



DIRECTON DES RESSOURECES EN EAU

# MÉMOIRE DE STAGE

---

## MASTER SPECIALISE

### GIRE

#### **THEME :**

**EVALUATION ET ALLOCATION DES RESSOURCES EN EAU POUR LE  
DEVELOPPEMENT AGRICOLE ET ECONOMIQUE DANS LE BASSIN DU  
FLEUVE BANDAMA : CONTRIBUTION DU MODELE WEAP.**

**Présenté et soutenu publiquement le 29/09/2010 par**

*Valentin Adomon DJOMBO*

*E-mail: djombovalentin@yahoo.fr*

**Travaux dirigés par : Dr. Fernand KOUAME**

**Titre (Sous-directeur Evaluation et Mobilisation)**

**UTER : Direction des Ressources en Eau**

#### **Jury:**

**Président : Béga OUEDRAOGO**

**Membres et correcteurs : Dr. Corentin SOME  
Dr. Harouna KARAMBIRI**

## **REMERCIEMENTS**

Ce rapport est le fruit d'une collaboration de plusieurs personnes, ainsi il nous est agréable de les remercier.

Nous remercions vivement tout le personnel de la Direction des Ressources en Eau, en particulier Docteur Michel N'GUESSAN Bi Tozan de nous avoir acceptés dans sa Direction, d'avoir mis à notre disposition le personnel nécessaire pour la bonne marche de cette étude et surtout pour la confiance qu'il nous a gracieusement accordée lors de ce travail.

Nous remercions profondément nos encadreurs : Docteur Fernand KOUAME et Monsieur Jacques KRAIDI pour avoir supervisé ce travail. Au-delà de l'encadrement scientifique de qualité qu'ils nous ont offert, nous les remercions pour le temps qu'ils ont accordé pour apprécier ce rapport.

Nos remerciements vont à Monsieur FIENI Roger pour sa collaboration, nous lui en sommes reconnaissants.

## **RESUME**

Les ressources en eau sont vulnérables aux changements climatiques. Une évaluation des ressources disponibles (eau de surface, eau souterraine, eau de pluie) est nécessaire pour subvenir aux besoins dans différents domaines: en agriculture, en élevage et en alimentation en eau potable de la population. A partir de cette étude, un scénario d'allocation d'année future doit être élaboré avec un modèle informatique et les outils de simulation, comme le modèle WEAP.

Le modèle WEAP est un outil de prévision qui simule toutes les ressources en eau, l'offre et la demande. Pour un bon usage du logiciel une application dans un bassin versant concret est nécessaire. Le bassin versant du Bandama a été choisi pour une première application avec horizon de 2003 - 2050.

Les résultats sont satisfaisants d'où les perspectives d'utiliser le modèle pour d'autres bassins versants.

**Mots clés** : sites de demandes, ressources, bassin versant, scénario, Weap.

## **SUMMARY:**

The water resources are vulnerable to the climatic changes. An evaluation of the resources available (ground water, subsoil water, rainwater) is necessary to provide for the needs in different domains: en agriculture, livestock, and drinking water supply of the population. From this study, a scenario of allowance of future must be elaborate with a data processing model and the tools for simulation, models WEAP.

Model WEAP is a tool of forecast which simulates all the water resources, supply and demand. For a good use of the software an application in a concrete area catchment is necessary. The catchment area of Bandama was selected for a first application with horizon of 2003 - 2050.

The results are satisfactory from where prospects to use the model for other catchment.

**Key word**: Demand sites, supply and resources, scenario, Weap.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**AEP** : Alimentation en Eau Potable

**ANECI** : l'Agence Nationale de l'eau de Côte d'Ivoire ;

**CNEA** : Comité National de l'Eau et de l'Assainissement

**CIEA** : Comité Interministériel de l'Eau et de l'Assainissement

**DE** : Direction de l'Environnement

**DRE** : Direction des Ressources en Eau

**ETR** : Evapotranspiration réelle

**GIRE** : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

**JICA** : Agence Japonaise de Coopération Internationale

**MEF** : Ministère des Eaux et Forêt

**SODECI** : Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire

**SPI** : Indice Standardisé de Précipitation

**WEAP** : Système d'Evaluation de Planification de l'Eau

## **SOMMAIRE**

REMERCIEMENTS .....	ii
RESUME .....	iii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	vii
INTRODUCTION .....	1
PREMIERE PARTIE : MILIEU NATUREL DU BASSIN DU BANDAMA.....	3
CHAPITRE I : CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE LA ZONE D'ETUDE.....	3
I-1 / Situation géographique du bassin versant du Bandama .....	3
I-1-a/ Localisation de la zone d'étude.....	3
I-2/ Contexte socio-économique .....	4
I-2-a/ Population .....	4
I-2-b/ Activités .....	4
I-3/ Contexte physique .....	4
I-3-a/ Climat.....	4
I-3-b/ Relief.....	4
I-4/ Végétation et sols .....	5
I-5/ Lithologie du bassin de Bandama .....	5
I-6/ Réseau hydrographique du bassin de Bandama .....	6
I-7/ Etude hydrogéologique du bassin de Bandama.....	8
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	9
CHAPITRE II : DONNEES ET MATERIELS UTILISEES.....	9
II-1/ Sites de demande.....	9
II-2/ Barrage de retenue .....	9
II-3/ Cours d'eau .....	9
II-4/ Données hydrologiques et climatiques .....	10
II-5/ Logiciels utilisés .....	10
CHAPITRE III : SITUATION DES RESSOURCES EN EAU .....	11
III-1/ Ressources en eau.....	11
III-2/ Evaluation des ressources en eau.....	12
III-3/ Demande en eau.....	13
III-3-a/ Alimentation en eau potable.....	13
III-3-b/ Secteur agriculture.....	14
III-3-c/ Secteur élevage.....	14

CHAPITRE IV : APPLICATION DU MODELE WEAP 2.1 DANS LA BASSIN. ....	15
IV-1/ Description du logiciel .....	15
IV-1-1/ Principaux objectifs du logiciel.....	15
IV-1-2/ Acquisition du logiciel .....	15
IV-2/ Modélisation par WEAP .....	16
IV-2-1/ Cartographie de la zone d'étude.....	16
IV-2-2/ Création des sites de demande .....	16
IV-2-3/ Création des hypothèses clés.....	17
IV-2-4/ Modélisation des retenues .....	18
IV-2-5/ Création des scénarios.....	18
CHAPITRE V : GESTION DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN. ....	20
V-1/ Problématique de la gestion des ressources en eau .....	20
V-2/ Approche de la nouvelle Politique Nationale de l'eau .....	21
V-3/ Cadre institutionnel.....	21
V-4/ Prise en compte de l'environnement.....	22
V-5/ Stratégie de financement.....	22
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....	23
CHAPITRE VI : RESULTATS DE L'EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU.....	23
VI-1/ Etudes des précipitations .....	23
VI-1-a/ Calcul d'indices .....	24
VI-2/ Analyse des ruptures dans les séries pluviométriques.....	25
VI-3/ Résultat de l'étude de l'évapotranspiration .....	26
VI-4/ Résultat de l'étude hydrologique.....	28
CHAPITRE VII : RESULTATS DE L'APPLICATION DU MODELE WEAP.....	30
VII-1/ Présentation cartographique finale du modèle .....	30
VII-2/ Demandes ou besoins en eau .....	31
VII-2-a/ L'eau distribuée pour tous les sites de demandes pour l'horizon 2003-2050.....	31
VII-2-a/ Débit du site de demandes pour l'horizon 2001-2050.....	33
CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	35
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE .....	36
ANNEXE 1 : Contexte environnemental du bassin de Bandama.....	ii
ANNEXE 2 : Données et approche méthodologique.....	ii
ANNEXE 3 : Report des résultats.....	xi

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Nombre de population abonnée à la SODECI.....	13
Tableau 2: Besoins théoriques par culture.....	14
Tableau 3: Besoin en eau théorique par type d'élevage.....	14
Tableau 4: Répartition des bétails et besoins en eau. ....	14
Tableau 5: Taux d'utilisation de l'eau pour l'irrigation pour l'année future .....	19
Tableau 6: Répartition des SPI dans les différentes stations pluviométriques .....	25
Tableau 7: Bilan hydrologique de Ferké (a) et de Zuénoula (b) par la méthode de Thornthwaite.....	27

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Localisation de la zone d'étude .....	3
Figure 2: Carte du réseau hydrographique .....	7
Figure 4: Evolution temporelle de la pluviométrie annuelle dans la zone d'étude.....	23
Figure 5: Variation des indices pluviométriques et moyenne mobile .....	24
Figure 6: La courbe de la variable U du test de Pettitt en fonction du temps à Korhogo.....	26
Figure 7: Débit moyen mensuel et annuel dans le bassin versant du Bandama .....	28
Figure 8: Variation des indices d'écoulement aux stations hydrométriques (1985-1995) .....	29
Figure 9: Le bassin versant du Bandama d'après le Modèle WEAP 21.....	30
Figure 10: Eau distribuée à chaque site de demande scénario de référence.....	31
Figure 11: Eau distribuée en scénario taux de croissance fort.....	32
Figure 12: Eau distribuée en scénario de référence et taux de croissance fort. ....	32
Figure 13: Débits du site de demandes scénario Référence. ....	34
Figure 14: Débits du site de demandes scénario Référence. ....	34

## **INTRODUCTION**

Dans le monde, l'eau prend une importance capitale dans nos pays. Bien que renouvelable, cette ressource devient de plus en plus rare et menacée, nous devons donc apprendre à la protéger et à la gérer. En effet, bien que 70% de la surface du globe soient recouvertes d'eau, les ressources en eau commencent à se raréfier pour des multiples raisons : la mauvaise gestion des ressources existantes, le gaspillage dû à l'usage effréné de l'eau, la variation et le changement du climat. Si le niveau de consommation actuel se maintient, la moitié de la population mondiale sera confrontée à des très grandes pénuries d'eau dans les vingt cinq prochaines années.

A l'instar de nombreux pays Africain, le développement de la quasi-totalité des secteurs de l'économie de la Côte d'Ivoire est tributaire des ressources en eau. C'est pourquoi depuis son indépendance, le Gouvernement, avec l'appui de ses partenaires, a réalisé d'importants projets de développement des ressources en eau dans divers domaines.

La Côte d'Ivoire, compte aujourd'hui 11 bassins versants dont 4 nationaux et 7 transfrontaliers regorgeant plus de 572 ouvrages de retenue, réalisés pour la mobilisation des ressources en eau pour l'agriculture, l'élevage, la production d'énergie et l'eau potable (MEF, 2003). Une connaissance des ressources en eau disponible et des besoins des différents usagers est nécessaire pour mieux gérer l'eau. Mais la gestion ne peut pas être intégrée et durable si on ne tient pas compte à la fois de tous les différents types de ressources en eau et ceci dans leur système de gestion naturel ou leur bassin versant.

Pour cette raison, dans le cadre de la politique nationale de gestion des ressources en eau jusqu'à l'horizon 2050, un travail intitulé « Evaluation et allocation des ressources en eau pour le développement agricole et économique dans le bassin du fleuve Bandama : contribution du modèle WEAP. » a été mené.

Les études sur la gestion des ressources en eau menées dans le bassin versant du Bandama indiquent qu'une baisse de la pluviométrie occasionne un dysfonctionnement important du système d'eau du Bandama (Aka, 1998 ; Aka *et al.*, 1999 ; Goula *et al.*, 2006) et un manque de processus de gestion intégrée des ressources en eau (MEF, 2003).

## **OBJECTIFS DE L'ETUDE**

L'objectif global de cette étude est de faire un diagnostic du développement socio-économique en évaluant une gamme complète des options de développement et de gestion de l'eau, et en tenant compte des utilisations multiples et concurrentes de l'hydrosystème du bassin du Bandama.

De manière spécifique, en s'appuyant sur les données techniques, hydroclimatiques et sociales recueillies sur le terrain et dans la littérature, cette étude cherchera essentiellement à :

- évaluer les besoins en eau par chaque secteur d'utilisation ;
- modéliser, simuler et optimiser la gestion des Ressources en Eau ;
- apprécier la nécessité, les acquis et stratégies de mise en œuvre de la GIRE.

Cette étude s'articule autour de trois (03) grandes parties.

La première partie concerne l'étude environnementale. Ici nous tenterons de donner un aperçu de l'environnement, de la géologie et de l'hydrogéologie du bassin versant du Bandama.

La deuxième partie montre les différentes méthodologies et techniques utilisées pour l'acquisition et le traitement des données.

La troisième partie porte sur les différents résultats issus du traitement des données, sur leur interprétation et sur la discussion qui en découle.

Une conclusion générale, des perspectives, une référence bibliographique et des annexes complètent ce travail.

## PREMIERE PARTIE : MILIEU NATUREL DU BASSIN DU BANDAMA

### CHAPITRE I : CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE LA ZONE D'ETUDE

#### I-1 / Situation géographique du bassin versant du Bandama

##### I-1-a/ Localisation de la zone d'étude

Le bassin du fleuve Bandama, long de 1050 km est entièrement situé en Côte d'Ivoire entre les longitudes 3°50' et 7° Ouest et les latitudes 5° et 10°20' Nord et occupe une superficie de 97 500 km<sup>2</sup> (Lévêque C. *et al.*, 1983). Le fleuve Bandama prend sa source dans le nord de la Côte d'Ivoire, entre Korhogo et Boundiali puis se jette au Sud du pays dans la lagune de Grand-Lahou. Dans sa traversée, il recouvre des zones différentes sur le plan climatique et biogéographique.

Au plan administratif, le bassin versant du Bandama est à cheval sur 11 régions (Fig. 1).

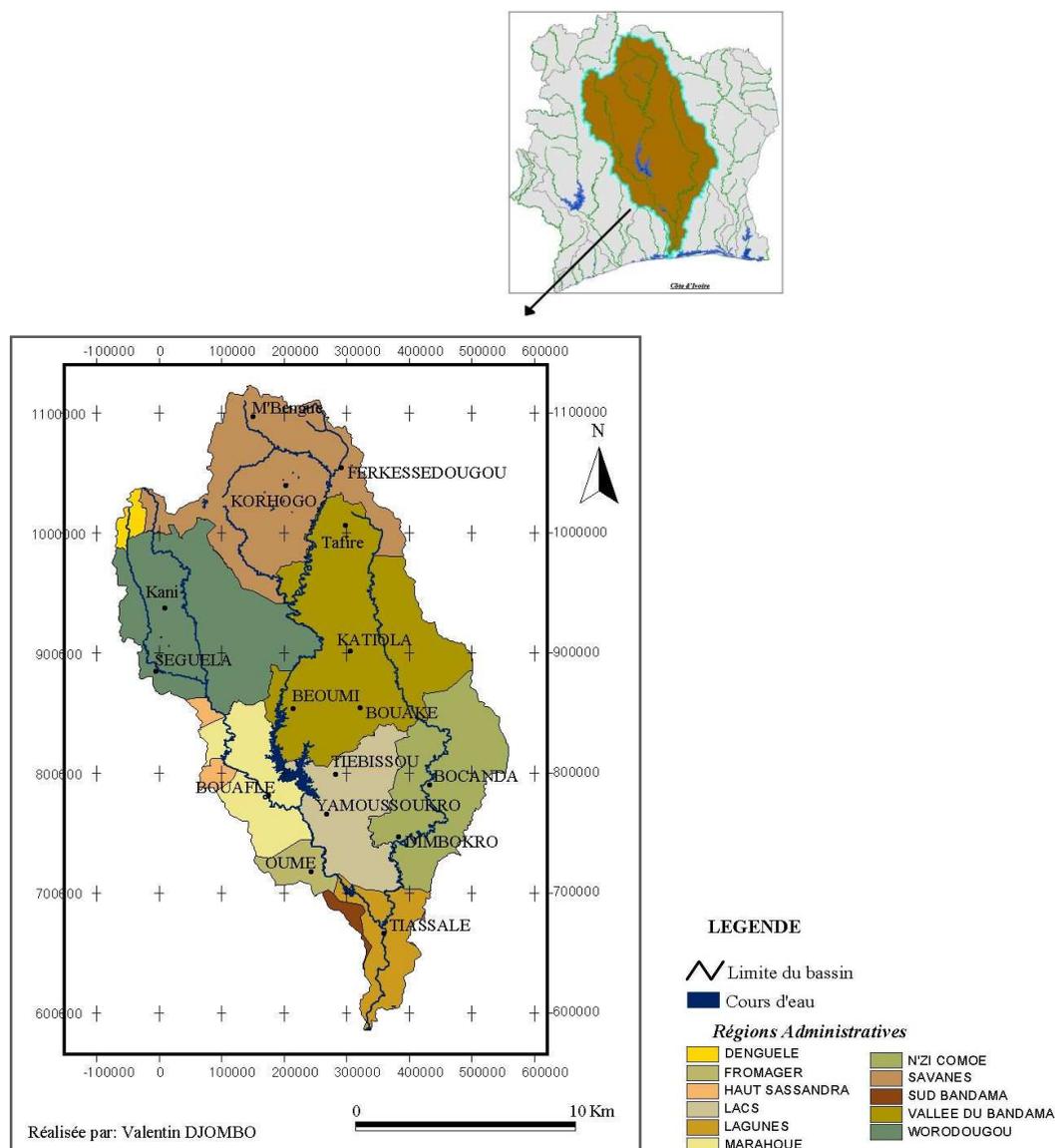


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

## **I-2/ Contexte socio-économique**

### **I-2-a/ Population**

En 1998, le bassin comptait 3.753.775 habitants et des taux de croissance annuel (JICA, 2001). La répartition des populations par Région et par Sous-préfecture est présentée dans le **tableau 1** de l'annexe 1. Bouaké présente une population plus élevée.

### **I-2-b/ Activités**

Les populations rurales du bassin de Bandama pratiquent essentiellement l'agriculture et/ou l'élevage. Les spéculations pratiquées sont:

- les cultures vivrières (igname, maïs, riz, arachide, mil, sorgho, patate douce, niébé, fonio);
- les cultures annuelles de rente (coton, tabac, soja, cultures maraîchères, canne à sucre);
- les cultures pérennes de rente (mangues, avocats, agrumes, anacarde);
- l'élevage de bovins, caprins, porcins, ovins, volaille ainsi que la pisciculture et l'apiculture.

La culture itinérante sur brûlis et l'élevage extensif, système de culture fortement consommateurs d'espace, sont malheureusement très utilisés dans le bassin. La création de vastes blocs agro-industriels (complexes sucriers) ainsi que les divers aménagements agro-pastoraux et les feux de brousse sont autant de facteurs qui perturbent notablement l'équilibre écologique.

## **I-3/ Contexte physique**

### **I-3-a/ Climat**

De par sa forme géographique, le bassin versant du Bandama recouvre trois des quatre grands ensembles climatiques de la Côte d'Ivoire. Au nord du bassin, règne le **régime tropical de transition** (climat soudano-guinéen) avec deux saisons : une saison des pluies d'avril à septembre et une saison sèche de novembre à avril. De novembre à mars-avril, la sécheresse est absolue (période sans précipitations): c'est la période d'harmattan. La partie centrale du bassin est caractérisée par le **régime équatorial de transition atténué** (climat baouléen) avec deux saisons pluvieuses et une saison sèche. Au Sud du bassin, règne le **climat équatorial de transition** (climat attiéen) avec quatre saisons : deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses.

### **I-3-b/ Relief**

Le relief du bassin de Bandama est ondulé et monotone avec succession de collines à flancs doux vers le Sud plus ou moins subaplanies au-dessus d'un paysage pénéplaine (Christian L. *et al.*, 1983). On observe quelques grandes unités (Avenard, 1971) :

- de plateaux accidentés (500 m) au NW dans la région de Boundiali ;

- plus au sud, l'unité Mankono-Séguéla, correspond à un ensemble assez homogène de plateaux (3 8400 m);
- la région septentrionale est très aplanie (400 à 500 m) avec quelques reliefs isolés;
- l'inter fleuve Bandama-N'Zi appelé communément « V Baoulé » est en pente douce vers le sud (de 400 m au nord à moins de 100 m au sud).

