



MONOGRAPHIE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DU BASSIN TRANSFRONTALIER DE LA MEKROU (BENIN, BURKINA-FASO, NIGER)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU

MASTER EN SCIENCE D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 16 juillet 2015 par

Rodrigue Gatien AWOU

Travaux dirigés par :

M. Mahamadou KOITA : Docteur en Hydrogéologie

M. Ezio CRESTAZ : Docteur en Hydrogéologie

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Angelbert BIAOU

Membres et correcteurs : Dr. Mahamadou KOÏTA
Mme. Justine TIROGO/YOFE
M. Dimitri SORO

Promotion [2013/2014]

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A celui qui nous a lavés,
Qui nous a tant aimés,
Par son Sang nous a rachetés,
Soient gloire, gloire, gloire,
Louange à jamais.*

Egalement :

*A ma mère Madeleine BIOMO MBANE,
A mes enfants ; Prielle, Israëlla, Yona et Lauraine AWOUI,
Et à ma chère épouse Rolande AWOUI,

Trouvez par ce travail, le fruit de vos sacrifices,
Que Dieu vous bénisse !*

Remerciements

Ce stage a été effectué à GWP/AO ; je tiens donc à remercier M. Dam MOGBANTE secrétaire exécutif de cette structure et M. Corneille AHOUANSON chargé du Projet Mékrou, de tous les efforts fournis dans le but de me permettre de réaliser ce stage ; je n'aurai pas rêvé meilleur accueil.

Mes remerciements vont plus particulièrement à mes encadreurs :

- M. Mahamadou KOÏTA, Enseignant à la Fondation 2iE, pour ses corrections et orientations.
- M. Ezio CRESTAZ de Joint Research Centre – European Commission, sa patience, ses remarques et suggestions ont permis d'améliorer ce document.

Une mention toute spéciale à l'ensemble du corps professoral de 2iE et plus particulièrement aux enseignants de l'option IRH. Qu'ils trouvent dans ce document notre profonde gratitude et l'expression de nos vifs remerciements pour tous leurs efforts;

Des personnes telles que :

M. LOBE et son épouse (Pasteur),

M. Froduald TWAGUILIMANA et son épouse Laurence (Canada),

Mlle. Pélagie ATANGANA EBELA (USA),

Mlle. Eugénie MURAKAZA (USA),

M. TIBITA et son épouse (Pasteur),

M. BILLA Timothée et son épouse (Pasteur),

M. NYA Jean Claude (France)

M. Jean Jacques Fon (Ingénieur de recherche à 2iE)

Ont fortement contribué à l'aboutissement de ce projet d'étude, je leur adresse ma plus profonde gratitude.

Mes remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

RESUME

Cette monographie des ressources en eau souterraine du bassin transfrontalier de la Mékrou est faite dans le cadre du projet « l'eau au service de la lutte contre la pauvreté dans le bassin transfrontalier de la Mékrou ». Ce bassin s'étend sur trois pays (Bénin, Burkina Faso, Niger) avec une superficie de 10.500km². Dans le bassin de la Mékrou comme dans de nombreux pays en Afrique subsaharienne, l'exploitation des ressources en eau souterraine est une alternative à l'importance de l'investissement financier, qu'il faut mobiliser pour le traitement des eaux de surface, afin de sécuriser l'approvisionnement en eau potable et de satisfaire l'ensemble des besoins du tissu socio-économique du bassin. Le but de cette étude est de faire tant sur le plan quantitatif que qualitatif, l'état des connaissances sur les ressources en eau souterraine dans le bassin transfrontalier de la Mékrou. La démarche pour atteindre ce but, s'articule au tour de deux axes principaux :

Le premier, après la présentation du climat, et de l'hydrologie, met en exergue les contextes géologiques et hydrogéologiques, pour une bonne compréhension du type et des paramètres des aquifères rencontrés dans le bassin.

