ghana. Pour les autres usages sauf l'hydro-électricité et le bétail, le bilan a été fait à l'échelle de tout le bassin comme les données sont disponibles.

Les résultats de la phase I ont été introduits dans la phase II comme entrée.

### ***Phase 2***

Les données hydrométriques et climatiques collectées en Phase I ont été utilisées dans la Phase 2.

Tâche 2.1: Les données de changements climatiques montées par De Condappa et al pour avoir les scénarios de changement climatique chaud et sec, chaud et humide ont été utilisés pour analyser la disponibilité de l'eau face aux demandes en eau actuelles et à venir sous ces scénarios de changement climatique. La disponibilité de l'eau sous le scénario de développement des petits réservoirs a été aussi analysée.

Tâche 2.2: les débits des stations à l'exutoire des bassins versants de même que les données climatiques ont été utilisées pour calibrer le modèle WEAP. Les paramètres optimaux qui sont

les clés du modèle en sont dégagés et ont constitué les paramètres de base entrés au modèle pour faire les prévisions.

Tâche 2.3: Sous cette tâche on a estimé la demande projetée de l'eau pour 2015, 2020 et 2030.

### **Phase 3**

Les résultats de la phase 2 ont été utilisés comme entrée de la Phase 3. La phase 3 a évalué le bilan d'eau sous différents approvisionnements et demandes. L'évaluation des résultats se trouve dans la tâche suivante :

Le bilan d'eau entre l'approvisionnement et la demande sous différentes conditions de demande et de disponibilité (changements climatiques et développement de petits réservoirs énoncés en phase2) a été déterminé, en utilisant le modèle WEAP.

La méthodologie adoptée pour le bilan ressources/usages dans le bassin de la Volta se résume au schéma de phasage et d'exécution de tâches ci-après (figure 12):

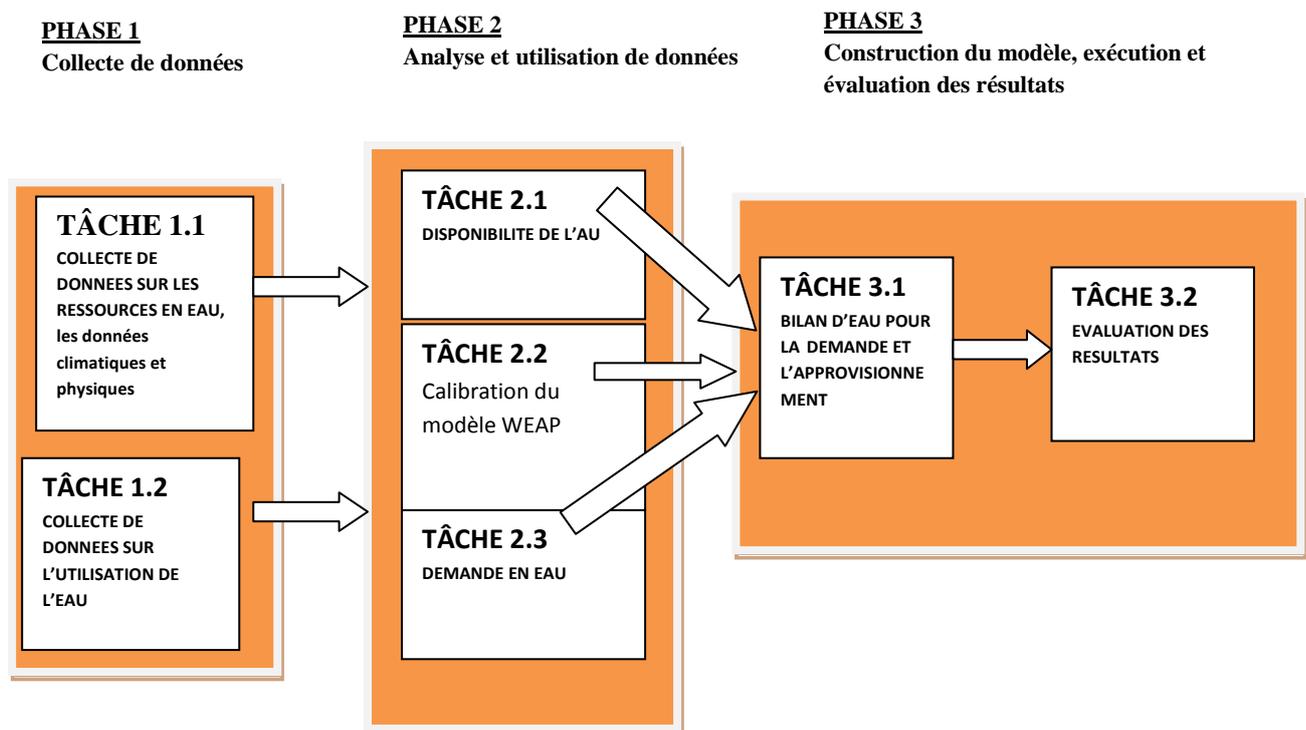


Figure N°12: Les différentes phases du bilan ressources/usages dans le bassin de la Volta

### *L'approche WEAP*

WEAP fonctionnant selon le principe de base du bilan d'eau, il est applicable aux systèmes municipaux et agricoles, aux sous-bassins simples ou aux systèmes complexes de fleuve. De même WEAP peut dresser un éventail de problèmes par exemple, des analyses de la demande sectorielle, la conservation de l'eau, des droits de l'eau et des priorités d'attribution, des simulations d'eaux souterraines et des écoulements, des opérations de réservoirs, la production hydro-électrique, suivi de la pollution, les besoins des écosystèmes, et des analyses sectoriels avantages -coûts.

L'analyste représente le système en termes de ses diverses sources d'approvisionnement (par exemple, fleuves, eaux souterraines, et réservoirs) ; prélèvements, transmissions et équipements de traitement des eaux usées; besoin d'écosystème, demandes en eau et génération de pollution. La structure des données et le niveau du détail peuvent être facilement adaptés aux besoins du client pour répondre aux exigences d'une analyse particulière, et pour refléter les limites imposées par des données restreintes.

Les applications de WEAP incluent généralement plusieurs étapes. La définition de l'étude installe le pas de temps, la limite spatiale, les composants du système et la configuration du problème. Les « comptes courants » fournissent une demande instantanée de l'eau, des charges de pollutions, des ressources et des approvisionnements réels pour le système. Des ensembles alternatifs de futures prétentions sont basées sur les politiques, les coûts, le développement technologique et d'autres facteurs qui affectent la demande, la pollution, l'approvisionnement et l'hydrologie. Les scénarios construits, se composent des ensembles alternatifs de prétentions ou de politiques. En conclusion, les scénarios sont évalués en ce qui concerne la satisfaction, les coûts et les avantages, la compatibilité avec les cibles environnementales, et la sensibilité de l'eau à l'incertitude dans les variables principales (Audit de l'eau, 2007).

### 2.3.2 Modèles développés dans les agences de bassin

#### 2.3.2.1 Typologie et prépondérance des modèles identifiés

Les modèles mis au point dans les agences de bassins sont nombreux et divers. Les résultats du tableau N°8 ci-dessous sont les constats qui se dégagent de la revue bibliographique faite par rapport aux

Agences et organisations de bassins	Modèle Climatique	Modèle hydrologique	Modèle hydro-chimique	Modèle Hydro-économique
ABV	++	+ -	- -	++
ABN	+ -	+ -	- -	+ -
OMVG	+ -	++	+ -	- -
OMVS	+ -	++	+ -	- -

modèles qui sont développés dans les agences et organismes de bassins.

Tableau N°8 : Nature et prépondérance des modèles

**++ = prépondérant, + - = moins prépondérant, - - = non développé**

Comme le montre le tableau N°8, les agences et organismes de bassin n'attachent pas le même prix au développement des modèles. Les modèles développés ne sont les mêmes que pour quelques bassins. L'ABN et en particulier l'ABV ont surtout mis au point les modèles climatiques et hydro-économiques et dans une moindre mesure les modèles hydrologiques. L'OMVS et l'OMVG se sont surtout concentrés sur les modèles hydrologiques de gestion de barrages et de prévision des crues. Des quatre agences et organismes de bassin, l'OMVS et l'OMVG n'ont pas connu de modèles hydro-économiques mais ils ont développé des modèles hydro-chimiques que les deux autres agences n'ont pas connus.

#### 2.3.2.2 Inventaire des modèles identifiés

La plupart des modèles identifiés dans les agences de bassins sont souvent mis au point dans le cadre de projet, programme et étude financés par les partenaires ou les pays membres des agences et organismes de bassins. Ils sont développés par des chercheurs et publiés dans des rapports, articles accessibles dans les agences et organismes de bassins, sur internet et présentés aussi à des ateliers de formation à l'usage de ces modèles. A l'exception des

modèles climatiques qui ont très peu d'intérêt pour la présente étude, le tableau 9 ci-dessous présente par agence et organismes de bassin les modèles identifiés ; les projets, programmes ou étude à l'occasion desquels ils sont développés, les partenaires, les auteurs et le document de publication.

	fleuve	projet	Maitre d'œuvre	Auteurs	Documents Publiés	Type
M <sup>3</sup> -Water	Volta	Glowa Volta	ABV ZEF	Q. Bao J. Schlinder et al	1 PowerPoint+ 1 rapport d' atelier	Hydro-économique (optimisation)
GV-LUDAS	Volta (sous bassin Atankwedi)	Glowa Volta	ABV ZEF	N.D.PEREZ B.Barbier et al	1 PowerPoint+ 1 rapport d' atelier	Multi-agent (simulation)
WEAP	Volta	CPFW	IRD CGIAR ABV	-D. de Condappa - A. Chaponnière et al	1 rapport+1powepoint	Hydro-économique
MIKE-BASIN	Niger	PADD	ABN	-	1 rapport	Hydro-économique
Salnstat	Gambie	Description et contexte	OMVG	-	1 rapport Eléments Limites	Hydro-chimique du
Simulgam	Gambie	d'utilisation du	OMVG	-	D'aide 1 rapport modèle	Hydrologique de gestion des barrages
Simulsen	Sénégal	-	OMVS	-	Bulletin d'information	Hydrologique de gestion des barrages
Salnstat Corediam Progeman	Sénégal	-	OMVS	-	Bulletin d'information	Hydrologique de gestion des barrages

Tableau N°9 : Inventaire et sources des modèles identifiés

### 2.3.2.3 Examen des modèles identifiés

Chaque modèle est examiné par bassin selon le schéma ci-dessous :

Modèles	modèle	Eléments	Eléments	Scénarios	décision	perspective
		D'entrée	De sortie	analysés	fournis	

Les résultats présentés sous forme de tableaux par modèle selon les éléments du schéma sont mis en annexe 7.

### 2.3.3 Analyses des modèles

#### 2.3.3.1 Cadres des analyses

Les modèles développés dans le bassin du Sénégal sont des modèles sur lesquels la présente étude ne dispose d'aucun élément. Ils ont été inventoriés dans le bassin grâce aux bulletins d'information très sommaires disponibles sur le site de l'Autorité du bassin dont les liens ne permettent l'accès à d'autres sources ou documents plus élaborés. C'est ce qui a fait qu'ils n'ont pas pu être présentés selon le schéma ci-dessus appliqué aux autres. Les analyses et critiques sont par rapport aux modèles ci-avant présentés grâce aux documents et présentations dont nous avons pu disposer sur ces modèles. La liste des modèles dans les agences est certes plus longue que celle présentée mais les modèles exposés sont les principaux et les plus utilisés. Les modèles purement climatiques ou hydrologiques qui n'intègrent aucun élément de gestion n'ont pas d'intérêt pour le commanditaire de la présente étude (CCRE/CEDEAO).

Par ailleurs, les modèles exposés sont globalement différents les uns des autres et aussi riches les uns que les autres. Ils ont été utilisés dans des contextes différents et pour des objectifs qui ne se recoupent que sur quelques points. L'analyse sera surtout focalisée sur les points communs et les spécificités. Les points communs seront très utiles quant à l'usage indépendant de l'un ou de l'autre sur certains points mais les spécificités seront plus utiles dans le partage et le choix du ou des modèles les plus représentatifs.

#### 2.3.3.2 Analyses critiques des modèles

Les modèles sont pris deux à deux comme présentés dans le tableau N°12 en annexe 7 pour être analysés par rapport aux points clés de leur schéma de présentation suivants : contexte, éléments d'entrée, les scénarios analysés, les éléments de sortie, les éléments d'aide à la décision fournis et les limites.

A partir du tableau N°12 ci-dessus, l'analyse comparative des modèles pris deux à deux a été faite comme suit.

Le modèle M3-water et le modèle GV-ludas sur tous les points de comparaison n'ont rien de commun. L'un ne peut donc être utilisé à la place de l'autre.

Par contre le modèle M3-water et les modèles WEAP présentent beaucoup de points communs. Ils sont tous deux dynamiques mais des deux modèles, WEAP semble être le plus intéressant car il analyse à l'échelle de bassin alors que le champ d'action de M3-water se limite à un sous-bassin. Comme WEAP présente beaucoup de similitudes avec M3-water et que M3-water ne ressemble en aucun point à GV-ludas, ceci implique que WEAP ne présente aucun point commun avec GV-Ludas. Comme WAEP, le modèle MIKE Basin présente aussi beaucoup de points communs avec M3-water mais le dépasse de loin non seulement à cause de son échelle d'analyse plus vaste mais aussi à cause d'autres dimensions qu'il intègre (évaluation de l'impact des bilans hydraulique et hydro-électrique plus large et précis). Il n'a rien de commun avec GV-ludas. A cause de ces dimensions, il dépasse aussi WEAP mais exige beaucoup plus de données à l'entrée que WEAP. Alors entre MIKE Basin et WAEP, MIKE Basin est plus intéressant. Mais d'après les propos du Docteur AMINSIGO à l'atelier de présentation du modèle WEAP, MIKE Basin est plus cher que WAEP et nécessite beaucoup de données à l'entrée.

Le choix entre WEAP et MIKE Basin est donc influencé par les aspects coût et disponibilité de données.

Du même tableau on peut constater que les modèles Simulgam et Salnstat qu'on appellera Salnstat parceque étant le module principal du modèle n'ont rien de commun avec tous les autres modèles. Ceci est dû au fait qu'ils ont été utilisés pour des simulations qui semblent avoir quelques points communs avec les autres mais qui se sont totalement différenciées des autres à cause de l'aspect intrusion saline qu'ils simulent et qui les classe carrément à part.

De cette analyse les modèles encore en liste sont GV-ludas, MIKE basin ou WEAP et SALNSTAT.

GV-ludas et SALNSTAT sont uniques en leur genre tandis que MIKE basin et WEAP peuvent se substituer. Tout ce qui entrave dans l'utilisation de ces deux derniers c'est le coût, la disponibilité des données et l'envergure des ouvrages à simuler.

Dans le cadre de MIKE Basin utilisé dans le bassin du Niger, l'analyse macro-économique des combinaisons d'aménagement étudiées a été faite avec un modèle économique qui donne par exemple le Taux Interne de Rentabilité (TIR) et la valeur ajoutée nette (VAN) des résultats de combinaisons d'ouvrages sortis de MIKE Basin. Il a été conçu spécifiquement à cet effet à cause de la dimension et de la complexité des aménagements à étudier et associé indifféremment à MIKE basin qui le submerge parceque étant le module principal. Mais en réalité c'est lui qui fait l'évaluation des richesses et impacts négatifs des résultats d'aménagement que MIKE lui communique.

Ceci étant, on pourrait penser à utiliser à l'amont de MIKE basin en lieu et place de ce modèle, GV-LUDAS qui fait aussi les analyses macro-économiques pour des aménagements similaires à ceux étudiés dans MIKE Basin Niger. Il accompagne même l'analyse des aménagements des emplois directs qu'ils créent et des revenus bruts annuels par ménage et par personne qu'ils génèrent. Une possibilité d'associer à MIKE Basin GV-Ludas pour l'analyse macro-économique des résultats de MIKE Basin est bien envisageable. A cause du coût prohibitif de MIKE Basin et de ses exigences en données, le choix entre MIKE Basin et WAEP sera conditionné par les capacités financières des agences de bassin et pays membres intéressés et la disponibilité des données. Le fait que l'expérience avec WEAP est faite dans beaucoup d'agences à travers des projets et qu'il ne soit pas trop exigeant en données milite beaucoup en faveur de ce modèle.

De ces dernières analyses, il ne reste donc en liste que les modèles WEAP, GV-Ludas et Salnstat qui sont à quelques exceptions près des modèles uniques en ce qu'ils font. En réalité, il ne reste en liste que le Modèle WAEP pour les agences de bassins et organismes qui n'ont pas de problèmes d'intrusion saline car GV-Ludas n'est qu'un appoint alternatif d'analyse macro-économique qu'ils peuvent adjoindre à WEAP ou remplacer par un autre modèle macro-économique. Mais pour un bassin comme le bassin de la Volta où GV-Ludas est déjà développé ce serait plus profitable pour eux d'examiner cette possibilité d'association des deux modèles pour des analyses macro-économiques que de développer un autre modèle qui leur coûtera.

Par contre il reste en liste pour les agences et organismes de bassins comme le Niger, la Gambie et le Sénégal qui font face à l'intrusion saline les modèles WAEP et SALNSTAT, SALNSTAT étant le modèle de simulation des intrusions salines. GV-ludas est une option qu'ils ont le choix d'intégrer à WAEP pour des analyses macro-économiques plus détaillées.

## 2.4 Calibration du modèle WEAP

L'objectif de la calibration est d'obtenir par bassin versant les valeurs optimales des jets de paramètres du modèle WEAP à partir desquels les projections se font avec le modèle. Le modèle utilise surtout les précipitations pour simuler les débits.

La calibration du modèle a été faite à partir des données historiques de débits enregistrés au niveau des stations de mesures placées à l'exutoire des bassins versants au centre de l'étude (sous-bassins). La période d'observation au niveau des stations de mesures des débits à l'exutoire des bassins versants varie entre 1950 et 2006 (1950 début des années d'observation le plus ancien et 2006 fin des années d'observation le plus récent). La calibration du modèle a été faite après avoir entré dans le modèle les paramètres climatiques tels que les précipitations, la température, l'humidité, le vent, la couverture nuageuse de chaque bassin versant (sous-bassins).

#### 2.4.1 Les paramètres calibrés du modèle

Les paramètres du modèle sur lesquels on agit sont les paramètres de sol parmi lesquels les trois principaux sont : la capacité de rétention de l'eau du sol, le facteur de résistance au ruissellement et la zone de conductivité racinaire. Ces paramètres varient suivant les 3 principaux couverts végétaux du bassin de la Volta : la savane, l'agriculture pluviale et la forêt.

Leurs valeurs sont considérées optimales lorsque les valeurs de Nash des débits historiques des stations à l'exutoire des bassins versants sont comprises entre 0.7 et 1 rigoureusement et acceptables lorsqu'elles sont sensiblement égale à 0.65.

Les valeurs optimales des paramètres sont obtenues au modèle WAEP lorsqu'en agissant sur eux on parvient à des courbes ou valeurs de débits observés et débits simulés les plus proches possibles sur la période de calibration et à réduire au maximum sur les périodes de débits observés nuls les précipitations(débits simulés). Pour le faire, on garde deux paramètres constants et on agit sur le troisième de façon à obtenir des jeux de paramètres qui rapprochent au mieux les débits simulés et les débits observés. L'augmentation du facteur de résistance au ruissellement aide par exemple à réduire les précipitations sur les périodes de débits observés nuls et à les ajuster aux débits observés sur les périodes de calibration. Les valeurs optimales de ces paramètres par bassin versant constituent les clés du modèle à partir desquels les projections se font.

#### 2.4.2 Les simulations pour l'obtention des paramètres optimaux

Deux simulations ont été faites pour obtenir les paramètres optimaux à utiliser dans les projections pour chaque bassin versant. Les jeux de paramètres choisis par bassin versant et

dépendamment des couvertures végétales pour la première simulation sont présentés dans le tableau N°13 ci-dessous :

Tableau N°10: Premières valeurs choisies des paramètres

Bassins Versants	Savane			Agriculture pluviale			Forêt		
	CRS	FRR	ZCR	CRS	FRR	ZCR	CRS	FRR	ZCR
Wayen	850	1.6	18	1000	2	20			
Yakala	850	1.6	18	1000	2	20			
Nangodi	850	1.7	18	1000	2	20			
Pwalugu	850	1.8	17	1000	2	20			
Nawuni	850	1.8	18	1000	2	20			
Nwokuy	850	1.8	18	1000	2	20			
Lérinord	850	1.7	18	1000	2	20			
Dapola	850	1.8	18	1000	2	20			
Noumbiel									

Bamboi	1100	1.9	18	1050	2	20			
Kompienga	850	1.8	18	1000	2	20			
Mango									
Koumangou	850	1.8	18	1000	2	20			
Sabari	950	1.8	18	1000	2	20			
Ekumdipe									
Prang	850	1.5	17	1050	1.8	19	1000	2	18
Senchi	950	1.9	19	1050	1.8	21	1000	2	20
Ekumdipe	18	1.6	18	20	2	20			
Arly	800	1.8	17	1000	2	20			

CRS= Capacité de Rétention du sol, FRR= Facteur de Résistance au Ruissellement

ZCR=Zone de Conductivité Racinaire

Les repères pour agir sur ces 3 paramètres sont les valeurs par défaut des paramètres et les types de couvertures végétales rencontrées sur les bassins versants. La valeur par défaut du paramètre CRS est 1000, les valeurs du paramètre FRR sont comprises entre 0 et 10 et la valeur par défaut du paramètre ZCR est 20. Par exemple tout en se référant à la valeur par défaut du facteur de résistance au ruissellement elle sera moins grande en savane qu'en forêt, plus grande en forêt qu'en savane et largement moins grande en agriculture pluviale où le ruissellement ne rencontre pas trop d'obstacle. Dans le choix des valeurs de ces paramètres, on garde deux constants en changeant le troisième de façon à faire le tour des trois si les courbes débits observés et débits simulés ne sont pas proches sur les périodes de calibration et les débits simulés encore très grands sur les périodes de débits observés nuls.

Les courbes des débits simulés et débits observés obtenues au modèle WEAP pour les bassins versants de Yakala et Dapola par exemple sur la période d'observation 1950-2010 se présentent comme montrés aux figures 14 à 17. Les figures 14 et 16 donnent le total annuel

des débits simulés et des débits observés et les figures 15 et 17 donnent le total mensuel des débits simulés et des débits observés.

## 1. Yakala

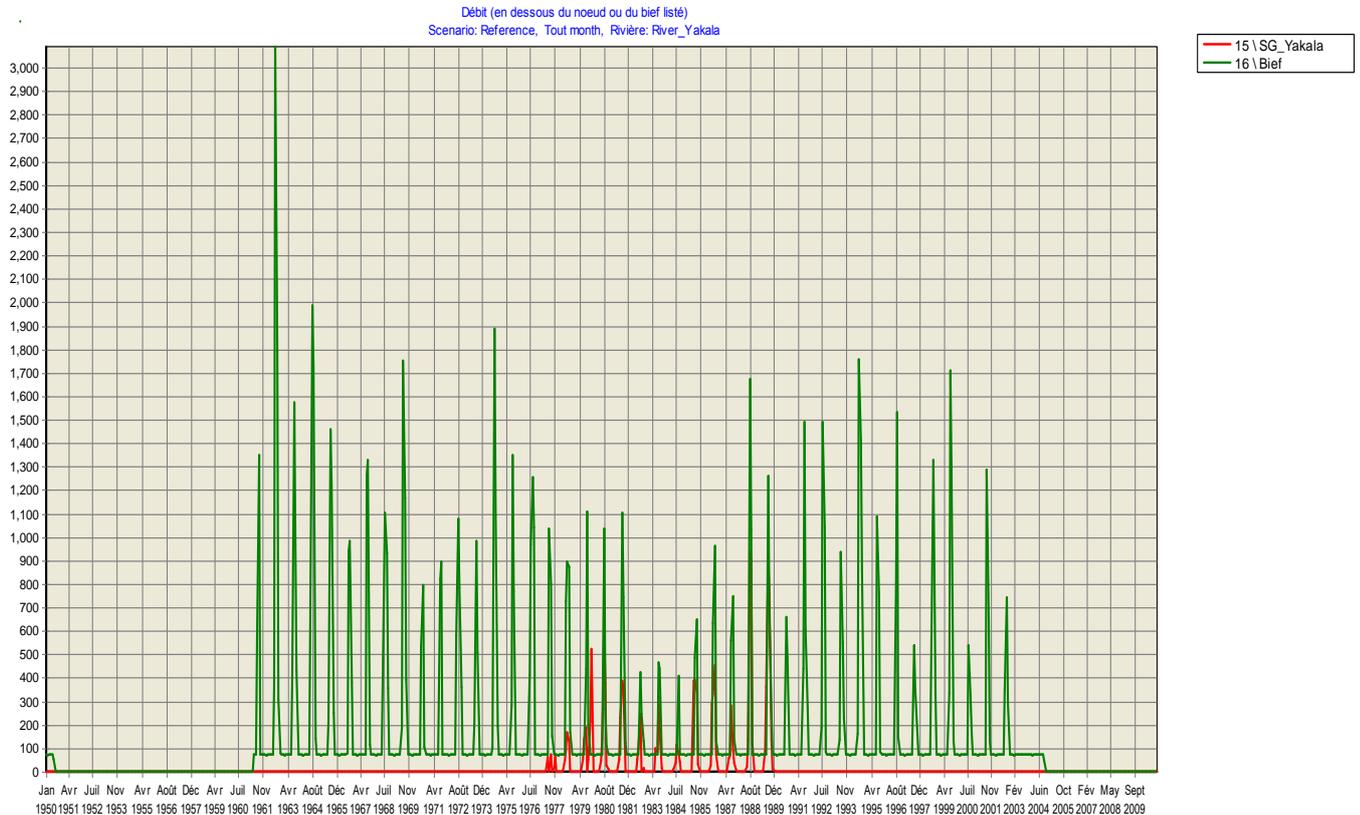


Figure N°13: Total annuel des débits simulés et des débits observés du bassin versant de Yakala.