#### **I-4/ Végétation et sols**

En liaison avec la classification climatique, le bassin de Bandama couvre différents types de végétation en drainant trois secteurs que sont le secteur soudanais au Nord, le secteur mésophile au Centre et le secteur ombrophile au Sud.

**Le domaine soudanais** est couvert par les forêts claires et les savanes qui en dérivent. Selon le peuplement forestier, la savane évolue vers un type boisé, arboré, arbustif ou herbeux sur les sols drainés. Le groupement le plus abondant est celui à *Panicum phragmitoïdes* (Christian L. *et al.*, 1983). Les boisements denses forment des îlots forestiers et des forêts galeries.

**Le secteur mésophile** correspond à une zone de savane pré-forestière au nord qui s'oppose à une zone forestière à savanes incluses au sud. La zone pré-forestière occupe la partie centrale du bassin. Le long des cours d'eau, se développent des forêts galeries. La zone forestière est formée par des forêts denses humides, semi-décidues, et par la forêt marécageuse qui se développe sur les sols hydromorphes périodiquement inondés du Bas-Bandama.

**Le secteur ombrophile** est couvert par une forêt dense à plusieurs strates, la plus élevée pouvant dépasser quarante mètres.

Cependant avec la croissance de la population et de l'habitat humain, la pratique des cultures de rente (café, cacao, palmier à huile, ...) et l'exploitation abusive de la forêt, cette forêt a été réduite à de petits îlots dont certains sont classées.

Les sols ferallitiques sont très largement répandus sur le bassin du Bandama (Dabin *et al.*, 1960; Perraud, 1971).

Dans le N.E. du bassin et dans le couloir du N'Zi, une évolution de type ferrugineux se surimpose au matériau ferallitique initial. Des sols hydromorphes ne sont observés que dans le Bas Bandama.

#### **I-5/ Lithologie du bassin de Bandama**

En Côte d'Ivoire, trois grands mégacycles : Léonien, Libérien et Eburnéen ont laissé leurs traces sur les formations géologiques et contribué à la mise en place de deux grands domaines géologiques (Tagini, 1965): le domaine Guinéo libérien (3000 à 2500 MA) et le domaine Eburnéen (2500 à 1800 ± 250 MA). Ces deux domaines sont séparés par la faille de Sassandra.

Dans la partie amont du bassin, les granites constituent de grands massifs de direction N-NE à S-SW correspondant aux interfleuves des grands axes de drainage: Haut Bandama et N'Zi. Les roches

métamorphiques schisteuses constituent le panneau sud-est du bassin dans le cours inférieur du N'Zi et se retrouvent dans la zone comprise entre Haut Bandama-Haut Marahoué et Haut Bandama- Haut N'Zi. Les « roches vertes », qui forment le relief du paysage, constituées par des roches basiques venant du métamorphisme d'anciennes roches éruptives, sont localisées dans le Haut Bandama. La figure 1 de l'annexe 1 montre la lithologie du bassin versant.

#### **I-6/ Réseau hydrographique du bassin de Bandama**

Long de 1050 km, le Bandama prend sa source dans le nord de la Côte d'Ivoire, entre Korhogo et Boundiali, à une altitude de 480 m. Il coule d'abord d'Ouest en Est pendant près de 200 km, en décrivant un arc de cercle autour de Korhogo, puis prend une direction nord sud et son cours présente alors de nombreux méandres (fig. 2). Dans la partie amont, il reçoit successivement le Solomogou et le Bou (affluents de rive droite), le Badenou et le Lokpoho (affluents de rive gauche). Le Marahoué principal affluent de rive droite a une longueur de 550 km avec une superficie de 24300 km<sup>2</sup>. Il est alimenté principalement par le Yani long de 200 km, et se jette dans le Bandama, juste en amont de l'actuel lac de Kossou.

Le N'Zi est l'affluent de rive gauche le plus important. La longueur de son cours est de 725 km et couvre une superficie de 35500 km<sup>2</sup>. Il prend sa source à l'est de Ferkessédougou (Goula. *et al.*, 2006).

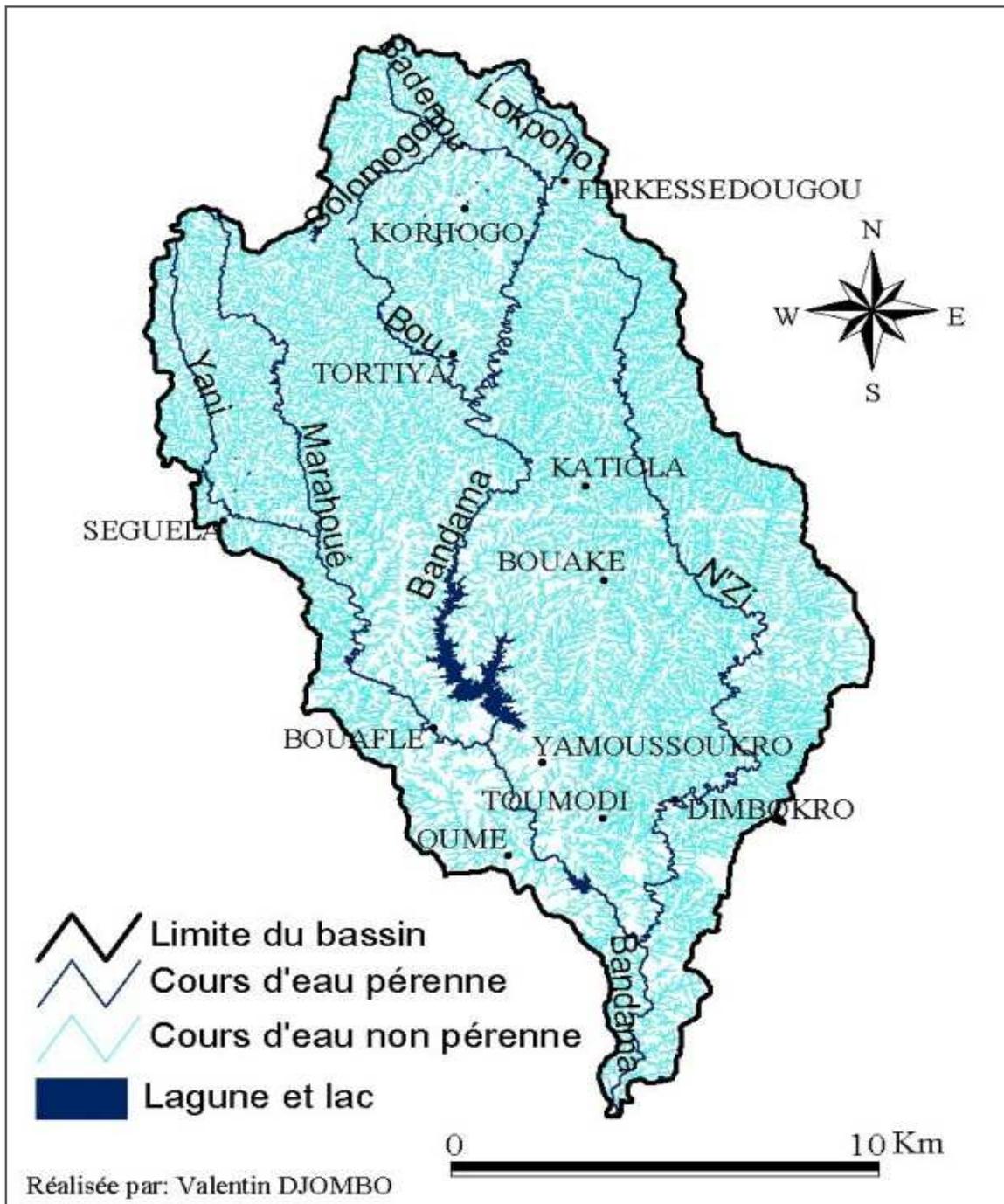


Figure 2: Carte du réseau hydrographique

### **I-7/ Etude hydrogéologique du bassin de Bandama**

Le bassin versant du Bandama est soutenu par une seule grande unité hydrogéologique : l'aquifère discontinue caractérisé par des roches granitiques et des roches sédimentaires métamorphisées. Le potentiel moyen en eaux souterraines est de 49 mm, soit 5 milliard/m<sup>3</sup>/an. Il est généralement plus faible dans les principales zones ayant de faibles précipitations.

### **Conclusion partielle**

Le bassin versant du Bandama situé entre les latitudes 5° et 10°20 Nord et les longitudes 3°50 et 7° Ouest regroupe une population estimée à plus de 3.753.775 habitants avec une superficie de 97 500 km<sup>2</sup>. Il est soumis à trois régimes climatiques tous caractérisés par deux saisons de pluie et deux saisons sèches, avec une végétation dégradée sur un sol ferralitique surimposé à certains endroits par des sols de type ferrugineux.

Au plan géologique, la région est située dans le granitoïde baoulé (Eburnéen) avec des reliques de métamorphites (Kouamélan, 1996). L'éburnéen constitue la formation principale de la zone.

Au plan hydrogéologique, un seul type d'aquifère domine le bassin. Il s'agit de l'aquifère discontinu.

La seconde partie de ce travail se propose de présenter les différentes méthodologies d'approche d'étude diagnostique et de gestion des ressources en eau à partir de modèle d'analyse statistique d'un modèle d'évaluation, de gestion et de planification.

## **DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET APPROCHE METHODOLOGIQUE**

### **CHAPITRE II : DONNEES ET MATERIELS UTILISEES**

Dans le cadre de cette étude, la base de données constituée renferme des données provenant de cartes thématiques, des données hydroclimatiques, les données sur la répartition de la population, les données sur l'agriculture et l'élevage et les données sur les points d'eau.

Les données collectées et portées dans WEAP concernent :

- les sites de demande avec leur emplacement : urbains (ville), zone de culture et les zones d'élevages;
- les sites de l'offre (les ressources et les lieux de captage): barrage de dérivation, les cours d'eau et données hydrologiques.

#### **II-1/ Sites de demande**

Les données collectées concernent (Annexe 2, Tab. 1) :

- le *niveau d'activité annuelle* qui détermine la demande telle que la surface agricole, le nombre d'usagers de l'eau pour des motifs domestiques ou industriels ;
- la *consommation annuelle* ou le niveau de consommation d'eau par unité d'activités ;
- la *variation mensuelle* ou la part mensuelle de la demande annuelle ;
- le *taux de consommation* ou le pourcentage du débit d'entrée consommé.

Dans cette étude, seuls les sites urbains (Ferkessédougou et Zuénoula), agricoles (Canne à sucre Ferké 1 et 2 et Zuénoula) et élevage à Ferkessédougou sont pris en compte.

#### **II-2/ Barrage de retenue**

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à deux barrages à cause de leur intense activité : le barrage Koua à Zuénoula et le barrage Lopko à Ferkessédougou. Les données nécessaires sont les capacités de stockage des barrages Koua (dans la Marahoué) et de Lopko (Bandama). Les terres irriguées par ces barrages couvrent successivement une superficie de 6278 ha et 13644 hectares.

#### **II-3/ Cours d'eau**

La principale ressource en eau est le Bandama avec son affluent : le Marahoué.

Les données hydrométriques, au pas de temps mensuel, recueillies auprès de la Direction de l'Hydraulique Humaine (DHH) de 1980 à 1995 (16 ans) sont utilisées (Annexe 2, Tab. 2). Ils ont été mesurés à trois stations : à Bada (24050 km<sup>2</sup>) et Tiassalé (61850 km<sup>2</sup>) sur le Bandama puis à Bouaflé (19800 m<sup>2</sup>) sur la Marahoué.

#### **II-4/ Données hydrologiques et climatiques**

Les données météorologiques mises à notre disposition par la Société de Développement et d'Exploitation Maritime et Aéroportuaire (SODEXAM) proviennent de 11 stations pluviométriques, dont 10 à l'intérieur du bassin versant et un à l'extérieur (Grand-Lahou). Nous disposons aussi de stations de mesure de température à Korhogo et à Bouaké. Les séries pluviométriques analysées sont au pas de temps mensuel et couvrent la période de 1961 à 2002, soit une durée de 42 ans (Annexe 2, Tabl. 3).

#### **II-5/ Logiciels utilisés**

Nous disposons d'un bureau équipé d'un ordinateur Pentium et d'une imprimante.

Les logiciels utilisés sont :

- ArcGIS pour la réalisation de la carte du bassin du Bandama ;
- Le programme *EVC* (Evaluation de la Variabilité Climatique) écrit en langage *QUICK BASIC* (Coulibaly, 1997) permet de calculer les indices pluviométriques, l'évapotranspiration, d'évaluer le bilan d'eau et de calculer le coefficient de tarissement et le volume d'eau mobilisé ;
- Le logiciel *Khronostat 1.0* a permis de détecter les ruptures dans les séries chronologiques ;
- WEAP est utilisé pour la planification de l'exploitation de toutes les ressources en eau. Le logiciel WEAP est téléchargeable sur le site: <http://www.weap21.org>.

#### **Conclusion partielle**

Les différents matériels utilisés dans la recherche et la collecte des données nous ont permis d'acquérir de nombreuses informations utiles à la réalisation de cette étude. Les données pluviométriques et hydrométriques sont d'un apport considérable dans l'étude des variabilités climatiques qui ont affecté la zone d'étude depuis ces dernières décennies. Les données de population, agricole et élevage permettront de suivre la variation de l'état des ressources en eau de la zone d'étude. Le volume et l'importance des données collectées requièrent un matériel de traitement fiable et robuste qui nous a été fourni par la Direction des Ressources en Eau.

### **CHAPITRE III : SITUATION DES RESSOURCES EN EAU**

Nous ferons une analyse des ressources hydriques par une étude de la climatologie ; connaissance des précipitations et leurs régimes. Ce qui nous permettra de faire un inventaire des eaux de surface et souterraines.

#### **III-1/ Ressources en eau**

La connaissance du régime pluviométrique de la zone d'étude permet de mettre en évidence les périodes arides et humides puis faire un inventaire des eaux de surface et souterraines. L'étude de la fluctuation pluviométrique a été réalisée par la méthode de calcul d'indice de Nicholson et de l'indice standardisé de précipitation (SPI).

##### **- Indice de Nicholson**

L'indice pluviométrique est défini comme l'écart entre les précipitations annuelles et la moyenne annuelle sur une période donnée. Il est exprimé en pourcentage et se calcul selon la formule de Nicholson *et al.*, (1988) :

$$I_P = \frac{(X_i - \bar{X})}{\delta}$$

$I_P$  : Indice pluviométrique ;  $X_i$  : Hauteur de pluie (ou débit) pour une année  $i$

$\bar{X}$  : Moyenne annuelle de pluie (ou débit) pendant une période donnée

$\delta$  : Écart-type de la pluviométrie (ou débit) sur la période d'étude

Son calcul nous permettra de déterminer les périodes humides et les périodes sèches des régimes pluviométriques.

##### **- Indice Standardisé de Précipitation (PSI)**

Cet indice permet de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. Il s'exprime selon la formule suivante :

$$SPI = (P_i - P_m) / \sigma$$

Avec  $P_i$  : pluie annuelle ;  $P_m$  : pluie moyenne annuelle et  $\sigma$  : écart type de la série considérée. Son calcul permet de définir six classes en fonction des différentes valeurs de SPI obtenues (Annexe 2, Tab. 4).

Afin de confirmer le découpage saisonnier obtenu à partir du calcul des indices pluviométriques, les séries pluviométriques sont soumises au test de détection de rupture de Pettitt (1979) et au test de segmentation d'Hubert.

- ***Méthode de Pettitt***

Le principe de ce test est le suivant :

- la série étudiée (effectif N) est divisée en deux sous échantillons de taille m et n respectivement ;
- les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillon dans l'échantillon total.

Une étude statistique est ensuite réalisée à partir des deux sommes ainsi déterminées, puis testée selon l'hypothèse d'aucune appartenance des sous échantillons à la même population (Annexe 2-I).

- ***Méthode de Segmentation d'Hubert***

La procédure de segmentation de séries hydrométéorologiques est adaptée à la recherche de multiples changements de moyenne dans la série (Annexe 2-II). Son principe est de «découper» la série en m segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment est significativement différente de la moyenne du (ou des) segment (s) voisin (s).

La segmentation retenue au terme de la mise en œuvre de la procédure doit être telle que pour un ordre m de segmentation donné, l'écart quadratique  $D_m$  soit minimum et que les moyennes de deux segments contigus soient significativement différentes. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse de stationnarité de la série est acceptée.

### **III-2/ Evaluation des ressources en eau**

Un bilan global des ressources en eau sera fait. Nous utiliserons le réseau hydrométrique du bassin versant pour l'évaluation quantitative des eaux de surface.

- ***Evapotranspiration***

L'évapotranspiration exprime les pertes en eau par évaporation des nappes superficielles et souterraines et par transpiration des végétaux. Les méthodes qui permettent l'évaluation de ces paramètres sont nombreuses et variées, entre autres, les méthodes de Turc, Thornthwaite, de Penman et Coutagne, parmi les quelles nous retiendrons celle de Thornthwaite (Annexe 2-III).

- ***Evaluation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite***

En Côte d'Ivoire, plusieurs auteurs ont utilisé cette méthode pour calculer le bilan hydrologique (Soro, 1987 ; Biémi, 1992 et Saley, 2003). Elle repose sur une estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et permet une

estimation globale de l'infiltration sur la zone d'étude. Pour la période 1961-2002, nous avons choisi le mois d'avril comme point de départ de l'année hydrologique. Ce mois est en fait le mois où les réserves d'eau dans le sol sont épuisées (Soro, 1987). Selon Thornthwaite, la quantité d'eau que peut emmagasiner le sol pour porter ses réserves superficielles à saturation est de 100 mm.

Deux cas de figures peuvent se présenter :

- , alors  $ETP=ETR$ . La reconstitution des réserves d'eau est amorcée. Le surplus de la réserve utile fixée à 100 mm servira à l'écoulement de surface et souterrain.
- , l'évapotranspiration réelle est réalisée aussi bien sur les précipitations que sur les réserves d'eau emmagasinées par le sol. Lorsque celles-ci seront totalement épuisées, alors l'évapotranspiration se fera sur les précipitations.

Le ruissellement et l'infiltration ont été estimés à partir du bilan de l'eau (Annexe 2-IV).

### **III-3/ Demande en eau**

Nous avons distingué trois secteurs d'utilisation d'eau : secteur alimentation en eau potable, secteur élevage et le secteur agriculture.

Le besoin en eau est estimé par la formule ci-dessous :

$$B_E = N_a \times b_t$$

$N_a$ : nombre d'activité (nombre de population, de bétail et surface cultivée)

$B_t$ : besoins en eau théorique par type

$B_E$ : besoins en eau

#### **III-3-a/ Alimentation en eau potable**

L'approvisionnement en eau est assuré par la SODECI au niveau des villes. Le tableau ci-dessous présente le nombre d'abonné de la SODECI dans les localités de Ferkessédougou, Bouaflé, Zuenoula et Dimbokro. Dans ces villes, en dehors de quelques puisards, l'eau d'alimentation provient essentiellement des cours d'eau et des barrages.

**Tableau 1: Nombre de population abonnée à la SODECI**

Localités	Nombre d'abonnées moyenne
Bouaflé	3472
Zuenoula	1138
Dimbokro	4208
Ferkessédougou	472

L'estimation des besoins en eau potable est basée sur la ration de consommation (MEF, 2003) ; soit 65 l/j/hbt en milieu urbain et 15 l/j/hbt en milieu rural. En moyenne chaque habitant consomme en moyenne 20 litres/j (0,02 m<sup>3</sup>/j). Ce chiffre représente la quantité effectivement distribuée pour la consommation domestique. La consommation effective des habitants est de 20%.