Le deuxième, présente un état des connaissances de la ressource en eau souterraine du Mékrou. Les questions de disponibilité, accessibilité, qualité de l'eau, impacts des activités anthropiques et des changements climatiques y sont abordés. Ensuite, est également abordé, les modes d'exploitation et les types d'utilisation de la ressource en eau souterraine. La ressource en eau souterraine est de plus en plus sollicitée pour la satisfaction des différents besoins humains et peut constituer une source de conflit, quand elle est mal gérée.

L'étude a montré que de façon générale, cette zone du projet est menacée de stress hydrique (entre 1000 et 1700 m³/habitant et par an), et que certaines pratiques dégradantes des populations contribuent à la dégradation de la qualité de cette ressource.

Mots clés:

- 1- aquifères
- 2- disponibilité d'eau
- 3- accessibilité à l'eau potable,
- 4- qualité de l'eau
- 5- utilisation de l'eau

SUMMARY

This monograph of underground water resources of the trans border basin of Mekrou is made within the project “water with the service of the fight against poverty in the transborder basin of Mekrou” This basin extends on three countries (Benin, Burkina Faso, Niger) with a surface of 10.500Km². In the basin of Mékrou as in many countries in-sub-Saharan Africa, the groundwater resources exploitation is an alternative to the high cost of investment, which it is necessary to mobilize for the treatment of surface water, in order to make safe the provision of drinkable water and to satisfy the socio-economic needs of the Mekrou basin. The goal of this study is to make as well on the quantitative level as qualitative, the state of knowledge on the water resources underground in the transborder basin of Mékrou.

The approach to reach this goal, article with the turn of two main axes:

The first; after presenting climate, and hydrology, we put forward geological and hydrogeologic contexts, for a good comprehension of the type and parameters of the aquifers which are found in the Mekrou basin

The second presents a state of knowledge of the underground water resources of Mékrou. The questions of availability, accessibility, water quality, impacts of the entropic activities and the climate changes are tackled there. Then, is also approached, the modes of exploitation and the types of underground water resources use.

The underground water resources are requested more and more for the satisfaction of the various human needs and can constitute a source of conflict, when it is badly managed.

The study shows that in general way, this Mekrou zone is threatened of hydrous stress (between 1000 and 1700 m³ /habitant /year), and it also shows that some practical degrading of the populations contribute to the deterioration of the quality of this resource.

Keywords:

- 1- aquifers
- 2- water availability
- 3- drinking water accessibility
- 4- water quality
- 5- use of water

Table des Matières :

Remerciements	ii
RESUME	iii
SUMMARY.....	iv
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
Avant Propos	x
Introduction	1
Chapitre I: Cadre général de la zone d'étude.....	3
I. Situation géographique.....	3
II.Climat et hydrographie.....	4
1.Climat... ..	4
a.Les températures	4
b.Le mouvement des vents	5
c.Pluviométrie	6
2.Hydrographie	8
III.Contexte géologique du bassin de la Mékrou.....	10
3.La stratigraphie des formations de couverture :	11
IV.Cadre hydrogéologique du bassin de la Mékrou.....	14
Chapitre II: Etat des lieux de la ressource en eau souterraine	17
I. Estimation de la disponibilité (recharge des systèmes aquifères).....	17
II.Qualité de la ressource en eau dans la zone du projet Mékrou	19
III.Disponibilité et accessibilité de la ressource en eau	21
IV.Analyse de la disponibilité, accessibilité et pollution	24

V.Exploitations et utilisations des eaux souterraines	30
a. Risques de conflits: pollution et chute de productivité des ouvrages.	31
b. Au plan économique : pollution de la nappe souterraine.	32
c. Sur le plan environnemental : pollution de la nappe souterraine.	33
VI.synthese et description des problemes.....	34
1.Modes d'utilisation des ressources en eau dans le bassin	34
2.Risques lies aux ressources en eaux	35
CHAPITRE III: Conclusion generale	38
Bibliographie.....	40

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AEP : Adduction en Eau Potable

CIEH : Comité Interafricain d'Etude Hydraulique

CNRM-Météo-France : Centre National de Recherches Météorologiques de Météo-France