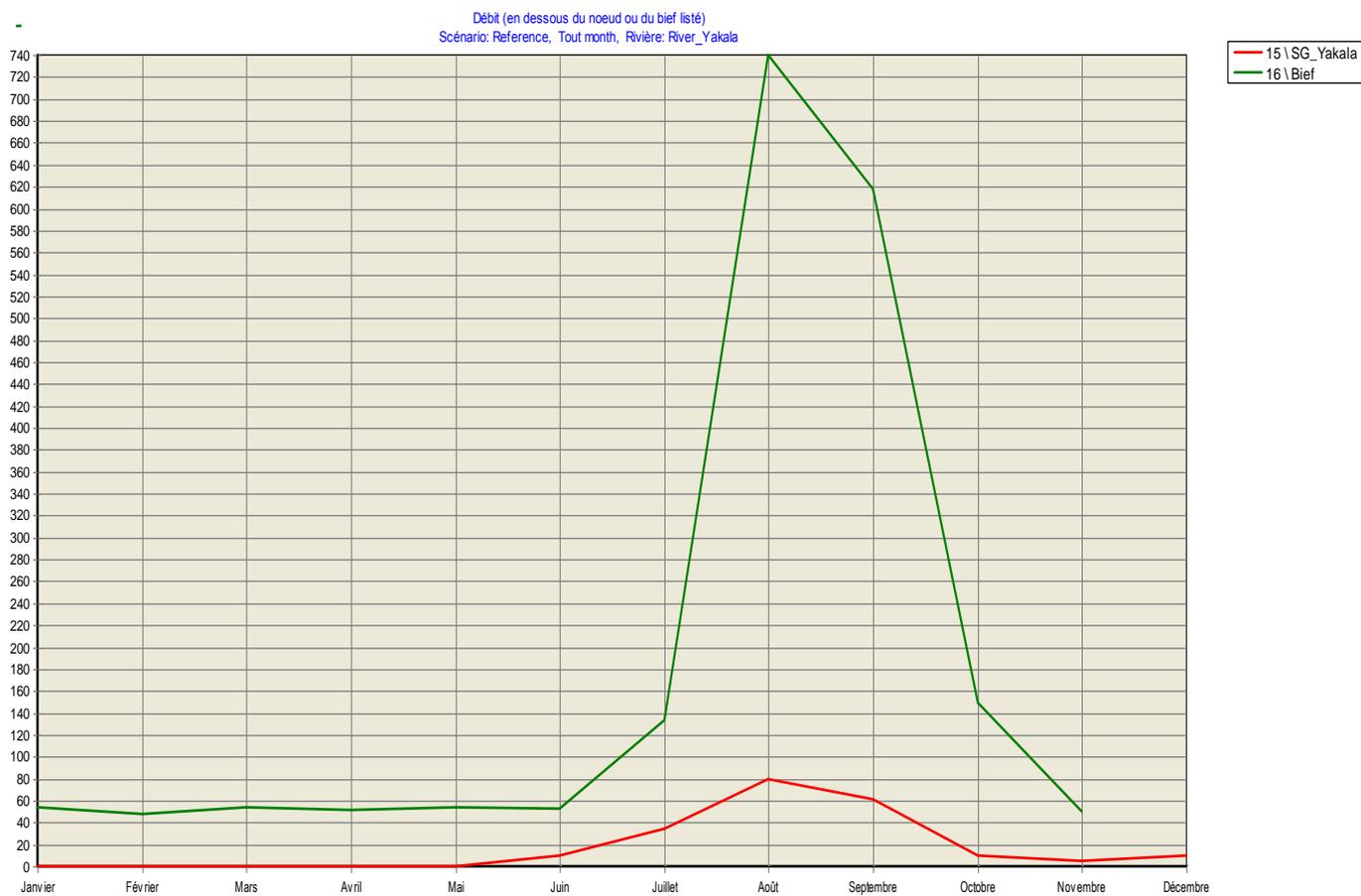


Figure N°14: Total mensuel des débits observés et simulés du bassin versant de Yakala

## 2. Dapola

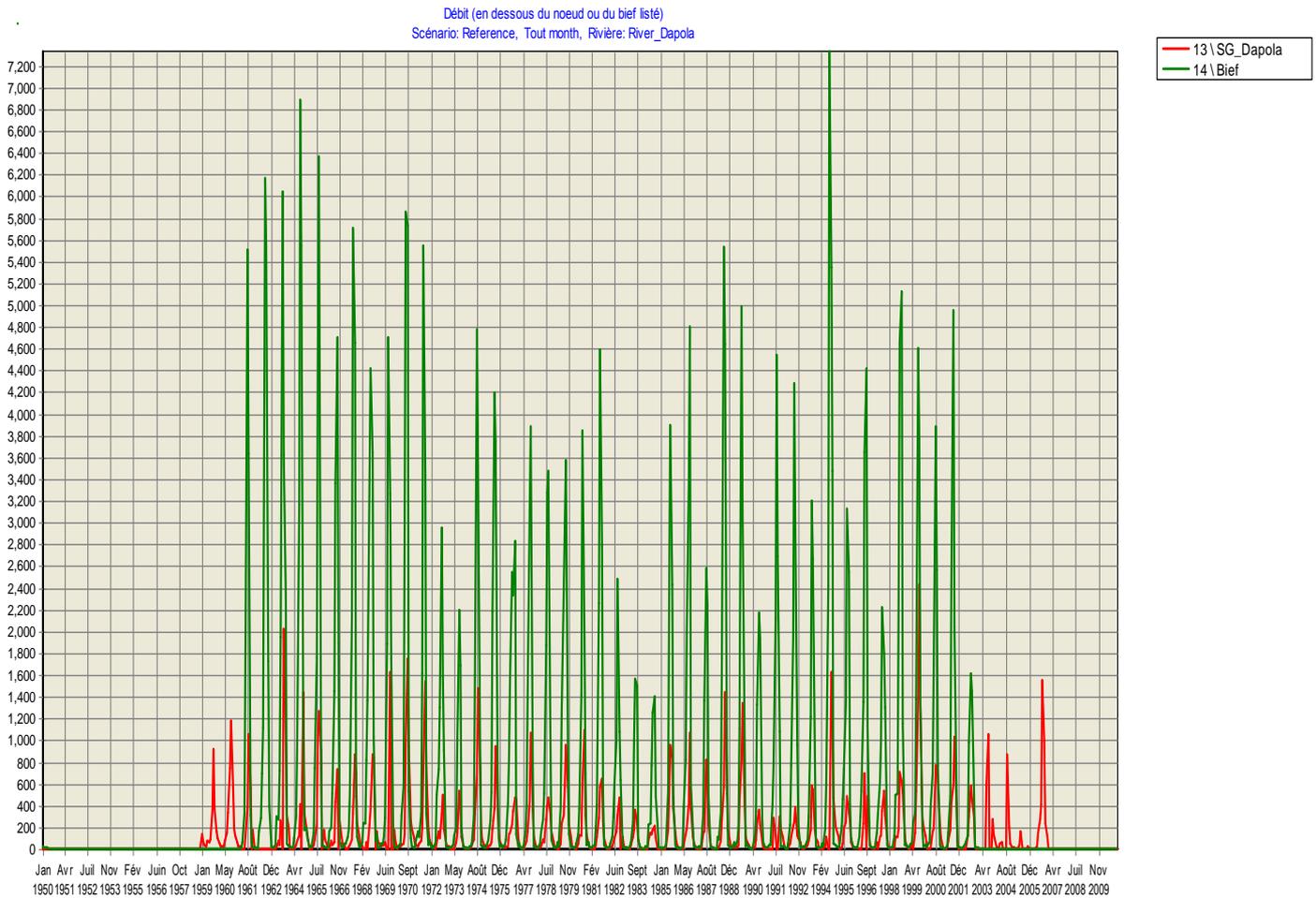


Figure N°15: Total annuel des débits observés et simulés du bassin versant de Dapola

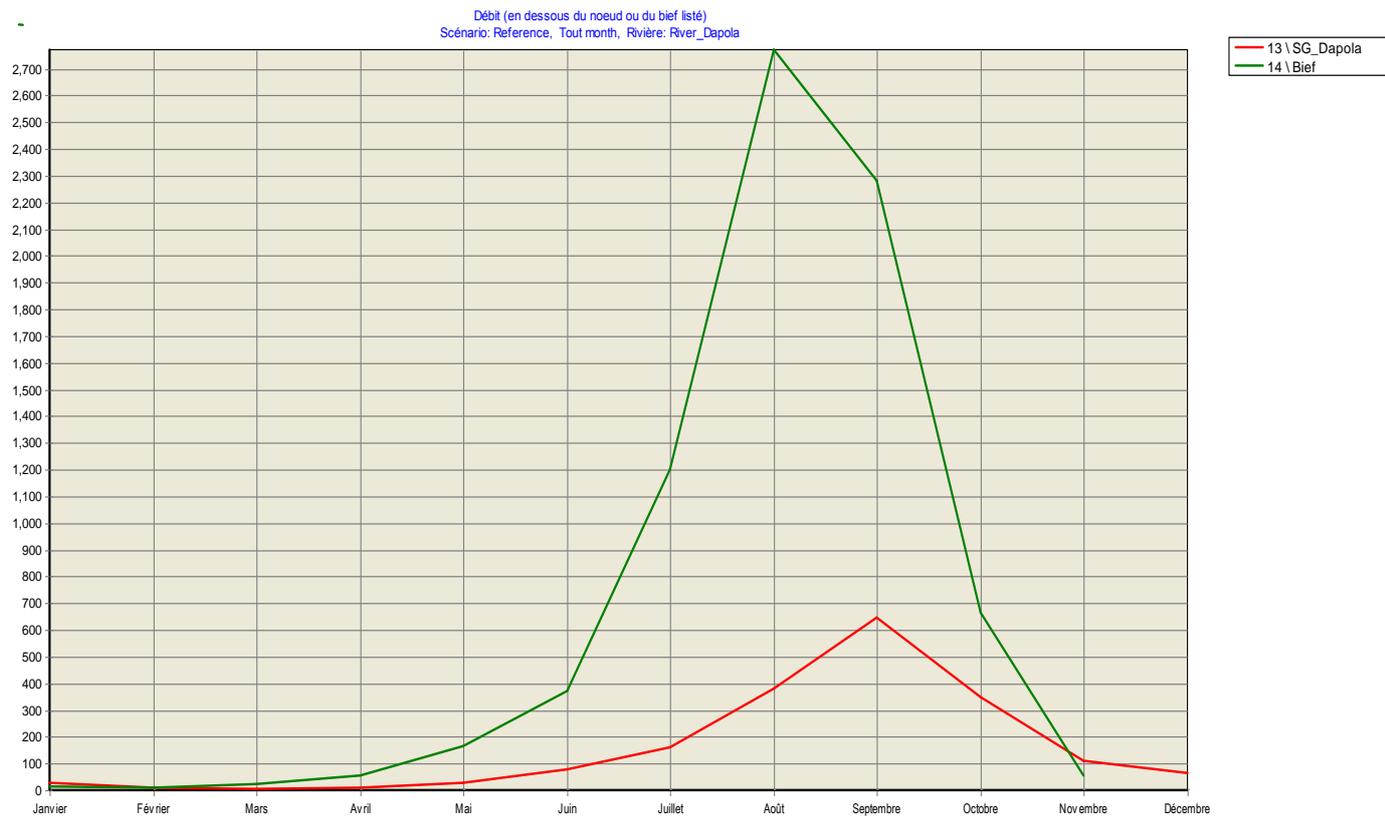


Figure N°16 : Total mensuel des débits observés et simulés du bassin versant de Dapola

A partir de ces courbes les périodes de calibration à utiliser ont été déterminées pour chaque bassin versant, les débits observés et les débits simulés ont été extraits sur ces périodes et les paramètres de Nash ont été calculés pour ces premiers jets de paramètres sur lesquels on a agis. Les valeurs de Nash obtenues pour ces premiers jets de paramètres, les périodes de calibration et les périodes d'observation par bassin versant sont présentées dans le tableau N°14 qui suit. Les débits observés et les débits simulés utilisés pour le calcul du paramètre de Nash se trouvent dans des tableaux mis en annexe 6.

Tableau N°11 : Valeurs de Nash et périodes de calibration et des observations

Bassins versants	Période des observations	Périodes de calibration	Valeurs de Nash
Wayen	1965-2000	1964-2000	-20,56
Yakala	1977-1989	1976-1990	-6,31
Nangodi	1958-2006	1958-1978	-12,07
Pwalugu	1971-1990	1970-1989	-11,52

Nawuni	1985-2007	1984-2005	-1.51
Nwokuy	1965-1983	1964-1982	-39,67
Lérinord			
Dapola	1959-2006	1960-2003	-63,87
Noumbiel	1981-1996	1980-1995	-25,88
Bamboi	1951-2004	1960-2003	-2,52
Kompienga	1982-1987	1981-1988	-8,64
Mango	1982-1991		
Koumangou	1982-1991	1981-1990	-1,00
Sabari	1959-1974	1960-1974	-0,19
Ekumdipe	1963-1974	1962-1974	-0,27
Prang	1957-1967	1960-1965	-3,55
Senchi	1985-1999	1984-2000	-2,33
Arly	1980-2000	1979-1998	-2,94

Comme récapitulé dans le tableau N°14 ci-dessus, les valeurs de Nash pour les premiers jets de paramètres choisis sont tous négatifs. Ce qui implique que ces premières valeurs de capacité de rétention du sol, de résistance au ruissellement et de zone de conductivité racinaire ne sont pas encore les valeurs optimales à partir desquels on peut faire nos projections avec le modèle, les valeurs de Nash trouvées pour chaque bassin sur les périodes de calibration déterminées sont loin de l'intervalle admissible 0.7 et 1. Il faut alors répéter l'opération de changement des valeurs de ces paramètres de façon à obtenir les valeurs optimales. On passe directement à l'étape de la dernière simulation où l'on a obtenu les valeurs plus ou moins optimales de ces paramètres comme les simulations intermédiaires n'ont pas d'intérêt.

#### 2.4.3 Choix des paramètres optimaux

La recherche des valeurs optimales des paramètres nous a fait passer à plusieurs étapes de choix de valeurs. Les valeurs de la dernière étape présentées dans le tableau N°15 ci-dessous ont été arrêtées comme valeurs optimales après analyse des courbes débits observés et débits simulés et calcul des paramètres de Nash.

Tableau N°12: Dernières valeurs choisies des paramètres

Bassins Versants	Savane			Agriculture pluviale			Forêt		
	CRS	FRR	ZCR	CRS	FRR	ZCR	CRS	FRR	ZCR
Wayen	200	9	150	250	8	150			
Yakala	300	4	150	350	3	150			
Nangodi	200	9	150	250	8	150			
Pwalugu	100	9	150	150	8	150			
Nawuni	1100	2	450	1150	1	450			
Nwokuy	700	7	150	750	6	150			
Lérinord	200	9	150	250	8	150			
Dapola	400	9	150	450	8	150			
Noumbiel	500	9	50	550	8	50			
Bamboi	500	3	200	550	2	200			
Kompienga	50	7	100	100	8	100			
Mango	500	6.5	50	550	5,5	50			
Koumangou	400	4	150	450	3	150			

Sabari	600	3	25	650	2	25			
Ekumdipe	400	7	25	450	6	25			
Prang	400	7	50	450	6	50	500	8	50
Senchi	600	5	100	650	4	100	700	6	100
Arly	500	6	55	525	5	50			

Pour ces nouvelles valeurs des paramètres, les courbes des débits simulés et débits observés obtenues au modèle WEAP pour les bassins versants de Yakala et Dapola par exemple sur la période d'observation 1950-2010 se présentent comme montrés aux figures 18 à 20. Les figures 18 et 19 donnent le total annuel des débits simulés et des débits observés et la figure 20 donne le total mensuel des débits simulés et des débits observés.

### **3. Yakala**

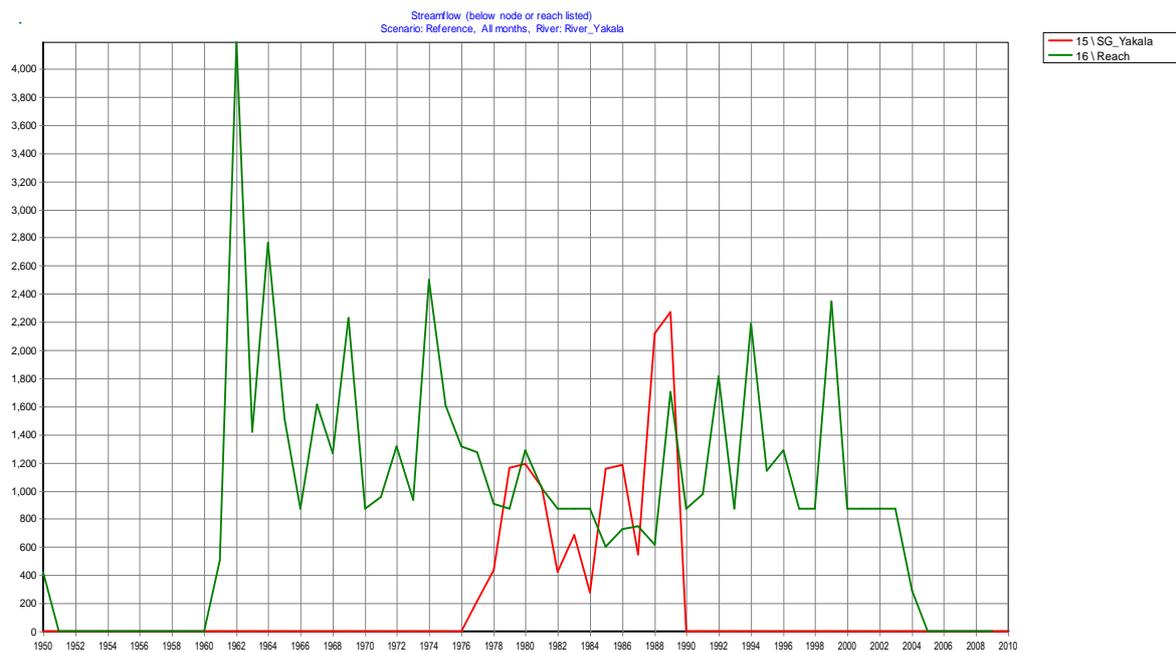


Figure N°17: Total annuel des débits observés et simulés du bassin de Yakala

#### 4. Dapola

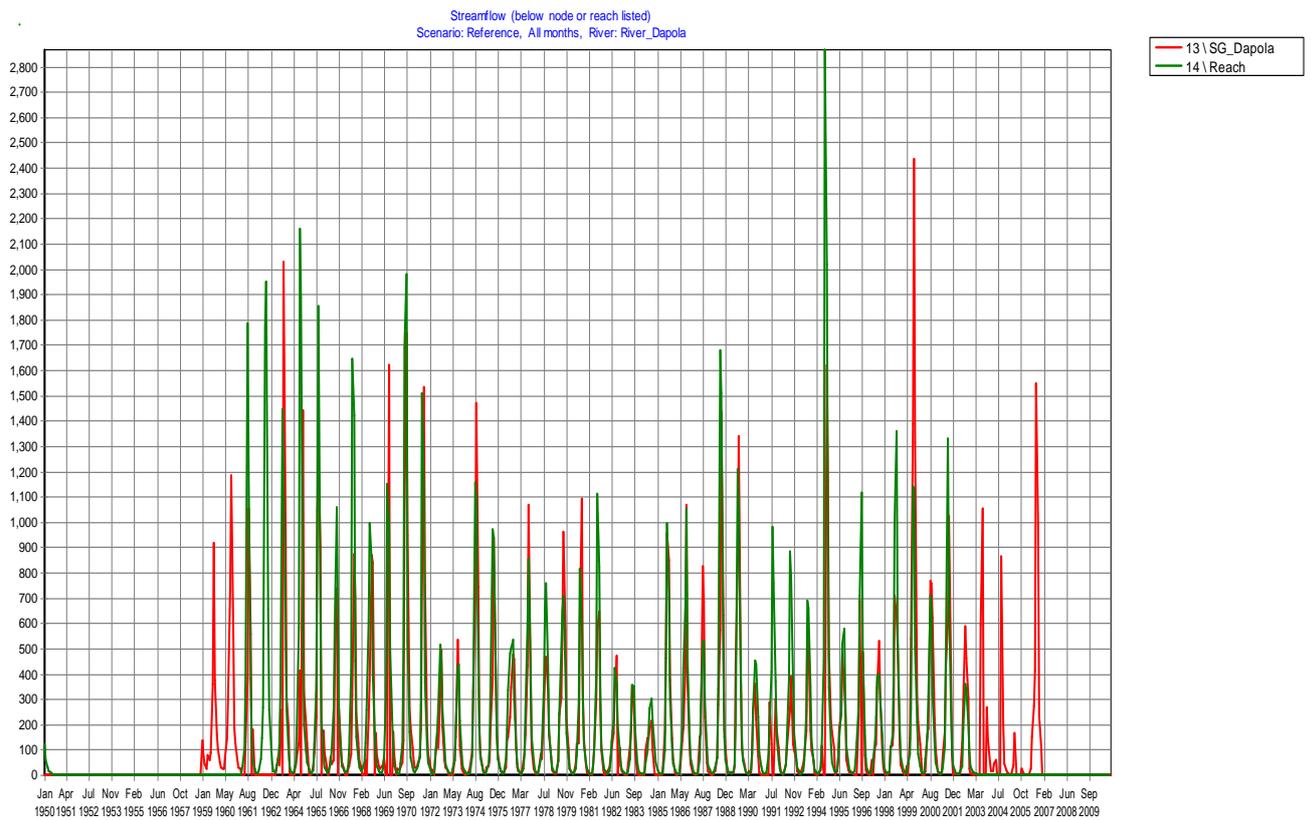


Figure N°18 : Total annuel des débits observés et simulés du bassin de Dapola

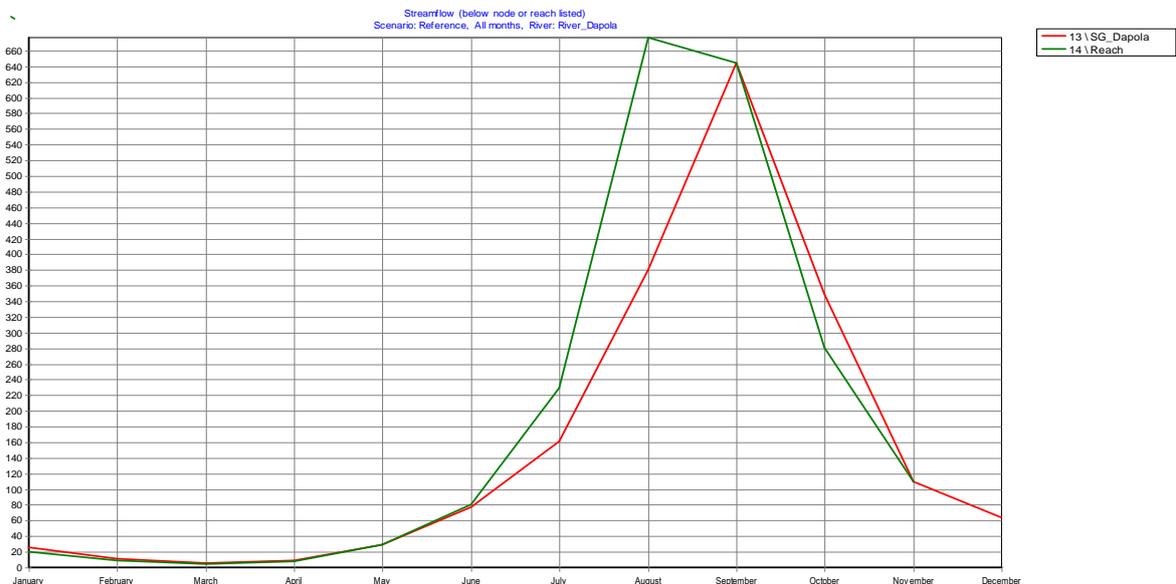


Figure N°19: Total mensuel des débits observés et simulés du bassin de Dapola

En comparant les courbes débits observés et débits simulés des bassins de Yakala et Dapola pris comme exemple, on constate un grand rapprochement des débits simulés et des débits

observés sur la période de calibration. Le modèle a donc reproduit au mieux les débits observés sur cette période. Les débits simulés ont été aussi minimisés au maximum sur les périodes de débits observés nuls. Ce qui augure déjà de bonnes valeurs pour les paramètres de Nash à calculer qui permettront de retenir ces dernières valeurs des paramètres comme valeurs optimales à utiliser pour les projections.

Les débits observés et les débits simulés ont été extraits et les paramètres de Nash ont été calculés par bassin versant pour les nouvelles valeurs des paramètres choisies. Le tableau N°16 ci-dessous présente par bassin versant les valeurs de Nash trouvées sur les périodes de calibration retenues. Les débits observés et débits simulés extraits du modèle pour le calcul du paramètre de Nash sur les périodes de calibration sont mis en annexe 5

Tableau N°13 : Nouvelles valeurs de Nash et périodes de calibration et des observations

Bassins versants	Période des observations	Périodes de calibration	Valeurs de Nash
Wayen	1965-2000	1964-2000	0.81790578
Yakala	1977-1989	1976-1990	0.74690235
Nangodi	1958-2006	1958-1978	0.91079031
Pwalugu	1971-1990	1970-1989	0.84470936
Nawuni	1985-2007	1984-2005	0.8111631
Nwokuy	1965-1983	1964-1982	0.85373566
Lérinord			
Dapola	1959-2006	1960-2003	0.83476858
Noumbiel	1981-1996	1980-1995	0.93186249
Bamboi	1951-2004	1960-2003	0.81856644
Kompienga	1982-1987	1981-1988	0.98575947
Mango	1982-1991		
Koumangou	1982-1991	1981-1990	0.76463449

Sabari	1959-1974	1960-1974	0.757910077
Ekumdipe	1963-1974	1962-1974	0.91032932
Prang	1957-1967	1960-1965	0.89756486
Senchi	1985-1999	1984-2000	0.959457652
Arly	1980-2000	1979-1998	0.88399495

Les valeurs de Nash calculées sont comprises entre 0.7 et 1 pour la plupart des bassins au centre de l'étude et les débits simulés sont minimisés au maximum sur les périodes de débits observés nuls. Avec les nouvelles valeurs données aux paramètres, le modèle a donc reproduit au mieux les débits observés sur les périodes de calibration. Le modèle est donc calibré avec ses valeurs qui constituent désormais les valeurs optimales ou les clés du modèle à entrer pour faire les prévisions.