### III-3-b/ Secteur agriculture

Pour une plante, le dosage d'eau est fonction de la qualité du sol mais ses besoins en eau dépendent de trois facteurs principaux : le climat, l'espèce végétale et le moment du cycle végétatif. Le tableau 2 donne les besoins théoriques par type de culture.

**Tableau 2: Besoins théoriques par culture**

Type de culture	Riz	Maïs	Haricot	Arachide	Canne à sucre	Manioc
Besoins en eau théoriques (m3/j/ha)	90	11	20	30	80	40

Le bassin versant dispose d'un potentiel agricole important. Il est caractérisé par une immense superficie cultivable et des milieux naturels diversifiés favorables aux différents types de cultures. Mais pour cette étude, nous intéresserons à la culture de canne à sucre.

Les besoins en eau sont représentés dans le tableau 1 de l'annexe 2

### III-3-c/ Secteur élevage

Avec plus de 192 barrages dans le bassin, l'élevage demeure une activité importante dans le bassin de Bandama. On peut distinguer l'élevage de bovins, d'ovins, caprins, porcins et volailles mais celui d'ovin et caprins est le plus pratiqué. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'élevage de Ferkessédougou à cause du nombre de bétail dans cette localité.

En général, l'alimentation en eau de ces bétails se fait indirectement sur les ressources en eau de surface. Les besoins théoriques en eau sont consignés dans le tableau 3.

**Tableau 3: Besoin en eau théorique par type d'élevage**

Type d'élevage	Bovin	Ovin et Caprin	Porcin	Volaille
Besoins en eau théoriques (litre.tête.jr)	25	5	7,25	0,1

Le tableau 4 ci-dessous donne le nombre de bétail du dernier recensement (2002). Les taux de croissance sont : bovin (3,4%), mouton et chèvre (2,4%), volaille (2,4%) (JICA, 2001).

**Tableau 4: Répartition des bétails et besoins en eau.**

Localité	Nombre de bétail en 2002				Besoin en eau (m3/jr)			
	Bovin	Mouton et chèvre	Porcin	Volaille	Bovin	Mouton et chèvre	Porcin	Volaille
Ferkessédougou	669240	225530	13160	1180	1673,1	1127,65	95,41	0,118
Dimbokro	2340	26480	1560	178	58,5	132,4	11,31	0,018
Zuenoula	2530	64400	2040	360	63,25	322	14,79	0,036

### Conclusion partiel

Ce chapitre présente les méthodes nécessaires à l'évaluation des ressources en eau.

L'étude des paramètres hydroclimatiques permet la compréhension des variations climatiques qui ont affecté le bassin versant.

Le calcul des besoins en eau permet d'estimer la consommation de chaque usager (Annexe 2, tab.1).

## **CHAPITRE IV : APPLICATION DU MODELE WEAP 2.1 DANS LA BASSIN.**

### **IV-1/ Description du logiciel**

Le logiciel WEAP est déjà utilisé dans divers pays, y compris les Etats-Unis, le Mexique, le Brésil, l'Allemagne, le Ghana, le Burkina Faso, Madagascar et la Thaïlande. WEAP ou « Water Evaluation and planning System » est créé par Stockholm Environment Institute (SEI) à Tellus Institute 11 Arlington Street, Boston, MA U2116-3411 USA par les chercheurs : Jack Seiber, Water Systems Modeler ; Chris Swartz, Research Associate et Annette Huber – Lee, Director Water Program Stockholm Environment Institute.

### **IV-1-1/ Principaux objectifs du logiciel**

WEAP place l'évaluation des problèmes spécifiques de l'eau dans un cadre global. Il intègre plusieurs dimensions : les besoins et l'approvisionnement, entre la quantité et la qualité de l'eau, et les objectifs de développement économique et les contraintes environnementales.

Les objectifs de ce système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) sont :

- d'incorporer ces dimensions dans un outil pratique pour des ressources en eau avec la projection future ;
- d'examiner des stratégies alternatives de développement et de gestion de l'eau ;
- de fournir un système de base de données pour la demande ou besoin en eau et les informations de maintien d'approvisionnement ;
- de prévoir certaines situations des ressources en eau en simulant la demande, les ressources exploitables, les écoulements et stockage, et les sources de pollutions, les traitements et décharges ;
- d'analyser le développement socio-économique en évaluant une gamme complète des options de développement et de gestion de l'eau, et en tenant compte des utilisations multiples et concurrentes des systèmes aquatiques.

### **IV-1-2/ Acquisition du logiciel**

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur le site : <http://www.weap21.org>. Par contre, pour le fonctionnel, il faut obtenir un permis ou licence d'utilisation pour les types d'utilisateur. Pour l'obtention, il faut remplir et envoyer un formulaire. L'SEI (Stockholm Environment Institute) envoie par e-mail le nom d'utilisateur et un code d'enregistrement, les instructions pour activer le logiciel WEAP et pour permettre le dispositif « économiser données » fonctionnel. Le permis d'utilisation est valide pour une durée déterminée.

La structure du logiciel est présentée dans l'Annexe 2-V.

## **IV-2/ Modélisation par WEAP**

### **IV-2-1/ Cartographie de la zone d'étude**

#### ***IV-2-1-a/ Modélisation du bassin versant de Bandama***

Dans WEAP, il existe déjà une carte du monde où on peut choisir et créer la zone d'étude.

Pour créer la carte du nouveau projet nommé « **Bandama** », on sélectionne la carte de la Côte d'Ivoire, puis on ajoute la limite du bassin versant de Bandama et le réseau hydrographique sous fichier ArcGIS comme couche du fond.

A partir du symbole « Rivière » dans la fenêtre des éléments, nous allons digitaliser le cours d'eau principal (Bandama) et son affluent (Marahoué) à cause de la densité des activités dans leurs sous-bassins.

#### ***IV-2-1-b/ Réglage des paramètres généraux***

Pour régler les paramètres temps, nous allons créer une année de comptes courants pour le projet. Nous choisirons l'année 2002 comme état actuel pour toutes informations sur le système (sites de demandes, données d'approvisionnement,...) pour raison de manque de données fiables au-delà 2002 du faite de la crise sociale que traverse la Côte d'ivoire.

### **IV-2-2/ Création des sites de demande**

Les sites de demande sont les emplacements urbains, les zones de l'agriculture et les points d'élevages. La création d'un site de demande est similaire au processus que nous avons utilisé pour créer les cours d'eau.

#### ***- Sites urbains***

Nous avons créé deux sites urbains nommés Ferkéssédougou et Zuenoula pour simuler la demande en eau de la population. A ces sites, nous avons affecté une *Priorité de la Demande* égale à 1 et fournir à ces nœuds une liaison de transmission, à partir des cours d'eau. Aussi, avons fournis aux sites un Débit de Retour, situé en aval avec un taux égal à 100%.

#### ***- Sites agricoles***

Nous avons créé deux (02) sites agricoles nommés Ferké 1&2 (Canne à sucre) et Zuénoula (canne à sucre) pour simuler la demande en eau agricole. A ces sites, nous avons affecté une *Priorité de la Demande* égale à 1 et fournir à ces nœuds une liaison de transmission, à partir des cours d'eau, en aval de celle créé pour les sites urbains. Aussi, nous avons fournis au site un Débit de Retour, situé loin en aval avec un taux égal à 100%.

- *Sites d'élevage*

De la même manière que les sites agricoles, nous avons créé un (01) site élevage nommés « Elevage Ferké » pour simuler la demande en eau du bétail.

**IV-2-2-a/ Saisie des données**

On saisit les données nécessaires pour chaque utilisateur en cliquant droit sur les emplacements digitalisés.

➤ **Saisie des éléments d'affichage cartographique**

Pour les cours d'eau, nous avons utilisé les moyennes mensuelles des séries de débit de l'année 2002 des stations de Bada sur le Bandama et de Bouaflé sur le Marahoué.

- *Pour les sites de demandes*

A partir des informations nécessaires contenues dans le tableau 1 de l'annexe 2, nous avons entré le niveau d'activité annuelle, la consommation annuelle, le taux de consommation et la variation mensuelle de chaque site de demande. Pour les sites urbains et le site d'élevage, la variation mensuelle est proportionnelle au nombre de jour dans un mois.

La variation mensuelle est exprimée comme un pourcentage de la valeur annuelle. La somme des valeurs de tous les mois doit être égale à 100 % à l'échelle d'une année.

**IV-2-2-b/ Priorités d'approvisionnement**

On appelle débit de retour, des liaisons entre les ressources et l'utilisateur créées suivant la priorité d'approvisionnement. Il existe 3 grands sites de demande dans le bassin:

- **l'agriculture de priorité 1**: représentée la culture de canne à sucre ;
- **domestique de priorité 1** : qui regroupe l'ensemble des consommations d'eau des populations. Les liaisons permettent de préciser la ou les sources qui permettent de satisfaire cette demande.
- **Elevage de priorité 1** : ce sont les besoins en eau du cheptel, ils sont couverts à partir de l'aquifère.

**IV-2-3/ Création des hypothèses clés**

Cinq (5) hypothèses principales sont créées :

- l'utilisation d'eau domestique (7,3 m<sup>3</sup>);
- les besoins en eau pour l'agriculture (29200 m<sup>3</sup>) ;

- l'utilisation d'eau mensuelle ;
- le taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur (2,2%) ;
- le taux de croissance du bétail (2,5%)

Il faut noter que WEAP possède une fonction qui permet de calculer automatiquement le nombre de population future. Le logiciel modélise automatiquement les besoins en eau futur en fonction des utilisateurs et les fluctuations climatiques.

#### **IV-2-4/ Modélisation des retenues**

Nous allons ajouter deux objets Barrages : un dans la rivière Marahoué en amont de Zuénoula et nommé le « Barrage Koua » servant à l'irrigation des cannes à sucre de capacité de stockage 173 million m<sup>3</sup> et l'autre dans le Bandama en aval de Ferké nommé « Barrage Lopko » de capacité 105 million m<sup>3</sup> servant à l'AEP et à l'irrigation des cannes à sucre.

#### **IV-2-5/ Création des scénarios**

##### ***IV-2-5-a/ Changement pour le temps futur de la zone***

Etant donné que le compte courant a été créé depuis que nous avons créé la zone d'étude, sous le menu « Général/Années et pas de temps », on change juste l'année de la fin des scénarios en 2050 :

*Année des Comptes Actuels*            2002 (*inchangée*)

*Fin des Scénarios*                    2050

##### ***IV-2-5-b/ Création de scénario de référence***

Le scénario de référence est un scénario hérité du compte courant. Il faut changer sa description pour refléter son rôle réel. Pour cela, quelques valeurs déjà activées dans le compte courant seront changées.

##### ***IV-2-5-c/ Sites de demande***

- ***Calcul du taux de croissance de la population***

Le taux de croissance de la population à 2.2% est ramené dans l'option « constructeur d'expression » fonction «Taux de croissance », puis utiliser l'hypothèse clé correspondante « Taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur ».

- ***Nouveau scénario pour modeler l'impact du taux de croissance élevé de la population***

Pour évaluer l'impact d'un taux de croissance plus élevé que 2.2% pour la période 2003-2050, un nouveau scénario « taux croissance élevée de population» a été créé. Pour évaluer et comparer le taux de croissance de la population si le taux de croissance augmente de 2.2% à 5.0%, on a créé un scénario « Taux de croissance fort».

- *Changement d'unité du taux d'utilisation d'eau pour l'irrigation*

WEAP possède une fonction « Générateur d'expression » pour interpoler les besoins en eau des années à venir. Pour cela, il faut choisir « Assistante des séries temporelles », puis saisir les séries chronologiques d'années et les besoins en eau correspondants.

Sachant que les surfaces agricoles vont augmenter dans les prochaines années, il faut donc évaluer le taux de besoin en eau pour l'irrigation dans le scénario de référence. Le calcul des besoins en eau futurs se fait à partir de la formule :

**B** :  $B_i (1+Y_i)^n$  dont

**B<sub>i</sub>** : besoin en eau actuel (m<sup>3</sup>/ha/an)

**Y<sub>i</sub>** : seuil de 2%

**n** : nombre d'années comptés à partir de l'année de base (2002)

Nous allons introduire les données suivantes de la série temporelle :

Type de la série temporelle : Interpoler

**Tableau 5: Taux d'utilisation de l'eau pour l'irrigation pour l'année future**

<i>Année</i>	<i>Besoins en eau</i>
2002	29200
2010	34896,70
2020	41704,79
2030	49841,09
2040	59564,71
2050	71185,34

On ramène le taux de croissance de la dernière année à 0%.

## **CHAPITRE V : GESTION DES RESSOURCES EN EAU DU BASSIN.**

### **V-1/ Problématique de la gestion des ressources en eau**

Les forces, faiblesses et problèmes prioritaires liés à l'eau dans le bassin versant ont été identifiés par activité :

#### ➤ *Eau et agriculture*

- forces

Dans le bassin, l'agriculture est relativement diversifiée avec des conditions naturelles relativement favorables et l'existence d'un plan directeur de l'irrigation.

- Faiblesses

On note l'absence de mécanismes adaptés de financement de l'agriculture et une maîtrise insuffisante de l'irrigation qui se traduit par un taux important d'abandon des périmètres aménagés. Le Code de l'eau est inopérant.

- problèmes prioritaires

Les problèmes essentiels sont : l'absence de cadre juridique et réglementaire pour l'utilisation des ressources en eau, l'absence d'un cadre institutionnel et organisationnel approprié permettant de responsabiliser clairement une autorité dotée d'un mécanisme de gestion des ressources.

#### ➤ *Eau, élevage et aquaculture*

Ici, on note l'inexistence de cadre formel de gestion des ressources en eau exposant les ressources animales et halieutiques à des risques liés à la pollution. Aucun dispositif de surveillance n'est mis en place en vue de préserver la qualité de l'eau et un manque de moyen financier, humain et matériel nécessaires à l'entretien des barrages et étangs piscicoles.

#### ➤ *Eau potable (consommation)*

- Faiblesses

On constate la dégradation des infrastructures et équipement, du fait des actes de vandalisme ou manque d'entretien dans la zone non gouvernementale et la suspension des projets et programmes. L'arrêt de toutes les activités de fracturation et de recouvrement par la SODECI.

- Problèmes prioritaires

On note la saturation des installations ou la mauvaise qualité de l'eau dans certaines zones du bassin et des problèmes d'extension de réseau.

## **V-2/ Approche de la nouvelle Politique Nationale de l'eau**

L'objectif général de la Politique Nationale de l'Eau est de contribuer au développement continu de la Côte d'Ivoire, en apportant des solutions appropriées aux problèmes liés à l'eau, dans le respect d'une gestion durable des ressources en eau. Les stratégies à mettre en œuvre pour atteindre cet objectif s'inscrivent dans un cadre de changement important sur les plans politique, administratif et organisationnel du secteur de l'eau.

Le document de Politique Nationale de l'Eau a été validé le 26 mai 2010. Elle ne définit pas un ordre de priorité entre les différents usages de l'eau, cependant l'usage « eau domestique » correspondant à la satisfaction des besoins vitaux des personnes et au respect de leur dignité est, dans tous les cas, prioritaire sur tous les autres usages. L'exercice de cet usage et des autres usages et de leur développement par des aménagements devra prendre en compte les équilibres biologiques des écosystèmes.

La structuration entre les autres usages devra être déterminée en tenant compte des spécificités locales par l'application des principes de précaution, de prévention, de correction, de participation, d'usager-payeur, de pollueur-payeur, de planification et de coopération.

## **V-3/ Cadre institutionnel**

Conformément au principe de participation, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau dans le bassin versant nécessite la mise en place d'une organisation favorisant l'implication des représentants des usagers, aussi bien pour l'élaboration des documents d'orientation politique que pour la mise en œuvre de la gestion des eaux de surface et des barrages. On distingue :

- l'Autorité charge de l'eau, prévue par le code de l'eau;
- l'Agence Nationale de l'eau de Côte d'Ivoire (ANECI) ;
- les ministères dont les missions ont un lien avec l'eau et l'assainissement ;
- les collectivités territoriales décentralisées;
- les structures de gestion des bassins et des sous-bassins.

En plus des ces organes, mettre en place deux organes consultatifs : le Comité National de l'Eau et de l'Assainissement (CNEA) et le Comité Interministériel de l'Eau et de l'Assainissement (CIEA) pour favoriser la concertation entre tous les acteurs du secteur de l'eau et de l'assainissement.

Ces deux organes consultatifs sont prévus par la Politique Nationale de l'Eau.

#### **V-4/ Prise en compte de l'environnement**

Une meilleure prise en compte de l'environnement sera obtenue par les mesures suivantes :

- la mise en œuvre de technologies qui tiennent compte de la vulnérabilité de la ressource en eau et des possibilités des gestions des usagers (capacités techniques et financières) ;
- une meilleure prise en compte des questions de l'eau dans les politiques d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

#### **V-5/ Stratégie de financement**

La stratégie de financement de la politique nationale s'articule autour des deux axes majeurs ; Celui de la mobilisation des ressources nationale et celui de la mobilisation de l'aide extérieure au secteur de l'eau.

Dans ce contexte, le Fonds National GIRE constitue une ressource dans le développement des activités liées à la mise en œuvre de la GIRE dans le bassin du Bandama. Comme solutions :

- les collectivités doivent participer aux financements des investissements ou à d'autres interventions dans le cadre de leurs activités dans le domaine de l'eau;
- les usagers et le privé doivent contribuer au financement par la constitution de ressources propres en payant des taxes/redevances sur le prix de l'eau ou autre services (exhaure, distribution, gestion des barrages).

## TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### CHAPITRE VI : RESULTATS DE L'EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU

#### VI-1/ Etudes des précipitations

Les variations de la pluviométrie annuelle de 1961 à 2002 sont représentées à la **figure 4A** pour l'ensemble des stations couvrant le bassin versant et ses alentours. La zone d'étude est marquée par une alternance d'années humides et d'années sèches. La hauteur de pluie moyenne dans le bassin est de 1279 mm.