DMN : Direction de la Météorologie Nationale

ET : Evapotranspiration

ETP : Evapotranspiration Potentielle

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FIT : Front Inter-Tropical

GPW/AO : Partenariat Mondial de l'Eau/Afrique de l'Ouest

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

IWACO : International Water Supply Consultants

ONEA : Office National de l'Eau et de l'Assainissement

ONU : Organisation des Nations Unies

OMD : Objectifs du Millenium pour le Développement

PAGIRE : Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau

SONEB : Société Nationale des Eaux du Bénin

UNECA : Commission Economique des Nations Unies pour l'Afrique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Valeurs de quelques paramètres physico-chimiques observés.	20
Tableau II: Taux d'accès à l'eau potable au Bénin	23
Tableau III: Estimation des taux d'accès à l'eau en 2010	23
Tableau IV: Evolution des taux de desserte OMD et des taux de desserte réels en milieu	26
Tableau V: Consommation d'eau, couverture des besoins et risques sanitaires	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Bassin transfrontalier de la rivière Mékrou (Bénin, Burkina Faso, Niger)	3
Figure 2: Evolution des températures dans le Mékrou 1981-2010	5
Figure 3: Evolution du F.I.T sur le bassin du Mékrou	6
Figure 4 : Evolution annuelle des précipitations dans le Mékrou	7
Figure 5: Spatialisation du réseau hydrographique du bassin versant de la Mékrou	9
Figure 6: Contexte géologique du bassin de la Mékrou,	11
Figure 7: Coupe lithologique montrant les relations socle/couverture	13
Figure 8 : Coupe lithologique en mettant les variations des épaisseurs des formations	13
Figure 9 : Coupe hydrogéologique schématique de la zone d'étude du Mékrou au Niger.....	15
Figure 10: structure hydrogéologique des aquifères en milieu de socle, du Mékrou.....	16
Figure 11: illustration de la recharge et du mode d'alimentation des cours d'eau.....	18
Figure 12: variation saisonnière de la conductivité électrique.	20
Figure 13: Disponibilité en eau douce en mètre cube par personne et par an, en 2007.	21
Figure 14: Population (en million) n'ayant pas accès à l'eau	22
Figure 15: Taux d'accès à l'eau potable.....	27
Figure 16: Pourcentage de perte du Bip,	33

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I: Données climatiques de trois stations dans le Mékrou.....	43
ANNEXE II: Carte climatique du Bénin.....	43
ANNEXE III: carte climatique du Burkina Faso	44
ANNEXE IV: carte climatique du Niger	44
ANNEXE V: Minéralisation de l'eau dans la portion Béninoise du Mékrou.	45
ANNEXE VI: Disponibilité en eau douce renouvelable dans les pays d'Afrique de l'Ouest ..	45
ANNEXE VII: Taux de desserte pour l'atteinte des OMD	46
ANNEXE VIII: Déséquilibre entre l'offre et la demande mondiale en eau à l'horizon 2030 .	46
ANNEXE IX: Zone du bassin Mékrou au Bénin.....	47
ANNEXE X: Zone du projet Mékrou au Burkina Faso	47
ANNEXE XI: Cas de conflits liés à la ressource en eau dans la zone du Mékrou au Bénin ...	48

Avant Propos

Le Partenariat régional de l'eau de l'Afrique de l'Ouest, a été institué en 2002 entre les partenaires de l'eau de la sous-région de l'Afrique de l'Ouest. Le GWP-AO est la branche régionale du Partenariat Mondial de l'Eau (GWP). C'est une organisation intergouvernementale créée en 1996 pour aider les pays à traduire en actions concrètes les principes de gestion durable des ressources en eau dégagés lors des conférences de Dublin (1991) et de Rio (1992). Le GWP mobilise les Etats et la société civile afin de maintenir la question de la gestion des ressources en eau au niveau le plus élevé possible dans les priorités internationales, régionales et nationales. Le GWP appuie également les Etats et les organismes de bassins transfrontaliers pour une gestion durable des ressources en eau, en promouvant la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) comme approche globale et pertinente pour traiter les problèmes de gestion de l'eau auxquels doivent faire face les Etats et les populations locales (alimentation en eau potable et assainissement, agriculture, environnement, lutte contre les inondations...). Le projet « L'Eau pour la croissance et la lutte contre la pauvreté dans le bassin transfrontalier de la Mékrou » est une initiative du Partenariat Mondial de l'Eau (GWP) et du Centre Commun de Recherche (CCR) pour aider à une meilleure gestion des ressources du bassin de la rivière Mékrou. C'est un projet pilote pour le bassin transfrontalier de la Mékrou, visant à développer des outils et des approches de planification pour permettre aux décideurs politiques et aux responsables de l'eau de faire face aux défis complexes liés à la gestion et au développement de la ressource mais aussi à l'aspect transfrontalier.