## 3. Résultats

### 3.1 Bilan ressource/ usages

Pour faire le Bilan ressources/usages une fois les données ressources, les données climatiques, les données bioclimatiques et données usages collectées, le modèle d'évaluation et de planification de l'eau WEAP développé par l'Institut Environnemental de Stockholm a été utilisé.

#### 3.1.1 Principes de base

Les stations de mesure mesurent les débits à l'exutoire des bassins versants. On ne saurait considérer ces débits comme les débits alimentant les rivières des bassins versants. Le modèle WEAP fait les bilans ressources/ usages en se basant le bilan hydrique au niveau des bassins versants dont l'élément contributeur indispensable est la précipitation. Dès qu'il y a précipitation au niveau d'un bassin versant les trois phénomènes qui se passent sont :

1. L'écoulement ou ruissellement qui alimentent les rivières sur lesquels se font des prélèvements
2. l'infiltration qui alimente les eaux souterraines sur lesquelles se font des prélèvements
3. L'évapotranspiration

Ces trois éléments constituent les bases à partir desquelles le modèle WAEP fait les bilans ressources/ usages. Dans le cadre de cette étude le modèle est utilisé pour analyser sous différents hypothèses et scénarios de disponibilité de la ressource les demandes et prélèvements actuels et futurs.

Comme il est question de prévision, nous ne pouvons construire les scénarios de disponibilité de la ressource qu'en nous basant sur les facteurs climatiques dont les changements ont une grande influence sur les précipitations.

### 3.1.2 Hypothèses et projections

1. pour les projections on considèrera l'horizon 2030 en prenant l'année 2010 comme année de départ
  2. les prélèvements pour les usages domestiques, l'irrigation, le bétail et l'hydro-électricité sont supposés exclusivement faits sur les rivières des bassins versants comme les données sur les eaux souterraines sont celles qui ont manqué le plus. Les eaux souterraines sont alors considérées comme des sources potentielles d'eau non explorées énormément alimentées par la composante infiltration des précipitations ;
  3. l'eau pour les usages domestiques et les prélèvements pour l'irrigation est supposée consommée à 100% comme il n'existe pas de canaux pour des retours de débit vers les rivières des bassins versants ;
  4. toutes les demandes sont mises en bloc dans un sous-bassin
  5. les débits de turbinages au niveau des barrages hydro-électriques ne sont pas consommés et retournent à 100 % dans les rivières des bassins versants ;
  6. les débits environnementaux pour satisfaire les besoins de pêche, la flore et la faune de l'écosystème aquatique dans les rivières du bassin de la Volta sont pris égal à 35% du débit annuel et sont supposés aussi garantis par les débits de retour des barrages hydro-électriques (plusieurs milliards de m<sup>3</sup> par an).
- priorité d'allocation de l'eau.

La présente étude a adopté les mêmes priorités pour l'allocation de l'eau que celles disponibles à l'Autorité du bassin de la Volta.

Le modèle WEAP accepte les priorités dans l'ordre décroissant de 1 à 100. Dans le bassin de la Volta ils sont restés dans la fourchette de 1 à 13 comme le montre par sous-bassin la figure 21 ci-dessous.



facteurs climatiques (pluie, humidité, vent et couverture nuageuse). Les formats de données montés à cet effet sont utilisés dans cette étude.

**- un scénario de changement climatique chaud et humide (2010-2030)**

Ce scénario en tenant compte des constats de l'IPCC simule sur 20 ans un probable climat chaud et humide comparativement au scénario chaud d'augmentation de 2°C de la température et considère le régime humide des autres facteurs climatiques (pluie, humidité et couverture nuageuse). Les formats de données montés à cet effet sont utilisés dans cette étude.

**- un scénario de développement des petits réservoirs (2010-2030)**

Ce scénario simule le développement en amont des petits réservoirs (Burkina Faso). Un taux de croissance de 5% des demandes en eau au niveau de ces petits réservoirs a été considéré.

**Autres hypothèses**

Les données de consommations domestiques prélevées exclusivement sur les rivières de bassins versant ne sont disponibles que pour les villes de quelques rares bassins versants. Celles disponibles pour la plupart sont des données agrégées concernant les eaux de surface et les eaux souterraines. On ne peut donc utiliser cette nature de données comme l'étude ne prend pas en compte les eaux souterraines par rapport auxquelles on ne dispose pas de données.

Comme c'est le Burkina Faso et le Ghana qui occupent les parts les plus importantes du bassin de la Volta une ville a été choisie par pays pour analyser la disponibilité de l'eau sous les scénarios de changement climatique et de développement de petits réservoirs ci-dessus. La ville de Ouagadougou située dans le bassin versant de Yakala a été choisie pour le Burkina et la ville de Tamalé située dans le bassin versant de Nawuni a été choisie pour le Ghana. La disponibilité a été analysée par rapport aux consommations domestiques et à l'irrigation. La consommation d'eau annuelle des deux villes donnée dans les tableaux 17 et 18 ci-dessous ont permis de faire les projections.

Tableau N°14: Consommation d'eau annuelle (m3/an) de la ville de Ouagadougou

Année	1999	2000	2005	2010	2015	2020
Ouagadougou	1248322	1315928	1876235	2359587	2799796	3276263

Source : Audit de l'eau, 2007(Bassin de la Volta)

Tableau N°15: Consommation d'eau annuelle (m3/an) de la ville de Tamalé (Nawuni)

Année	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Tamalé	10555728	15625012	26983743	39942985.5	67571866.2	100022193

Source : Audit de l'eau, 2007 (Bassin de la Volta)

Les variations mensuelles de la consommation domestique de chaque ville sont présentées dans les tableaux 19 et 20 ci-dessous.

Tableau N°16: Variation mensuelle de Consommation domestique de Ouagadougou

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Consommation domestique(%)	7.92	9	9.6	9.2	8.75	8	7.5	7.5	7.58	8.3	8.5	8

Source : Audit de l'eau, 2007 (Bassin de la Volta)

Tableau N°17 : Variation mensuelle de Consommation domestique de Tamale

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Consommation domestique(%)	8.34	7.25	7.25	8.25	9.1	8.9	8.11	7.25	8.3	9	8.34	7.25

Source : Audit de l'eau, 2007 (Bassin de la Volta)

Les variations mensuelles des prélèvements pour l'irrigation dans le bassin de la Volta sont présentées dans le tableau N°21 ci-dessous.

Tableau N°18: Variation mensuelle des prélèvements pour l'irrigation dans le bassin de la Volta

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Prélèvement(%) pour l'irrigation	26.1	19.5	14	7.1	2.9	2	2.4	2.5	2.8	2.9	2.7	14.3

Source : Audit de l'eau, 2007 (Bassin de la Volta)

### 3.2 Représentation de la vue schématique (Construction du modèle)

Les Couches de fond SIG ont été utilisées. Ces cartes de fond développées dans Arcview sont constituées des couches de contours du bassin de la Volta, des couches de contours des sous-bassins au centre de l'étude et de la couche du réseau hydrographique du bassin qui a permis de représenter par sous-bassin et ensemble de sous-bassins la rivière qui le draine. Les couches de contours et de réseau hydrographique ont été obtenues des bases de données de l'Autorité du bassin de la Volta. Ces cartes ont servi de fond à la représentation des sites des demandes, des rivières qui sont les sources d'approvisionnement, des retenues, des liens de transmissions et des besoins environnementaux (des débits de retour).

Les sites de demande ont été identifiés par rivière ou sous-bassin et sont spatialement représentés sur fonds de carte grâce aux limites géographiques des sous-bassins et aux données du tableau ci-dessous dressé à partir des données collectées des travaux De Condappa et al (2007).

Limites géographiques (Sous-bassin ou Rivières=sites d'approvisionnement)	Sites de demandes identifiés
--	------------------------------

Arly

0

Bamboi	-
	- consommation domestique
	- consommation bétail
Dapaola	- Irrigation grand réservoir
	- Irrigation petit réservoir
Ekumdipe	-
	- consommation bétail
	- consommation domestique
Kompienga	- Irrigation petit réservoir
	- Irrigation grand réservoir de Sourou
	- consommation bétail
	- consommation domestique
Lérinord	- Irrigation petit réservoir
	- Irrigation grand réservoir de Sourou
Mango	- irrigation petit réservoir
	- consommation bétail
	- consommation domestique
Nangodi	- Irrigation petit réservoir
	- Irrigation grand réservoir de Sourou
	- Irrigation grand réservoir de Tono
	- Irrigation grand réservoir de Vea
Nawuni	- consommation domestique
	- consommation bétail
	- Irrigation petit réservoir
Noumbiel	-irrigation petit réservoir
Nwokuy	- Irrigation grand réservoir de Sourou

	- Irrigation petit réservoir
	-consommation bétail
	- consommation domestique
	- Irrigation grand réservoir (de lui-même)
Pwalagu	-irrigation petit réservoir
Sabari	-irrigation petit réservoir
	- consommation domestique
	- consommation bétail
Senchi	- Irrigation grand réservoir
	- débit de turbinage de Akosombo
	- consommation domestique
	- consommation bétail
Yakala	- Irrigation grand réservoir
	- débit de turbinage de Akosombo
	- Irrigation grand réservoir de Ziga
Wayen	- Irrigation grand réservoir de Yako Kanazoé
	- irrigation petit réservoir

Ces données recueillies ont permis de représenter à l'aide du modèle WEAP, la vue schématique des sites de demande et d'approvisionnement des sous-bassins du bassin de la Volta au centre de l'étude. C'est la vue schématique à partir de laquelle on obtiendra les résultats dès qu'on y entrera les données. Elle se présente comme suit :

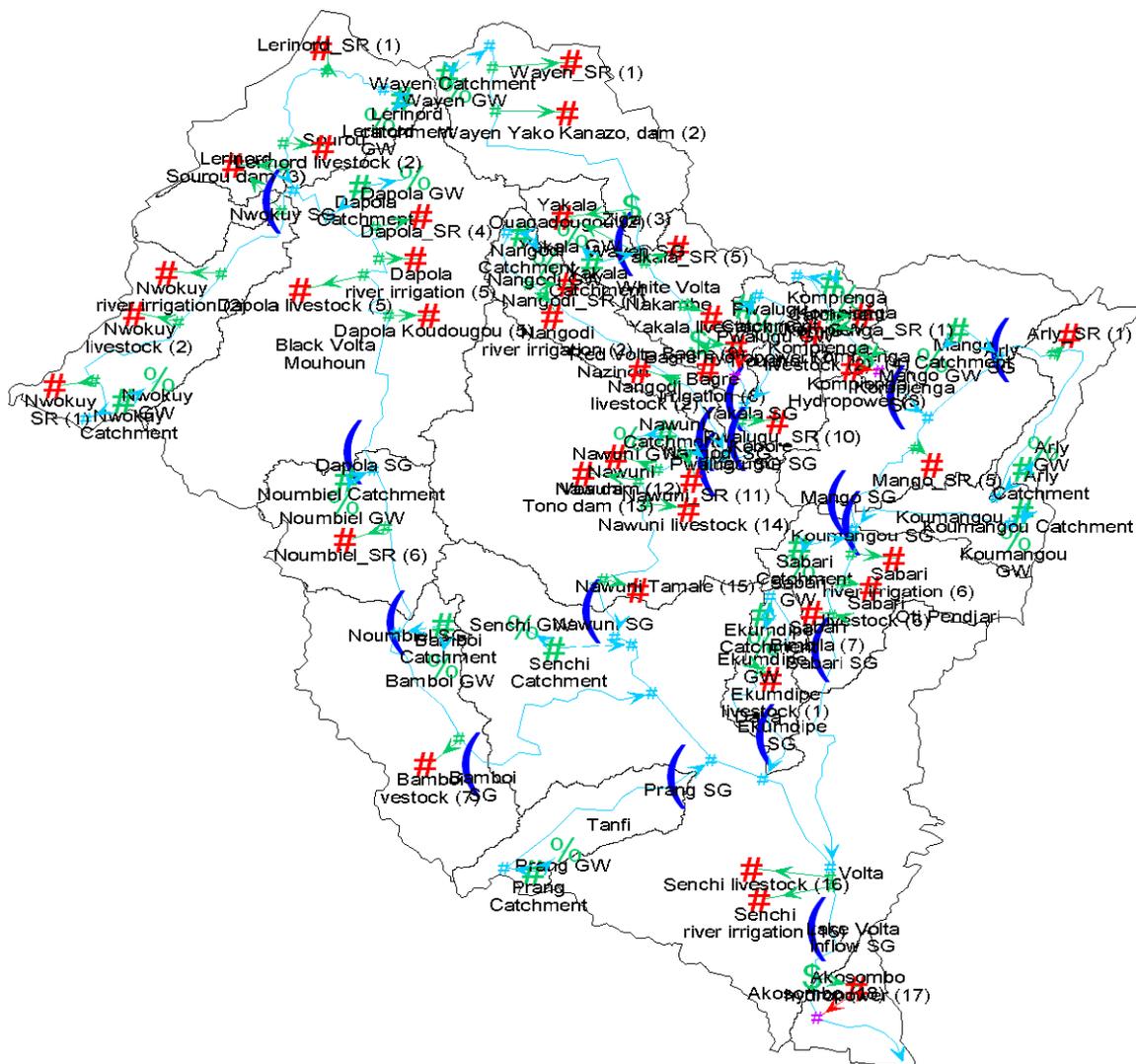


Figure N°21: Vue schématique des sites de demande et d'approvisionnement des sous-bassins du bassin de la Volta

Sur la vue schématique, les cercles rouges représentent des sites de demande (domestique, irrigation, l'élevage, débits de turbinage), les lignes bleues sont les fleuves, les cercles verts matérialisent les bassins versants, les cercles bleus barrés avec des flèches représentent les stations de mesures de débits, les carrés verts sont les réservoirs d'eaux souterraines, les triangles verts dépeignent les retenues. Les lignes vertes sont des liens de transmission, les lignes rouges sont les débits de retour et les cercles violets sont les besoins environnementaux.

#### 4. Analyses et discussions

Les résultats obtenus seront analysés par demande et sous les divers scénarios qui ont été examinés. Les résultats obtenus et présentés sous forme de figures et de tableaux avec le modèle WEAP constituent le bilan ressource/usage par demande qui n'est rien d'autre que

l'étude de la disponibilité de la ressource à satisfaire les demandes sous les scénarios de changement climatique et de développement de petits réservoirs que nous avons adoptés. La demande en eau, la demande en eau non satisfaite et le taux de recouvrement (Niveau de satisfaction de la demande) sont les paramètres d'appréciation sous lesquels le modèle a donné les résultats. Les résultats sont analysés par demande sous chaque scénario adopté.

#### 4.1 Le scénario de Climat chaud et sec

Ce scénario examine l'effet de la sécheresse sur les ressources en eau avec augmentation de la demande dans les sous-bassins de la Volta. Les résultats obtenus à partir de la simulation du modèle sont :

##### 1. Demandes en eau des petits réservoirs

Sous ce scénario, les réservoirs de Arly, de Nawuni et de Nwokuy satisferont les demandes en eau pour l'irrigation à 100% en 2015 et en 2030 (FigA5 et Tableau A5, Figure A6 et Tableau A6 annexe2). Ils seront suivis de Dapola, de Mango, de Nangodi et de Pwalugu en 2030 qui garantiront à 100% de l'eau pour l'irrigation en 2030 alors qu'en 2015 ils avaient respectivement besoin d'un apport de 1 666 175m<sup>3</sup>, 398 302 m<sup>3</sup>, 988 424m<sup>3</sup> et 182 283 m<sup>3</sup> (Figure A2 et tableau A2, Figure A3 et Tableau A3 annexe2). Concernant les autres réservoirs ils ont besoin des apports pour satisfaire les demandes en eau pour l'irrigation en 2015 et 2030. Il faut noter qu'en 2030, tous les réservoirs satisferont à 100% les demandes en eau pour l'irrigation tous les mois sauf les mois de Mai et juin. Le réservoir de Noumbiel connaîtra un déficit chronique d'eau (0% figure A6 tableau A6 annexe2) et les réservoirs de Wayen et de Yakala auront respectivement besoin d'un apport de 2 066 938 m<sup>3</sup> et 28 447 m<sup>3</sup>.

##### 2. Demande en eau domestique

Les résultats de la simulation prévoient sous ce scénario qu'en 2020, il y aura un déficit pour lequel la ville de Ouagadougou aura besoin de 1 372 544 m<sup>3</sup> d'eau en moyenne avant de satisfaire les demandes en eau domestique (Figure B4 et tableau B4 en annexe3). La ville de Tamale couvrira elle les demandes à 100%. Pourtant dans le mois de mai de l'année 2020 la ville de Ouagadougou a pu couvrir à 60,53% les demandes en eau domestiques (Figure B5et

tableau B5 en annexe3). Sous le même scénario en 2030, la ville de Ouagadougou aura besoin d'un apport de  $1\,603\,547\text{ m}^3$  pour satisfaire les demandes en eau domestiques (figure B2, tableau B2 en annexe 3). La ville de Tamale par contre couvrira les demandes à 100%. Mais de juin à Décembre 2030, les deux villes couvriront à 100% les demandes en eau domestiques (Figure B3 et tableau B3). En Avril de la même année, Tamalé couvrira à 100% les demandes en eau domestiques ( tableau B3') tandis que Ouagadougou ne pourra les couvrir à son niveau qu'à hauteur de 11,73%.

### 3. Demande en eau des grands réservoirs

Sous ce scénario, les grands réservoirs couvriront à 100% les demandes en eau pour l'irrigation en 2020 sauf les réservoirs de Nwokuy, de Ziga, de Yakala qui auront besoin respectivement d'un apport de  $35\,071\,623\text{ m}^3$ ,  $17\,908\,437\text{ m}^3$  et  $10\,443\,055\text{ m}^3$  avant d'y parvenir (Figure C2 et tableau C2 en annexe 4).

En 2030, Dapola connaîtra la même situation avec un besoin de  $1\,040\,165\text{ m}^3$  (Figure C5 et tableau C5) où désormais les besoins des 3 premiers s'élèveront respectivement à  $137\,983\,553\text{ m}^3$ ,  $40\,086\,074\text{ m}^3$  et  $45\,090\,142\text{ m}^3$

## 4.2 Le scénario de Climat chaud et humide

Ce scénario examine les effets de la saison très humide sur les ressources en eau dans les sous-bassins. Les résultats obtenus à partir du fonctionnement du modèle indiquent que:

### 4. Demandes en eau des petits réservoirs

Sous le climat chaud et humide, tous les petits réservoirs vont satisfaire à 100 % les demandes en eau pour l'irrigation en mai 2015 sauf le réservoir de Wayen qui a besoin d'un apport de  $1\,515\,389\text{ m}^3$  avant d'y parvenir (Figure A2 et Tableau A2, Figure A3 et tableau A3 en annexe2). Les autres mois, les demandes en eau pour l'irrigation ont été couvertes par tous les réservoirs à 100% en 2015.

En 2030 sous le même scénario, Yakala aura besoin d'un apport de  $1\,835\,833\text{ m}^3$  pour satisfaire les demandes en eau au moment où les autres réservoirs pourront satisfaire à 100% les demandes en eau pour l'irrigation (Figure A5 et tableau A5, Figure A6 et tableau A6 en annexe2). A défaut de cet apport, Yakala ne pourra satisfaire les demandes qu'à 55,04 %

(Tableau A6 en annexe 2). Il est à noter que tous les réservoirs y compris celui de Yakala ont satisfait à 100% les demandes tous les mois sauf en mai et juin.

#### 5. Demandes en eau domestiques

Les résultats des simulations montrent que la ville de Tamalé couvrira les demandes en eau domestiques à 100% en 2030 sous le scénario de climat chaud et humide tandis que la ville de Ouagadougou aura besoin d'un apport mais un peu moindre que sous le scénario de climat chaud et sec :  $1\,296\,439\text{m}^3$  (Figure B2 et Tableau B2 en annexe3).

Entre juin et Décembre 2030, les deux villes couvriront les demandes à 100% (figures B3 et Tableau B3 en annexe3). Mais de janvier à juin 2030, Tamalé satisfera les demandes à 100% tandis que la ville de Ouagadougou le fera à 6,61% (Tableau B3). Pourtant en Avril 2030, la ville de Ouagadougou pourra couvrir les demandes à 92,054%. (Tableau B3' en annexe3).

En 2020, il y aura un déficit pour lequel la ville de Ouagadougou aura besoin de  $714\,325\text{m}^3$  avant de pouvoir couvrir les demandes en eau pour l'irrigation. La ville de Tamalé par contre couvrira les demandes à 100% en 2020 sous ce scénario.(Figure B4 et Tableau B4 en annexe3). On a pu constater sous ce scénario qu'en mai 2020, les deux villes couvriront les demandes en eau domestiques à 100% (Figure B5 et Tableau B5 en annexe3).

#### 6. Demande en eau des grands réservoirs

Sous ce scénario de climat chaud et humide les demandes en eau pour l'irrigation seront satisfaites à 100% en 2020 pour les grands réservoirs à l'exception des réservoirs de Nwokuy et de Ziga qui auront respectivement besoin d'un apport de  $9\,733\,997\text{m}^3$  et  $592\,050\text{m}^3$  pour couvrir à leur niveau les demandes (Figure C2 et Tableau C2, Figure C3 et Tableau C3 de l'annexe 4). Ces quantités sont moindres par rapport aux quantités nécessitées sous le climat chaud et sec. Sous le scénario de climat chaud et humide, Yakala qui était déficitaire sous le scénario chaud et sec pourra satisfaire les demandes à 100% (Figure C2 et Tableau C2, Figure C3 et Tableau C3 en annexe 4). En 2030, la tendance est la même mais cette fois-ci les apports dont ont besoin les réservoirs de Nwokuy et de Ziga sont plus grands (respectivement  $17\,193\,084\text{m}^3$  et  $11\,252\,295\text{m}^3$ ) (Figure C5 et Tableau C5, Figure C6 et Tableau C6 en annexe 4).

### 4.3 Le scénario de développement des petits réservoirs

#### 7. Demande en eau des petits réservoirs

Avec le scénario de développement des petits réservoirs, 7 réservoirs sur les 12 pourront satisfaire à 100 % les besoins en eau pour l'irrigation en 2015. A part le réservoir de Noumbiel et de Wayen, le reste pourra satisfaire les demandes à plus de 50% en 2015 (Figure A2 et Tableau A2 et Figure A3 et Tableau A3 en annexe 2).

En 2030, ce serait seulement les réservoirs de Nangodi, de Noumbiel, de Wayen et de Yakala qui auront besoin d'apport pour satisfaire les demandes en eau pour l'irrigation dans les proportions respectives de 59%, 100%, 59% et 69,11% (FigureA5 et tableauA5 et Figure A6 et Tableau A6 en annexe 2)

#### 8. Demande en eau domestique

Le scénario de développement des petits réservoirs augmentera l'apport dont a besoin la ville de Ouagadougou pour satisfaire les demandes en eau domestiques mais il n'a pas eu d'effet sur la ville de Tamalé qui satisfera à 100 % les demandes en eau en 2030 (Figure B2 et Tableau B2 en annexe 3). Mais entre juin et Décembre 2030, les 2 villes couvriront les demandes en eau à 100% (Figure B3' en Annexe 3).

Par contre entre janvier et juin seule Tamalé pourra couvrir les demandes à 100% ; la ville de Ouagadougou ne le pourra qu' à hauteur de 6, 57% (Tableau B3 en annexe 3)

#### 9. Demande en eau des grands réservoirs

Sous le scénario de développement des petits réservoirs, les grands réservoirs satisferont à 100% les demandes en eau pour l'irrigation en 2020 sauf les réservoirs de Nwokuy et de Ziga qui auront respectivement besoin d'un apport de 15 776 419 m<sup>3</sup> et 5 923 616 m<sup>3</sup> (Figure C2 et Tableau C2 et Figure C3 et tableau C3 en annexe 4). Ceci peut s'expliquer par le fait qu'avec ce scénario, les grands réservoirs seront moins sollicités et comme cela ils pourront satisfaire aux demandes qui ne seront pas trop élevés parce que partagées désormais entre eux et les nouveaux réservoirs qui seront installés.

En 2030, les réservoirs de Dapola et de Nangodi s'ajouteront aux deux précédents et auront besoin respectivement d'un apport de 51% et 100% avant de couvrir les demandes en eau (Figure C4 et tableau C4, Figure C5 et tableau C5 en annexe 4).

Les résultats concernant les demandes en eau pour bétail n'ont pas été analysés parce que les résultats ne sont pas réalistes, les données relatives aux variations mensuelles de cette demande n'étant pas disponibles.

Par ailleurs par rapport à l'hydro-électricité, les scénarios analysés n'ont pas eu d'impact sur la production du barrage de Akosombo. Par contre le barrage de Kompienga et de Bagré ont été très sensibles à ces scénarios qui ont annulé leur production. (Figure C7, annexe 5)

## 5. Recommandations

L'étude est achevée par l'utilisation du modèle WEAP pour faire le bilan ressources/usages suite à l'inventaire et à l'étude comparative des modèles dans les agences et organismes de bassin.

Les recommandations porteront d'une part sur les modèles étudiés et d'autre part sur le bilan ressources/usages fait au modèle WEAP.

En ce qui concerne les modèles, il serait intéressant d'approfondir leur connaissance en allant au-delà du cadre des recherches bibliographiques et de recherche sur internet. Une connaissance plus soutenue dans les détails permettrait de mieux cerner les contours des modèles et de disposer suffisamment d'éléments de comparaison. Ce qui aiderait à dégager réellement le modèle le plus représentatif. L'analyse des avantages et des inconvénients d'un modèle pourrait être aussi facilitée ce faisant. Il serait aussi très bon de vulgariser au maximum les modèles qui ne se développent que dans le cadre des projets car certains modèles développés dans les agences et organismes de bassin restent inconnus du personnel de ces structures. Le modèle WEAP en est un exemple. Les directions exécutives des agences de bassin doivent créer vraiment les conditions d'hébergement et d'excitation à l'utilisation de ces modèles dont l'application ne s'arrête qu'aux séances de formation. Ainsi se résument les constats faits suite à l'opportunité qui nous a été donnée de rechercher sur les modèles. Ce qui serait très intéressant aussi en approfondissant les modèles serait de parvenir à dégager entre Mike basin et WEAP le modèle le plus représentatif avec des éléments de comparaison autres que ceux de coût et d'exigence de données.