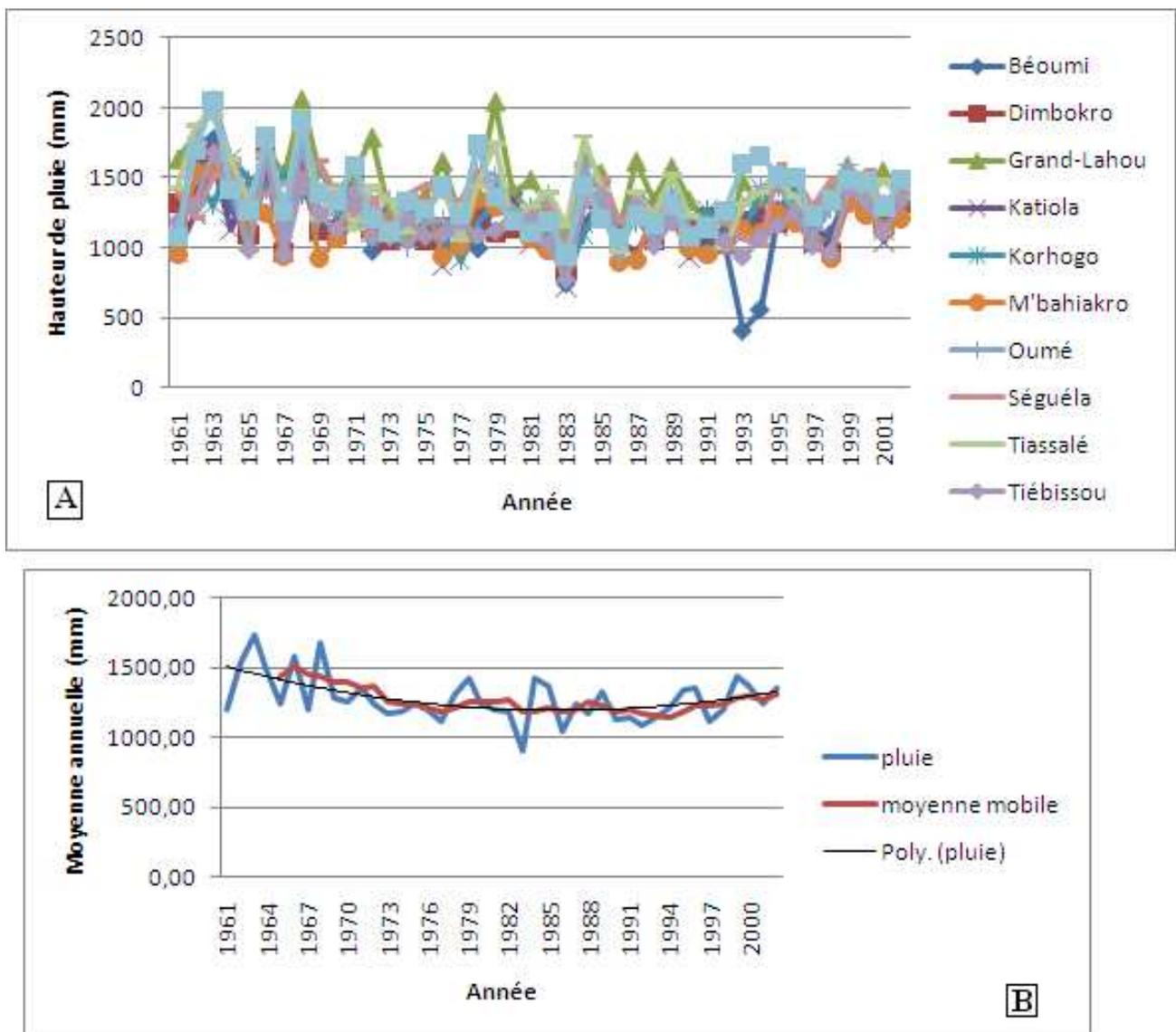


Figure 3: Evolution temporelle de la pluviométrie annuelle dans la zone d'étude

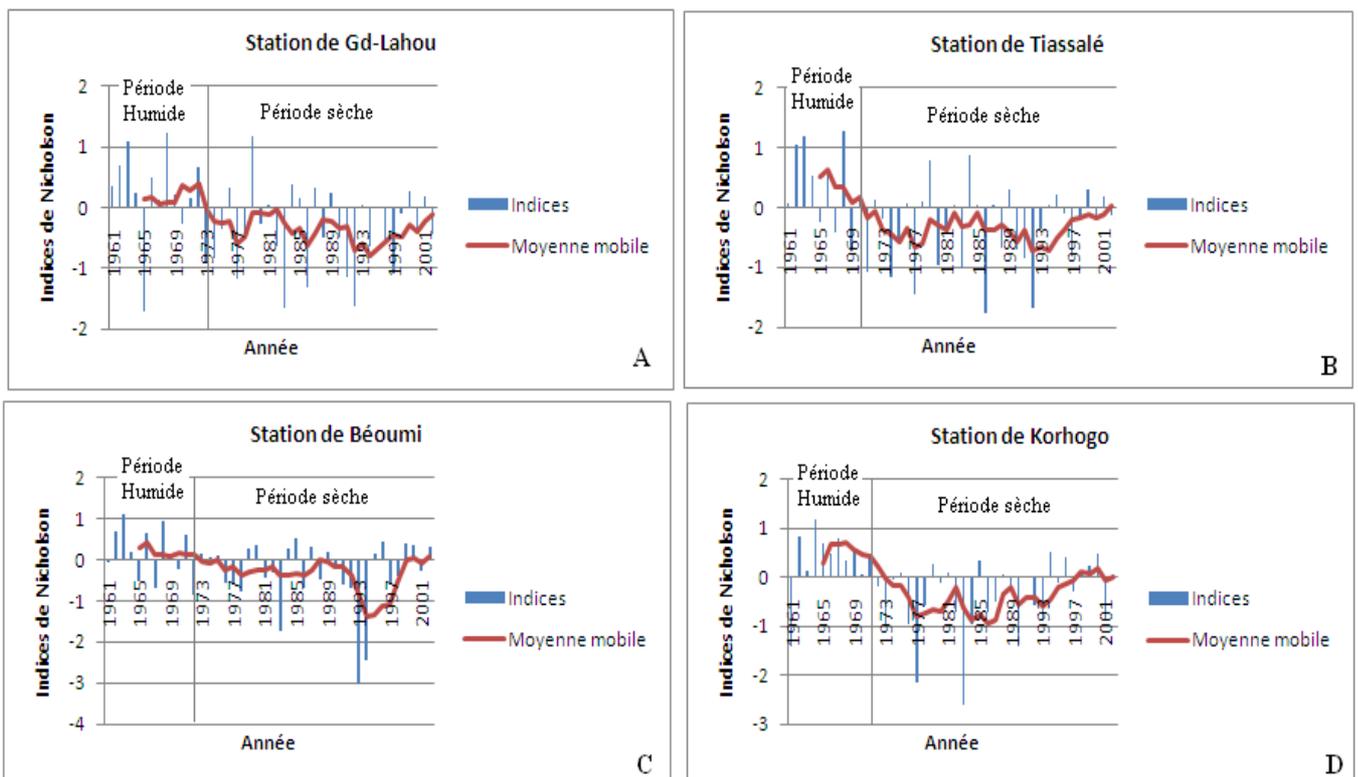
Le **graphe 4B** montre la courbe représentative des séries pluviométriques ainsi que la courbe de tendance de l'ensemble du bassin. La courbe de tendance (ligne noire) indique la valeur normale de la pluviométrie dans la région. En dessous de cette courbe, il y a un climat sec et très sec et en dessus, il indique un climat humide et très humide.

## VI-1-a/ Calcul d'indices

### Indices de Nicholson

Les valeurs des indices de Nicholson calculés sur les séries chronologiques des 11 stations pluviométriques et les moyennes mobiles d'un intervalle de 5 ans associées ont permis d'identifier les différentes périodes climatiques humides et sèches sur tout l'ensemble de la zone d'étude. Selon **Savané et al. (2001)**, la période humide correspond à une période où la moyenne est supérieure à la moyenne de la pluviométrie totale. Par contre, pour la période sèche, elle est inférieure à la moyenne de la pluviométrie.

Les courbes de la **figure 5**, relative aux stations de Grand-Lahou (A), de Tiassalé (B), de Béoumi (C) et de Korhogo (D) donnent la répartition suivante : une période humide de 1961 à 1970 et une période sèche de 1973 à 2002. Ce découpage confirme la baisse généralisée des précipitations constaté partout en Afrique de l'Ouest et en Côte d'Ivoire à partir des années 1970 (Servat et al., 1997).



**Figure 4: Variation des indices pluviométriques et moyenne mobile**

Dans le Sud du bassin (Grand-Lahou et Tiassalé), la sécheresse a été plus intense de 1973 à 1979 et de 1993 à 1996, dans le Centre à Béoumi, la période 1993 à 1997 a été plus sèche avec un extrême en 1993. Par contre dans le Nord à Korhogo, la période 1977 à 1993 a été plus sèche, soit 16 ans.

### Indice Standardisé de Précipitation (SPI)

Une analyse fréquentielle des précipitations nous a permis de classer les années suivant les valeurs de probabilité au non dépassement afin de mieux cerner la sécheresse sur les zones d'influences. Le tableau 6 donne le nombre et le pourcentage d'année pour les différentes classes de SPI pour chaque station. La zone d'étude présente un climat qui varie d'une humidité extrême, forte à modérée et d'une sécheresse extrême, forte à modérée.

Dans l'ensemble du bassin, le caractère modéré du climat est plus significatif. La dominance du caractère modéré du climat lui impose une tendance modérée. Cela peut s'expliquer par le taux d'humidité qui varie de 40% à 50% dans la zone soudanais, 60 à 70% dans la zone tropicale et 80 à 90% dans le subéquatorial (DE, 2000).

**Tableau 6: Répartition des SPI dans les différentes stations pluviométriques**

Station	Grand-Lahou		Tiassalé		Séguela		Béoumi	
	Nbre d'années	Pourcentage (%)						
Humidité extrême ( $SPI > 2$ )	3	7,14%	3	7,14%	2	4,76%	1	2,38%
Humidité forte ( $1 < SPI < 2$ )	2	4,76%	4	9,52%	8	19,05%	5	11,90%
Humidité modérée ( $0 < SPI < 1$ )	15	35,71%	13	30,95%	14	33,33%	15	35,71%
Sécheresse modérée ( $-1 < SPI < 0$ )	15	35,71%	17	40,48%	11	26,19%	18	42,86%
Sécheresse forte ( $-2 < SPI < -1$ )	7	16,67%	5	11,90%	7	16,67%	1	2,38%
Sécheresse extrême ( $SPI < -2$ )	0	0,00%	0	0,00%	2	4,76%	2	4,76%
Année d'observation	42	100,00%	42	100,00%	44	104,76%	42	100,00%

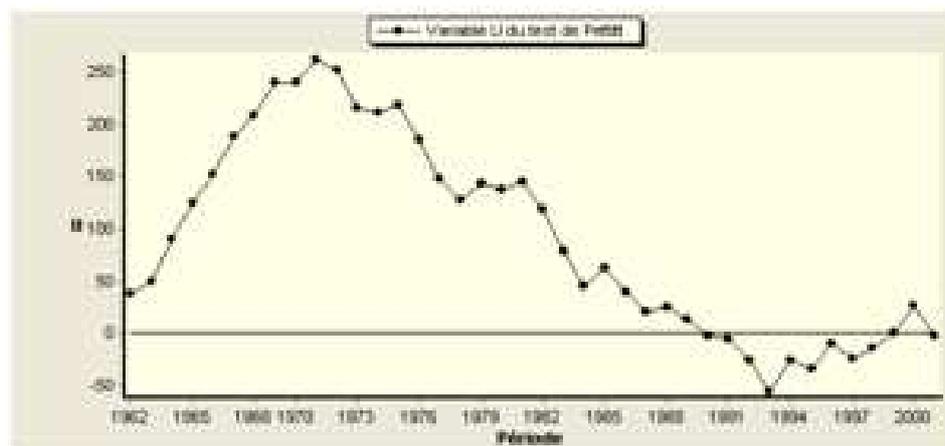
  

Station	Zuénoula		Dimbokro		Katiola		Korhogo	
	Nbre d'années	Pourcentage (%)						
Humidité extrême ( $SPI > 2$ )	2	4,76%	3	7,14%	1	2,38%	1	2,38%
Humidité forte ( $1 < SPI < 2$ )	4	9,52%	2	4,76%	5	11,90%	4	9,52%
Humidité modérée ( $0 < SPI < 1$ )	11	26,19%	14	33,33%	12	28,57%	17	40,48%
Sécheresse modérée ( $-1 < SPI < 0$ )	19	45,24%	20	47,62%	19	45,24%	15	35,71%
Sécheresse forte ( $-2 < SPI < -1$ )	6	14,29%	2	4,76%	4	9,52%	3	7,14%
Sécheresse extrême ( $SPI < -2$ )	0	0,00%	1	2,38%	1	2,38%	2	4,76%
Année d'observation	42	100,00%	42	100,00%	42	100,00%	42	100,00%

## VI-2/ Analyse des ruptures dans les séries pluviométriques

### *Test de rupture de Pettitt*

Le test de Pettitt ne détecte qu'une seule rupture en 1970 (c'est-à-dire ici une diminution de la pluviométrie annuelle) à la station de Korhogo, celle-ci correspond à l'évolution jugée la plus significative dans la série.



**Figure 5: La courbe de la variable U du test de Pettitt en fonction du temps à Korhogo**

Cette rupture montre bien qu'il y a deux (2) périodes climatiques dans le Nord de la zone d'étude. La courbe de la variable U du test de Pettitt en fonction du temps (fig. 5) est une courbe en cloche. Cette forme en cloche traduit le fait que la rupture se fait dans le sens de la diminution des pluies. Nous avons donc une tendance à la baisse.

#### ***Test de rupture par la segmentation de Hubert***

Le résultat de la segmentation de Hubert appliquée à la série chronologique de Korhogo montre que la série présente une segmentation optimale d'ordre 2, donc elles possèdent une rupture à ordre 1.

### **VI-3/ Résultat de l'étude de l'évapotranspiration**

#### ***- Bilan hydrologique sur toute la période d'étude***

Le tableau 7 donne le résultat du bilan hydrologique à Ferkessédougou et à Zuénoula par la méthode de Thornthwaite de 1990 à 2002.

**Tableau 7: Bilan hydrologique de Ferké (a) et de Zuénoula (b) par la méthode de Thornthwaite**

	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
Température °C	25,9	27,4	28,9	28,5	27,2	25,8	24,6	24,6	24,9	25,5	26,2	25,5	
Facteur de correction	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,1	1,03	0,98	0,89	0,88	
Précipitations P (mm)	7	11	55	112	131	175	203	268	189	90	21	3	1265
ETP moyen (mm)	111	131	188	188	173	142	122	116	110	114	114	102	1611
ETR moyen (mm)	7	11	55	112	131	142	122	116	110	114	97	3	1020
Bilan hydrique (P-ETP)	-104	-120	-133	-76	-42	33	81	152	79	-24	-93	-99	
Réserve utile (mm)	0	0	0	0	0	33	100	100	100	76	0	0	
Surplus du bilan (mm)	0	0	0	0	0	0	13	152	79	0	0	0	244

a)

	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
Température °C	26,8	27,9	28,3	27,5	26,5	25,2	24,1	24	24,7	25,5	26,1	25,7	
Facteur de correction	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,9	0,89	
Précipitations P (mm)	11	45	100	112	165	212	131	158	206	154	76	18	1388
ETP moyen (mm)	127	140	174	163	157	130	114	106	107	114	114	107	1553
ETR moyen (mm)	11	45	100	112	157	130	114	106	107	114	114	80	1190
Bilan hydrique (P-ETP)	-116	-95	-74	-51	8	82	17	52	99	40	-38	-89	
Réserve utile (mm)	0	0	0	0	8	90	100	100	100	100	62	0	
Surplus du bilan (mm)	0	0	0	0	0	0	7	52	98	40	0	0	197

b)

Les valeurs moyennes interannuelles de l'ETR s'élève à 1020 mm, soit 80,63% des précipitations à Ferkessédougou et à 1190, soit 85,73% des précipitations à Zuénoula. C'est le déficit d'écoulement.

L'analyse de ce tableau permet de faire des critiques suivants :

- En juin, les précipitations deviennent supérieures à l'évapotranspiration, soit respectivement 33 mm et 82 mm à Ferké et à Zuénoula. Cette quantité d'eau servira à reconstituer le stock des réserves épuisées.
- En Juillet, le sol atteint sa saturation et même dépassée de 244 mm et 197 mm respectivement à Ferké et à Zuénoula. Une partie servira à l'écoulement de surface et l'autre à l'alimentation des nappes.
- A partir d'octobre, nous assistons à un épuisement de la réserve à Ferké et de novembre à Zuénoula. Mais elle est de nouveau renforcée par les apports de la petite saison des pluies d'octobre sans qu'il soit de l'eau disponible.

L'excédent d'eau, se répartissant entre l'écoulement et l'infiltration est de 197 mm, soit 14,19% des précipitations à Zuénoula et 244 à Ferkessédougou, soit 19,28% des précipitations. Cet excédent faible voudrait dire que les conditions de recharge des nappes souterraines sont mauvaises.

- **Infiltration à partir de l'équation du bilan**

Par zone climatique :

P = 1388 mm dans le Baouléen (Zuénoula) et P = 1265 dans le Soudanien (Ferkessédougou).

E = 1020 mm à Ferkessédougou et 1190 à Zuénoula

(R+I) = 197 mm à Zuénoula et 244 à Ferkessédougou.

Nous garderons le coefficient d'écoulement de 8% retenu par la MEF (2003) dans le bassin.

Ce coefficient d'écoulement étendu à l'ensemble du bassin, donne pour une précipitation de 1279 mm une lame d'eau écoulée de :

$1388 \times 0,08 = 111,04$  mm à Zuénoula et  $1265 \times 0,08 = 101,02$  mm

D'où une infiltration  $I = 197 - 111,04 = 85,96$  mm soit 6,19% des précipitations à Zuénoula ;

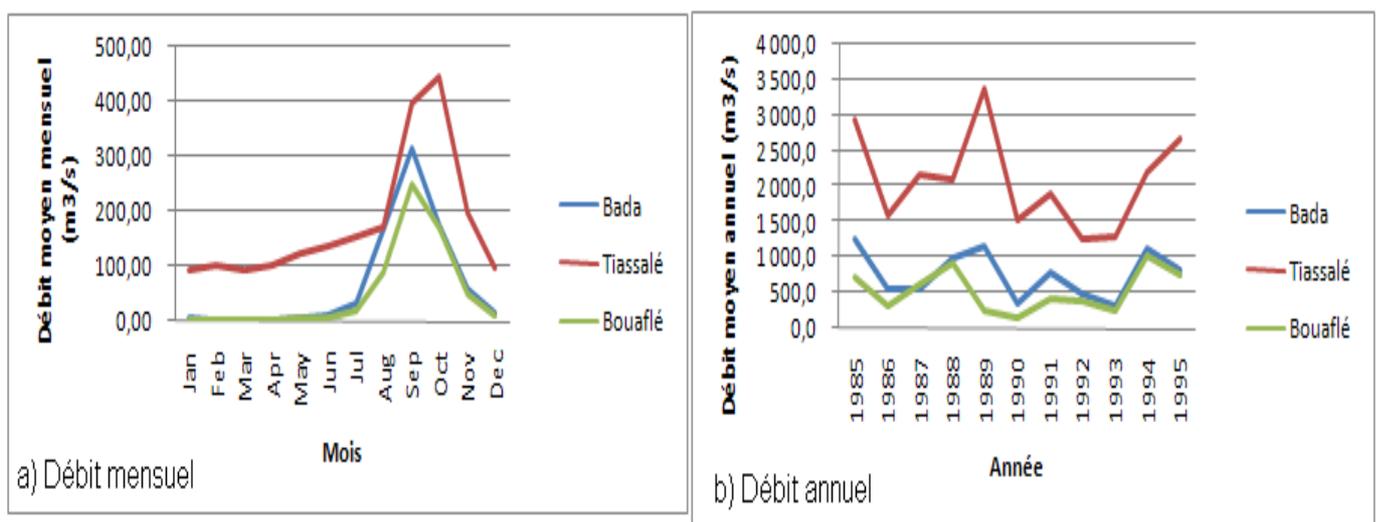
$I = 244 - 101,02 = 142,98$  mm soit 11,30% des précipitations à Ferkessédougou.

**VI-4/ Résultat de l'étude hydrologique**

- **Régime mensuel et annuel des débits**

Les courbes des débits moyens mensuels et annuels (fig.6), ont été obtenues à partir des données des stations de Bada (Bandama), Tiassalé (Bandama) et Bouaflé (Marahoué) de 1985 à 1995. Pour l'ensemble des stations, les précipitations de juillet à novembre donnent lieu à un ruissellement notable mais ce sont celles de septembre à Octobre qui engendrent des fortes crues.

L'année 1989 a été une année de crue exceptionnelle.