Le bassin de la rivière Mékrou est un sous bassin du bassin du fleuve Niger. Le bassin de la Mékrou traverse trois pays, le Bénin, le Burkina Faso et le Niger et il couvre une superficie de 10.500 km². La croissance économique, la lutte contre la pauvreté et les évolutions démographiques et sociales entraînent une demande de plus en plus croissante d'infrastructures de gestion de l'eau afin de permettre la production de denrées alimentaires et d'énergie et de fournir des biens et des services aux populations dans des délais appropriés. De tels développements ont un impact important sur les ressources en eau, et la gestion de ces ressources est de plus en plus complexe.

Le sous-développement des ressources en eau conduit à la sous-utilisation du potentiel économique et à un déficit d'adaptation, c'est-à-dire à une incapacité à gérer correctement les risques climatiques existants et la variabilité hydrologique. Ce manque

d'investissement concerne non seulement les actifs et les infrastructures, mais également les politiques et programmes institutionnels, ainsi que les systèmes permettant d'améliorer la gestion intégrée des ressources en eau.

L'objectif global de ce projet est de soutenir la croissance verte et la lutte contre la pauvreté au Burkina Faso, au Bénin et au Niger, en assurant une fourniture continue en eau aux zones en développement.

Les objectifs spécifiques du Projet Mékrou sont les suivants :

Établissement du cadre de coopération de la planification à long terme de l'eau pour le développement dans le bassin transfrontalier de la Mékrou.

Développement d'une stratégie intégrée des ressources en eau pour la croissance verte dans le bassin de la Mékrou (sécurité alimentaire, développement urbain et rural approprié, et protection de l'environnement pour faire face aux défis du changement climatique) et pour la promotion de l'investissement dans le secteur de l'eau. (Source : site internet de GWP/AO).

Introduction

Les pays de l'Afrique sub-sahariennes, à cause des aléas climatiques et de l'irrégularité spatiale et temporelle des pluies font face à une grave pénurie d'eau. La rareté d'eau, accentuée par les phénomènes d'intenses évaporations et la pression démographique de plus en plus croissance de nos jours sur la ressource, est devenue une question majeure pour le développement socio-économique des sociétés des pays en développement. En effet, un milliard quatre cent millions environ d'êtres humains dans le monde, n'avaient toujours pas accès en 2003 à l'eau potable et parmi eux, 450 millions se situaient en Afrique (Gauthier, 2004). C'est fort de ce constat que pour remédier à cette situation alarmante, l'Assemblée générale de l'organisation des Nations Unies (ONU) a décrété la période de 2005 à 2015, comme décennie pour l'action « L'eau, source de vie » et le 28 juillet 2010, elle a adopté une résolution dans laquelle elle déclare que le droit à l'eau potable est « un droit fondamental, essentiel au plein exercice du droit à la vie et de tous les droits de l'homme » et dans son 7^{ème} point des objectifs du millenium pour le développement (OMD), a fixé que chaque pays devrait réduire de moitié le nombre de population n'ayant pas accès l'eau potable. La faible disponibilité des eaux de surface, causée par le problème de la forte évaporation des eaux et celui de l'importance de l'investissement financier qu'il faut mobiliser pour le traitement des eaux de surface en milieu rural, fait que plusieurs pays Africains optent pour l'exploitation des ressources en eau souterraines, qui sont généralement de bonne qualité. C'est au vu de cette place de choix qu'occupent les ressources en eaux souterraines dans le processus d'approvisionnement en eau potable, qu'il nous a semblé primordiale de faire tant quantitatif que qualitatif, l'état des connaissances sur les ressources en eau souterraines dans le bassin transfrontalier de la Mékrou de l'Afrique de l'Ouest ; notre travail consistera à faire l'état de l'art des connaissances sur les ressources.