En ce qui concerne le modèle WEAP quand bien même étant souple, il a besoin d'un minimum de données pour donner de bon résultat. Les données étant ce qui manquent le plus, il serait souhaitable avec le modèle WEAP de limiter le cadre d'étude à un cadre plus restreint que celui d'un bassin dans le cadre académique pour approfondir les réflexions.

Par ailleurs, la demande en eau pour les usages domestiques de la ville de Ouagadougou a un besoin d'apport dans tous les scénarios pour lequel nous recommandons les eaux souterraines qui restent des sources potentielles d'eau non exploitées. Cette source pourrait être aussi explorée pour répondre aux apports dont ont besoin les autres usages sous certains scénarios. La mise en place effective de canalisations et de stations de traitement dans le bassin de la Volta pour le retour des eaux usées dans le système contribuerait de façon non négligeable à réduire ces apports et apporterait beaucoup aux débits d'écoulement et débit environnemental des rivières des bassins versants.

#### Conclusion et perspectives

L'étude sur l'aspect modèle de notre thème de recherche a été une opportunité de découvrir qu'en dehors des modèles hydrologiques il existe des modèles hydro-économiques qui utilisent en amont leurs résultats. Ces modèles développés généralement dans le cadre des projets le sont pour assister les gestionnaires et autres acteurs du domaine de l'eau dans les prises de décision. Le bassin de la Volta en a connu pas mal contrairement aux organismes de bassin du Sénégal et de la Gambie qui vivent dans l'espoir de trouver une source de financement ou un projet pouvant les aider à en développer. Il faut comprendre l'intérêt que suscitent ces modèles qui sont d'une grande utilité en matière de bilan ressources (terres, eaux etc.) et usages et de leur gestion intégrée. Leur inventaire et leur analyse critique dans le cadre de cette étude reste encore une étape à approfondir que nous suggérons de continuer avec des éléments d'appréciation autres que ceux utilisés dans la présente. A l'exception de WEAP et Mike Basin dont les champs d'action sont régionaux voire continentaux, la plupart des modèles examinés simulent à l'échelle de sous-bassin. A ce titre une amélioration technique qui étende leur champ d'action est souhaitable au vu de la pertinence de ces modèles. Les modèles sont aussi intéressants que semblables en certains points. Les facteurs coût et disponibilité de données sont les éléments qui ont surtout joué en faveur du modèle WEAP qui est sorti des analyses comme le modèle le plus représentatif. On projetait d'utiliser pour le bilan ressources/usages dans le bassin de la Volta le modèle sans savoir qu'il serait le modèle qui se dégagerait des analyses.

Pour ce qui est du bilan ressources/usages, sous les scénarios utilisés pour analyser la disponibilité de la ressource on pu constater à l'horizon 2030 et à certains horizons intermédiaires les proportions dans lesquelles les réservoirs et les deux villes au centre de

l'étude pourront satisfaire les demandes en eau et les prélèvements. Les éventuels apports dont auront besoin ces réservoirs et villes pour couvrir les demandes à ces horizons ont été aussi mis en exergue. Ce qui pourra permettre de prendre les mesures nécessaires pour éviter cette situation et montre bien en quoi le modèle peut assister dans les prises de décisions.

De l'analyse des résultats obtenus sous chaque scénario et par rapport aux usages de l'eau se dégagent des mesures dont l'application améliorera la gestion intégrée des ressources en eau. Comme perspective, le bilan hydrique au moyen du modèle WEAP au niveau d'un bassin versant serait intéressant.

Par ailleurs la source eau souterraine n'a pas été prise en compte dans notre bilan à cause de la disponibilité des données. Une simulation qui prend en compte les deux sources d'eau serait d'un apport non négligeable.

L'hypothèse faite par rapport aux réservoirs d'irrigation considérée comme des sites de demandes d'eau comme celui des sites domestiques par défaut des courbes volume hauteur de ces réservoirs dont la hauteur d'eau évolue dans un volume total fixe est une piste à explorer quand on sait que les demandes en eau de ces réservoirs fluctuent en fonction de l'aire des périmètres irrigués.

## Bibliographie

**Andah W., N. van de Giesen, A. Huber-Lee, and C. A. Biney. 2004.** Can we maintain food production without losing hydropower? The Volta basin (West Africa). pp 181-194. In: Climate change in contrasting river basins, J.C.J.H. Aerts and P. Droogers (eds.) CABI Publ. Wallingford UK, 264p.

**DE CONDAPPA D., CHAPONNIERE A., LEMOALLE J., 2008.** Decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. Volta Basin Focal Project Report No 10. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 28 P.

**DE CONDAPPA D., CHAPONNIERE A., LEMOALLE J., 2009.** Decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. Water International, 34: 71-87.

**Initiatives Conseil International (ICI), 2009,** Etats des Lieux des ressources en eau et leurs usages agricoles et domestiques en Afrique de l'Ouest.

Nii Consult, 2007, Water Audit of Volta Basin

**Boubabacar BARRY, Marc ANDREINI, 2005,** Comprehensive Assessment of Water Management In Agriculture.

**Devaraj de Condappa, Anne, 2008,** Decision-support Tool for Water Allocation in the Volta Basin

**Universite des Nations Unies (UNU),** Institut pour les ressources naturelles en Afrique(INRA), Centre pour la recherche de Developpement (ZEF), UNI-BON, Projet Glowa de la Volta, 16 et 19 Mars 2009. Rapport de l'atelier de formation sur le modele M3-water.

**Universite des Nations Unies (UNU),** Institut pour les ressources naturelles en Afrique(INRA),Centre pour la recherche de Developpement (ZEF), UNI-BON, Projet Glowa de la Volta, 26 et 28 Mai 2009. Rapport de l'atelier de formation sur le modele GV-LUDAS.

**Jacques LEMOALLE, Devaraj DE CONDAPPA, 2009.** Atlas de l'eau du bassin de la Volta.Lemoalle, J. 2007. Global trends in the Volta Basin. BFP Volta Reports Series, CPWF/IRD.

ANNEXES

## Annexe1 : Courbes Volumes-hauteurs

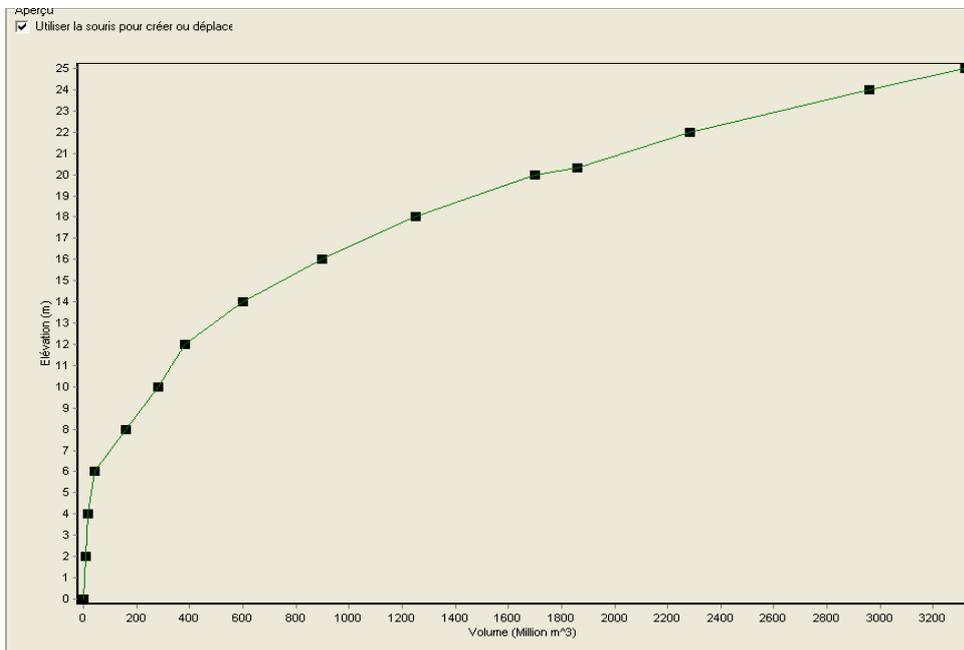


Figure A : Courbe Volume-Hauteur du barrage de Kompenga

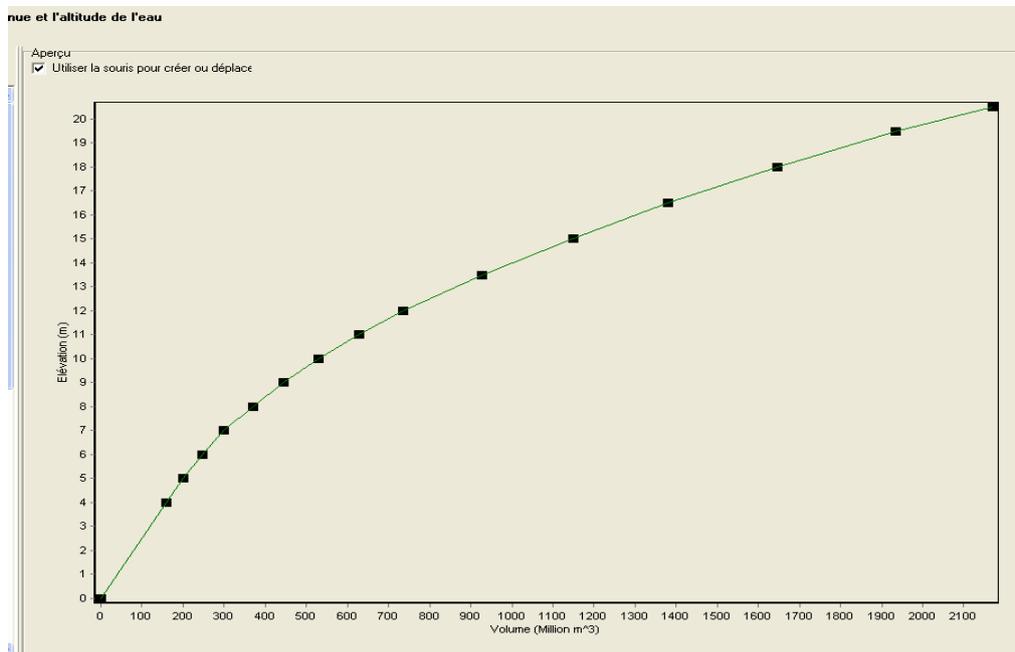


Figure B : Courbe Volume-Hauteur du barrage de B

## Annexe2 : Résultats petits réservoirs

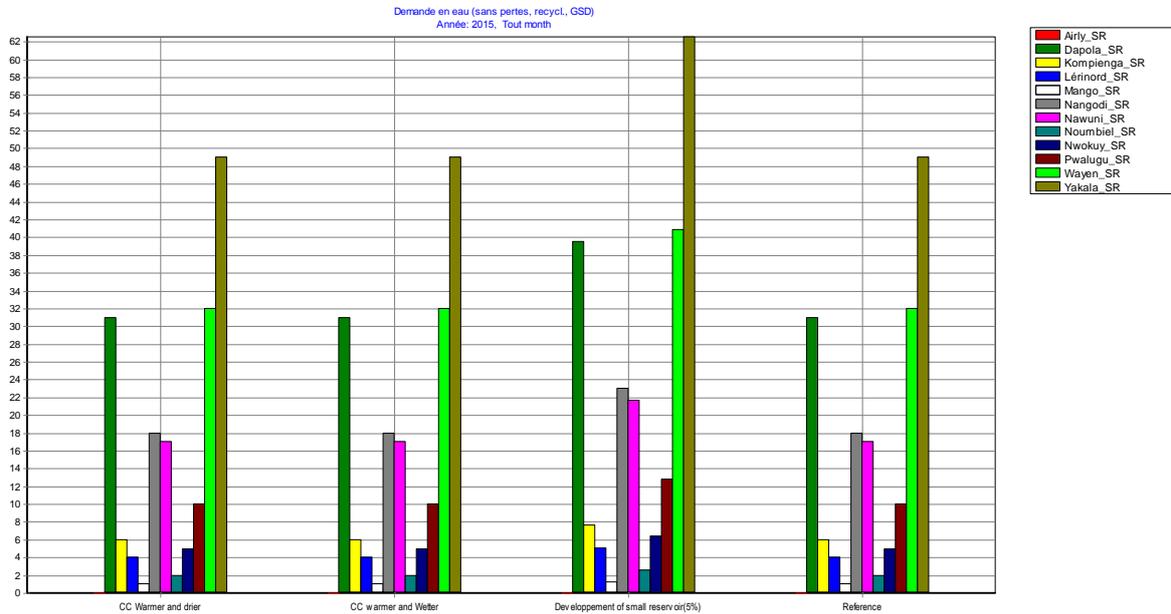
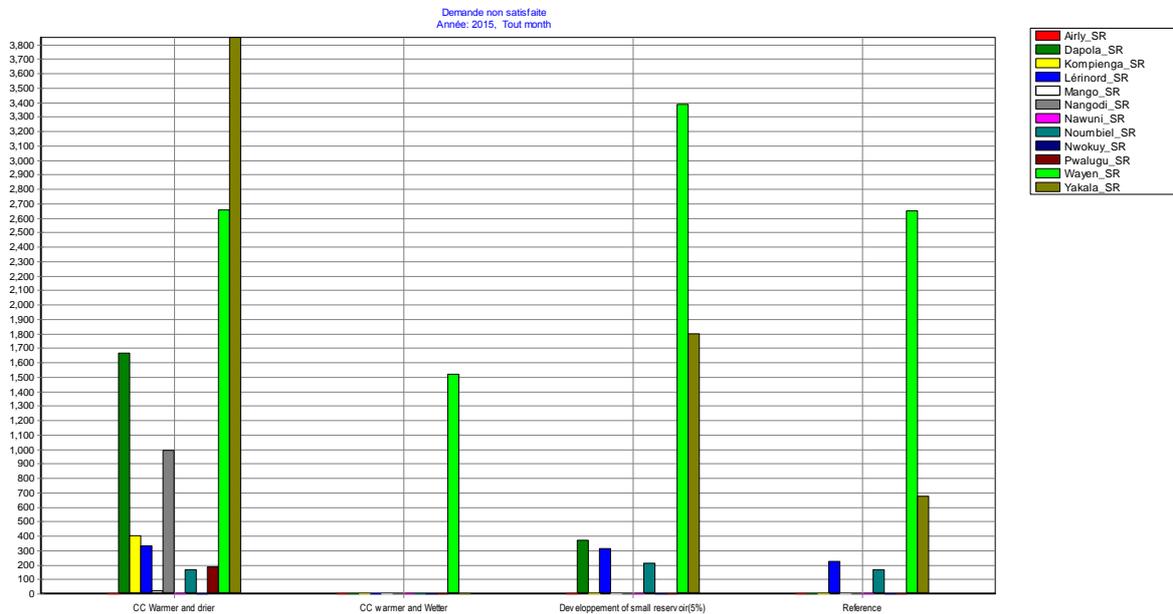


Figure A1 : Demande en eau des petits réservoirs en 2015

Tableau A1 : Demande en eau des petits réservoirs en 2015

Demande en eau (sans pertes, recycl., GSD) (Mètre cube)				
Niveaux, Sélectionné Branche (12/65), Branche: Demand Sites and Catchments, Sélectionné, Niveaux: 1, Année: 2015, Tout month				
Petits réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Devloppement of small reservoir(5%)	Référence
Airly_SR	0	0	0	0
Dapola_SR	31000000	31000000	39564728.44	31000000
Kompienga_SR	6000000	6000000	7657689.375	6000000
Lérinord_SR	4000000	4000000	5105126.25	4000000
Mango_SR	1000000	1000000	1276281.563	1000000
Nangodi_SR	18000000	18000000	22973068.13	18000000
Nawuni_SR	17000000	17000000	21696786.56	17000000
Noumbiel_SR	2000000	2000000	2552563.125	2000000
Nwokuy_SR	5000000	5000000	6381407.813	5000000
Pwalugu_SR	10000000	10000000	12762815.63	10000000
Wayen_SR	32000000	32000000	40841010	32000000
Yakala_SR	49000000	49000000	62537796.56	49000000

<b>Sum</b>	175000000	175000000	223349273.4	175000000
------------	-----------	-----------	-------------	-----------



**Figure A2: Demande en eau non satisfaite des petits réservoirs en 2015**

**Tableau A2: Demande en eau non satisfaite des petits réservoirs en 2015**

Demande non satisfaite (Mètre cube)				
Sélectionné Site de demande (12/65), Année: 2015, Tout month				
Petits réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Airly_SR	0	0	0	0
Dapola_SR	1666175.572	0	368301.4994	0
Kompienga_SR	398302.7118	0	0	0
Lérinord_SR	331123.6429	0	311992.1566	219898.3025
Mango_SR	16753.81552	0	0	0
Nangodi_SR	988424.2098	0	0	0
Nawuni_SR	0	0	0	0
Noubmiel_SR	166666.6667	0	212713.5938	166666.6667
Nwokuy_SR	0	0	0	0
Pwalugu_SR	182283.9535	0	0	0
Wayen_SR	2655229.508	1515389.334	3382437.166	2645686.333
Yakala_SR	3848716.356	0	1799167.015	671017.301
<b>Sum</b>	10253676.44	1515389.334	6074611.431	3703268.603

## Annexe2 : Résultats petits réservoirs

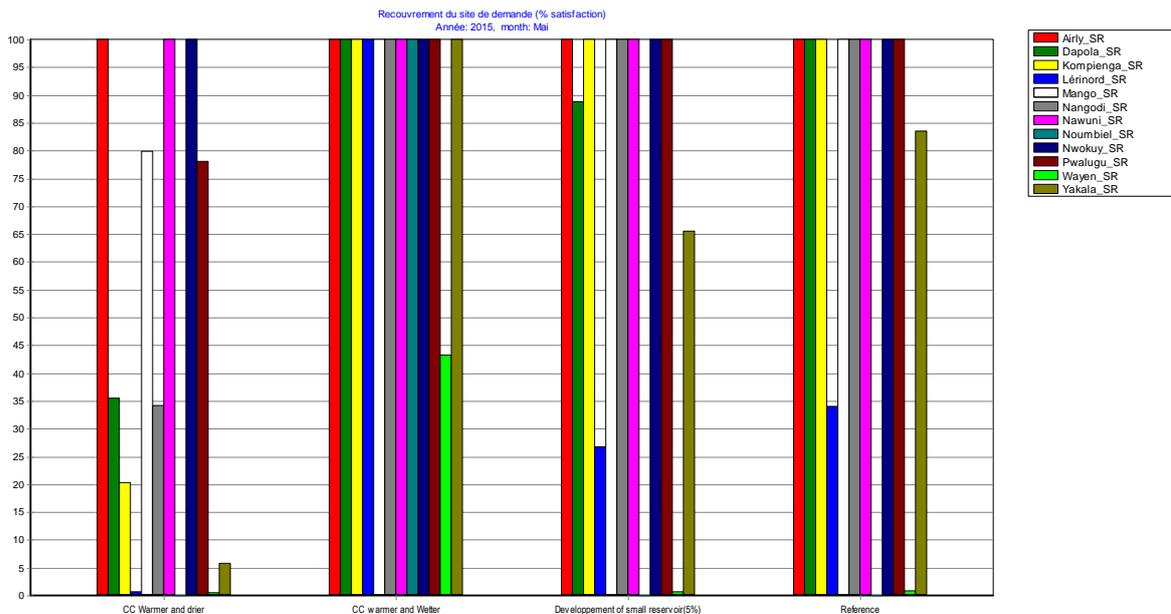


Figure A3: Niveau de satisfaction de la demande en eau des petits réservoirs en 2015

Tableau A3: Niveau de satisfaction de la demande en eau des petits réservoirs en 2015

Recouvrement du site de demande (% satisfaction) (Pourcent)				
Sélectionné Site de demande (12/65), Année: 2015, month: Mai				
Petits réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Development of small reservoir(5%)	Référence
Airly_SR	100.0	100.0	100.0	100.0
Dapola_SR	35.5	100.0	88.8	100.0
Kompienga_SR	20.3	100.0	100.0	100.0
Lérinord_SR	0.7	100.0	26.7	34.0
Mango_SR	79.9	100.0	100.0	100.0
Nangodi_SR	34.1	100.0	100.0	100.0
Nawuni_SR	100.0	100.0	100.0	100.0
Noumbiel_SR	0.0	100.0	0.0	0.0
Nwokuy_SR	100.0	100.0	100.0	100.0
Pwalugu_SR	78.1	100.0	100.0	100.0

Wayen_SR	0.4	43.2	0.6	0.8
Yakala_SR	5.7	100.0	65.5	83.6

NB : jan, feb, mar, A, J, Juil, A, Sep, Oct, Nov, Déc=100% tous scenario

## Annexe2 : Résultats petits réservoirs

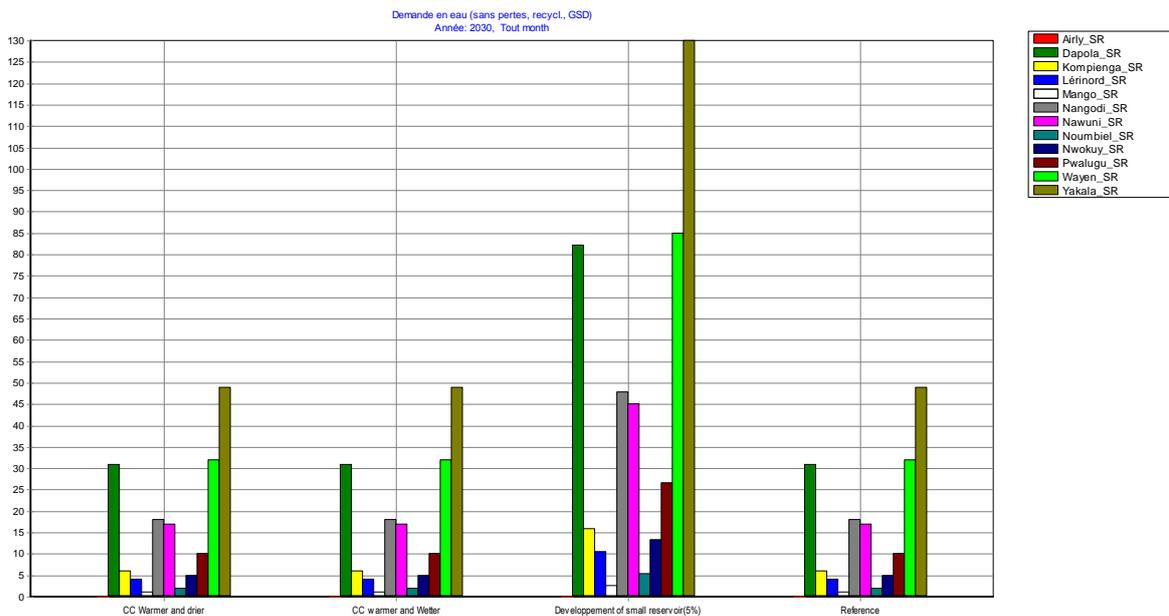


Figure A4 : Demande en eau des petits réservoirs en 2030

Tableau A4 : Demande en eau des petits réservoirs en 2030

Demande en eau (sans pertes, recycl., GSD) (Mètre cube)				
Niveaux, Sélectionné Branche (12/65), Branche: Demand Sites and Catchments, Niveaux: 1, Année: 2030, Tout month				
Petits réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Airly_SR	0	0	0	0
Dapola_SR	31000000	31000000	82252228.86	31000000
Kompienga_SR	6000000	6000000	15919786.23	6000000
Lérinord_SR	4000000	4000000	10613190.82	4000000
Mango_SR	1000000	1000000	2653297.705	1000000
Nangodi_SR	18000000	18000000	47759358.69	18000000
Nawuni_SR	17000000	17000000	45106060.99	17000000

Noumbiel_SR	2000000	2000000	5306595.41	2000000
Nwokuy_SR	5000000	5000000	13266488.53	5000000
Pwalugu_SR	10000000	10000000	26532977.05	10000000
Wayen_SR	32000000	32000000	84905526.56	32000000
Yakala_SR	49000000	49000000	130011587.6	49000000
<b>Sum</b>	<b>175000000</b>	<b>175000000</b>	<b>464327098.4</b>	<b>175000000</b>

## Annexe2 : Résultats petits réservoirs

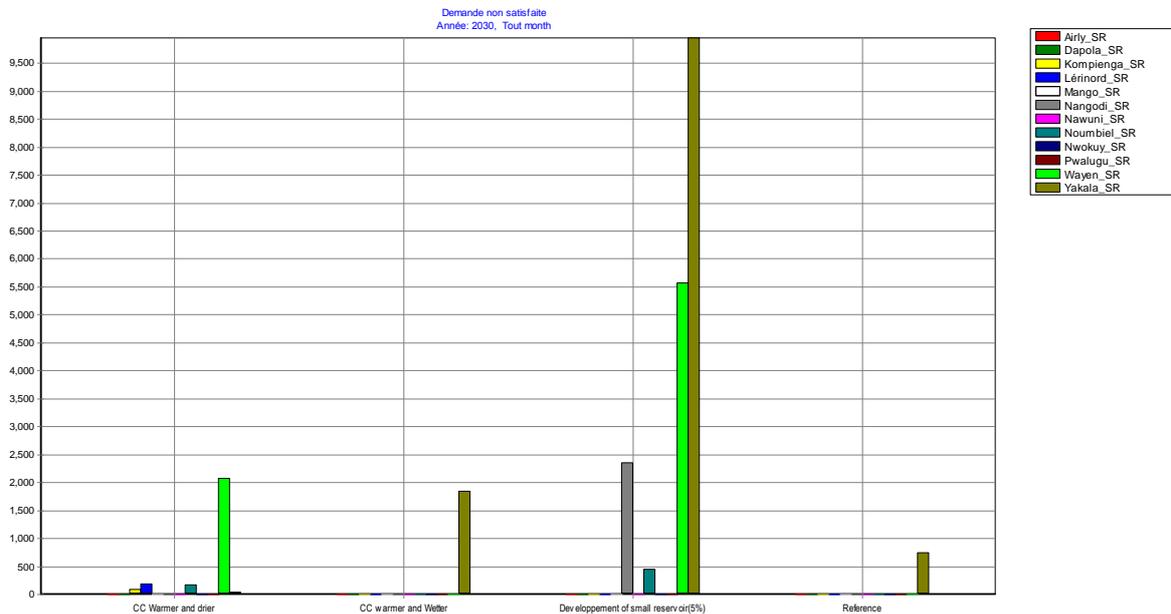


Figure A5: Demande en eau non satisfaite des petits réservoirs en 2030

Tableau A5: Demande en eau non satisfaite des petits réservoirs en 2030

Demande non satisfaite (Mètre cube)				
SélectionnéSite de demande (12/65), Année: 2030, Tout month				
Petits réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Airly_SR	0.00	0.00	0.00	0.00
Dapola_SR	0.00	0.00	0.00	0.00
Kompienga_SR	89951.18	0.00	0.00	0.00
Lérinord_SR	180763.14	0.00	0.00	0.00
Mango_SR	0.00	0.00	0.00	0.00
Nangodi_SR	0.00	0.00	2348313.39	0.00