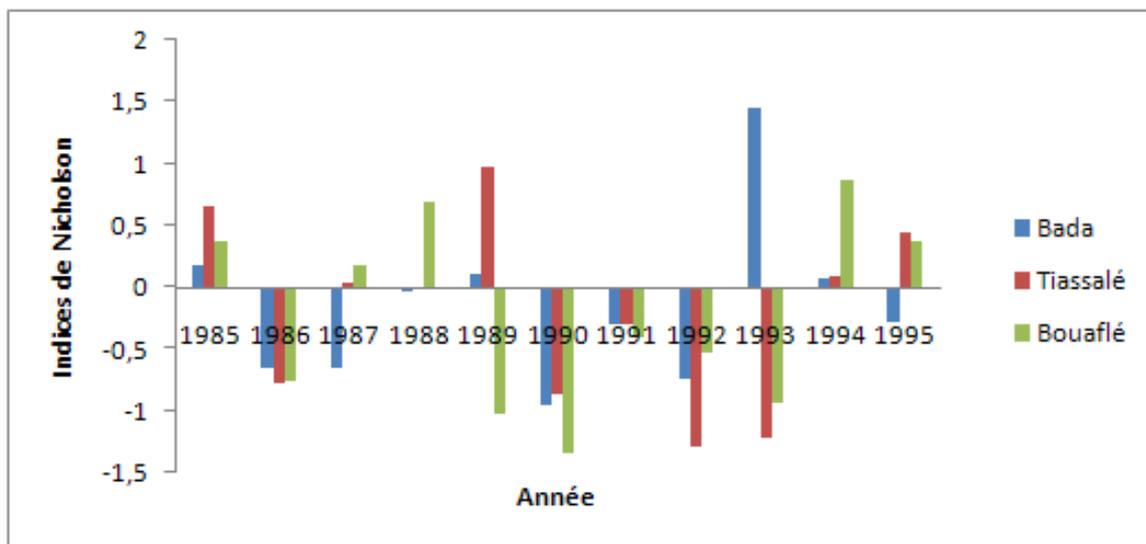
**Figure 6: Débit moyen mensuel et annuel dans le bassin versant du Bandama**

- **Régime des écoulements**

La figure 7, relative à l'ensemble des stations permet de définir :

- deux périodes nettement déficitaires ; 1986 et 1990 à 1993 marquée par des étiages exceptionnelles à Bouaflé et à Tiassalé. Ces déficits sont dus à la sécheresse qui a marqué ces périodes.
- Trois périodes de haute eau ; 1985, 1989 à 1996 et en 1995 avec une crue exceptionnelle.

La station de Bouaflé et à Bada ont enregistré respectivement un étiage en 1989 et un crue en 1993.



**Figure 7: Variation des indices d'écoulement aux stations hydrométriques (1985-1995)**

Les travaux de Goula *et al.*, (2006) dans le bassin versant montrent que les valeurs moyennes autour desquelles oscillent les coefficients sont de  $0,0581j^{-1}$  (17 jours) avant 1970 et  $0,0412j^{-1}$  (24 jours) après cette année. Ces moyennes traduisent un tarissement rapide du cours d'eau. Le volume moyen mobilisé par les aquifères s'élève à  $0,59 \text{ km}^3$  au cours de la période précédant 1970 et à  $0,45 \text{ km}^3$  de 1970 à 2000 soit une baisse de 24%. Les volumes d'eau mobilisés par année, varient donc très peu quelle que soit la vitesse du tarissement.

**Conclusion partielle**

La diminution de 15% de la pluviométrie constatée depuis le début des années 1970 a engendré une baisse des écoulements dans le bassin. Le taux d'évapotranspiration varie d'une zone climatique à une autre. S'il y a changement climatique ce taux pourra varier fortement dans la même zone.

Les pluies qui tombent sur le bassin versant ne provoqueront pas systématiquement plus de ruissellement et d'infiltrations puisque ceux-ci dépend aussi des autres facteurs comme la nature lithologique, la porosité, la perméabilité du sol et du sous sol, la couverture végétale, la topographie du bassin. Les ressources en eau du bassin de Bandama sont donc vulnérables.

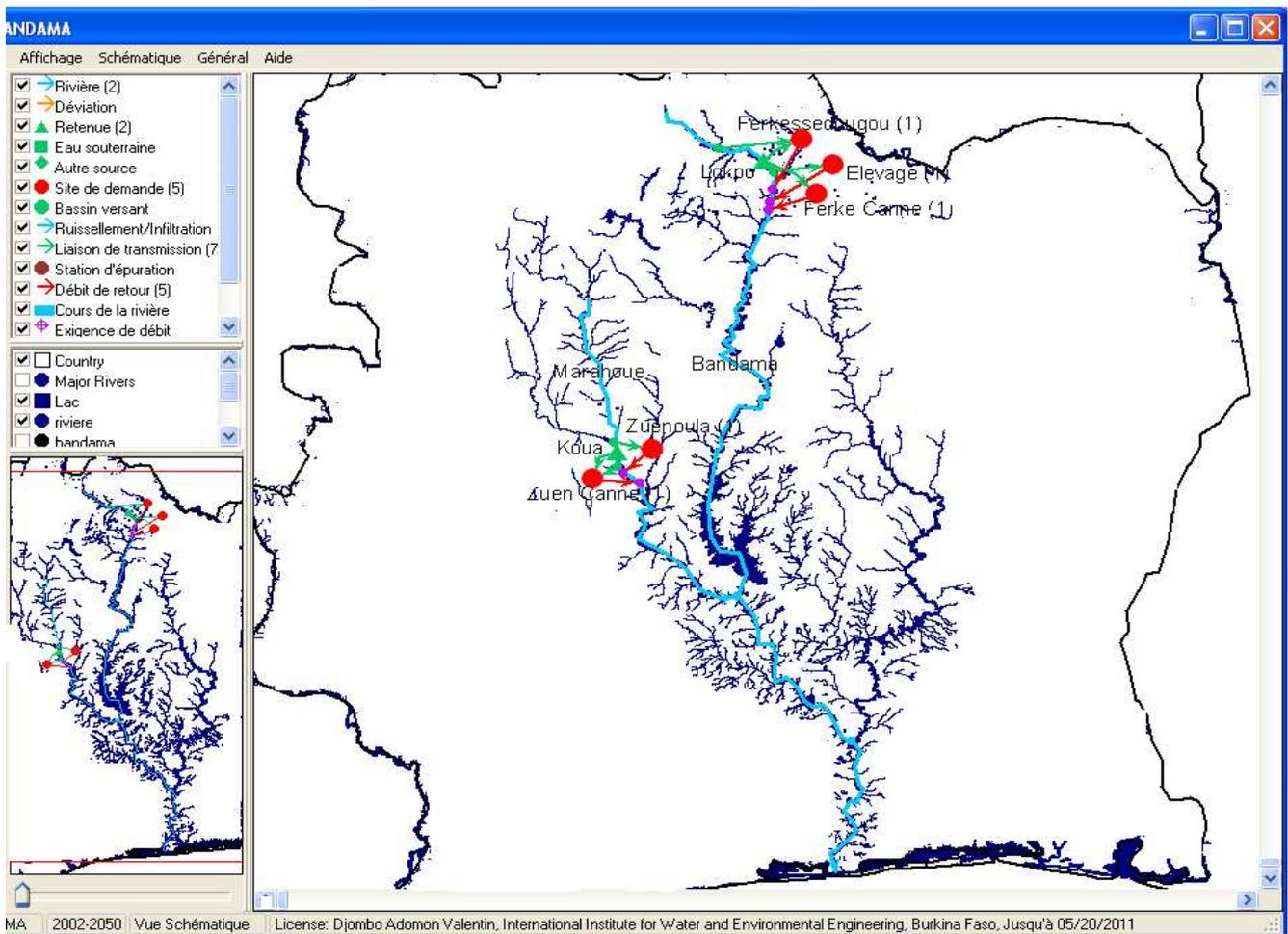
## CHAPITRE VII : RESULTATS DE L'APPLICATION DU MODELE WEAP

Les résultats de l'application du modèle WEAP 21 dans le bassin versant de Bandama sont présentés sous formes cartographique et graphique en considérant le scénario de référence.

L'horizon de projection futur considéré est de 2003-2050.

### VII-1/ Présentation cartographique finale du modèle

Le bassin versant du Bandama créé avec le modèle WEAP 21 est présenté par la figure 9 ci-dessous



**Figure 8: Le bassin versant du Bandama d'après le Modèle WEAP 21.**

Cette carte montre les fleuves Bandama et Marahoué (bleue claire) avec les ressources en eau existantes : les réseaux hydrographiques, les retenues (triangle vert) et les sites de demandes ou utilisateurs (point rouge) : les villes (Ferkessédougou et Zuénoula), irrigation (Ferké canne et Zuen canne) et élevage.

Les zones de transmission ou zones d'alimentation et les utilisateurs sont reliés par une flèche verte. Après utilisation, les excès d'eau supposés déversés dans la rivière sont indiqués avec des flèches rouges.

En ne considérant que les principales ressources, on identifie comme ressources :

- deux rivières : le Bandama et le Marahoué
- deux retenues ou réservoirs : Lokpo et Koua

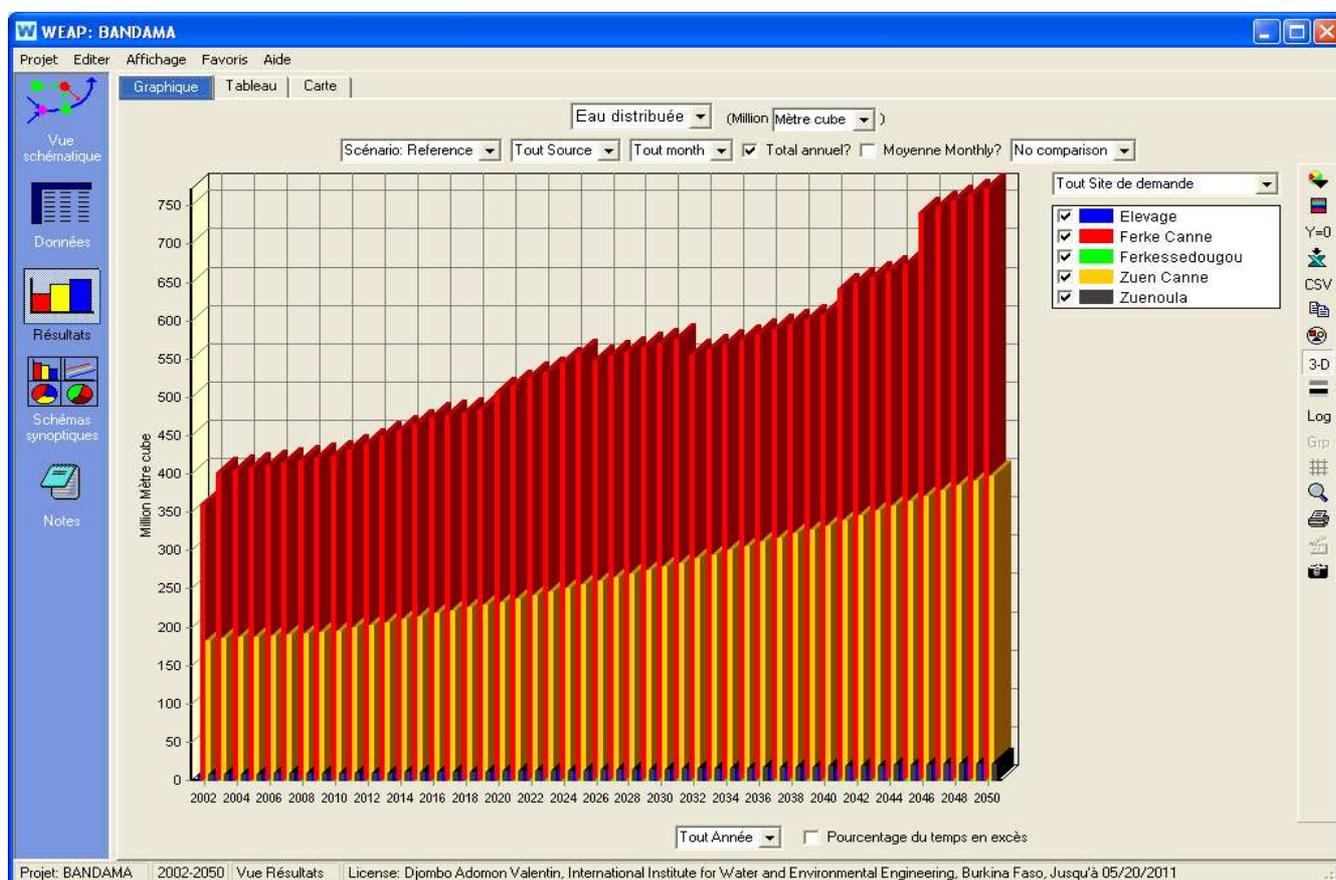
Comme sites de demande, on a distingué cinq sites.

## VII-2/ Demandes ou besoins en eau

### VII-2-a/ L'eau distribuée pour tous les sites de demandes pour l'horizon 2003-2050

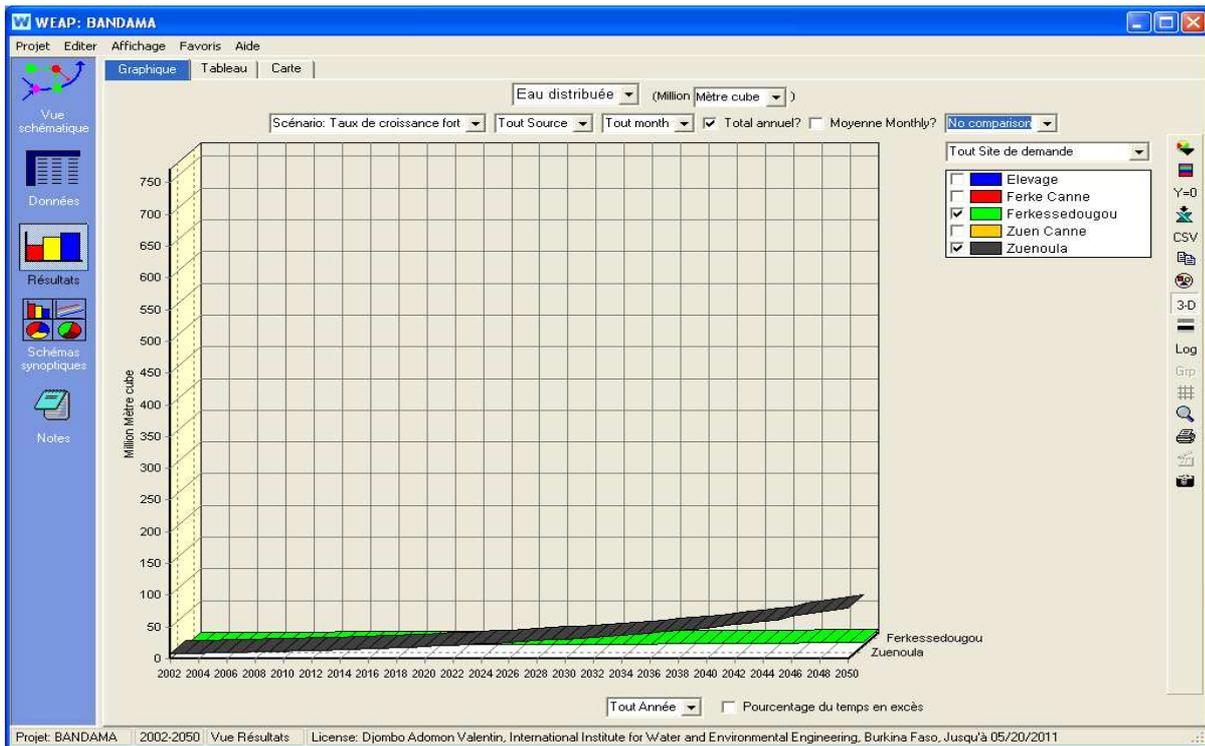
Les graphes ci-dessous (Fig.7 et 8) montrent la quantité d'eau et l'évolution des eaux distribuées pour chaque site de demandes pour le scénario de références et le scénario taux de croissance fort. Cette eau distribuée connaîtra une variation au niveau des plantations de canne à sucre. Pour les autres sites, cette variation n'est pas très remarquable.

Les données numériques sont présentées en annexe (Annexes 03, Tab.1).



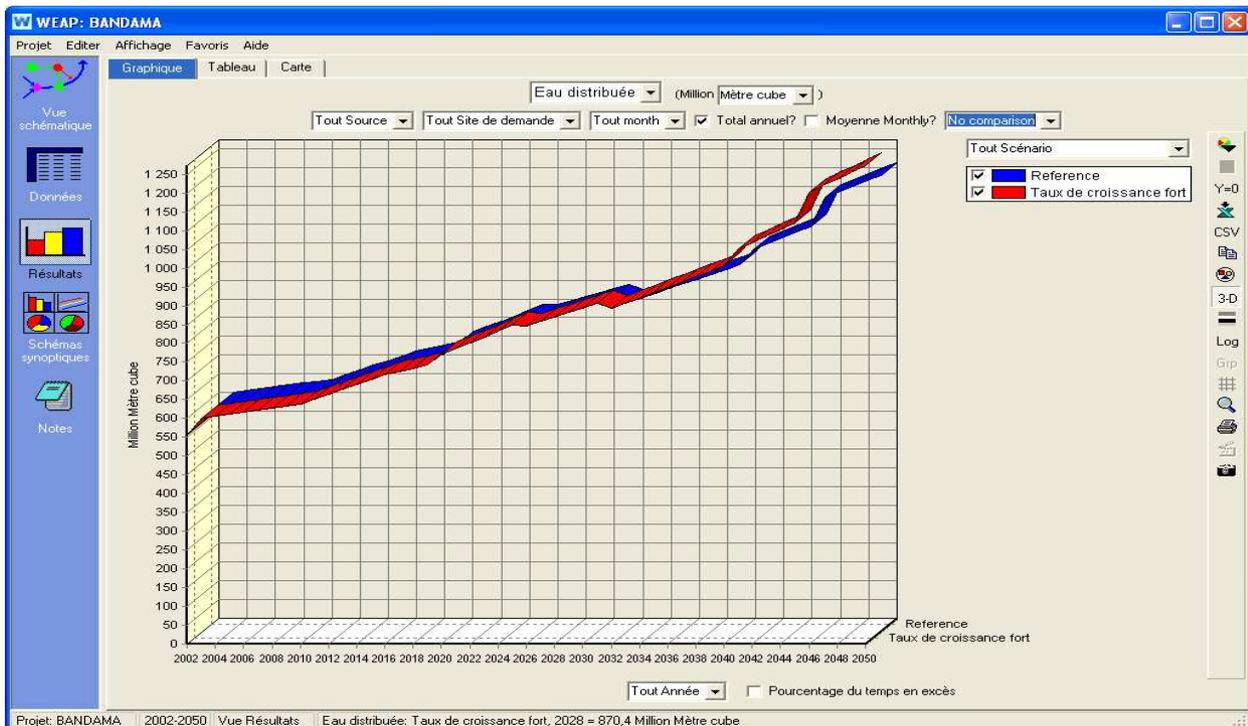
**Figure 9: Eau distribuée à chaque site de demande scénario de référence**

L'eau distribuée par ces emplacements provient de la rivière Bandama et de la retenue Lokpo (Ferkessedougou, Ferké canne), la retenue Koua (Zuen canne) ainsi que la rivière Marahoué (Zuénoula).



**Figure 10: Eau distribuée en scénario taux de croissance fort.**

La comparaison des deux scénarii (Fig. 9) montre que l'eau distribuée va augmenter de 636,1 millions de m<sup>3</sup> à 1213,6 millions de m<sup>3</sup> jusqu' à 2050 si on ne tient pas compte du fort taux de croissance.



**Figure 11: Eau distribuée en scénario de référence et taux de croissance fort.**

Par contre, s'il y a forte augmentation du taux de croissance cette augmentation ira d'étape en étape :

- de 2002 à 2030 : l'eau distribuée sera à peu près la même pour les deux scénarios ceci équivaut à une année normale ;
- de 2010 à 2030 : si pour le scénario de fort taux de croissance, cette eau distribuée passe de 907,6 millions de m<sup>3</sup> à 1005,1 millions de m<sup>3</sup> celle du scénario de référence reste en moyenne faible et le volume maximum sera atteint en 2050 avec 1273,1 millions de m<sup>3</sup>. Ceci a pour cause l'augmentation des demandes (augmentation de population, surfaces irrigables, ...) alors que les ressources vont subir aussi une modification due au changement de climat.