En effet dans le bassin de la rivière Mékrou, comme dans de nombreux pays en Afrique sub-saharienne, la variabilité du climat est importante avec des précipitations qui se trouvent en dessous de l'isohyète 200mm (Haouchine A., 2011). Cela représente un risque climatique majeur, menaçant l'agriculture, l'économie et les conditions de vie des populations. Les investissements liés à l'eau y sont relativement limités, du fait du manque des capitaux.

L'objectif général de cette étude vise à capitaliser les informations hydrogéologiques quantitatives et qualitatives disponibles pour le bassin du Mékrou en vue d'une exploitation optimale des ressources en eaux souterraines.

De façon spécifique, il s'agit :

- De faire, une synthèse du cadre hydrologique, géologique et hydrogéologique.
- De présenter des cartographies illustrant l'état des lieux des ressources en eaux souterraines, ainsi que des risques (sociaux, économiques et environnementaux) dont elles font l'objet (disponibilité, accessibilité locale, pollution), de faire l'inventaire des exploitations en cours, exploitations potentielles et des différents types d'utilisation.
- De faire une balance hydrogéologique, à partir de l'estimation de la disponibilité par rapport aux besoins des communes en matière de ressources en eau.
- De faire une synthèse et une description des problèmes spécifiques du Mékrou (compétition pour l'accès à l'eau, risques de contamination des ressources)

Ce travail est structuré comme suit :

L'introduction expose la problématique de cette étude et les objectifs à atteindre.

Le chapitre I, traite des généralités de la zone d'étude et de la description du contexte hydrologique, géologique et hydrogéologique de ladite région.

Le chapitre II, fait une analyse de la disponibilité, de l'accessibilité et de la qualité des eaux souterraines de cette région, explore leurs différentes exploitations et utilisations en cours et s'achève au tour d'une synthèse des problèmes spécifiques du Mékrou.

Le chapitre III, présente la conclusion et les recommandations

Chapitre I: Cadre général de la zone d'étude

I. Situation géographique

Le bassin transfrontalier de la Mékrou, s'étant sur trois pays (Benin, Burkina Faso et Niger) il couvre : le Nord du Bénin (Alibori et Atacora), l'Est du Burkina Faso (Fada et Diapaga) et le Sud Ouest du Niger (Liptako Grouma et une partie de l'Iullemmeden). Il s'étend sur une superficie de 10.500 km² avec 36% des terres cultivées où 20% de terres alternant entre terres agricoles et végétations sèches (figure 1).