Nawuni_SR	0.00	0.00	0.00	0.00
Noumbiel_SR	166666.67	0.00	442216.28	0.00
Nwokuy_SR	0.00	0.00	0.00	0.00
Pwalugu_SR	0.00	0.00	0.00	0.00
Wayen_SR	2066938.51	0.00	5564689.86	0.00
Yakala_SR	28447.43	1835833.69	9947400.89	736823.10
<b>Sum</b>	<b>2532766.92</b>	<b>1835833.69</b>	<b>18302620.43</b>	<b>736823.10</b>

## Annexe2 : Résultats petits réservoirs

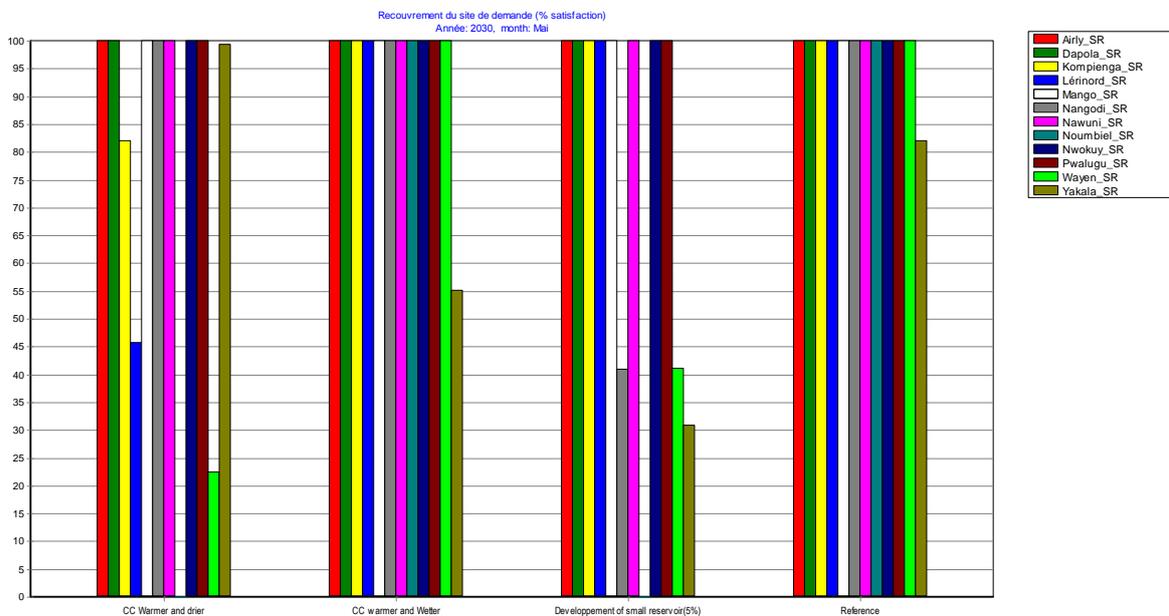


Figure A6: Niveau de satisfaction de la demande en eau des petits réservoirs en 2030

Tableau A6: Niveau de satisfaction de la demande en eau des petits réservoirs en 2030

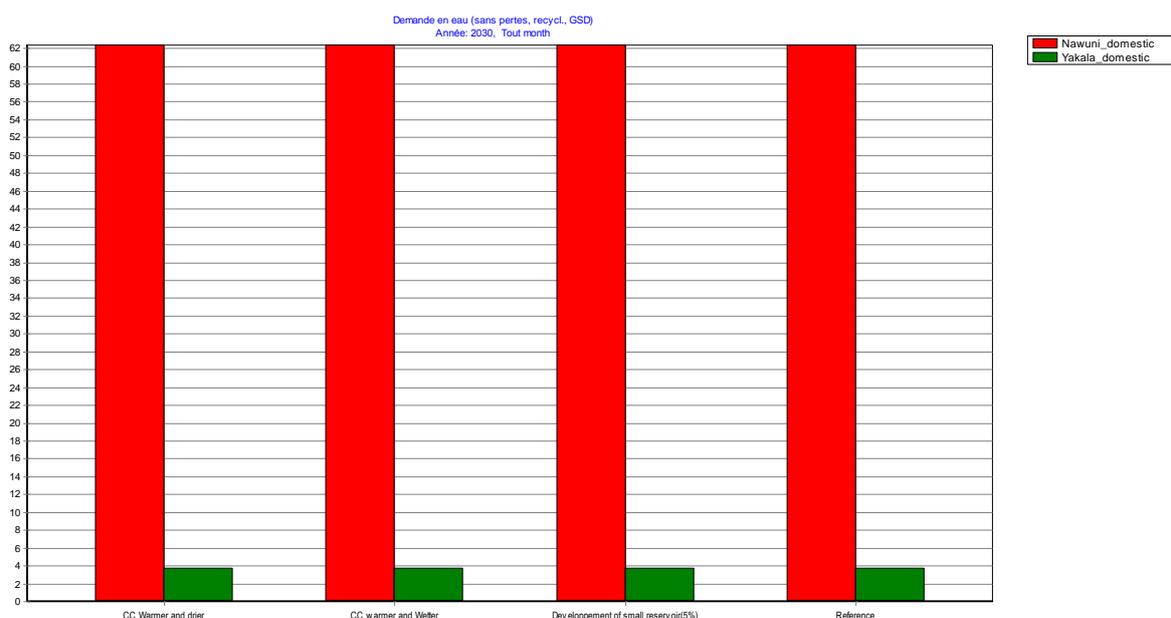
Recouvrement du site de demande (% satisfaction) (Pourcent)				
SélectionnéSite de demande (12/65), Année: 2030, month: Ma				
Petits réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Development of small reservoir(5%)	Référence
Airly_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Dapola_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Kompienga_SR	82.01	100.00	100.00	100.00

Lérinord_SR	45.77	100.00	100.00	100.00
Mango_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Nangodi_SR	100.00	100.00	41.00	100.00
Nawuni_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Noumbiel_SR	0.00	100.00	0.00	100.00
Nwokuy_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Pwalugu_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Wayen_SR	22.49	100.00	41.02	100.00
Yakala_SR	99.30	55.04	30.89	81.96

**NB : Tous les mois 100 % sauf Mai et juin**

## Annexes 3: Résultats des demandes domestiques

### Demandes domestiques des villes de Ouagadougou et de Tamale en 2030



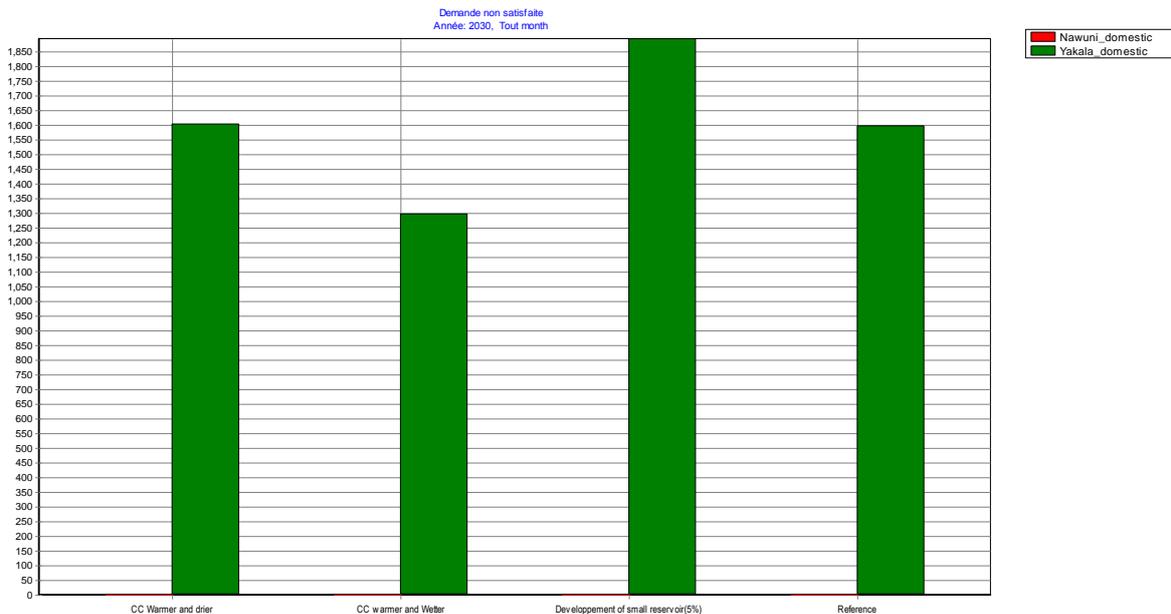
**Figure B1 : Demande en eau domestique des villes de Ouagadougou et de Tamale en 2030**

**Tableau B1 : Demande en eau domestique des villes de Ouagadougou et de Tamale en 2030**

Demande en eau (sans pertes, recycl., GSD) (Mètre cube)				
Niveaux, Sélectionné Branche (2/65), Branche: Demand Sites and Catchments, Niveaux: 1, Année: 2030, Tout month				
Villes	CC Warmer	CC warmer	Developpement	Reference
Lérinord_SR	45.77	100.00	100.00	100.00
Mango_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Nangodi_SR	100.00	100.00	41.00	100.00
Nawuni_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Noumbiel_SR	0.00	100.00	0.00	100.00
Nwokuy_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Pwalugu_SR	100.00	100.00	100.00	100.00
Wayen_SR	22.49	100.00	41.02	100.00
Yakala_SR	99.30	55.04	30.89	81.96

	and drier	and Wetter	of small reservoir(5%)	
Tamale_domestic	62324346.32	62324346.32	62324346.32	62324346.32
Ouagadougou_domestic	3710165.591	3710165.591	3710165.591	3710165.591
<b>Sum</b>	<b>66034511.91</b>	<b>66034511.91</b>	<b>66034511.91</b>	<b>66034511.91</b>

## Annexes 3: Résultats des demandes domestiques



**Figure B2 : Demande non satisfaite de Ouagadougou et de Tamale en 2030**

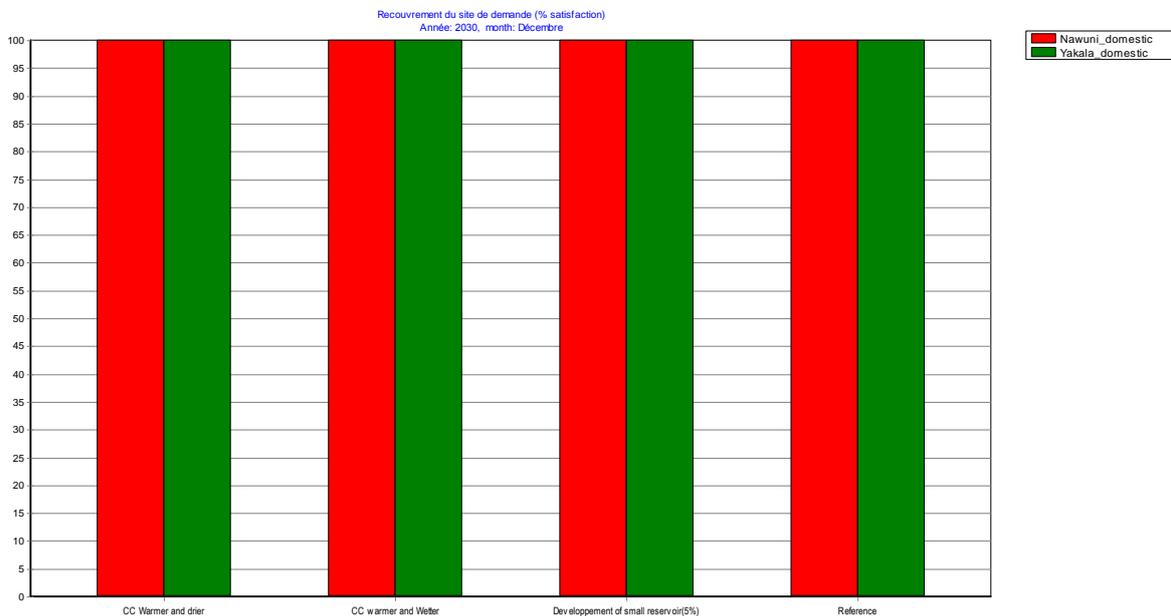
**Tableau B2 : Demande non satisfaite de Ouagadougou et de Tamale en 2030**

Demande non satisfaite (Mètre cube)
SélectionnéSite de demande (2/65), Année: 2030, Tout month

Villes	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Tamale_domestic	0.00	0.00	0.00	0.00
Ouagadougou_domestic	1603547.26	1296439.04	1892515.58	1595464.69
<b>Sum</b>	1603547.26	1296439.04	1892515.58	1595464.69

## Annexes 3:Résultats des demandes domestiques

Jun à Décembre 2030: 100% pour les deux villes



**Figure B3 : Recouvrement de la Demande en eau dans les villes de Ouagadougou et de Tamale en 2030**

**Tableau B3 : Recouvrement de la Demande en eau dans les villes de Ouagadougou et de Tamale en 2030(% de satisfaction)**

**Janvier à juin 2030**

<b>Recouvrement du site de demande (% satisfaction) (Pourcent)</b>				
<b>SélectionnéSite de demande (2/65), Année: 2030, month: Janvier</b>				
Villes	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Tamale_domestic	100.00	100.00	100.00	100.00
Ouagadougou_domestic	2.97	6.61	6.57	6.57

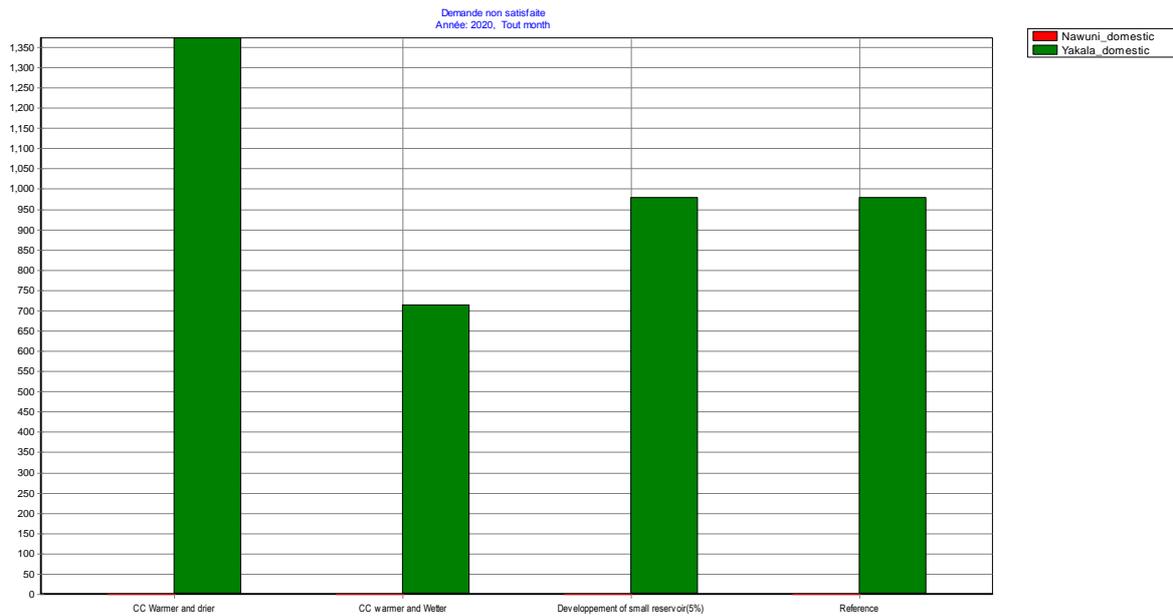
## **Annexes 3:Résultats des demandes domestiques**

**Tableau B3' : Recouvrement de la Demande en eau dans les villes de Ouagadougou et de Tamale en 2030(% de satisfaction)**

**- En Avril 2030**

<b>Recouvrement du site de demande (% satisfaction) (Pourcent)</b>				
<b>SélectionnéSite de demande (2/65), Année: 2030, month: Avril</b>				
Villes	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Tamale_domestic	100	100	100	100
Ouagadougou_domestic	11.77309672	92.05426814	10.62472487	10.62472487

**Demandes domestiques des villes de Ougadougou et de Tamale en 2020**

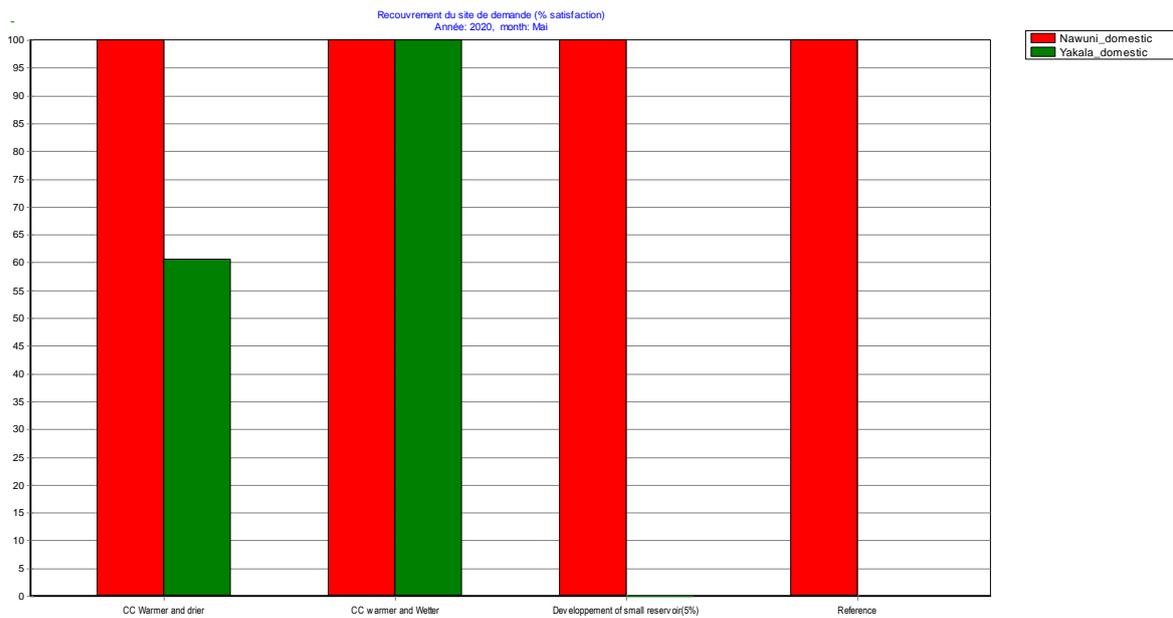


**Figure B4 : Demande non satisfaite de Ouagadougou et de Tamale en 2020**

**Tableau B4 : Demande non satisfaite de Ouagadougou et de Tamale en 2020**

Demande non satisfaite (Mètre cube)				
SélectionnéSite de demande (2/65), Année: 2020, Tout month				
Villes	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Tamale_domestic	0.00	0.00	0.00	0.00
Ouagadougou_domestic	1372544.44	714325.01	977402.60	977402.60
<b>Sum</b>	1372544.44	714325.01	977402.60	977402.60

### Annexes 3:Résultats des demandes domestiques



**Figure B5 : Recouvrement de la Demande en eau dans les villes de Ouagadougou et de Tamale en 2020(% de satisfaction)**

**Tableau B5: Recouvrement de la Demande en eau dans les villes de Ouagadougou et de Tamale en 2020(% de satisfaction)**

Recouvrement du site de demande (% satisfaction) (Pourcent)				
Sélectionné Site de demande (2/65), Année: 2020, month: Mai				
Villes	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Tamale_domestic	100	100	100	100
Ouagadougou_domestic	60.53	100	0	0

## Annexe4 : Résultats des grands réservoirs

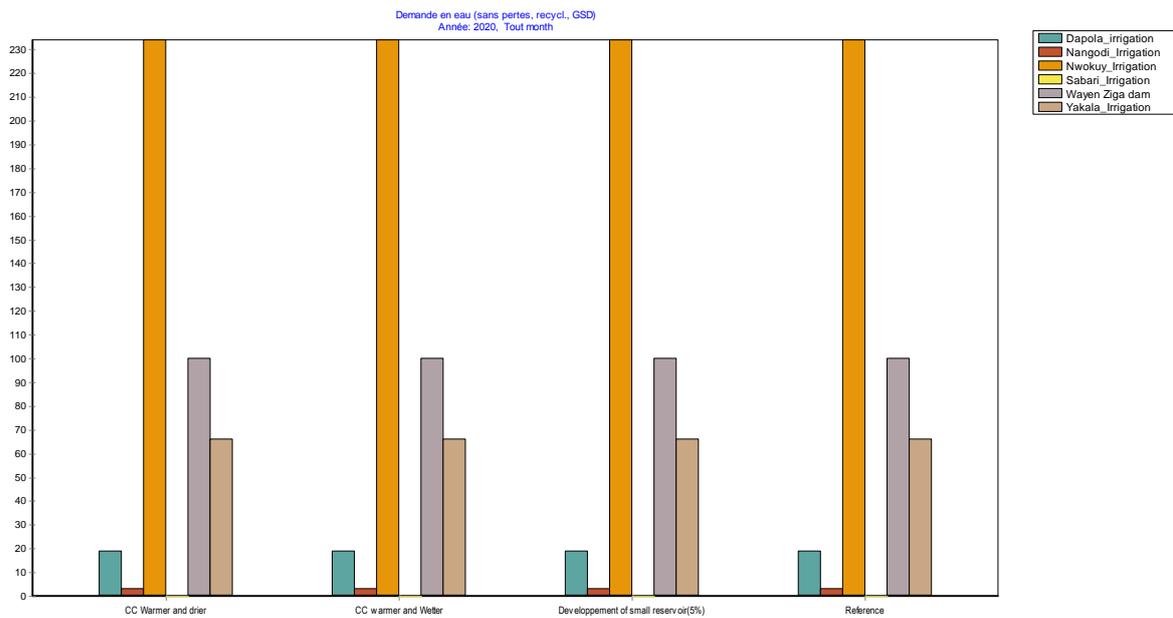
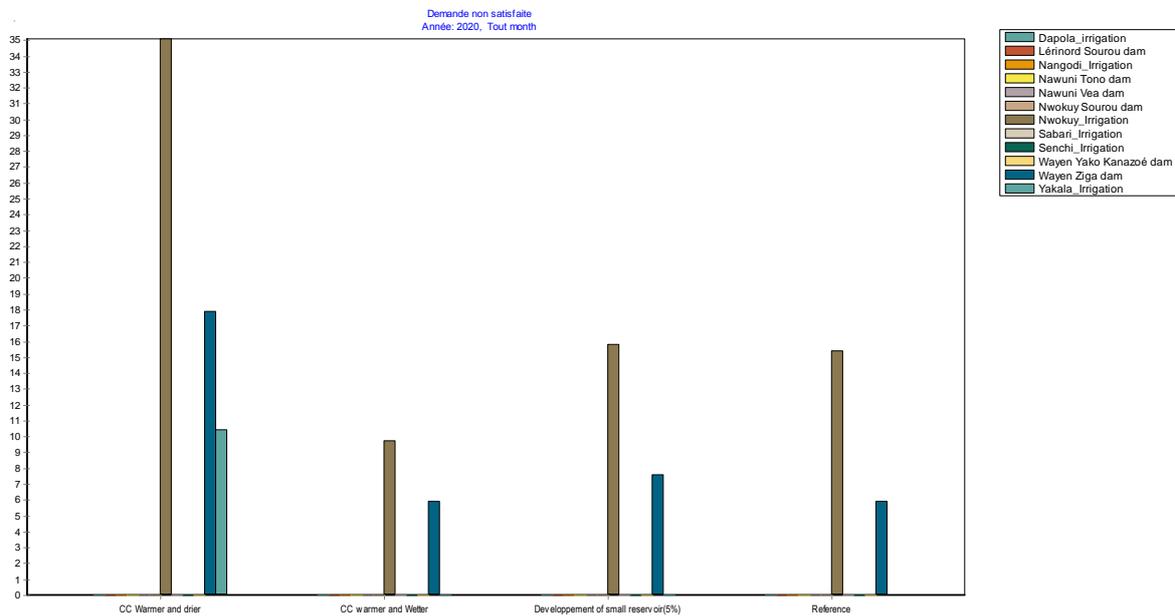


Figure C1 : Demande en eau des grands réservoirs d'irrigation en 2020

Tableau C1 : Demande en eau des grands réservoirs d'irrigation en 2020

Demande en eau (sans pertes, recycl., GSD) (Mètre cube)				
Niveaux, Sélectionné Branche (12/65), Branche: Demand Sites and Catchments, Niveaux: 1, Année: 2020, Tout month				
Grands réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Dapola_irrigation	19000000	19000000	19000000	19000000
Nangodi_Irrigation	3000000	3000000	3000000	3000000
Nwokuy_Irrigation	234000000	234000000	234000000	234000000
Sabari_Irrigation	0	0	0	0
Wayen Ziga dam	100000000	100000000	100000000	100000000
Yakala_Irrigation	66000000	66000000	66000000	66000000
<b>Sum</b>	<b>422000000</b>	<b>422000000</b>	<b>422000000</b>	<b>422000000</b>