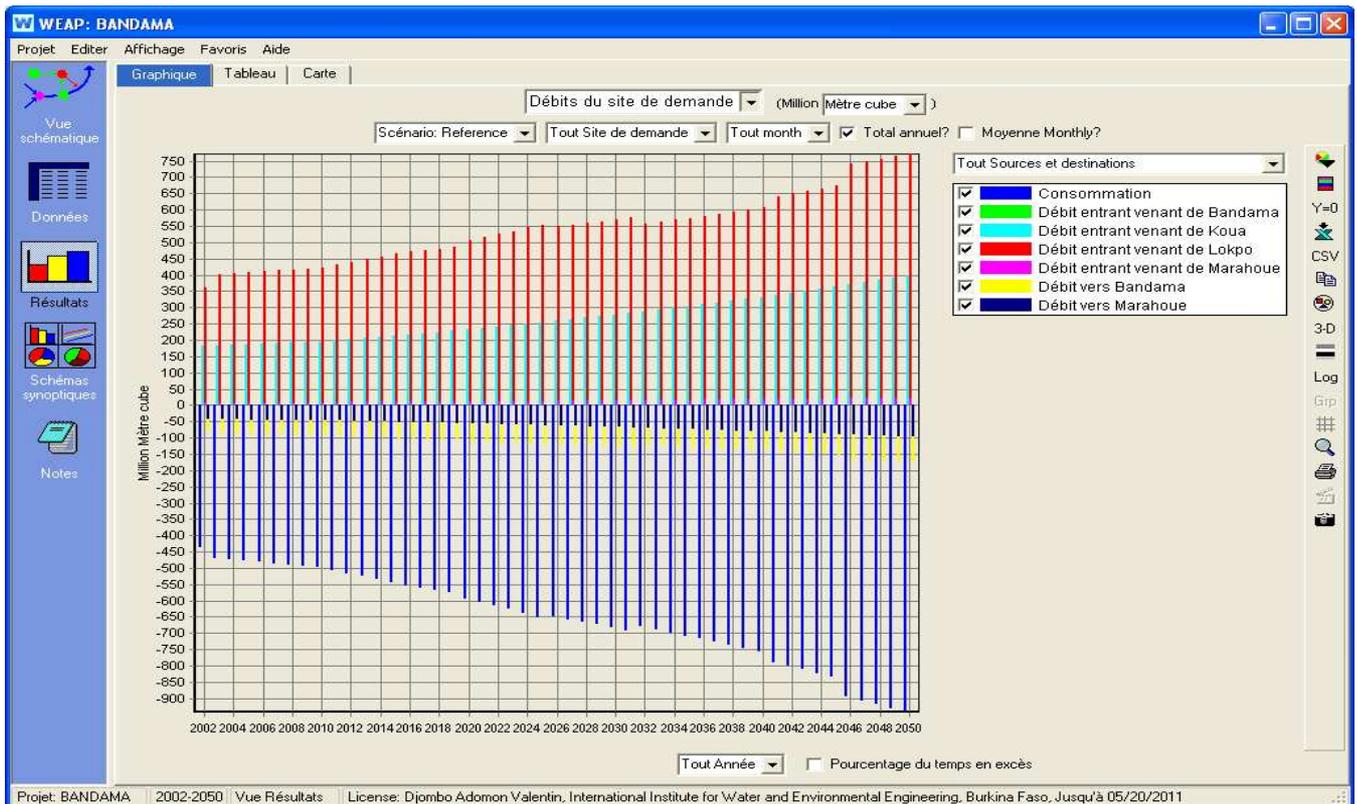
#### **VII-2-a/ Débit du site de demandes pour l'horizon 2001-2050**

Les graphes ci- dessous (*Fig. 10 et 11*) montrent les débits entrants pour chaque site de demandes venant de toutes les sources ainsi que les consommations ; les scénarios utilisés pour évaluer ces résultats sont le scénario du fort taux de croissance et scénario de référence.

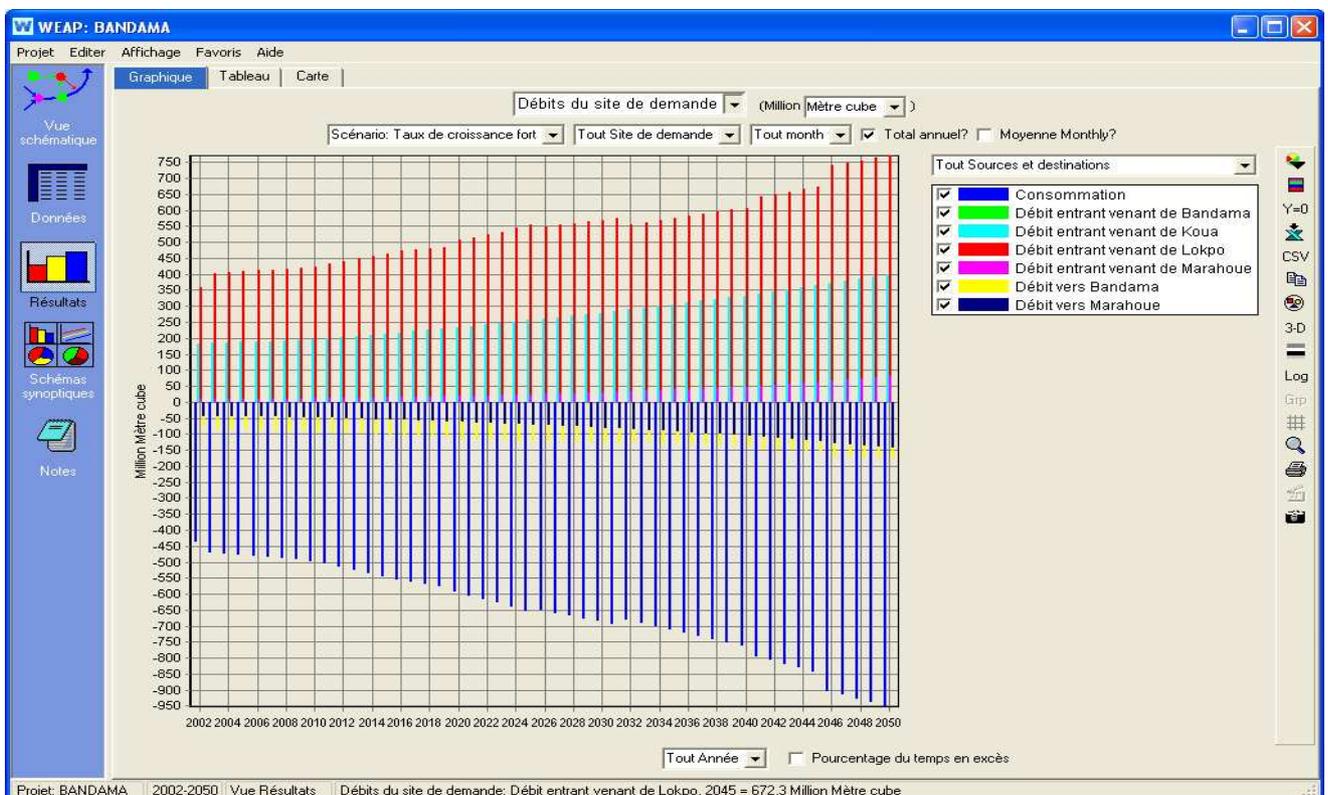
Le débit consommé est divisé en deux parties :

- les débits consommés par les besoins domestiques et élevages ;
- les débits consommés par les plantations de canne à sucre (Grand périmètre irrigué tel que Ferké 1&2 et Zuénoula) qui sont extraits directement des Retenues.

Pour l'ensemble des deux scénarios, les débits entrants sont tous consommés directement.



**Figure 12: Débits du site de demandes scénario Référence.**



**Figure 13: Débits du site de demandes scénario Référence.**

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Cette étude montre qu'au cours du siècle précédent, le bassin versant a connu une succession de périodes de déficits et humides de réception pluviométrique.

Le bassin versant du Bandama possède encore une potentialité notable en ressources en eau exploitable aussi bien en eau souterraine qu'en eau de surface.

Ces quantités d'eau exploitables nécessitent une stratégie de gestion intégrée de ressources en eau et d'adaptation aux changements climatiques des régions, une évaluation des ressources avec les besoins correspondants des utilisateurs afin de pouvoir faire un choix sur le type d'exploitation.

Tous ces travaux devraient être confiés à des personnes compétentes, à des spécialistes dans le domaine de l'eau et en même temps l'utilisation des matériels modernes.

Le logiciel WEAP est très favorable pour établir un plan de gestion des ressources en eau, en tenant compte de la croissance démographique et ou de la fluctuation pluviométrique dans un futur proche.

Il permet aussi l'établissement d'un bilan hydrologique et de bilan de gestion (offre et demande).

Par ailleurs, il faut mentionner quelques mesures d'adaptation générale pour la conservation et la protection des ressources en eau comme l'implantation d'un régime réaliste de tarification de l'eau pour éviter le gaspillage dont :

- la prévision des infrastructures nécessaires contre les risques d'inondation ;
- l'amélioration des systèmes d'assainissement dans les grandes villes;
- l'application du Plan Nationale de l'Eau.

En perspectives, des études plus détaillées dans le même bassin et ou des applications de cet outil très intéressant dans d'autres sites de demandes et d'autres bassins versants sont envisagés. Le logiciel WEAP permettra des études sur les analyses sectorielles, d'un coût de projet d'alimentation en eau d'un village (par exemple) sur la qualité des eaux et l'acheminement des pollutions et sur la proposition d'une station d'épuration dans certaines villes.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

**Aka, A. (1998)**, Variabilité des écoulements et conséquences sur les activités anthropiques. Cas du bassin versant du Bandama (Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat courant 1999. Université de Montpellier II, France.*

**Aka, A., Servat, E., Paturel, J. E., Kouamé, B., Lubès, H. & Masson (1999)**, Influences combinées de la sécheresse et de la pression anthropique sur un système d'eau aménagé en Afrique de l'Ouest : cas de la Côte d'Ivoire. *Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating (Proceedings of IUGG 99 Symposium Birmingham, July 1999). IAHS Publ. no. 255.*

**Agence Japonaise de Coopération Internationale (2001)**, Plan de gestion intégrée des ressources en eau de Côte d'Ivoire : rapport final. *KATAHIRA ET ENGINEERS INTERNATIONAL.*

**Avenard, J. M., (1971)**, Aspects de la géomorphologie. dans le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. *Mém. ORSTOM 50: 11-72.*

**Biémi J. (1992)**, Contribution à l'étude géologique hydrogéologique par télédétection des bassins-versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aire granitique de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). *Thèse d'État université d'Abidjan.*

**Coulibaly K.M. (1997)** : Evaluation du bilan hydrologique, de la variabilité climatique et du tarissement des cours d'eau par l'application des méthodes mathématiques dans le bassin versant du fleuve Sanssadra (Région de Buyo). *Mémoire de DEA des Sciences de l'Environnement, Université d'Abobo-Adjamé, 81P.*

**Dabin, B., Leneuf, N. & Riou, G., (1960)**, Carte pédologique de la Côte d'Ivoire à 1/2.000.000. *Notice explicative, ORSTOM.*

**Direction de l'Environnement (2000)**, Communication nationale initiale de la Côte d'Ivoire. *Ministère des Eaux et Forêt ; Bureau du Projet Changements Climatiques Antenne INP-HB Cocody Danga B.P. V 148 Abidjan, 97 P.*

**Direction des Ressources en Eau (2010)**, Document de Politique Nationale de l'Eau. *Ministère des Eaux et Forêt, République de Côte d'Ivoire.*

**Goula Bi T. A., Savane I., Brou Konan, Vamoryba F. et Gnamien B. K., (2006)**, Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide), *VertigO*, v. 7 n°. 1.

**Kouamelan A. N. (1996)**, Géochronologie et géochimie des formations Archéennes et protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire. Implication pour la transition Archéen – Protérozoïque. *Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes I, 280 P.*

**Lévêque C., Dejoux C. & André Iltis A. (1983)**, Limnologie du fleuve Bandama, Côte d'Ivoire O.R.S.T. O.M., Hydrobiologie, 24 rue Bayard, 75008 Paris, France.

**Ministère des Eaux et Forêt (2003)** : Gestion intégrée des ressources en eau de la Côte d'Ivoire : bilan et perspectives. *Projet de rapport*, 65 P.

**Saley M. B. (2003)**, Cartographie thématique des aquifères de fissures pour l'évaluation des ressources en eau. Mise en place d'une nouvelle méthode d'extraction des discontinuités images et d'un SIHRS pour la région semi-montagneuse de Man (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat d'Université de Cocody-Abidjan*, 209 P.

**Savane I., Coulibaly K.M. et Gioan P., (2001)**, Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man, *Sécheresse*, 12, 4, 231-237.

**Servat, E., Paturel, J. E., Lubès, H., Kouamé, B., Ouedraogo, M. & Masson, J. M. (1997)**, Variabilité des régimes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *CR Acad Sci* ; 324 : 835-8.

**Soro N. (1987)**, Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du sud-est de la Côte d'Ivoire (bassin versant de La Mé). *Thèse de Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Grenoble 1, Institut Dolomien*, 239 P.

**Perraud, A., (1971)**, Les sols. dans Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. *Mém. ORSTOM 50*: 269-391.

**Pettitt A. N. (1979)**, A non-parametric approach to the change point problem. *Appl. Stas.*, 28 (2), PP. 126-135.

**Tagini, B., (1965)**, Atlas géologique de la Côte d'Ivoire à 1 / 1.000.000. *SODEMI, Abidjan*.

### **Sites internet**

Site web WEAP21: [www.weap21.org](http://www.weap21.org)

## **ANNEXES**

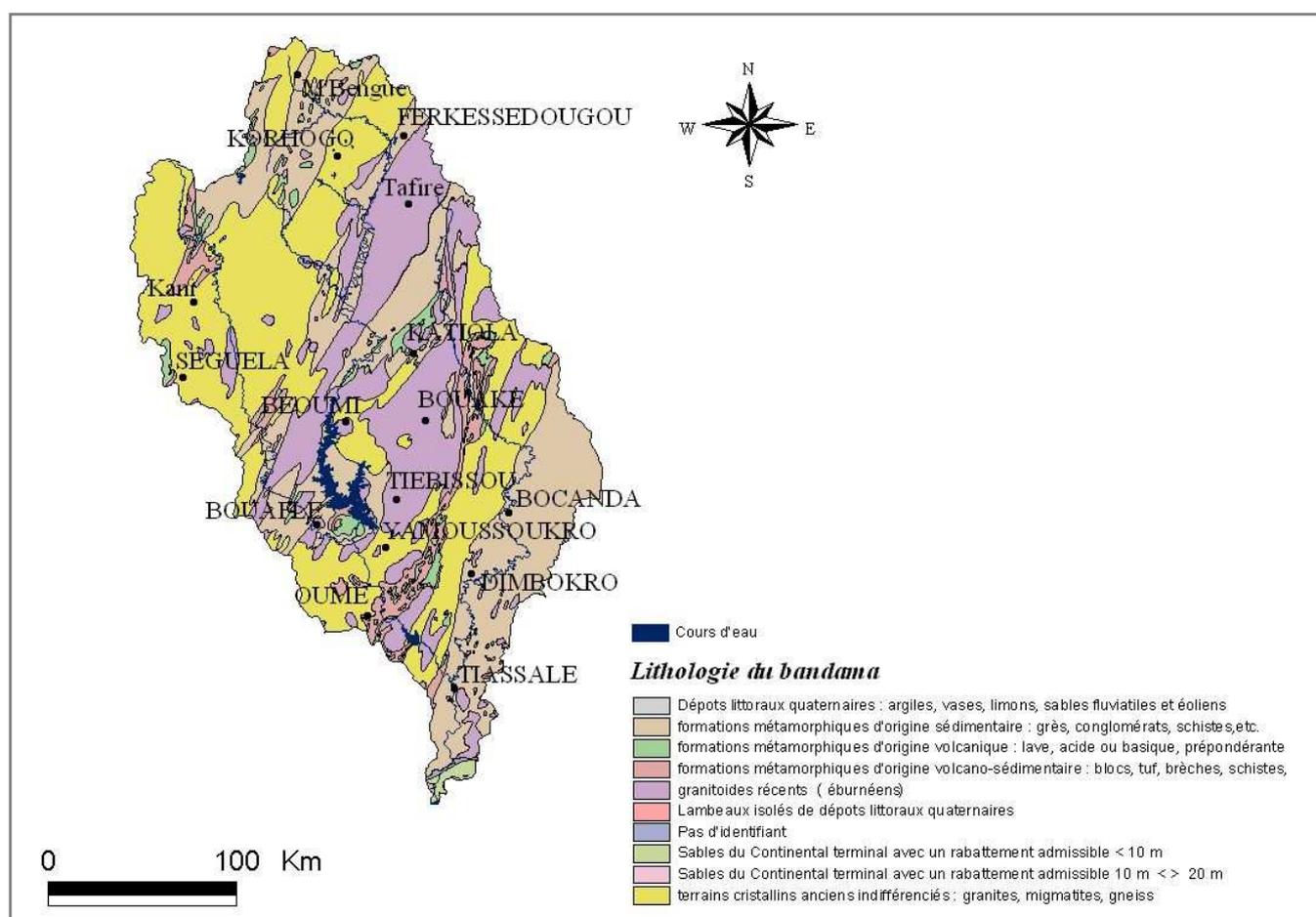
Annexe 1 : Contexte environnemental du bassin de Bandama.....	i
Annexe 2 : Données et approche méthodologique .....	ii
Annexe 3 : Report des résultats .....	x

## ANNEXE 1 : Contexte environnemental du bassin de Bandama

**Tableau 1 : Répartition de la population (INS, 2002).**

Région	Sous - préfecture	Population résidente en 2002		Total	Taux de croissance
		Urbaine	Rurale		
Vallée de Bandama	Bouaké	803107	2805	805912	3,28
	Katiola	8784	397	9181	1,23
	Béoumi	84340	4577	88917	2,48
Lacs	Yamoussoukro	328782	14226	343008	2,99
	Tiébissou	102342	6229	108571	2,89
	Toumodi	70213	319	70532	2,1
Worodougou	Séguéla	139260	1610	140870	4,47
	Mankono	67771	11208	78979	4,73
Marahoué	Bouaflé	169072	18113	187185	3,13
	Zuénoula	131752	12560	144312	2,62
Savanes	Korhogo	225539	1401	226940	1,93
	Ferkessedougou	59773	10251	70024	1,24
	M'bengué	38068	5639	43707	2,82
N'zi comoé	Bocanda	74026	7180	81206	1,04
	M'bahiakro	37781	3424	41205	-0,09
	Dimbokro	99778	610	100388	1,86
Lagunes	Grand-Lahou	90926	84838	175764	5,09
	Tia ssalé	142877	13769	156646	2,95
Fromager	Ourné	92625	43783	136408	1,67

**Figure 1 : Carte lithologique du bassin de Bandama.**



## **ANNEXE 2 : Données et approche méthodologique**

***Tableau 1 : Sites de demande et besoins en eau***

Sites de demande	Population	Niveau d'activité annuelle	Variation mensuelle	Consommation en %
<b>Villes</b>	<b>Nbre population</b>			
Ferkéssédougou	70024	7,3 m3/habt/an	Proportionnel au nombre	15
Zuénoula	144312	Douche : 40 m3/pers Toilette : 50 m3/per Autres : 25 m3/pers	de jour dans un mois	20
<b>Agricultures</b>	<b>superficie</b>			
Canne à sucre			Avril-5%	
Canne sucre Ferké1&2	13644 ha		Mai-Juin - 10%	
canne sucre Zuénoula	6278 ha	29200 m3/ha/an	Juillet - 20%	80
			Août - 30%	
			Septembre- 25%	
			Octobre à Mars- 0%	
<b>Élevages</b>	<b>Nbre de bétails</b>			
	<b>909110</b>			
Bovin	669240 (73,81%)	9,21 m3/tête/an	Proportionnel au nombre	
Mouton et chèvre	225530 (24,8%)	1,82	de jour dans un mois	3,8
Porcin	13160 (1,44%)	2,64		
Volaille	1180 (0,13%)	0,036		