## Annexe4 : Résultats des grands réservoirs

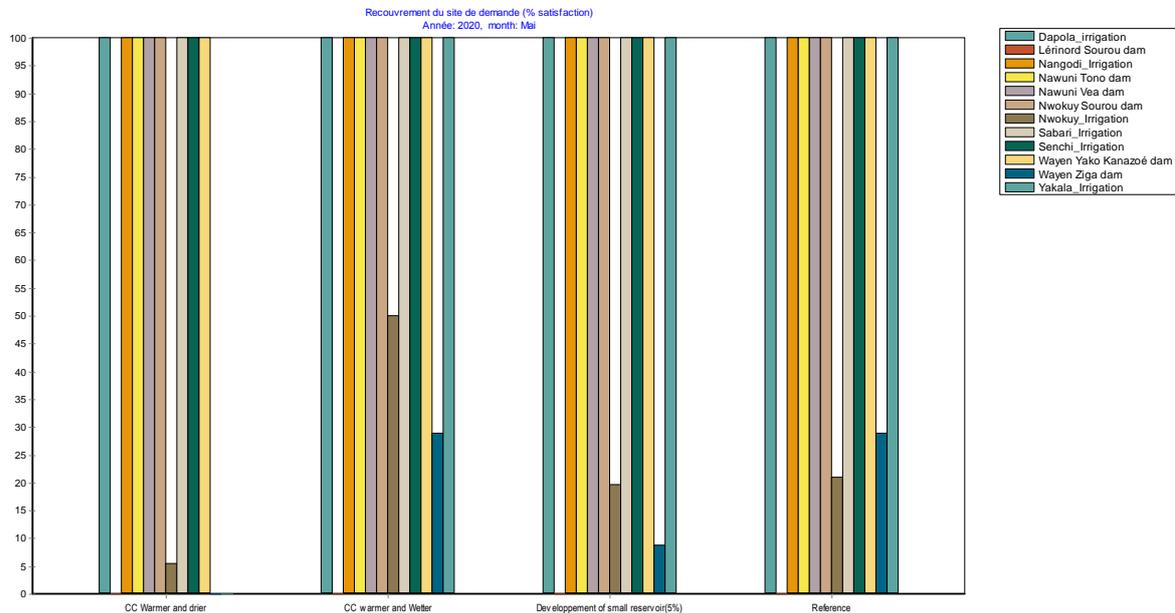


**Figure C2: Demande non satisfaite des grands réservoirs en 2020**

**Tableau C2: Demande non satisfaite des grands réservoirs en 2020**

Demande non satisfaite (Mètre cube)				
SélectionnéSite de demande (12/65), Année: 2020, Tout month				
Grands réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Dapola_ Irrigation	0	0	0	0
Lérinord Sourou dam	0	0	0	0
Nangodi_ Irrigation	0	0	0	0
Nawuni Tono dam	0	0	0	0
Nawuni Vea dam	0	0	0	0
Nwokuy Sourou dam	0	0	0	0
Nwokuy_ Irrigation	35071622.71	9733996.821	15776419.03	15418387.71
Sabari_ Irrigation	0	0	0	0
Senchi_ Irrigation	0	0	0	0
Wayen Yako Kanazoé dam	0	0	0	0
Wayen Ziga dam	17908437.79	5920049.8	7600669.187	5923616.849
Yakala_ Irrigation	10443055.52	0	0	0
<b>Sum</b>	<b>63423116.02</b>	<b>15654046.62</b>	<b>23377088.22</b>	<b>21342004.56</b>

## Annexe4 : Résultats des grands réservoirs



FigureC3 : Recouvrement de la Demande en eau des grands réservoirs en 2020

Tableau C3 : Recouvrement de la Demande en eau des grands réservoirs en 2020

Recouvrement du site de demande (% satisfaction) (Pourcent)				
SélectionnéSite de demande (12/65), Année: 2020, month: Mai				
Grands réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Dapola_ Irrigation	100	100	100	100
Lérinord Sourou dam	0	0	0	0
Nangodi_ Irrigation	100	100	100	100
Nawuni Tono dam	100	100	100	100
Nawuni Vea dam	100	100	100	100
Nwokuy Sourou dam	100	100	100	100
Nwokuy_ Irrigation	5.52	50.08	19.62	20.93
Sabari_ Irrigation	100	100	100	100
Senchi_ Irrigation	100	100	100	100
Wayen Yako Kanazocé dam	100	100	100	100
Wayen Ziga dam	0.0	29.0	8.8	28.9

Yakala_Irrigation	0	100	100	100
-------------------	---	-----	-----	-----

NB : 100% tous les autres mois sauf mai et juin

## Annexe4 : Résultats des grands réservoirs

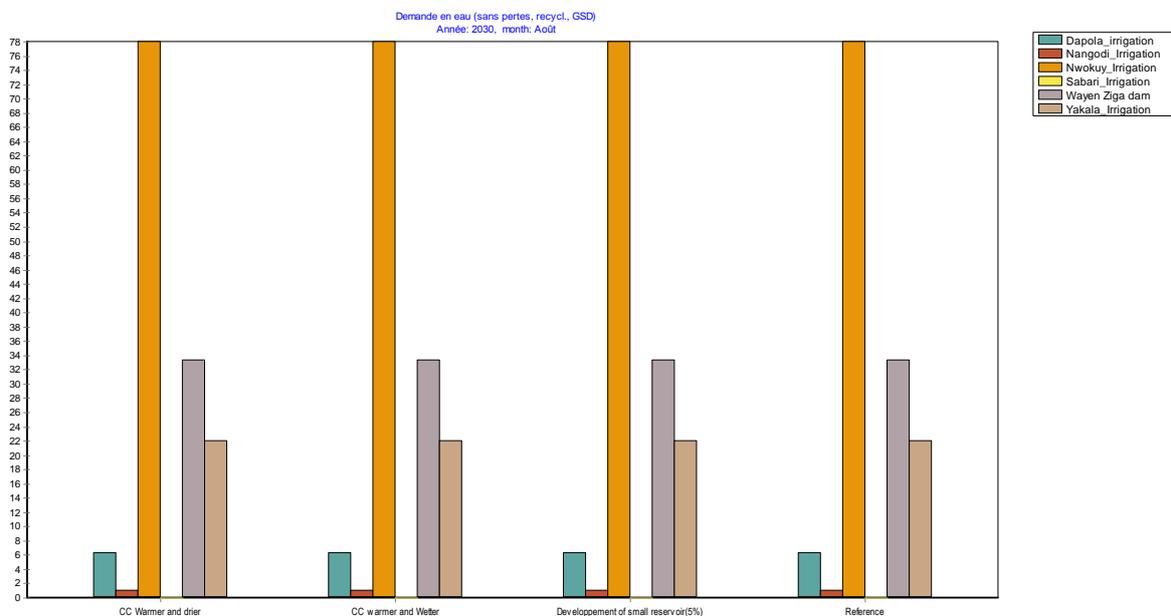


Figure C4 : Demande en eau des grands réservoirs d'irrigation en 2030

Tableau C4 : Demande en eau des grands réservoirs d'irrigation en 2030

Demande en eau (sans pertes, recycl., GSD) (Mètre cube)				
Niveaux, Sélectionné Branche (12/65), Branche: Demand Sites and Catchments, Niveaux: 1, Année: 2030, month: Août				
Grands réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Dapola_irrigation	6333333.333	6333333.333	6333333.333	6333333.333
Nangodi_Irrigation	1000000	1000000	1000000	1000000
Nwokuy_Irrigation	78000000	78000000	78000000	78000000
Sabari_Irrigation	0	0	0	0
Wayen Ziga dam	33333333.33	33333333.33	33333333.33	33333333.33
Yakala_Irrigation	22000000	22000000	22000000	22000000
<b>Sum</b>	<b>140666666.7</b>	<b>140666666.7</b>	<b>140666666.7</b>	<b>140666666.7</b>



## Annexe4 : Résultats des grands réservoirs

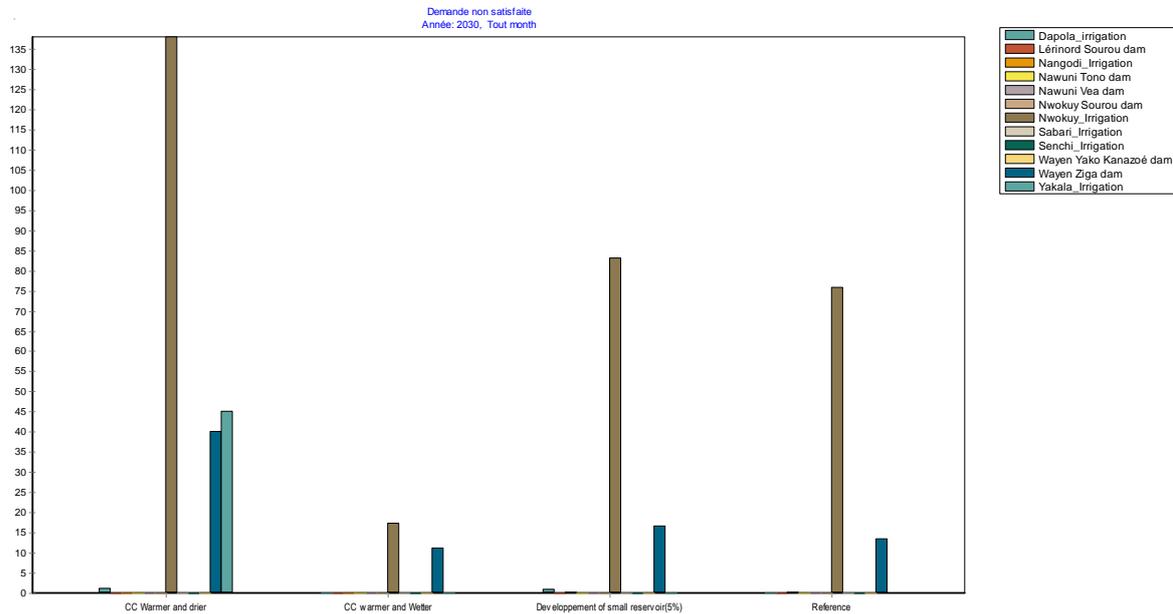


Figure C5 : Demande en eau non satisfaite des grands réservoirs en 2030

Tableau C5 : Demande en eau non satisfaite des grands réservoirs en 2030

Demande non satisfaite (Mètre cube)				
SélectionnéSite de demande (12/65), Année: 2030, Tout month				
Grands réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Référence
Dapola Irrigation	1040165.45	0.00	805857.34	0.00
Lérinord Sourou dam	0	0	0	0
Nangodi Irrigation	0	0	250000	194197.3221
Nawuni Tono dam	0	0	0	0
Nawuni Veà dam	0	0	0	0
Nwokuy Sourou dam	0	0	0	0
Nwokuy Irrigation	137983553.05	17193083.56	83043530.81	75771171.10
Sabari Irrigation	0	0	0	0
Senchi Irrigation	0	0	0	0
Wayen Yako Kanazoé dam	0	0	0	0
Wayen Ziga dam	40086073.73	11252294.59	16666666.67	13413768.77
Yakala Irrigation	45090142.37	0	0	0
<b>Sum</b>	<b>224199934.6</b>	<b>28445378.14</b>	<b>100766054.8</b>	<b>89379137.18</b>

## Annexe4 : Résultats des grands réservoirs

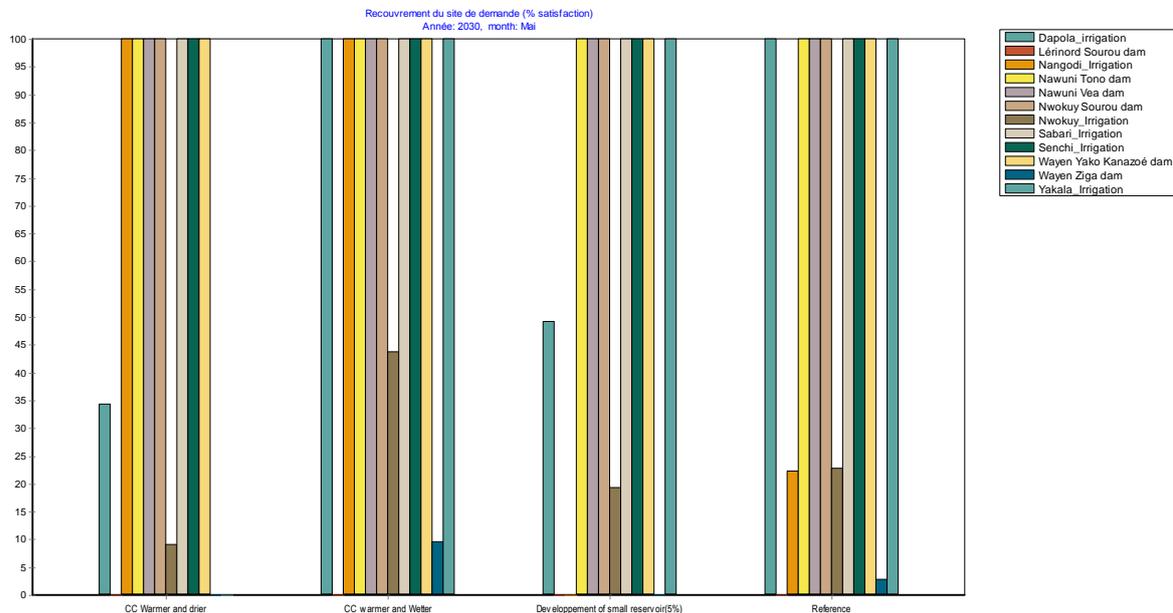


Figure C6: Recouvrement de la Demande en eau des grands réservoirs en 2030

Tableau C6: Recouvrement de la Demande en eau des grands réservoirs en 2030

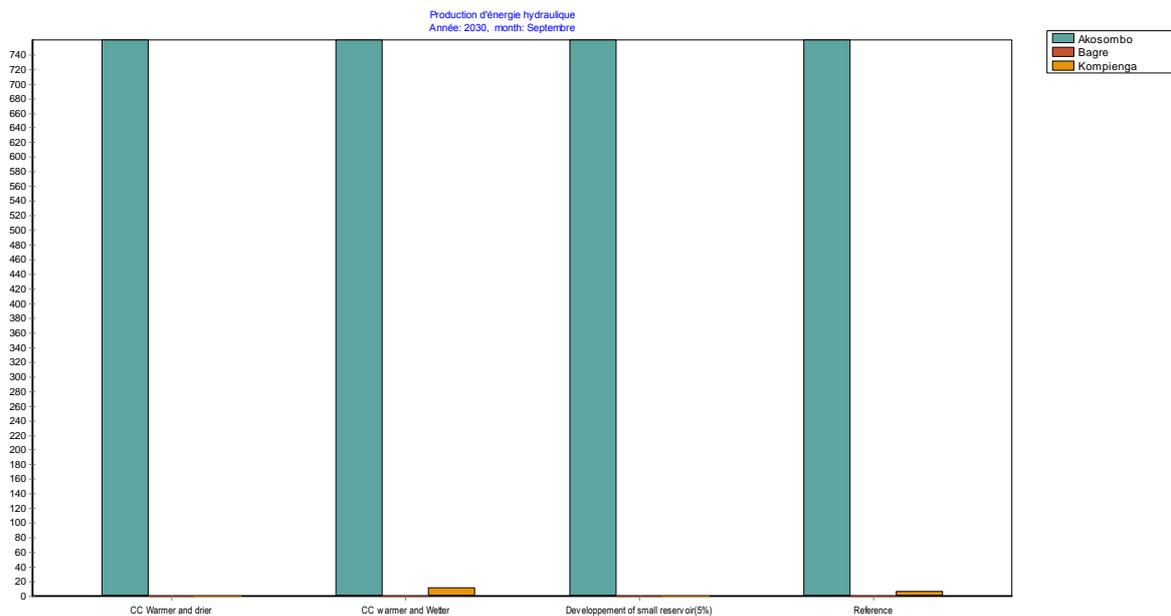
Recouvrement du site de demande (% satisfaction) (Pourcent)				
SélectionnéSite de demande (12/65), Année: 2030, month: Mai				
Grands réservoirs	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Dapola_ Irrigation	34.31	100.00	49.10	100.00
Lérinord Sourou dam	0	0	0	0
Nangodi_ Irrigation	100	100	0	22.32107117
Nawuni Tono dam	100	100	100	100
Nawuni Vea dam	100	100	100	100
Nwokuy Sourou dam	100	100	100	100
Nwokuy_ Irrigation	9.10	43.73	19.29	22.74
Sabari_ Irrigation	100	100	100	100
Senchi_ Irrigation	100	100	100	100
Wayen Yako Kanazoé dam	100	100	100	100

Wayen Ziga dam	0.00	9.54	0.00	2.83
Yakala_Irrigation	0	100	100	100

NB : jan à Avril et novembre et décembre 100%

## Annexe 5: Impacts des scénarios sur la production hydro-électrique en 2030

- En juillet 2030



**Figure C7: Production Hydro-électrique en juillet 2030**

**Tableau C9 : Production Hydro-électrique en juillet 2030**

Production d'énergie hydraulique (Gigajoule)				
Tout Retenue, Année: 2030, month: Septembre				
	CC Warmer and drier	CC warmer and Wetter	Developpement of small reservoir(5%)	Reference
Akosombo	759679.4683	759679.4683	759679.4683	759679.4683
Bagre	0	0	0	0
Kompienga	0	11047.35962	0	6795.048476
<b>Sum</b>	<b>759679.4683</b>	<b>770726.8279</b>	<b>759679.4683</b>	<b>766474.5168</b>

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin de WAYEN				
Période	Q <sub>obs,i</sub>	Q <sub>sim,i</sub>	Q <sub>obs,moy</sub>	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1964	0	1234.76543	287706215	<b>0.81790578</b>
1965	339763507	387771884		
1966	70302210.6	70492770.8		
1967	259854570	234927285		
1968	58236278.7	50443271		
1969	113644252	155493828		
1970	106073110	158036555		
1971	0	5342.55457		
1972	25702963.7	27851481.8		
1973	231452728	320726364		
1974	652703362	731351681		
1975	277712845	243856422		
1976	155827411	182913705		
1977	202655774	206327887		
1978	368243640	389121820		
1979	303955293	356977647		
1980	336803020	373401510		
1981	563202206	586601103		
1982	247714503	228857251		
1983	433873414	421936707		
1984	185919493	197959746		
1985	454245661	232122831		
1986	424023549	417011774		
1987	178060030	184030015		
1988	927924690	468962345		
1989	397239295	303619648		
1990	135275184	172637592		
1991	415929423	312964712		
1992	408653170	409326585		
1993	248509377	229254689		
1994	402929857	406464928		
1995	54803952.3	52401976.2		

1996	309962678	359981339		
1997	212733042	211366521		
1998	551867046	580933523		
1999	782359780	796179890		
2000	94678849.1	92339424.6		
2001	0	14416.69522		
<b>Bassin YAKALA</b>				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1976	0	1920.4321	846279527	<b>0.74690235</b>
1977	211591788	245591788		
1978	438811780	238811780		
1979	1164329003	2164329003		
1980	1191378362	1491378362		
1981	1022759150	1722759150		
1982	419263004	429263004		
1983	688451346	612451346		
1984	278760096	258760096		
1985	1157123232	1270240215		
1986	1182400691	1382422620		
1987	547244636	527321010		
1988	2120463220	2079886454		
1989	2271616601	2121233443		
1990	0	1234.88767		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin NANGODI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1958	514731627	360312139	449503619	<b>0.91079031</b>
1959	318836736	223185715		
1960	293552643	205486850		
1961	0	146578395		
1962	1002445632	1219543792		
1963	96816385.7	243373123		
1964	1080196149	1114635318		
1965	429444273	445221868		
1966	96361922.7	177300423		
1967	823078360	750030296		
1968	522475662	540249301		
1969	1062956433	1061821162		
1970	499455057	520242061		
1971	668659451	627378270		
1972	269951098	352406935		
1973	444129800	442960495		
1974	884057943	922635194		
1975	255921128	387992635		
1976	127983460	275068746		
1977	0	125031095		
1978	48522238.2	163235177		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin PWALUGU				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1970	0	249290661	847626916	<b>0.84470936</b>
1971	3296241087	3134724685		
1972	1522562751	1624992998		
1973	2966146633	2825801589		
1974	58244312.2	561639187		
1975	992240041	1246487947		
1976	1441092367	1550520182		
1977	891129568	1063936579		
1978	500807231	641971427		
1979	0	250730905		
1980	245314646	501644289		
1981	0	230926192		
1982	0	175041913		
1983	0	192592365		
1984	0	156169525		
1985	0	184127930		
1986	0	178552883		
1987	0	1958690.87		
1988	1539537393	1545808797		
1989	4624715648	4416843465		
1990	569760466	1419208051		
1991	0	1934796410		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin NAWUNI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1984	0	735843898	7731368834	<b>0.8111631</b>
1985	4202099310	3935963443		
1986	5834440308	5292555986		
1987	6639166037	5801473361		
1988	8397227565	6833673501		
1989	1.3407E+10	1.0827E+10		
1990	4059661292	3572845793		
1991	1.264E+10	1.0079E+10		
1992	4004614949	4114026729		
1993	8290578177	6709203367		
1994	1.296E+10	1.0719E+10		
1995	8375271274	6870819680		
1996	9070134697	7725606403		
1997	3831574697	3418338592		
1998	8254337146	7264504272		
1999	1.5532E+10	1.3611E+10		
2000	6414345526	5262143350		
2001	7313913790	6019175753		
2002	5131584584	4326359749		
2003	1.265E+10	9139826724		
2004	7012217891	4996144183		
2005	6070937620	4249656624		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin NWOKUY				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1964	0	157521652	566199272	<b>0.85373566</b>
1965	949322155	941825783		
1966	574177684	588868691		
1967	653995040	685342366		
1968	881581622	880503093		
1969	905399676	869570485		
1970	1485102101	1382266484		
1971	697498475	684701304		
1972	292901962	308245771		
1973	203424139	214023514		
1974	791484227	783368930		
1975	590820216	599234960		
1976	450867944	462755307		
1977	430412142	453628585		
1978	524043296	527102180		
1979	909823536	864156725		
1980	515736900	509151084		
1981	419805328	439130121		
1982	407434579	407863425		

1983	206353698	576045839		
1984	0	425838735		

## **Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres**

Bassin DAPOLA				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1960	3487606231	2441324362	2408925705	<b>0.83476858</b>
1961	2415103343	2912907213		
1962	0	1580862063		
1963	3892793498	3965962342		
1964	2614574623	3564755619		
1965	3858319870	4025476527		
1966	1837338342	2216892120		
1967	2468342778	3035607461		
1968	2615974270	2902382689		
1969	2066323456	2459467115		
1970	4479365537	4678864698		
1971	3776265832	3725592583		
1972	1497518515	1638839958		
1973	1280033692	1337487018		
1974	3665645193	3577294629		
1975	2345459797	2585984735		
1976	1971362007	2145778290		
1977	2337314127	2395175905		
1978	1890823760	2124281421		
1979	3074975544	3006241198		
1980	2506105647	2449345376		
1981	2054943979	2334574152		
1982	1305094021	1383448624		
1983	1044593614	1114115625		
1984	871641204	984197842		
1985	3099246700	2996016881		
1986	2374387282	2601138891		
1987	2133566262	2050780566		
1988	3312915758	3620088050		
1989	3265546394	3236653345		
1990	1067139954	1239603635		
1991	993700237	1605559472		
1992	1352033866	1816312331		
1993	1791023497	1935096151		
1994	3611951006	4601025769		
1995	1920096973	1976180075		

1996	1538458828	1996224312		
1997	1612540179	1661481728		
1998	2443782881	2864423018		
1999	6384572076	5520426849		
2000	3017313043	2843498489		
2001	2835195222	2913608187		
2002	1823563330	1661278054		
2003	2058178658	1452390850		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin NOUMBIEL				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1980	0	695071423	2191880703	<b>0.93186249</b>
1981	2205731262	2440125251		
1982	1157316753	1280004536		
1983	1403677817	1365474568		
1984	1213425175	1223446621		
1985	4420867235	3921151256		
1986	2995946195	3036230130		
1987	2543260913	2337566821		
1988	2999868797	3400955177		
1989	4954811025	4419138587		
1990	618833930	925789418		
1991	858156861	1510679108		
1992	698651219	1358944478		
1993	1439944972	1689341183		
1994	5227963646	5732234618		
1995	2331635447	2264257006		

**optimales obtenues des paramètres**

## **Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres**

<b>Bassin BAMBOI</b>				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1960	6543314814	3925988889	5989911540	<b>0.81856644</b>
1961	3725409947	4828795286		
1962	8637683674	9188459765		
1963	1.6468E+10	1.4527E+10		
1964	6699079415	7685462510		
1965	9502362023	9143319501		
1966	3366526760	4887538299		
1967	3680860117	4975006801		
1968	1.4507E+10	1.3673E+10		
1969	8657120166	7817506406		
1970	6070830875	6733461274		
1971	5979220301	6433770528		
1972	1082095620	2611339051		
1973	3097567989	3998618151		
1974	6716488832	6348555683		
1975	4051118905	4844364678		
1976	352348712	2220967795		
1977	2956547528	4062703259		
1978	0	2352283393		
1979	0	3295462655		
1980	42190846.9	2706114885		
1981	0	2332269171		
1982	1933554241	2518150031		
1983	0	1117456945		
1984	4628733040	4880444591		
1985	0	3025910213		
1986	0	1709481458		
1987	0	2182136137		
1988	0	2841762272		
1989	7435817280	8602315747		
1990	1493833512	2566919756		
1991	1.7528E+10	1.3476E+10		
1992	1.0008E+10	7981886235		
1993	2182947003	3074736464		
1994	9307796772	9318639034		

1995	8039132071	7090196963		
1996	111367877	3186820042		
1997	0	1927375571		
1998	0	2661473698		
1999	7760414318	8204531427		
2000	8514883322	7562139803		
2001	1.6449E+10	1.2358E+10		
2002	1.6925E+10	1.1899E+10		
2003	3.9102E+10	2.3494E+10		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin KOMPIENGA				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1981	0	2376.92767	185857579	<b>0.98575947</b>
1982	231905293	200058414		
1983	177479685	199799767		
1984	111007322	116893283		
1985	477182187	481025305		
1986	244555813	253236671		
1987	244730335	272382397		
1988	0	2036.64025		

Bassin KOUMANGOU				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1981	0	10136.4065	784176188	<b>0.76463449</b>
1982	974896493	1067174713		
1983	658467266	679541772		
1984	500363665	470525507		
1985	709872243	741866486		
1986	46977493.7	872489072		
1987	646969759	1040077443		
1988	1180640741	1310217437		
1989	1581942134	1129706577		
1990	933296058	1087809684		

1991	2176688406	2280176611		
1992	0	91684.4959		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin SABARI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1960	1.2306E+10	7383685248	10539537984	<b>0.757910077</b>
1961	6681197952	5137629751		
1962	1.7479E+10	1.3739E+10		
1963	1.8193E+10	1.5409E+10		
1964	1.0257E+10	9984352850		
1965	6031298016	6515799003		
1966	7647193152	7008003975		
1967	1.0909E+10	9554606539		
1968	1.4197E+10	1.2062E+10		
1969	1.4236E+10	1.1789E+10		
1970	1.5063E+10	1.1662E+10		
1971	1.2556E+10	1.0695E+10		
1972	5939179200	5587957371		
1973	6579402336	6703971027		
1974	19798560	2983486548		

**optimales obtenues des paramètres**

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin EKUMDIPE				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1962	0	366009980.8	1489490806	<b>0.91032932</b>
1963	3493031040	3099810492		
1964	466306848	421038831.2		
1965	2014248384	1991190414		
1966	1838730240	1725170438		
1967	2084086368	1741516260		
1968	2074173696	1893388090		
1969	2235055680	1828067942		
1970	1482924672	1248130095		
1971	1534546080	1774982161		
1972	888725088	880049184.5		
1973	1251418464	1236354470		
1974	133920	551643284.2		

**optimales obtenues des paramètres**

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin PRANG				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1960	474158016	403034314	973160736	0.89756486
1961	469382688	615680307		
1962	371971008	911876029		
1963	4571436960	4750411947		
1964	485136000	879317560		
1965	1049562144	1375683769		
1966	1157839488	1565814461		
1967	178960320	505607425		
1968	0	848562401		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin SENCHI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1984	0	7837021082	32214163765	<b>0.959457652</b>
1985	4.1019E+10	3.7853E+10		
1986	1.9239E+10	1.9741E+10		
1987	3.3873E+10	3.0886E+10		
1988	3.7019E+10	3.2485E+10		
1989	6.3454E+10	5.7455E+10		
1990	1.2112E+10	1.3776E+10		
1991	6.1827E+10	5.667E+10		
1992	1.2347E+10	1.4733E+10		
1993	2.7505E+10	2.5981E+10		
1994	3.6846E+10	3.5632E+10		
1995	4.3038E+10	3.8437E+10		
1996	3.8165E+10	3.6254E+10		
1997	2.5809E+10	2.4337E+10		
1998	3.333E+10	3.2967E+10		
1999	6.2058E+10	5.9E+10		
2000	0	5997017951		

## Annexe5 : Valeurs de Nash pour les valeurs optimales obtenues des paramètres

Bassin ARLY				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1979	0	97782.355	296334817	<b>0.88399495</b>
1980	732088787	579756513		
1981	374265786	289359583		
1982	0	24466271.5		
1983	15580252.6	32611413.5		
1984	43328218.5	53488503.4		
1985	320122374	297768218		
1986	0	46452172.1		
1987	149056931	125621370		
1988	1597059886	1234408468		
1989	445391144	424248992		
1990	456728803	366814947		
1991	0	115336086		
1992	278421835	305809531		
1993	820097830	636462047		
1994	0	1179362.53		
1995	234868903	221619386		
1996	0	72966.5597		
1997	459685583	346256082		
1998	0	339023255		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin de WAYEN				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1964	0	1833713296		
1965	339763507	1696611244		
1966	70302210.6	1607850572		
1967	259854570	1429906887		
1968	58236278.7	1540998699		
1969	113644252	1239997726		
1970	106073110	681447728.7		
1971	0	931600534.6		
1972	25702963.7	795247535.5		
1973	231452728	833206848.5		
1974	652703362	1576599145		
1975	277712845	1222635171		
1976	155827411	1417113274		
1977	202655774	1153395317		
1978	368243640	1337391677		
1979	303955293	851461478.7		
1980	336803020	704018161.2	287706215	-20.5634886
1981	563202206	1116112155		
1982	247714503	443917444.4		
1983	433873414	488769058.4		
1984	185919493	442876666.1		
1985	454245661	624247944.3		
1986	424023549	1072653930		
1987	178060030	675136551.3		
1988	927924690	1577606606		
1989	397239295	1258361049		
1990	135275184	750079505.3		
1991	415929423	1314825134		
1992	408653170	1381920923		
1993	248509377	1061120049		
1994	402929857	2456152883		
1995	54803952.3	1047612355		
1996	309962678	1632614687		

1997	212733042	791487270.2	
1998	551867046	1565437145	
1999	782359780	1871842975	
2000	94678849.1	703017519.7	
2001	0	1441687449	

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin YAKALA				
Période	Q <sub>obs,i</sub>	Q <sub>sim,i</sub>	Q <sub>obs,moy</sub>	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1976	0	4249812242	846279527	-6.31084018
1977	211591788	2634721004		
1978	438811780	3238228881		
1979	1164329003	2397056470		
1980	1191378362	2064025271		
1981	1022759150	2614826055		
1982	419263004	1456113779		
1983	688451346	1629174180		
1984	278760096	1204101443		
1985	1157123232	1861389644		
1986	1182400691	2378830893		
1987	547244636	2093913216		
1988	2120463220	3425539360		
1989	2271616601	2854977832		
1990	0	1866071843		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin NANGODI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1958	514731627	0	449503619	-12.0789259
1959	318836736	0		
1960	293552643	0		
1961	0	1288997255		
1962	1002445632	2851214111		
1963	96816385.7	1704432986		
1964	1080196149	2591546012		
1965	429444273	1510910809		
1966	96361922.7	1315933864		
1967	823078360	1480242723		
1968	522475662	1852177191		
1969	1062956433	2262388625		
1970	499455057	1521469890		
1971	668659451	1416508332		
1972	269951098	1905756569		
1973	444129800	1433008871		
1974	884057943	1884571075		
1975	255921128	1603077451		
1976	127983460	2142268049		
1977	0	1132766495		
1978	48522238.2	1645716352		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin PWALUGU				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1970	0	4576747587	847626916	-11.5173051
1971	3296241087	4881808556		
1972	1522562751	6575211400		
1973	2966146633	4587543183		
1974	58244312.2	6936692329		
1975	992240041	5974008631		
1976	1441092367	7640415946		
1977	891129568	4780423845		
1978	500807231	5961194963		
1979	0	5528705670		
1980	245314646	4107944213		
1981	0	4738395236		
1982	0	3330747867		
1983	0	3437119179		
1984	0	2741007860		
1985	0	4045460918		
1986	0	4594308363		
1987	0	4469144479		
1988	1539537393	5760998004		
1989	4624715648	5385685235		
1990	569760466	3401252416		
1991	0	6449321367		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin NAWUNI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1984	0	8079552092	7731368834	-1.50827848
1985	4202099310	1.1295E+10		
1986	5834440308	1.4006E+10		
1987	6639166037	1.3414E+10		
1988	8397227565	1.2684E+10		
1989	1.3407E+10	1.3171E+10		
1990	4059661292	8045132642		
1991	1.264E+10	1.5539E+10		
1992	4004614949	1.2672E+10		
1993	8290578177	1.0602E+10		
1994	1.296E+10	1.5665E+10		
1995	8375271274	9796225470		
1996	9070134697	1.5241E+10		
1997	3831574697	8707784465		
1998	8254337146	1.6084E+10		
1999	1.5532E+10	2.1426E+10		
2000	6414345526	9068776430		
2001	7313913790	1.0539E+10		
2002	5131584584	8315977288		
2003	1.265E+10	897023259		
2004	7012217891	697753792		
2005	6070937620	11400.7841		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin NWOKUY				
Période	Q <sub>obs,i</sub>	Q <sub>sim,i</sub>	Q <sub>obs,moy</sub>	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1964	0	4444545973	566199272	-39.6744178
1965	949322155	3409969996		
1966	574177684	2928856220		
1967	653995040	3533316726		
1968	881581622	3809728141		
1969	905399676	2636266382		
1970	1485102101	4238604010		
1971	697498475	2403451612		
1972	292901962	1903150013		
1973	203424139	1237958371		
1974	791484227	2851901181		
1975	590820216	2822027160		
1976	450867944	2525283278		
1977	430412142	2621726449		
1978	524043296	2437342671		
1979	909823536	2404729138		
1980	515736900	2024204216		
1981	419805328	2439311171		
1982	407434579	1862045776		
1983	206353698	1130584050		
1984	0	1064596838		

## **Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres**

Bassin DAPOLA				
Période	Q <sub>obs,i</sub>	Q <sub>sim,i</sub>	Q <sub>obs,moy</sub>	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1960	3487606231	0	2408925705	-63.8758151
1961	2415103343	1.1832E+10		
1962	0	1.6114E+10		
1963	3892793498	1.5357E+10		
1964	2614574623	1.8416E+10		
1965	3858319870	1.4878E+10		
1966	1837338342	1.2405E+10		
1967	2468342778	1.4058E+10		
1968	2615974270	1.5432E+10		
1969	2066323456	1.2252E+10		
1970	4479365537	1.616E+10		
1971	3776265832	1.1735E+10		
1972	1497518515	8114844681		
1973	1280033692	5527166030		
1974	3665645193	1.1353E+10		
1975	2345459797	1.1947E+10		
1976	1971362007	1.0858E+10		
1977	2337314127	9801325837		
1978	1890823760	1.0807E+10		
1979	3074975544	1.1892E+10		
1980	2506105647	8573640726		
1981	2054943979	1.0902E+10		
1982	1305094021	6306927121		
1983	1044593614	4516835150		
1984	871641204	4604468577		
1985	3099246700	9830706105		
1986	2374387282	1.223E+10		
1987	2133566262	7135009291		
1988	3312915758	1.3045E+10		
1989	3265546394	1.0629E+10		
1990	1067139954	6322375396		
1991	993700237	1.1766E+10		
1992	1352033866	1.1434E+10		
1993	1791023497	8443742283		
1994	3611951006	1.9536E+10		
1995	1920096973	9048090700		

1996	1538458828	1.1579E+10		
1997	1612540179	7516395520		
1998	2443782881	1.4474E+10		
1999	6384572076	1.2083E+10		
2000	3017313043	1.0165E+10		
2001	2835195222	1.0669E+10		
2002	1823563330	4851614898		
2003	2058178658	25248344.8		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin NOUMBIEL				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1980	0	8573640726	2191880703	-26.3059082
1981	2205731262	1.0902E+10		
1982	1157316753	6306927121		
1983	1403677817	4516835150		
1984	1213425175	4604468577		
1985	4420867235	9830706105		
1986	2995946195	1.223E+10		
1987	2543260913	7135009291		
1988	2999868797	1.3045E+10		
1989	4954811025	1.0629E+10		
1990	618833930	6322375396		
1991	858156861	1.1766E+10		
1992	698651219	1.1434E+10		
1993	1439944972	8443742283		
1994	5227963646	1.9536E+10		
1995	2331635447	9048090700		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin BAMBOI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1960	6543314814	0		
1961	3725409947	1.421E+10		
1962	8637683674	2.2664E+10		
1963	1.6468E+10	2.6254E+10		
1964	6699079415	2.4466E+10		
1965	9502362023	2.1299E+10		
1966	3366526760	1.8681E+10		
1967	3680860117	1.8325E+10		
1968	1.4507E+10	2.7933E+10		
1969	8657120166	1.824E+10		
1970	6070830875	2.0155E+10		
1971	5979220301	1.6969E+10		
1972	1082095620	1.2904E+10		
1973	3097567989	1.0799E+10		
1974	6716488832	1.5218E+10		
1975	4051118905	1.6431E+10	5989911540	-2.51952197
1976	352348712	1.4824E+10		
1977	2956547528	1.435E+10		
1978	0	1.5805E+10		
1979	0	1.8934E+10		
1980	42190846.9	1.5559E+10		
1981	0	1.5833E+10		
1982	1933554241	9578647651		
1983	0	6737920787		
1984	4628733040	9744581417		
1985	0	1.6096E+10		
1986	0	1.4389E+10		
1987	0	1.1665E+10		
1988	0	1.7368E+10		
1989	7435817280	1.941E+10		
1990	1493833512	1.0565E+10		

1991	1.7528E+10	1.8256E+10		
1992	1.0008E+10	1.4688E+10		
1993	2182947003	1.1635E+10		
1994	9307796772	2.3164E+10		
1995	8039132071	1.4704E+10		
1996	111367877	1.8795E+10		
1997	0	1.2536E+10		
1998	0	1.876E+10		
1999	7760414318	1.9401E+10		
2000	8514883322	1.6293E+10		
2001	1.6449E+10	1.5253E+10		
2002	1.6925E+10	9140366581		
2003	3.9102E+10	58333799.2		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin KOMPIENGA				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1981	0	736237799	185857579	-8.64888735
1982	231905293	679340841		
1983	177479685	454563830		
1984	111007322	428874349		
1985	477182187	589180499		
1986	244555813	468239159		
1987	244730335	537415592		
1988	0	747720637		

**intermédiaires obtenues des paramètres**

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin KOUMANGOU				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1981	0	1552587338	784176188	-1.0056674
1982	974896493	1550712283		
1983	658467266	1041118441		
1984	500363665	917236045		
1985	709872243	1082268855		
1986	46977493.7	1409456038		
1987	646969759	1491689225		
1988	1180640741	1754652041		
1989	1581942134	1680366710		
1990	933296058	1545025481		
1991	2176688406	3049488369		
1992	0	1466694803		

**intermédiaires obtenues des paramètres**

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs intermédiaires obtenues des paramètres

Bassin SABARI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1960	1.2306E+10	0	10539537984	-0.19765989
1961	6681197952	3609173509		
1962	1.7479E+10	9816358939		
1963	1.8193E+10	1.3255E+10		
1964	1.0257E+10	1.126E+10		
1965	6031298016	9272608062		
1966	7647193152	8021697948		
1967	1.0909E+10	9463390061		
1968	1.4197E+10	1.1389E+10		
1969	1.4236E+10	1.0518E+10		
1970	1.5063E+10	7927062662		
1971	1.2556E+10	9587102246		
1972	5939179200	7666085390		
1973	6579402336	7897223891		
1974	19798560	8883610727		

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin EKUMDIPE				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1962	0	2074022777	1489490806	-0.26927826
1963	3493031040	3125111443		
1964	466306848	1335294212		
1965	2014248384	2566777485		
1966	1838730240	2167049204		
1967	2084086368	1901941135		
1968	2074173696	2546652963		
1969	2235055680	1957989767		
1970	1482924672	1388085149		
1971	1534546080	2823353759		
1972	888725088	1915006529		
1973	1251418464	1850824123		
1974	133920	2379152490		

**intermédiaires obtenues des paramètres**

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin PRANG				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1960	474158016	0	973160736	-3.55267279
1961	469382688	1444700151		
1962	371971008	3971337813		
1963	4571436960	5764603543		
1964	485136000	3113013067		
1965	1049562144	3223706311		
1966	1157839488	3877672640		
1967	178960320	2356607687		
1968	0	5657082671		

**intermédiaires obtenues des paramètres**

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin SENCHI				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1984	0	5.4229E+10	32214163765	-2.33097218
1985	4.1019E+10	6.4059E+10		
1986	1.9239E+10	5.848E+10		
1987	3.3873E+10	5.5124E+10		
1988	3.7019E+10	5.6071E+10		
1989	6.3454E+10	7.7771E+10		
1990	1.2112E+10	4.6347E+10		
1991	6.1827E+10	9.1762E+10		
1992	1.2347E+10	5.504E+10		
1993	2.7505E+10	5.4126E+10		
1994	3.6846E+10	7.4764E+10		
1995	4.3038E+10	6.2388E+10		
1996	3.8165E+10	7.3905E+10		
1997	2.5809E+10	5.5656E+10		
1998	3.333E+10	7.2572E+10		
1999	6.2058E+10	9.4534E+10		
2000	0	5.6629E+10		

intermédiaires obtenues des paramètres

## Annexe 6 : Valeurs de Nash pour les valeurs

Bassin ARLY				
Période	$Q_{obs,i}$	$Q_{sim,i}$	$Q_{obs,moy}$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{obs,moy})^2}$
1979	0	1014189557	296334817	-2.93990653
1980	732088787	896108035		
1981	374265786	549621855		
1982	0	534755907		
1983	15580252.6	469397800		
1984	43328218.5	499471565		
1985	320122374	816870047		
1986	0	759412745		
1987	149056931	476560655		
1988	1597059886	1034488081		
1989	445391144	1104083562		
1990	456728803	737927619		
1991	0	1204126479		
1992	278421835	1104930713		
1993	820097830	813004220		
1994	0	1131279802		
1995	234868903	776112204		
1996	0	950620065		
1997	459685583	585373790		
1998	0	1931203856		

**intermédiaires obtenues des paramètres**

## Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés

### Le modèle M<sup>3</sup>-Water

<i>Description et contexte d'utilisation du modèle</i>	<p>Le modèle M3-Water est un modèle intégré hydro-économique dont le module hydrologique est géré par le modèle MIKE bassin et le module économique géré par le modèles GAMS.</p> <p>Le modèle M3-Water a été mis au point dans le cadre du projet Glowa de la Volta pour les deux principaux pays du bassin : le Ghana et le Burkina.</p> <p>Il accompagne les responsables politiques et gestionnaires d'agence de bassin dans leur prise de décision en les prévenant de l'impact des politiques de développement qu'ils envisagent sur le bien être de la population ; les niveaux de production agricole et industrielle ; les revenus agricoles ; l'emploi en milieu rural, l'autosuffisance alimentaire ; l'impact sur la production du barrage de Akosombo.</p>
<i>Scénarios analysés</i>	<p>Pour ces deux pays les scénarios que le modèle analyse sont :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Investissement dans l'irrigation</li><li>- Augmentation de la productivité de la main d'œuvre</li><li>- Renforcement de la gestion de l'hydro-électricité</li><li>- Atteinte de l'autosuffisance alimentaire</li></ul>
<i>Eléments d'entrée</i>	<p>Les éléments d'entrée du modèle sont les scénarios ci-dessus et des hypothèses de croissance démographique, des hypothèses de croissance économiques et des scénarios de changement climatique.</p>
<i>Eléments de sortie</i>	<p>En sortie, le modèle mesure l'impact du scénario et de ses hypothèses associées en donnant par rapport à eux:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- les indicateurs du bien-être</li><li>- les niveaux de production agricole et industrielle</li><li>- les revenus agricoles</li><li>- l'emploi en milieu rural</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>- l'autosuffisance alimentaire</li><li>- l'impact sur la production du barrage d'Akosombo.</li></ul>
<p><i>Eléments d'aide à la décision fournis</i></p>	<p>Les indicateurs du bien être social, le niveau de production, les revenus, l'emploi en milieu rural, l'autosuffisance alimentaire sont les éléments fournis par le modèle qui aide dans les prises de décision. Au vu des résultats obtenus du modèle par rapport à ces éléments, le décideur ou le gestionnaire peut revoir les hypothèses de sa politique ou la politique elle-même dans le sens d'avoir de meilleur résultat en sortie. A ce titre, M3-Water est un outil de politique, de recherche, académique et de plaidoyer pour les institutions. Il représente des stratégies nationales de gestion de l'eau et optimise l'allocation des ressources en eau entre les pays, les secteurs et les usages en conflit. Il est donc utilisé comme outil de gestion transfrontalière de l'eau.</p>

## **Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés**

<p><i>Limites du modèle et perspectives</i></p>	<p>MIKE basin qui est un élément intégré du modèle est un modèle cher et non accessible à toutes les institutions. Par ailleurs, l'échelle d'analyse du modèle est limitée aux échelles nationale et de sous-bassins. Une amélioration technique des nouvelles versions du modèle relativement à ces deux points s'impose. Une option alternative en réponse au premier point est d'utiliser WEAP en lieu et place de MIKE basin, WEAP étant semi-public, très rentable et déjà largement utilisé dans le bassin de la Volta et ses agences satellites. La solution au deuxième point est d'étendre dans les nouvelles versions les échelles d'analyses aux échelles régionale et de bassin.</p>
---	--

### **Le modèle GV-Ludas**

**Description et contexte d'utilisation du modèle** Le modèle GV-Ludas est un modèle de simulation des dynamiques de changement des usages de sol. Il est un outil d'aide à la décision multi-agent développé dans le bassin de la Volta dans le cadre du projet Glowa pour la gestion des ressources en terres et en eau et particulièrement appliqué au bassin de Atankwidi(Ghana). Le modèle évalue et met à la disposition des responsables politiques les impacts socio-économiques et environnemental probables des politiques de développement projetées.

Il utilise une approche anticipative pour une gestion durable des ressources en terres et en eau. Ludas est un modèle interdisciplinaire en caractéristiques qui combine les processus biophysique et social aux dynamiques d'usage du sol.

---

**Scénarios analysés** Les scénarios analysés par exemple dans le cadre de l'application du modèle au bassin de Atankwidi sont :

- accès des agriculteurs aux projets de crédits
- construction de petits réservoirs et de barrages

Il faut comprendre ces scénarios par les questions à analyser avec le modèle :

- Quels sont les résultats socio-économiques et leurs conséquences environnementales probables si les agriculteurs ont accès aux crédits agricoles ?
- Quels sont les impacts socio-écologiques probables sur les aménagements et la communauté si de petits barrages d'irrigation sont installés ?

**Eléments d'entrée** Les éléments d'entrée sont les scénarios ci-dessus, des hypothèses d'augmentation des taux de crédits, des hypothèses d'augmentation du nombre de barrages, des données démographiques et de superficie du bassin.

## **Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés**

- Eléments de sortie*** Les éléments de sortie sont des résultats présentés sous forme de graphiques pour chaque scénario.
- Par rapport au premier scénario dans le bassin de Atankwidi, le modèle a donné les résultats de l'impact de l'accès des agriculteurs au crédit sur l'agriculture pluviale et le revenu des ménages. Et des graphiques, on peut y voir que l'octroi de 4% de crédit est presque sans effet sur l'intensification de l'agriculture pluviale.
- Mais à partir de 7 à 10% de crédit, on constate une intensification de l'agriculture pluviale qui prend de plus en plus de terre sur le total des terres agricoles disponibles. Mais c'est une tendance qui n'est pas homogène sur toutes les années à cause de l'irrégularité des pluies. Concernant les cultures de rente, à part les trois premières années où l'on a noté une baisse, leur culture a connu tout le reste des autres années des envolées quelque soit le taux de crédit alloué. Ce qui a eu pour conséquence toutes les années une augmentation du revenu brut annuel par personne.
- par rapport au deuxième scénario, le modèle a donné les résultats de l'impact de l'augmentation de nouveaux barrages sur l'agriculture et le revenu des ménages. En effet, les graphiques du modèle ont montré que l'installation de nouveaux barrages entrainera une diminution des terres agricoles sur lesquelles se pratique l'agriculture pluviale et ceci au profit de l'irrigation. Et l'inégalité dans la distribution des revenus des ménages diminuera car les prélèvements seront contrôlés. Ce qui augmentera les revenus bruts annuels par personne.
- Eléments d'aide à la décision fournis*** *la*-Taux de crédits à accorder pour que le maximum de terre soit cultivé pour les pays du bassin à agriculture pluviale ou n'ayant pas les moyens de se construire des barrages et qui assure et améliore les revenus des ménages
- Nombre de barrages à construire pour faire l'agriculture pluviale et l'irrigation ou faire reculer l'agriculture pluviale dans les zones réservées de façon exclusive à l'irrigation et qui améliore les revenus bruts annuels par personne
- Limites du modèle et perspectives*** *et* Le modèle analyse à l'échelle de sous-bassin. Il serait plus intéressant si ses analyses se font à l'échelle de bassin

## Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés

### Le modèle WEAP

#### *Description et contexte d'utilisation du modèle*

Le modèle WEAP est un modèle d'évaluation et de planification des ressources en eau utilisé dans le bassin de la Volta dans le cadre du programme challenge sur l'eau et l'agriculture(CPWF). Il avait été utilisé de façon collaborative au bassin de la Volta entre deux projet : le projet BFP de la Volta et le projet PAGEV de l'IUCN. Les données utilisées sont les données récentes compilées du projet Volta Hycos et du projet 'small reservoir' du CFPW très pertinentes pour l'Autorité du bassin de la Volta. Ce travail de collaboration a été facilité par l'Institut Environnemental de Stockholm (SEI) pour développer une application de WEAP dont les deux projets ont besoin. L'objectif était de développer un outil d'aide à la décision qui permette la gestion transfrontalière de l'eau et l'analyse des effets du changement climatique et du développement de petits réservoirs à l'amont de la Volta.