*Répartition des besoins en eau pour les localités*

Localité	Population en 2002	Taux de croissance (%)	Besoins en eau en m <sup>3</sup> /an					
			2002	2010	2020	2030	2040	2050
Bouaflé	187185	3,13	1366450,5	1409220,4	1453329	1498818,2	1545731,21	1594112,6
Bouaké	805912	3,28	5883157,6	6076125,2	6275422,1	6481255,9	6693841,11	6913399,1
Dimbokro	100388	1,86	732832,4	746463,08	760347,3	774489,76	788895,265	803568,72
Ferkessédougou	70024	1,24	511175,2	517513,77	523930,94	530427,69	537004,99	543663,85
Korhogo	226940	1,93	1656662	1688635,6	1721226,2	1754445,9	1788306,72	1822821
Séguéla	140870	4,47	1028351	1074318,3	1122340,3	1172508,9	1224920,08	1279674
Tiassalé	156646	2,95	1143515,8	1177249,5	1211978,4	1247731,7	1284539,83	1322433,8
Yamoussoukro	343008	2,99	2503958,4	2578826,8	2655933,7	2735346,1	2817132,94	2901365,2
Zuénoula	144312	2,62	1053477,6	1081078,7	1109403	1138469,3	1168297,23	1198906,6

*Répartition des besoins eau agricole*

Culture	Année	Besoins en eau (m <sup>3</sup> /ha/an)
Canne à sucre	2002	29200
	2010	34896,70
	2020	41704,79
	2030	49841,09
	2040	59564,71
	2050	71185,34

*Répartition des besoins eau du bétail à Ferkessédougou*

Type de bête	Population en 2002	Taux de croissance	besoins théorique (m <sup>3</sup> /an)	Besoins en eau m <sup>3</sup> /an					
				2002	2010	2020	2030	2040	2050
Bovins	669240	3,4	9,12	6103468,8	6310986,7	6525560,3	6747429,34	6976841,9	7214054,6
Ovins et Chèvres	225530	2,4	1,82	410464,6	420315,75	430403,33	440733,008	451310,6	462142,05
Volailles	1180	2,4	0,036	42,48	43,49952	44,543508	45,6125527	46,707254	47,828228

**Tableau 2 : données hydrométriques**



RIVER	: MARAHOUE												CATCHMENT AREA	: 19 800 Km <sup>2</sup>			
STATION	: BOUAFLE												ALTITUDE	: 187 m			
BASIN	: BANDAMA																
	Monthly Discharge												Annual	Maximum		Minimum	
A.D.	( m <sup>3</sup> /s )												Module				
1985	1,13	0,225	0,924	7,65	3,01	1,80	25,7	229	325	113	24,9	5,92	738,3	390	15/09	0,000	04/03
1986	1,33	0,764	1,02	1,79	1,72	1,41	1,79	62,6	129	83,3	23,7	6,37	314,8	200	25/09	0,000	15/07
1987	2,10	0,361	0,000	0,011	3,36	6,52	8,40	59,8	319	194	32,7	8,82	635,1	430	07/09	0,000	19/04
1988	2,94	0,562	1,40	0,235	2,12	0,900	36,6	141	548	169	23,6	1,11	927,5	780	25/09	0,000	31/12
1989	-	-	5,76	4,18	4,62	6,37	34,2	-	-	161	24,7	-	240,8	-	-	-	-
1990	0,000	-	-	-	-	-	-	47,0	-	-	-	-	47,0	-	-	0,000	-
1991	10,2	5,26	3,18	7,55	15,7	20,3	34,9	65,0	152	61,9	26,3	13,1	415,4	339	07/09	1,99	04/04
1992	1,88	-	-	-	0,554	2,89	11,0	65,4	77,3	175	39,1	7,77	380,9	269	06/10	0,000	24/03
1993	1,64	0,711	2,34	2,75	4,31	3,27	6,08	23,0	89,9	105	18,8	4,40	262,2	244	11/10	0,667	20/02
1994	0,775	0,109	0,000	0,928	2,63	6,83	5,50	30,3	285	432	246	16,2	1 026,3	538	21/10	0,000	-
1995	4,04	0,963	0,098	1,50	7,03	9,66	9,89	135	310	210	43,2	9,91	741,3	392	11/09	0,000	11/04
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>2,60</b>	<b>1,12</b>	<b>1,64</b>	<b>2,95</b>	<b>4,51</b>	<b>6,00</b>	<b>17,41</b>	<b>85,81</b>	<b>248,36</b>	<b>170,42</b>	<b>50,30</b>	<b>8,18</b>	<b>599,3</b>	<b>780</b>	<b>27/8/80</b>	<b>0</b>	

**Tableau 3 : Pluviométrie moyenne mensuelle de 1961 à 2002**

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Béoumi	9,12	37,95	85,48	119,93	132,31	166,57	119,40	153,48	189,31	119,52	49,48	13,07
Dimbokro	9,52	40,07	98,79	138,07	166,17	207,26	105,79	78,71	136,98	133,88	73,60	20,83
Grand-Lahou	19,07	39,55	92,71	135,45	237,86	352,81	147,07	39,67	81,38	142,60	118,76	52,79
Katiola	7,69	29,71	77,50	122,31	127,74	154,86	144,90	173,17	189,38	109,81	34,57	8,88
Korhogo	5,00	12,33	50,45	97,38	119,10	170,12	208,10	266,26	206,21	95,38	24,81	5,57
M'bahiakro	7,40	37,00	92,93	140,05	161,40	182,50	108,74	92,90	149,74	127,07	53,62	14,69
Oumé	11,74	49,67	105,07	142,48	188,52	255,74	109,79	65,62	129,71	137,86	94,64	31,00
Séguéla	8,55	28,60	73,17	118,21	134,31	172,38	155,10	228,55	234,29	131,17	42,95	11,98
Tiassalé	13,62	52,60	103,02	146,55	209,76	309,64	124,76	45,02	97,79	141,26	103,33	38,76
Tiébissou	9,57	38,07	92,64	129,60	146,74	177,38	107,21	111,88	163,69	126,12	63,57	16,71
Zuénoula	11,67	54,24	101,88	128,64	155,38	192,29	123,57	157,48	212,21	144,10	63,93	19,17
<b>Moyenne</b>	<b>10,27</b>	<b>38,16</b>	<b>88,51</b>	<b>128,97</b>	<b>161,75</b>	<b>212,87</b>	<b>132,22</b>	<b>128,43</b>	<b>162,79</b>	<b>128,07</b>	<b>65,75</b>	<b>21,22</b>

**Tableau 4 : Classification des SPI**

Classe de SPI	Sécheresse
SPI > 2	Humidité extrême
1 < SPI < 2	Humidité forte
0 < SPI < 1	Humidité modérée
-1 < SPI < 0	Sécheresse modérée
-2 < SPI < -1	Sécheresse forte
SPI < -2	Sécheresse extrême

**I - Test de Pettitt**

Le test de Pettitt dérive du test de Mann-whitney. Sa formulation est que l'absence d'une rupture dans la série (xi) constitue l'hypothèse nulle.

La mise en œuvre du test suppose que, pour tout instant t variant de 1 à N, les séries (xi), i = 1, t et (xi), i = 1+t, N appartient à la même population.

Pettitt définit la variable 
$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Où 
$$D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j) \begin{cases} 1 & \text{si } X_i > X_j \\ 0 & \text{si } X_i = X_j \\ -1 & \text{si } X_i < X_j \end{cases}$$

Il impose de tester l'hypothèse nulle en utilisant la statistique  $K_N$  définie par le maximum en valeur de  $U_{t,N}$  pour t variant de 1 à N-1.

Si  $K$  désigne la valeur de  $K_N$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $K$  est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp[-6 K^2 / (N^3 + N^2)].$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné, si  $\text{Prob}(K_N > k)$  est inférieur à  $\alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture localisée au moment t où est observée  $K_N$ . Le test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne.

**II - Test de Hubert**

Toute série  $X_i$ ,  $i = i_1, i_2$  avec  $i_1 \geq 1$  et  $i_2 \leq N$  où  $i_1 < i_2$ , constitue un segment de la série initiale des  $(X_i)$ . Toute partition de la série initiale en m segments est une segmentation d'ordre m de cette série.

Soit alors une segmentation d'ordre m particulière pratiquée sur la série proposée et soit  $i_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$  le rang dans la série initiale de l'extrémité terminale du  $k^{\text{ième}}$  segment. Par convention nous poserons que  $i_0 = 0 : i_0 = 0 < i_1 < \dots < i_k < \dots < i_{m-1} < i_m = n$

Nous noterons  $n_k = i_k - i_{k-1}$  la longueur du  $k^{\text{ième}}$  segment et  $X_k$  sa moyenne (moyenne locale) :

$$\bar{X}_k = \frac{\left( \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} X_i \right)}{n_k}$$

Nous poserons  $d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (X_i - \overline{X_k})^2$  et nous définissons la quantité

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} dk$$

### III - Méthode de Thornthwaite

C'est une méthode empirique basée sur la température. Thornthwaite donne la formule suivante (Brochet et Gerbier, 1968):

$$ETP = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T}{I}\right)^a \cdot F(\lambda)$$

avec  $I = \sum_{i=1}^{12} i$  et  $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$$

ETP: évapotranspiration potentielle en mm

T: température moyenne en °C

I : indice thermique annuel

i : indice thermique mensuel

F(λ): facteur de correction (Brochet et Gerbier, 1968).

### IV - Estimation de l'infiltration et du ruissellement

Au niveau d'une zone, l'excédent du bilan hydrique est partagé entre l'infiltration (**I**) et le ruissellement (**R**). Ces lames d'eau qui s'écoulent en surface alimentent les eaux de surface qui recharge par endroit les nappes superficielles.

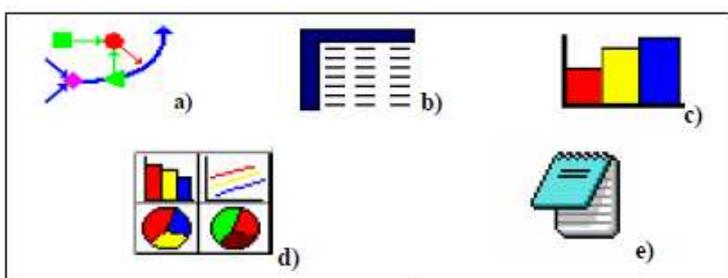
Les précipitations qui tombent dans notre zone d'étude sont partagées entre l'évaporation, l'écoulement de surface et l'infiltration, de sorte que l'équation du bilan hydrologique s'exprime par la relation :

$$P = ETR + (R + I)$$

avec : **P** : précipitation moyenne annuelle en mm ; **ETR** : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm; **R** : ruissellement moyen annuel en mm ; **I** : infiltration moyenne mensuelle en mm.

### V - Structure du Logiciel WEAP

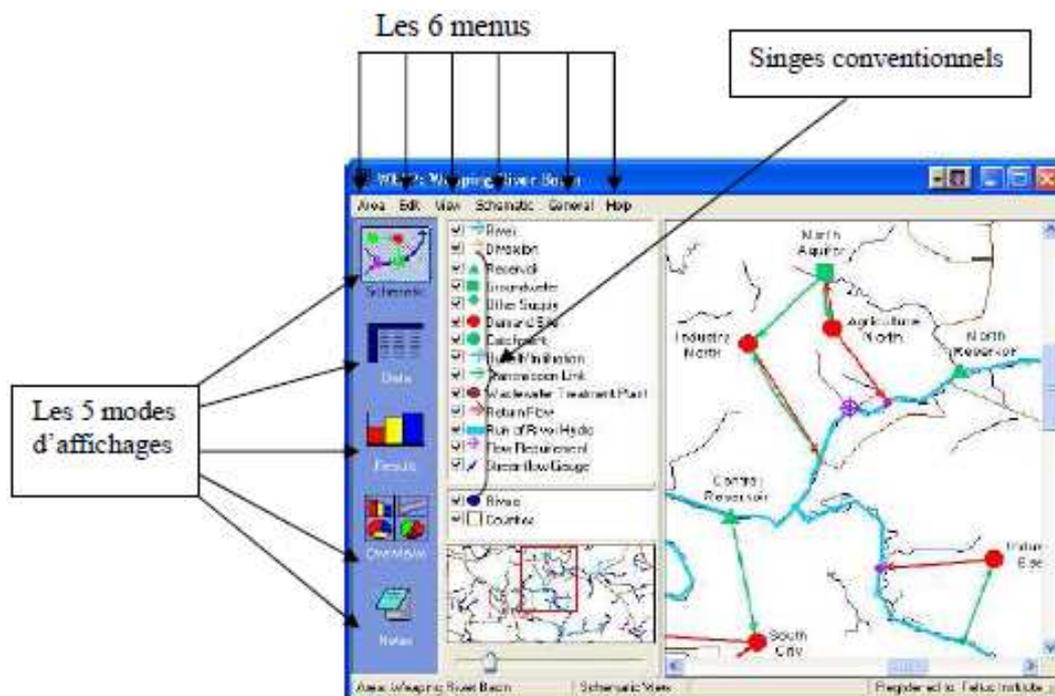
WEAP contient cinq présentations principales : représentation cartographique et graphique, affichage des données et des résultats, présentation des notes et observations. Ces affichages sont présentés par des icônes graphiques sur la "barre d'affichage" située à côté gauche de l'écran. En cliquant sur l'une de ces icônes, une présentation voulue est affichée. Ces cinq affichages sont présentés ci-dessous.



## Les cinq affichages du Modèle Weap

### - *Cartographie*

C'est le point de commencement pour toutes les activités dans WEAP. Elle sert à créer, éditer ou aussi ajouter des couches ArcView ou d'autres SIG standard de la zone d'étude comme couche de fond. Ainsi, on peut accéder rapidement à l'analyse des données et à l'affichage des résultats pour n'importe quel nœud en cliquant sur l'objet qui nous intéresse.



## Fenêtre cartographique WEAP

### - *Base de données*

C'est l'endroit pour la création des structures, du modèle et des suppositions de données. Pour l'affichage des données, l'écran est divisé en quatre carreaux:

- *i. dans la partie supérieure gauche*, un lien hiérarchique (menu lien) est employé pour créer et organiser des structures de données dans six suppositions principales: principale clé, sites de demandes, hydrologie, approvisionnement et ressources, qualité de l'eau et d'autres suppositions.

Par exemple, cliquer sur « site de demande » la branche lien du côté gauche de l'écran, les données pour tous les emplacements de demande apparaissent sur le côté droit de l'écran.

- *ii. Dans la partie inférieure gauche*, un schéma du secteur apparaît. En cliquant sur l'élément qui apparaît sur le schéma, il sera accentué dans le lien et des données seront montrées dans les tables

de saisie de données vers la droite. Quand on clique sur une branche dans le lien, l'élément associé clignotera brièvement.

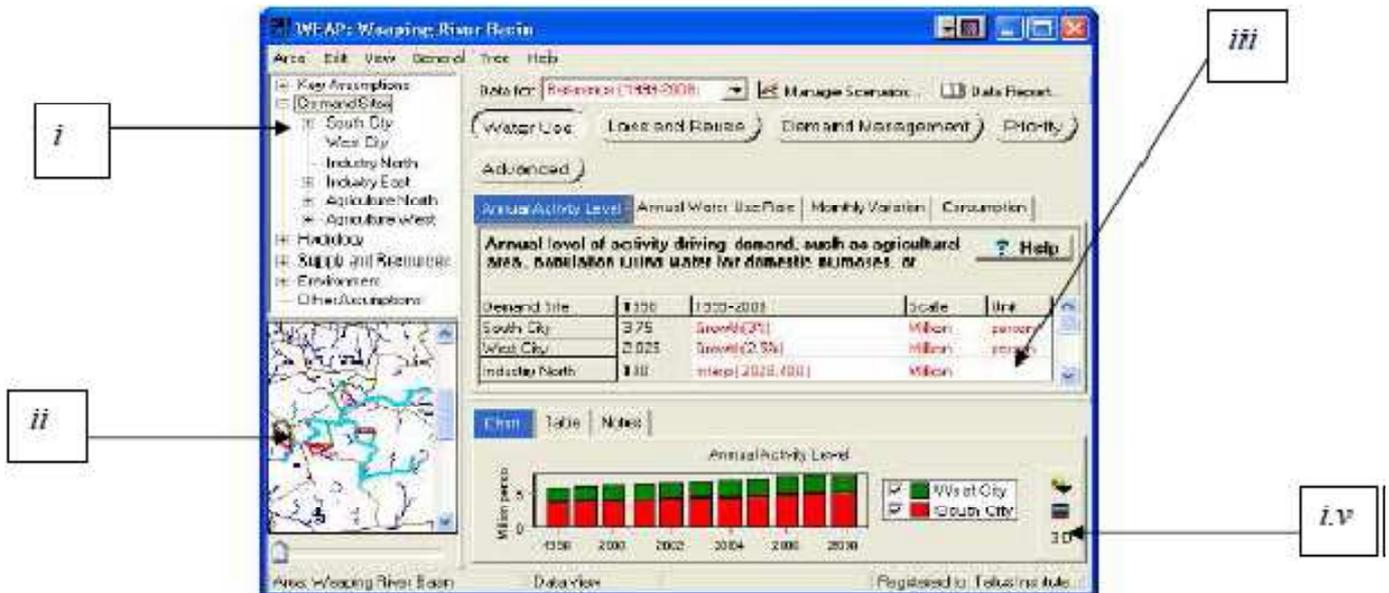
- *iii. dans la partie centrale*, une table de saisie de données apparaisse. Cette table sert à écrire les expressions qui définissent les comptes courants, pour éditer des données et pour créer le modèle des rapports.

Au-dessus de ce tableau de saisie de données, il y a un ensemble de boutons donnant l'accès aux différentes catégories de variables liées à chaque branche.

- *iv. En dessous de la table de saisie de données*, un cadre de résultats apparaît, il représente graphiquement les données saisies dans la table de saisie de données.

Sur le coté droit, il y a un barre d'outil pour changer la forme du diagramme (couleurs, effets 3D, grilles, nombre de positions décimales, etc...)

Les données numériques peuvent être transférées directement dans Microsoft Excel.



## Fenêtre basse de données

- *Présentation des résultats*

C'est le menu qui permet d'afficher de façon détaillé et flexible les différents modèles dans les diagrammes, les tables et le menu schéma. Cette présentation peut montrer une grande variété de diagrammes et de tables couvrant chaque aspect du système : demandes, approvisionnement et chargements environnementaux.

Les résultats peuvent être exportés dans l'Excel.

- ***Représentation graphique***

La représentation graphique est employée pour grouper l'ensemble des diagrammes "Favoris" et les tables (créés dans le menu résultat). Avec cette représentation, on peut examiner simultanément les différents aspects importants du système, tels que les demandes, le niveau de stockage, etc. Les graphes peuvent être copiés dans Word.

- ***Bloc Notes***

L'écran de notes est un outil simple de traitement de texte avec lequel on peut écrire des informations documentaires et des références pour chaque branche du lien. On peut importer les notes vers le texte (Microsoft Word).