#### *Scénarios analysés*

Trois scénarios de changement climatique ont été analysés par rapport au scénario de référence où Il n'y a eu aucun changement climatique :

- climat chaud (référence+2°C)
- climat chaud mais humide

	<ul style="list-style-type: none"><li>- climat chaud mais sec</li></ul>
	Enfin, c'est le scénario de développement de petits réservoirs :
	<ul style="list-style-type: none"><li>- une augmentation de 5% l'an, soit le triple du nombre actuel dans 25 ans.</li><li>- ce qui pourrait être une amélioration significative des conditions de vie des fermiers</li></ul>
<b><i>Eléments d'entrée</i></b>	Les scénarios ci-dessus, les hypothèses clés, les sites de demandes (dans le cas de WEAP de la Volta, il s'agit des demandes des grands réservoirs d'irrigation, des demandes des petits réservoirs d'irrigation, des consommations domestiques et de bétails, des demandes de turbinage des barrages hydro-électriques), les ressources (débits de tête des rivières), des données climatiques etc.
<b><i>Eléments de sortie</i></b>	<p>Dans le cadre du WEAP Volta, les éléments de sortie sous formes graphiques sont les résultats de l'impact des scénarios climatiques et du scénario de développement de petits réservoirs sur l'exploitation des barrages hydro-électriques en amont, en particulier du barrage de Akosombo et par conséquent sur son niveau de production.</p> <p>Concernant les scénarios climatiques, l'analyse de leur impact a conduit aux constats suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- des scénarios exécutés, le scénario similaire à ce qui était observé récemment le dans le passé aurait un impact très critique sur le lac Volta</li><li>- une production hydro-électrique supérieure au niveau de production observée en 1990 ne serait durable qu'avec un scénario de climat humide, ce qui appelle à une gestion plus prudente et soutenue du barrage hydro-électrique de Akosombo.</li></ul> <p>Concernant le scénario de développement de petits réservoirs, les constats sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Amélioration des conditions d'existence des petits agriculteurs au Burkina-Faso</li><li>- Dans le lac Volta au Ghana, ceci entrainera au niveau du barrage de Akosombo une réduction de 350 millions de m<sup>3</sup> par an de l'apport moyen annuel (28 500 millions de m<sup>3</sup>/an) soit une réduction de 1% de l'apport annuel</li><li>- Dans le lac Nakanbé au Burkina, l'apport moyen annuel du barrage de Bagré connaîtra une réduction de 250 millions de m<sup>3</sup> par an. Ce qui pourrait être très significatif.</li></ul> <p>Il faut noter que l'impact de ces scénarios sur les autres usages par exemple sur la demande domestique où l'on peut analyser l'impact sur le taux de</p>

	<p>couverture, les taux de satisfaction n'a pas été approfondi dans les documents consultés.</p>
<p><b><i>Eléments d'aide à la décision fournis</i></b></p>	<p>- La mise en œuvre d'une politique de développement des petits réservoirs qui les augmentent de 5 % l'an, améliorera les conditions d'existence des petits agriculteurs</p> <p>- Le développement de ces petits réservoirs en amont diminue le niveau de production des barrages hydro-électrique en aval notamment le barrage de Akosombo et de Bagré</p> <p>- le niveau de production des barrages hydro-électriques connaîtront des baisses très importantes en climat chaud et sec. Ce qui impactera très négativement par un ralentissement des activités des autres secteurs dans les pays très peu arrosés comme le Burkina, le mali etc. Ces éléments mis à la disposition des décideurs par le modèle pourraient leur permettre de penser à d'autres alternatives parmi lesquelles les pluies provoquées.</p> <p>- par contre ce niveau de production connaîtra des hausses en climat humide. Ce qui est très avantageux pour tous les pays du bassins en saison des pluies et quelques mois mais plus profitables pour les pays très bien arrosé comme le Ghana, le Bénin, la Côte d'Ivoire si une politique de développement de petits réservoirs qui prélèvent trop d'eau en aval n'est pas mise en place dans ces pays.</p>
<p><b><i>Limites du modèle et perspectives</i></b></p>	<p>Les limites se posent ici en termes de disponibilités des données pour le paramétrage du modèle.</p> <p>Il faut également améliorer le paramétrage selon De Condappa et al(2007) :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- en utilisant les débits observés récents d'après 1990</li><li>- en faisant une estimation plus précise des petits réservoirs</li><li>- en tenant compte des ressources souterraines</li></ul> <p>Concernant les scénarios :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- être plus précis dans le scénario d'augmentation des petits réservoirs comme la plupart sont des propriétés privées évoluant dans l'informel</li><li>- analyser les tendances des demandes comme la demande domestique en utilisant les taux de croissance de la population</li></ul>

## Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés

### Le modèle MIKE-Basin

#### *Description et contexte d'utilisation du modèle*

Le modèle MIKE Basin a été utilisé par l'équipe simulation hydrologique et économique du PADD qui a travaillé en synergie avec d'autres équipes pour l'élaboration du PADD du Bassin du Niger. L'équipe s'est surtout occupée de l'analyse de l'impact de scénario d'optimisation des barrages existants en amont et de scénarios d'aménagement des barrages en projet sur la zone humide du Delta du Niger, les périmètres irrigués le long du fleuve Niger et les barrages hydro-électrique situés plus en aval dans la zone du Niger Aval et de Bénoué. Et ceci dans un contexte où la situation actuelle du bassin en termes hydrologiques et d'ouvrages structurants est le suivant:

- la partie du bassin située entre la Guinée et le Nigéria (« Niger amont ») ne comprend qu'un seul ouvrage d'envergure : le barrage de Sélingué

(2 200 Mm<sup>3</sup>), situé sur un affluent du fleuve, le Sankarani, au Mali.

- la partie plus aval du bassin (« Niger aval et Bénoué »), comprend par contre de nombreux ouvrages qui totalisent un volume utile de 28 milliards

de m<sup>3</sup>. Les plus importants sont les barrages de Kainji (14 000 Mm<sup>3</sup>), Jebba (3 900 Mm<sup>3</sup>), Shiroro (7 000 Mm<sup>3</sup>), Dadin Kowa (2 900 Mm<sup>3</sup>), Kiri (600 Mm<sup>3</sup>) au Nigéria et le barrage de Lagdo au Cameroun (6 000 Mm<sup>3</sup>).

- les conditions de vie dans le bassin sont aujourd'hui menacées par une forte réduction des écoulements du Niger due à la baisse des précipitations.

-Il existe aujourd'hui des projets de nouveaux ouvrages structurants sur ces deux grandes zones. Ceux situés sur la zone « Niger aval et Bénoué » se trouvent au Nigéria et n'ont pas d'impact hydrologique sur d'autres états. Les projets situés sur la zone « Niger amont » soulèvent par contre de nombreuses questions transfrontalières. Il s'agit principalement de trois ouvrages : (i) projet de barrage de Fomi (6 200 Mm<sup>3</sup>), en Guinée, (ii) projet de barrage de Taoussa (3 000 Mm<sup>3</sup>), au Mali et (iii) projet de barrage de Kandadji (1 600 Mm<sup>3</sup>), au Niger.

Ces trois projets, situés sur le même axe hydraulique, de l'amont vers l'aval, soulèvent des questions qui doivent être posées à l'échelle de l'ensemble de « l'artère Niger » et pas seulement dans les seuls pays porteurs des projets. La mesure a priori de leurs impacts positifs et négatifs a été l'objet d'une part importante des travaux ayant conduit au PADD.

L'exploitation du modèle MIKE Basin a consisté à analyser de nombreuses combinaisons d'aménagements (avec les barrages de Fomi, Taoussa et Kandadji notamment) et leur impact sur les superficies irriguées, le respect des débits environnementaux, les niveaux de production hydroélectrique, les niveaux d'inondation du DIN et les niveaux de satisfaction des besoins de prélèvement.

## **Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés**

### *Scénarios analysés*

Les scénarios analysés par rapport aux combinaisons d'aménagements SA, A, B, G, C1, C2 et D définis comme suit dans le tableau N°10 ci-dessous sont :

1- le scénario d'optimisation de l'amont du Delta Intérieur du Niger sans barrage (point A comparé à SA)

***Eléments d'entrée***

- 2- le scénario avec construction de Fomi (Point B comparé à SA)
  - 3- le scénario avec construction de Taoussa en plus de Fomi (Point C1 comparé à B)
  - 4- Scénario avec construction de Kandadji en plus de FO-TA (point D comparé à C1)
  - 5- Scénario avec constructions de FO-TA-KD (point D comparé à SA)
- Les différents scénarios ci-dessus et hypothèses
  - les séries d'apports naturels en eau (débits journaliers issus de données historiques aux stations et de reconstitution pour combler les données manquantes),
  - les séries de demandes en eau au point de prélèvement (AEP, cheptel, irrigation),
  - la valeur des débits minimums aux points de consigne,
  - les caractéristiques définissant le delta intérieur dans le module le simulant,
  - les caractéristiques des ouvrages de régulation simulés (courbes hauteur/volume/surface, évaporation et précipitation sur la retenue, puissance électrique installée, mode de gestion, ...),
  - les caractéristiques des ouvrages de production hydroélectrique au fil de l'eau.

***Eléments de sortie***

Les éléments de sorties sont les résultats physiques, économiques et des résultats en terme de production électrique pour le bassin.

**Par rapport au premier scénario :**

-Résultats physiques : 225 000 ha en Riziculture d'Hivernage (RH) dont 150 000 ha dans ZD2 + équivalent à 5 000 ha de canne + 2 000 ha de maraîchage,

Résultats économiques : Taux Interne de Rentabilité (TIR) faible à 3,1% sans réhabilitation de Kainji/Jebba (7,5% avec),

**Par rapport au deuxième scénario :**

-Résultats physiques : 320 000 ha en Riziculture d'Hivernage (RH) + équivalent à 50 000 ha de Riziculture de Contre-Saison (CS) + 10 000 ha de canne + 2 000 ha de maraîchage,

-Résultats économiques : TIR à 9,2%,

-Bilan productible : potentiel de 590 GWh/an et supérieur à 590 avec les

barrages hydro-électriques de Kénié, Markala et Sotuba 2

**Par rapport au troisième scénario:**

-Résultats physiques : 100 000 ha en Riziculture d'Hivernage (RH) + équivalent à 38 000 ha de Riziculture de Contre-Saison (CS) + 6 500 ha de canne + 17 000 ha de maraîchage,

-Résultats économiques : TIR à 5,5%,

-Bilan productible : perte de 440 GWh/an au global,

**Par rapport au quatrième scénario:**

-Résultats physiques : 80 000 ha en Riziculture d'Hivernage (RH) + équivalent à 40 000 ha de Riziculture de Contre-Saison (CS) + 6 500 ha de canne + 17 000 ha de maraîchage,

-Résultats économiques : TIR à 6,5%,

-Bilan productible : perte de -60 GWh/an au global,

**Par rapport au cinquième scénario:**

-Résultats physiques : 1 688 000 ha sup dont 740 000 ha en Riziculture d'Hivernage (RH) + équivalent à 330 000 ha d'autres céréales d'hivernage + 270 000 ha d'autres céréales de CS + 270 000 ha de Riziculture de Contre-Saison (CS) + 25 000 ha de canne + 53 000 ha de maraîchage,

-Résultats économiques : TIR à 8,5%,

-Bilan productible : bilan positif de 1 010 GWh/an au global,

Le tableau N°11 ci-dessous vient résumer et compléter la liste des richesses et des impacts négatifs des différents scénarios d'aménagement avec leurs impacts sur les débits environnementaux, la superficie inondée du delta, l'AEP et le cheptel et la valeur ajoutée nette(VAN).

**Eléments d'aide à la décision fournis** Les éléments d'aide à la décision ont été fournis pour le choix d'un aménagement comme suit :

**Par rapport au Delta Intérieur du Niger(DIN):**

- L'Impact de Diaraguella est trop lourd sur le DIN,

- L'Impact de Fomi sur le DIN est limité (négligeable).

**Par rapport au développement agricole par l'irrigation :**

-L'absence de nouveau barrage ne permet pas d'atteindre le niveau 2 d'isosatisfaction sur l'ensemble du bassin (sauf pour ZD 1 à 3 et 8 à 11) avec ZD : Zone de Développement (voir les ZD considérées sur la figure 13 ci-dessous).

-Le barrage de Fomi seul permet d'atteindre le niveau 4.

-Seule la combinaison de deux barrages permet d'atteindre le niveau 6.

-Seule la combinaison de trois barrages permet d'atteindre le niveau maximal (les niveaux de satisfaction croissent de 1 jusqu'au niveau max qui est 8)

**Par rapport à la production d'hydroélectricité :**

-La réhabilitation de Kainji et Jebba permet une amélioration du productible.

-Le barrage de Fomi augmente encore cette production.

-Le barrage de Taoussa, et dans une moindre importance le barrage de Kandadji, viennent réduire la production globale, mais améliorent la répartition sur le bassin.

**Limites du modèle et perspectives**

La phase de collecte a mis en exergue le manque de données sur le bassin versant, en particulier en ce qui concerne l'hydrologie du fleuve et, surtout, les prélèvements. Ce manque de données a dû être comblé par l'utilisation d'hypothèses fortes par le Bureau BRL Ingénierie.

Cet outil techniques développé dans le cadre du PADD est un outil évolutif, qui devra continuer d'être amélioré et utilisé, mais surtout d'être utilisé par les planificateurs et gestionnaires.

De plus, l'acquisition de nouvelles mesures (au long du cours et des affluents mais également concernant le DIN), leur archivage et exploitation permettront de valider ou corriger les hypothèses retenues. (ABN, BRL Ingénierie, 2008)

## **Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés**

Combinaisons d'aménagements	Correspondances	
SA	situation actuelle	
A	Situation actuelle avec optimisation de la gestion du barrage de Sélingué	
B (Fo)	Construction de Fomi	
G (TA-KD)	Construction de Taoussa+Kandadji	
C1 (FO-TA)	Construction de Fomi+Taoussa	<u>Tableau N°19:</u> Désignation des combinaisons d'aménagement
C2 (FO-KD)	Construction de Fomi+Kandadji	
D (FO-TA-KD)	Construction de Fomi+Taoussa+Kandadji	

Combinaison d'aménagements	SA	A	FO	TA-KD	FO-TA	FO-KD	FO-TA-KD
Nœud de l'arbre des chemins possibles	SA	A	B	G	C1	C2	D
Niveau d'iso-satisfaction atteint	1	2	4	2 à l'amont de TA / 8 à l'aval	6	5 à l'amont de KD / 8 à l'aval	8
AEP/Cheptel horizon 2025	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait
Superficie irriguée (milliers ha) sur l'artère Niger	239	396	535	678	717	653	879
Production hydroélectrique totale moyenne (GWh/an)	5 070	5 028	5 230	4 505	4 677	5 390	4 623
Respect des débits environnementaux	non (aval DIN)	non (aval DIN)	oui	non (aval DIN) / oui	oui	oui	oui
Réduction de surface dans le delta intérieur (% en moyenne par rapport à SA)	0%	4%	11%	4%	11%	11%	11%
VAN moyenne (en millions de FCFA / an)	0	- 1000	33 000	- 1 000	25 000	48 000	39 000
TIR	0	2,8 %	7,9 %	3,2 %	6,4 %	8,8 %	6,9 %

Tableau N°20: Résultats des combinaisons d'aménagement (ABN, BRL, Ingénierie, 2008)

## Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés

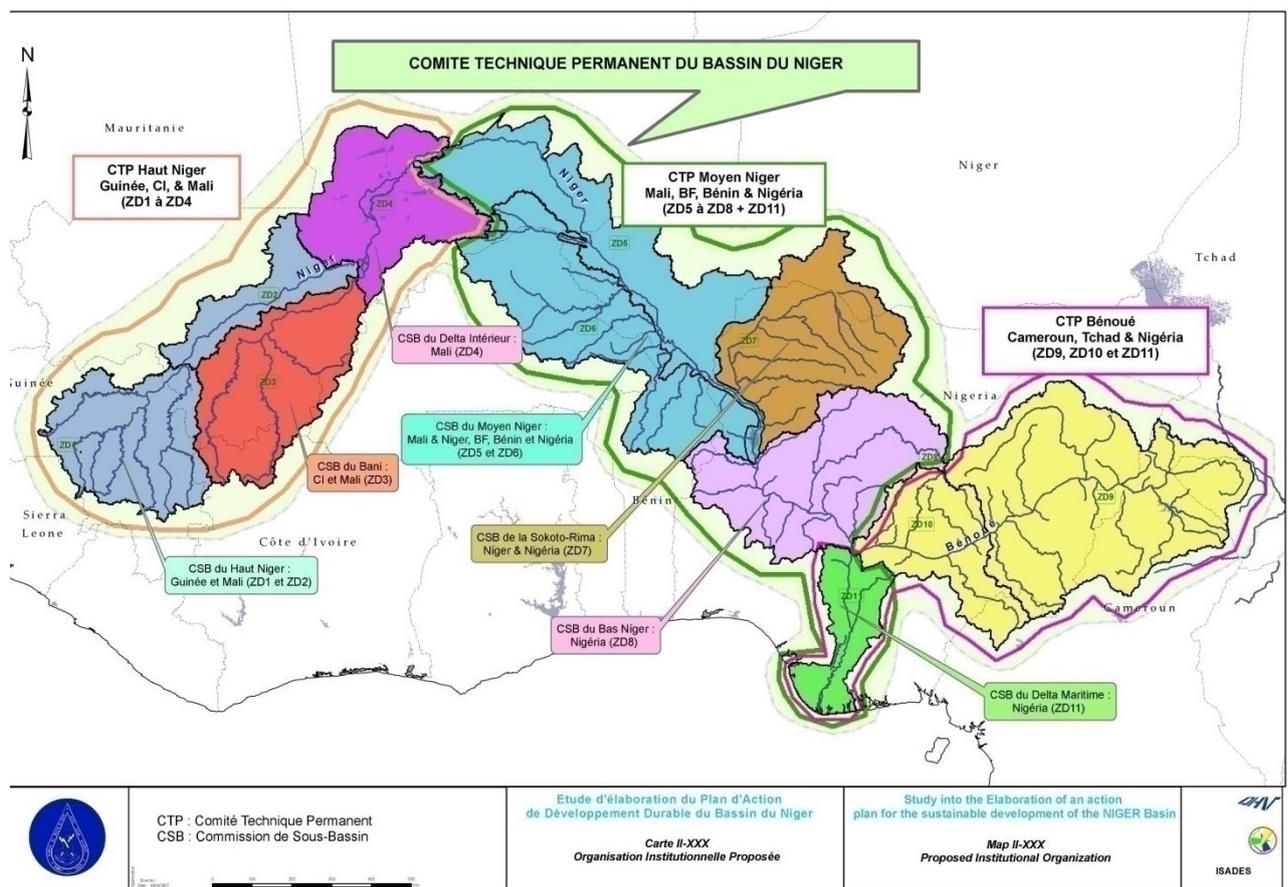


Figure N°22: Zones de développement ZD considérées (PADD Niger, 2007)

### Les modèles Simulgam et Salnstat

<b>Description et contexte d'utilisation du modèle</b>	<p>Les deux modèles ont été utilisés dans le bassin de la Gambie dans le cadre de l'étude du schéma directeur Hydraulique du Fleuve Gambie.</p> <p>Le modèle Simulgam a été utilisé pour la reconstitution des séries de débit des stations situées sur le fleuve entre Sambangalou et Gouloumbo, ainsi que certaines stations situées sur des affluents importants. Ce modèle basé sur les corrélations permet d'estimer, en régime naturel, le débit à une station à partir du débit passé antérieurement à une ou plusieurs stations situées à l'amont de cette station. Afin de pouvoir utiliser le modèle en régime artificiel, on se base sur l'hypothèse que les débits intermédiaires non contrôlés peuvent être estimés en fonction des débits naturels observés ou reconstitués aux stations, par des relations qui restent valables en régime artificiel. On aboutit finalement à un modèle qui permet d'estimer le débit à Gouloumbo en fonction du débit lâché 6 jours plus tôt à Sambangalou, et qui a été calé sur 25 années de mesures.</p> <p>Le modèle SALNSTAT utilise les débits passés à Gouloumbo traités et donnés par le modèle Simulgam pour calculer la position du front salé dans l'estuaire de la Gambie, en fonction des prélèvements liés à l'irrigation, des pluies, et de l'évaporation.</p> <p>Le modèle a donc la possibilité d'introduire dans le processus d'intrusion saline l'influence des précipitations locales et de l'évaporation et tient compte de la réduction du débit par suite de prises d'eau, par pompage ou irrigation de décrue, comme une fonction simplificatrice des modes de cultures et des superficies irriguées</p> <p>Le modèle SALNSTAT est un modèle transitoire d'intrusion de salinité basé sur une équation de diffusion à une dimension. Le modèle s'applique aux estuaires alluviaux à fort mixage.</p> <p>Le modèle a été testé et appliqué la première fois dans le bassin dans l'Estuaire de la Gambie par Euroconsult (GTZ, 1986).</p>
<b>Scénarios analysés</b>	<p>Les scénarios analysés visent à obtenir un hydrogramme donné à Gouloumbo (hydrogramme « objectif »), hydrogramme qui tient compte des usages de l'eau à l'aval, c'est à dire principalement l'irrigation.</p> <p>Les scénarios analysés sont :</p> <p><b>Par rapport à l'agriculture :</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Le recul du front salé en deçà des zones irriguées, c'est-à-dire en deçà du PK 170. Ce principe nécessite un débit minimal de 50 m<sup>3</sup>/s à Gouloumbo</li><li>- irrigation des périmètres actuellement en fonctionnement (1575 ha de riz, 200 ha de polyculture)</li></ul>

- irrigation de tous les périmètres existant actuellement, après réhabilitation éventuelle (3300 ha de riz, 360 ha de polyculture)

- Irrigation de l'ensemble des zones identifiées à aptitude élevée (15400 ha de riz et 6500 ha de polyculture)

**Par rapport à l'hydro-électricité :**

- les turbines sont utilisées au maximum de leur possibilité : puissance maximale (la cote du plan d'eau dans le lac dépasse le niveau S2)

- production d'une puissance P constante < puissance maximale (la cote du plan d'eau est comprise entre les niveaux S1 (<S2) et S2)

- Si la cote du plan d'eau est inférieure à S1

**Par rapport à l'utilisation d'eau potable :**

Il n'y a pas eu de scénario par rapport à cette demande car elle est estimée très infirme. A long terme, elle ne dépassera pas 0,4 m<sup>3</sup>/s, soit moins de 1% du débit de l'hydrogramme « objectif ».

***Eléments d'entrée***

Les débits reconstitués, les différents prélèvements liés à l'irrigation, la pluie, l'évaporation, les scénarios ci-dessus et les différentes hypothèses associées

## **Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés**

**Eléments de sortie**

Les éléments de sortie sont les différents résultats des scénarios ci-dessus analysés avec le modèle.

1. Le front salé est effectivement repoussé en deçà du PK 170, et les besoins en eau sont satisfaits

Les simulations réalisées montrent que pour les trois scénarios de gestion envisagés, les besoins en eau de l'agriculture irriguée sont satisfaits à 100% sur la période 1971-1996, période pourtant déficitaire en eau :

2. Le débit obtenu à Gouloumbo est en permanence supérieur ou égal à l'hydrogramme objectif retenu.
3. Le front salé à 1g/l est maintenu en permanence en deçà du PK 170.

Les seuls cas de gestion qui occasionnent quelques rares défaillances (front salé remontant à plus de 170 km de l'embouchure) correspondent aux scénarios les moins économes en eau parmi ceux qui ont été envisagés : hydrogramme objectif élevé (scénario 3), combiné à une demande importante de production électrique (50 ou 60 Mw) prise en compte à partir d'un faible stock dans le lac (S1=186m)

**1. production électrique : gestion haute de la retenue**

Parmi les scénarios testés, ceux qui donnent la meilleure production moyenne d'énergie (environ 360 GWh par année), sont associés à des consignes de gestion de l'ouvrage permettant de maintenir un niveau globalement élevé dans la retenue.

**1. Modification du régime hydrologique**

La forme globale de l'hydrogramme régularisé reste toutefois inchangée par rapport au régime naturel, avec une pointe de débit mensuel intervenant généralement en septembre, du fait de la part relativement importante des apports intermédiaires non contrôlés par le barrage.

A l'aval de Gouloumbo, le régime hydrologique est modifié de façon sensible jusqu'à Basse, avec une baisse non négligeable des niveaux maximaux annuels. A partir de Bansang, cette baisse n'atteint qu'une dizaine de centimètres, pour devenir ensuite négligeable à mesure qu'on se rapproche de l'embouchure du fleuve.

**Eléments d'aide à la décision fournis**

L'élément d'aide à la décision fourni est le scénario optimal suivant à exécuter pour des résultats globalement satisfaisants:

1. Une gestion haute du seuil de turbinage (198m) ;
2. Une puissance faible (40Mw) ;

3. La fourniture des débits nécessaires au recul du front salé et aux irrigations, qui pourra augmenter au fil des ans et des aménagements jusqu'au seuil de 21900 ha, sans que la diminution de productible ne soit sensible. Au vu du rythme actuel d'aménagement (4900 ha en 40 ans), ce potentiel de 21900 ha ne sera pas aménagé avant plusieurs décennies.

*Limites du modèle et perspectives*

Le module économique fait défaut au modèle pour l'analyse macro-économique de ses résultats. Le besoin se sent déjà au niveau de l'organisme en quête de partenaire technique et financier pour l'incorporation d'un module économique au modèle existant ou le développement d'un modèle qui intègre les deux modules.

## **Annexe 7: Inventaire et présentation des modèles identifiés**

Tableau N°21: Analyses comparatives des modèles combiné

Combinaisons de modèles	Contexte	Eléments d'entrée	scénarios analysés	Eléments de sortie	les éléments d'aide à la décision fournis	les limites
M3-Water/GV-Ludas	Différent	Différent	Différent	Différent	Différent	
M3-Water/WEAP	Différent	Identiques en plusieurs points	M 3-water analyse à l'échelle de sous-bassin alors que WEAP à l'échelle de bassin			
M3-Water/MIKE Basin	Différent	Identiques en plusieurs points mais MIKE a un champ d'analyse plus vaste	Identiques en plusieurs points mais MIKE a un champ d'analyse plus vaste	Identiques en plusieurs points mais MIKE a un champ d'analyse plus vaste	Identiques en plusieurs points mais MIKE a un champ d'analyse plus vaste	M 3-water analyse à l'échelle de sous-bassin alors que MIKE bassin à l'échelle de bassin et intègre beaucoup d'autres dimensions
M3-Water/Simulgam et Salnstat	Différent	Différent	Différent	Différent	Différent	
GV-Ludas/WEAP	Différent	Différent	Différent	Différent	Différent	
GV-Ludas/ MIKE Basin	Différent	Différent	Différent	Différent	Différent	
GV-Ludas/ Simulgam et Salnstat	Différent	Différent	Différent	Différent	Différent	
WEAP/MIKE Basin	Différent	Identiques en plusieurs points mais MIKE bassin a un champ d'analyse plus vaste	Identiques en plusieurs points mais MIKE bassin a un champ d'analyse plus vaste	Identiques en plusieurs points mais MIKE bassin a un champ d'analyse plus vaste	Identiques en plusieurs points mais MIKE bassin a un champ d'analyse plus vaste	M 3-water analyse à l'échelle de sous-bassin alors que MIKE bassin à l'échelle de bassin et intègre beaucoup d'autres dimensions
WEAP/Simulgam et Salnstat	Différent	Différent	Différent	Différent	Différent	
MIKE Basin/Simulgam et Salnstat	Différent	Différent	Différent	Différent	Différent	