## ANNEXE 3 : Report des résultats

**Tableau 1: Eau distribuée pour tous sites de demandes (besoins en eau futurs)**

*Eau distribuée en m<sup>3</sup> pour la Scénario Référence*

Eau distribuée (Million Mètre cube )																			
Scénario: Référence		Tout Source		Tout month		<input checked="" type="checkbox"/> Total annuel?		<input type="checkbox"/> Moyenne Monthly?		Tout Site de demande									
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Elevage	6,0	6,8	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	7,9	8,1	8,3	8,5	8,7	8,9	9,1	9,3	9,5	9,7	9,9	10,3
Ferke Canne	359,9	401,5	404,6	407,7	410,8	413,9	417,0	420,1	423,2	431,5	439,7	448,0	456,3	464,5	472,8	475,8	480,3	484,8	505,8
Ferkessedougou	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
Zuen Canne	182,9	184,7	186,2	187,6	189,0	190,5	191,9	193,3	194,7	198,5	202,3	206,1	209,9	213,7	217,5	221,3	225,1	228,9	232,7
Zuenoula	7,9	8,1	8,3	8,5	8,6	8,8	9,0	9,2	9,4	9,6	9,9	10,1	10,3	10,5	10,8	11,0	11,2	11,5	11,7
<b>Somme</b>	<b>557,3</b>	<b>601,7</b>	<b>606,5</b>	<b>611,4</b>	<b>616,3</b>	<b>621,3</b>	<b>626,2</b>	<b>631,1</b>	<b>636,1</b>	<b>648,5</b>	<b>661,0</b>	<b>673,5</b>	<b>686,0</b>	<b>698,6</b>	<b>711,1</b>	<b>718,3</b>	<b>727,1</b>	<b>735,9</b>	<b>761,3</b>
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Elevage	10,3	10,6	10,8	11,1	11,4	11,7	11,8	12,1	12,3	12,6	12,9	13,1	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	14,4	14,8
Ferke Canne	505,8	515,7	525,5	532,3	545,3	555,1	548,4	553,7	559,1	564,4	569,8	576,2	555,6	562,0	568,5	574,9	581,3	587,7	594,1
Ferkessedougou	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Zuen Canne	232,7	237,3	241,8	246,4	250,9	255,4	260,0	264,5	269,1	273,6	278,1	283,6	289,0	294,4	299,8	305,3	310,7	316,1	321,5
Zuenoula	11,7	12,0	12,3	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,9	15,2	15,6	15,9	16,3	16,6	17,0	17,4
<b>Somme</b>	<b>761,3</b>	<b>776,3</b>	<b>791,2</b>	<b>803,3</b>	<b>821,2</b>	<b>836,1</b>	<b>834,6</b>	<b>845,1</b>	<b>855,6</b>	<b>866,1</b>	<b>876,6</b>	<b>889,1</b>	<b>874,1</b>	<b>886,6</b>	<b>899,1</b>	<b>911,7</b>	<b>924,2</b>	<b>936,7</b>	<b>949,3</b>
	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	<b>Somme</b>						
Elevage	15,1	15,4	16,1	16,4	16,7	17,1	17,4	18,6	19,0	19,4	19,8	20,2	596,1						
Ferke Canne	601,1	607,5	642,2	649,9	657,7	665,4	673,1	741,5	749,2	756,9	764,6	772,3	26 674,1						
Ferkessedougou	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	42,5						
Zuen Canne	327,0	332,4	338,9	345,4	351,9	358,3	364,8	371,3	377,8	384,3	390,8	397,2	13 194,7						
Zuenoula	17,7	18,1	18,5	18,9	19,3	19,8	20,2	20,7	21,1	21,6	22,0	22,5	686,4						
<b>Somme</b>	<b>961,9</b>	<b>974,5</b>	<b>1 016,8</b>	<b>1 031,8</b>	<b>1 046,7</b>	<b>1 061,7</b>	<b>1 076,7</b>	<b>1 153,4</b>	<b>1 168,4</b>	<b>1 183,5</b>	<b>1 198,5</b>	<b>1 213,6</b>	<b>41 193,6</b>						

*Eau distribuée en m<sup>3</sup> pour la Scénario Taux de croissance fort*

Eau distribuée (Million Mètre cube )																			
Scénario: Taux de croissance fort		Tout Source		Tout month		<input checked="" type="checkbox"/> Total annuel?		<input type="checkbox"/> Moyenne Monthly?		Tout Site de demande									
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Elevage	6,0	6,8	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	7,9	8,1	8,3	8,5	8,7	8,9	9,1	9,3	9,5	9,7	9,9	10,3
Ferke Canne	359,9	401,5	404,6	407,7	410,8	413,9	417,0	420,1	423,2	431,5	439,7	448,0	456,3	464,5	472,8	475,8	480,1	484,6	505,8
Ferkessedougou	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
Zuen Canne	182,9	184,7	186,2	187,6	189,0	190,5	191,9	193,3	194,7	198,5	202,3	206,1	209,9	213,7	217,5	221,3	225,1	228,9	232,7
Zuenoula	7,9	8,3	8,7	9,2	9,6	10,1	10,6	11,2	11,7	12,3	12,9	13,6	14,2	14,9	15,7	16,5	17,3	18,2	19,1
<b>Somme</b>	<b>557,3</b>	<b>601,9</b>	<b>607,0</b>	<b>612,2</b>	<b>617,4</b>	<b>622,6</b>	<b>627,9</b>	<b>633,2</b>	<b>638,5</b>	<b>651,4</b>	<b>664,3</b>	<b>677,2</b>	<b>690,2</b>	<b>703,3</b>	<b>716,3</b>	<b>724,1</b>	<b>733,4</b>	<b>742,8</b>	<b>769,1</b>
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Elevage	10,3	10,6	10,8	11,1	11,4	11,7	11,8	12,1	12,3	12,6	12,9	13,1	13,0	13,3	13,6	13,9	14,1	14,4	14,7
Ferke Canne	505,8	515,7	525,5	532,3	545,3	555,1	548,4	553,7	559,1	564,4	569,8	576,2	555,6	562,0	568,5	574,9	581,3	587,7	594,1
Ferkessedougou	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
Zuen Canne	232,7	237,3	241,8	246,4	250,9	255,4	260,0	264,5	269,1	273,6	278,1	283,6	289,0	294,4	299,8	305,3	310,7	316,1	321,5
Zuenoula	19,1	20,0	21,0	22,1	23,2	24,4	25,6	26,8	28,2	29,6	31,1	32,6	33,8	35,4	37,0	38,8	40,6	42,3	44,2
<b>Somme</b>	<b>769,1</b>	<b>784,8</b>	<b>800,6</b>	<b>813,3</b>	<b>832,2</b>	<b>848,1</b>	<b>847,4</b>	<b>858,9</b>	<b>870,4</b>	<b>882,1</b>	<b>893,8</b>	<b>907,6</b>	<b>893,5</b>	<b>907,3</b>	<b>921,2</b>	<b>935,2</b>	<b>949,2</b>	<b>963,2</b>	<b>977,3</b>
	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	<b>Somme</b>						
Elevage	15,1	15,4	16,0	16,4	16,7	17,1	17,4	18,6	19,0	19,4	19,8	20,2	595,8						
Ferke Canne	600,5	606,9	641,7	649,3	657,0	664,7	672,3	740,7	748,3	756,0	763,6	771,3	26 659,9						
Ferkessedougou	2,8	3,0	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4,2	4,3	4,5	4,8	5,0	96,3						
Zuen Canne	327,0	332,4	338,9	345,4	351,9	358,3	364,8	371,3	377,8	384,3	390,8	397,2	13 194,7						
Zuenoula	46,1	48,1	51,7	53,9	56,2	58,7	61,3	66,6	69,7	73,0	76,1	79,4	1 539,7						
<b>Somme</b>	<b>991,5</b>	<b>1 005,7</b>	<b>1 051,4</b>	<b>1 068,3</b>	<b>1 085,3</b>	<b>1 102,4</b>	<b>1 119,7</b>	<b>1 201,3</b>	<b>1 219,2</b>	<b>1 237,2</b>	<b>1 255,1</b>	<b>1 273,1</b>	<b>42 086,4</b>						

## Eau distribuée en m<sup>3</sup> scenario de référence et scenario taux de croissance fort

		Eau distribuée (Million Mètre cube)																	
		Tout Source Tout Site de demande Tout month <input checked="" type="checkbox"/> Total annuel? <input type="checkbox"/> Moyenne Monthly? Tout Scénario																	
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Reference		557,3	601,7	606,5	611,4	616,3	621,3	626,2	631,1	636,1	648,5	661,0	673,5	686,0	698,6	711,1	718,3	727,1	735,9
Taux de croissance fort		557,3	601,9	607,0	612,2	617,4	622,6	627,9	633,2	638,5	651,4	664,3	677,2	690,2	703,3	716,3	724,1	733,4	742,8
		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	
Reference		761,3	776,3	791,2	803,3	821,2	836,1	834,6	845,1	855,6	866,1	876,6	889,1	874,1	886,6	899,1	911,7	924,2	
Taux de croissance fort		769,1	784,8	800,6	813,3	832,2	848,1	847,4	858,9	870,4	882,1	893,8	907,6	893,5	907,3	921,2	935,2	949,2	
		2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	Somme			
Reference		936,7	949,3	961,9	974,5	1 016,8	1 031,8	1 046,7	1 061,7	1 076,7	1 153,4	1 168,4	1 183,5	1 198,5	1 213,6	41 193,6			
Taux de croissance fort		963,2	977,3	991,5	1 005,7	1 051,4	1 068,3	1 085,3	1 102,4	1 119,7	1 201,3	1 219,2	1 237,2	1 255,1	1 273,1	42 086,4			

## Tableau 2: Débits des sites de demandes

### Débits du site de demande pour scénario de référence en m<sup>3</sup>

		Débits du site de demande (Million Mètre cube)															
		Scénario: Reference Tout Site de demande Tout month <input checked="" type="checkbox"/> Total annuel? <input type="checkbox"/> Moyenne Monthly? Tout Sources et destinations															
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consommation		-436,1	-470,6	-474,3	-477,9	-481,6	-485,3	-488,9	-492,6	-496,3	-505,9	-515,6	-525,3	-535,0	-544,7	-554,4	-559,9
Débit entrant venant de Bandama		6,5	7,3	7,5	7,7	7,9	8,0	8,2	8,5	8,7	8,9	9,1	9,3	9,6	9,8	10,0	10,2
Débit entrant venant de Koua		182,9	184,7	186,2	187,6	189,0	190,5	191,9	193,3	194,7	198,5	202,3	206,1	209,9	213,7	217,5	221,3
Débit entrant venant de Lokpo		359,9	401,5	404,6	407,7	410,8	413,9	417,0	420,1	423,2	431,5	439,7	448,0	456,3	464,5	472,8	475,8
Débit entrant venant de Marahoue		7,9	8,1	8,3	8,5	8,6	8,8	9,0	9,2	9,4	9,6	9,9	10,1	10,3	10,5	10,8	11,0
Débit vers Bandama		-78,2	-87,3	-88,1	-88,9	-89,7	-90,5	-91,3	-92,1	-92,9	-94,8	-96,6	-98,5	-100,4	-102,2	-104,1	-104,9
Débit vers Marahoue		-42,9	-43,4	-43,9	-44,3	-44,7	-45,2	-45,6	-46,0	-46,5	-47,4	-48,4	-49,3	-50,2	-51,2	-52,1	-53,1
<b>Somme</b>		0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Consommation		-566,6	-573,3	-593,2	-604,7	-616,3	-625,6	-639,5	-651,1	-649,6	-657,5	-665,5	-673,5	-681,5	-691,1	-679,0	-688,6
Débit entrant venant de Bandama		10,5	10,7	11,1	11,3	11,6	11,9	12,2	12,5	12,7	12,9	13,2	13,5	13,8	14,1	14,0	14,3
Débit entrant venant de Koua		225,1	228,9	232,7	237,3	241,8	246,4	250,9	255,4	260,0	264,5	269,1	273,6	278,1	283,6	289,0	294,4
Débit entrant venant de Lokpo		480,3	484,8	505,8	515,7	525,5	532,5	545,3	555,1	548,6	554,0	559,4	564,7	570,1	576,5	555,9	562,4
Débit entrant venant de Marahoue		11,2	11,5	11,7	12,0	12,3	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,9	15,2	15,6
Débit vers Bandama		-106,0	-107,1	-111,7	-114,0	-116,2	-117,8	-120,7	-123,0	-121,8	-123,1	-124,5	-125,8	-127,2	-128,7	-124,5	-126,1
Débit vers Marahoue		-54,0	-55,0	-55,9	-57,0	-58,2	-59,3	-60,4	-61,5	-62,7	-63,8	-65,0	-66,1	-67,3	-68,6	-70,0	-71,3
<b>Somme</b>		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
		2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
Consommation		-688,6	-698,1	-707,7	-717,3	-726,8	-736,4	-746,0	-755,5	-788,6	-800,0	-811,5	-822,9	-834,3	-894,4	-906,4	-918,2
Débit entrant venant de Bandama		14,3	14,5	14,8	15,1	15,5	15,8	16,1	16,4	17,2	17,5	17,9	18,2	18,6	19,9	20,3	20,7
Débit entrant venant de Koua		294,4	299,8	305,3	310,7	316,1	321,5	327,0	332,4	338,9	345,4	351,9	358,3	364,8	371,3	377,8	384,3
Débit entrant venant de Lokpo		562,4	568,8	575,3	581,7	588,2	594,6	601,1	607,5	642,2	649,9	657,7	665,4	673,1	741,5	749,2	756,9
Débit entrant venant de Marahoue		15,6	15,9	16,3	16,6	17,0	17,4	17,7	18,1	18,5	18,9	19,3	19,8	20,2	20,7	21,1	21,6
Débit vers Bandama		-126,1	-127,7	-129,2	-130,8	-132,4	-134,0	-135,6	-137,2	-144,8	-146,7	-148,6	-150,5	-152,4	-167,3	-169,2	-171,2
Débit vers Marahoue		-71,3	-72,7	-74,1	-75,4	-76,8	-78,2	-79,6	-81,0	-82,6	-84,2	-85,8	-87,5	-89,1	-90,8	-92,4	-94,1
<b>Somme</b>		0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,3	0,0
		2049	2050	Somme													
Consommation		-929,7	-941,2	-32 036,1													
Débit entrant venant de Bandama		21,1	21,6	638,5													
Débit entrant venant de Koua		390,8	397,2	13 194,7													
Débit entrant venant de Lokpo		764,6	772,3	26 674,1													
Débit entrant venant de Marahoue		22,0	22,5	686,4													
Débit vers Bandama		-173,1	-175,1	-5 944,3													
Débit vers Marahoue		-95,8	-97,5	-3 188,0													
<b>Somme</b>		0,0	-0,1	25,2													

## Débites du site de demande pour scénario taux de croissance fort en m<sup>3</sup>

Débits du site de demande (Million Mètre cube )																
Scénario: Taux de croissance fort Tout Site de demande Tout month <input checked="" type="checkbox"/> Total annuel? <input type="checkbox"/> Moyenne Monthly? Tout Sources et destinations																
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consommation	-436,1	-470,7	-474,4	-478,1	-481,8	-485,5	-489,2	-493,0	-496,7	-506,5	-516,2	-526,0	-535,8	-545,6	-555,4	-560,9
Débit entrant venant de Bandama	6,5	7,3	7,5	7,7	7,9	8,1	8,3	8,6	8,8	9,0	9,3	9,5	9,8	10,1	10,3	10,6
Débit entrant venant de Koua	182,9	184,7	186,2	187,6	189,0	190,5	191,9	193,3	194,7	198,5	202,3	206,1	209,9	213,7	217,5	221,3
Débit entrant venant de Lokpo	359,9	401,5	404,6	407,7	410,8	413,9	417,0	420,1	423,2	431,5	439,7	448,0	456,3	464,5	472,8	475,7
Débit entrant venant de Marahoue	7,9	8,3	8,7	9,2	9,6	10,1	10,6	11,2	11,7	12,3	12,9	13,6	14,2	14,9	15,7	16,5
Débit vers Bandama	-78,2	-87,3	-88,1	-88,9	-89,7	-90,5	-91,4	-92,2	-93,0	-94,9	-96,8	-98,7	-100,6	-102,5	-104,4	-105,2
Débit vers Marahoue	-42,9	-43,6	-44,2	-44,9	-45,5	-46,2	-46,9	-47,6	-48,3	-49,5	-50,8	-52,1	-53,4	-54,7	-56,1	-57,5
<b>Somme</b>	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Consommation	-567,7	-574,5	-594,6	-606,4	-618,1	-627,4	-641,6	-653,3	-651,8	-660,0	-668,1	-676,3	-684,5	-694,3	-682,4	-692,2
Débit entrant venant de Bandama	10,8	11,1	11,5	11,9	12,2	12,5	12,9	13,2	13,4	13,8	14,1	14,5	14,8	15,2	15,1	15,5
Débit entrant venant de Koua	225,1	228,9	232,7	237,3	241,8	246,4	250,9	255,4	260,0	264,5	269,1	273,6	278,1	283,6	289,0	294,4
Débit entrant venant de Lokpo	480,1	484,6	505,8	515,7	525,5	532,3	545,3	555,1	548,4	553,7	559,1	564,4	569,8	576,2	555,6	562,0
Débit entrant venant de Marahoue	17,3	18,2	19,1	20,0	21,0	22,1	23,2	24,4	25,6	26,8	28,2	29,6	31,1	32,6	33,8	35,4
Débit vers Bandama	-106,3	-107,5	-112,1	-114,4	-116,7	-118,3	-121,3	-123,6	-122,4	-123,8	-125,2	-126,6	-128,0	-129,6	-125,4	-127,1
Débit vers Marahoue	-58,9	-60,3	-61,8	-63,5	-65,2	-66,9	-68,7	-70,6	-72,4	-74,4	-76,4	-78,4	-80,5	-82,8	-84,8	-87,2
<b>Somme</b>	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048
Consommation	-692,2	-702,1	-711,9	-721,7	-731,6	-741,4	-751,2	-761,0	-794,8	-806,5	-818,3	-830,2	-842,0	-902,9	-915,4	-927,7
Débit entrant venant de Bandama	15,5	15,9	16,2	16,6	17,0	17,5	17,9	18,3	19,2	19,7	20,2	20,7	21,2	22,8	23,3	23,9
Débit entrant venant de Koua	294,4	299,8	305,3	310,7	316,1	321,5	327,0	332,4	338,9	345,4	351,9	358,3	364,8	371,3	377,8	384,3
Débit entrant venant de Lokpo	562,0	568,5	574,9	581,3	587,7	594,1	600,5	606,9	641,7	649,3	657,0	664,7	672,3	740,7	748,3	756,0
Débit entrant venant de Marahoue	35,4	37,0	38,8	40,6	42,3	44,2	46,1	48,1	51,7	53,9	56,2	58,7	61,3	66,6	69,7	73,0
Débit vers Bandama	-127,1	-128,7	-130,3	-132,0	-133,6	-135,3	-137,0	-138,7	-146,5	-148,4	-150,4	-152,4	-154,4	-169,6	-171,6	-173,7
Débit vers Marahoue	-87,2	-89,6	-92,1	-94,6	-97,1	-99,7	-102,3	-105,0	-109,1	-112,2	-115,4	-118,6	-122,0	-127,5	-131,3	-135,2
<b>Somme</b>	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	0,8	0,5
	2049	2050	<b>Somme</b>													
Consommation	-939,7	-951,8	-32 195,4													
Débit entrant venant de Bandama	24,5	25,2	692,2													
Débit entrant venant de Koua	390,8	397,2	13 194,7													
Débit entrant venant de Lokpo	763,6	771,3	26 659,9													
Débit entrant venant de Marahoue	76,1	79,4	1 539,7													
Débit vers Bandama	-175,8	-177,9	-5 987,0													
Débit vers Marahoue	-139,1	-143,0	-3 870,7													
<b>Somme</b>	0,5	0,4	33,3													