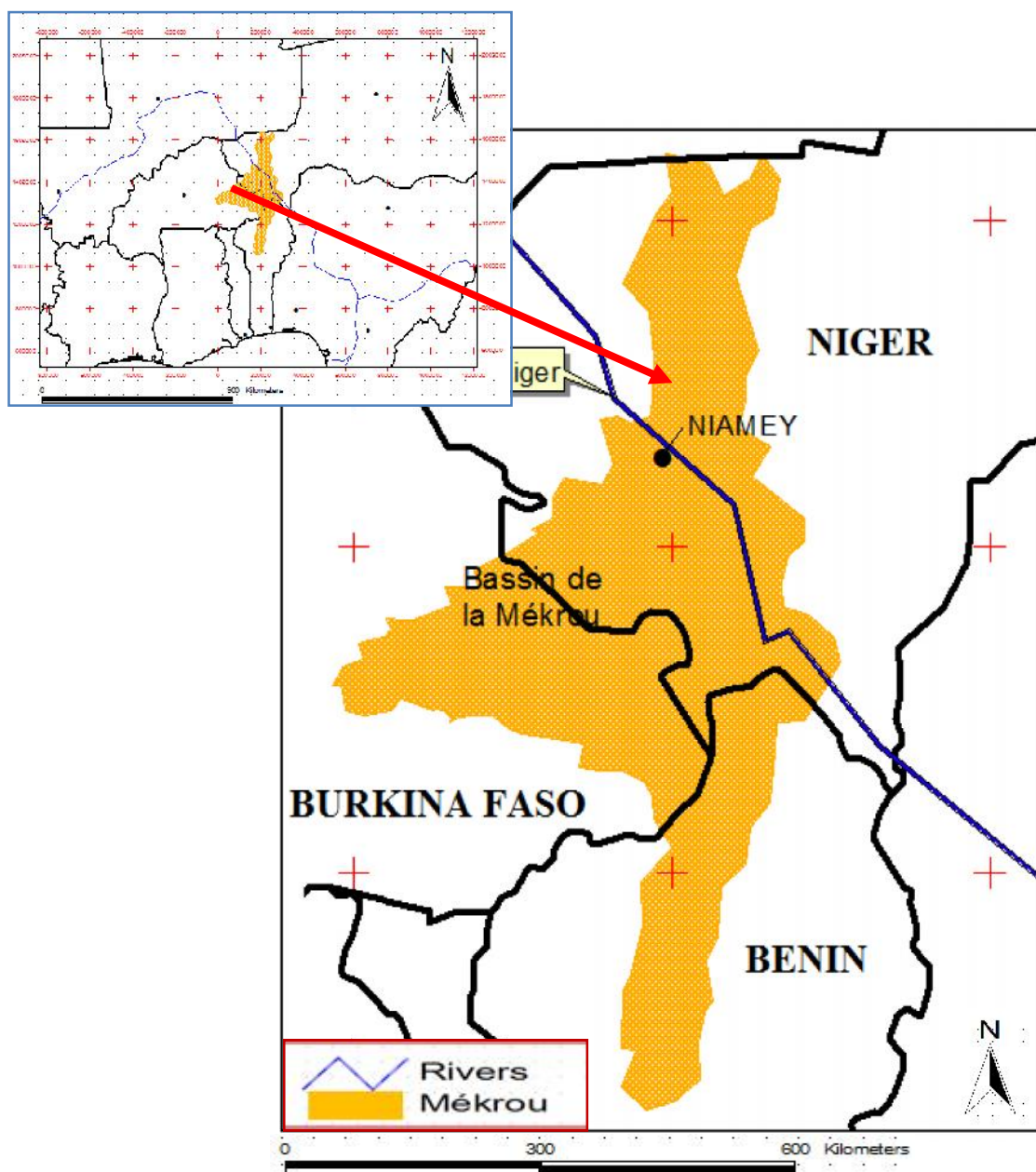


Figure 1: Bassin transfrontalier de la rivière Mékrou (Bénin, Burkina Faso, Niger)

II. Climat et hydrographie

1. Climat

Le Mékrou dont la situation géographique est comprise entre les 10^{ème} et 16^{ème} parallèles Nord, jouit d'un climat tropical à saisons alternées. Le déroulement de ces saisons est régi par un mécanisme global relativement complexe qui détermine les différentes zones bioclimatiques ; la zone soudano-guinéen, la zone soudano-sahélienne et la zone semi-aride sahélien, Vissin E.W., (2007).

a. Les températures

De part et d'autres du bassin, les températures sont en général élevées. On enregistre les températures moyennes annuelles comprises entre 27,5°C à 29°C, ces températures cachent d'importantes disparités entre les températures extrêmes dont le maxima atteint et dépasse souvent 45°C à l'ombre au mois d'avril (Komla P. M., et al, 2001). Les températures les plus basses sont observées en juillet-août tandis que les plus fortes valeurs s'observent en avril-mai avec des pics pouvant atteindre 45°C à l'ombre (Sani, 2012).

Les données de températures et de précipitations utilisées dans notre étude sont produites par le CNRM-Météo-France (annexe 1) sur la période de 1981-2010. Elles sont relevées à la station synoptique de Natitingou (Bénin), Fada N'gourma (Burkina Faso) et de Niamey (Niger). Ces stations étant situées dans le bassin de la Mékrou, nous les avons utilisées pour analyser les variations des températures (figure 2) et des précipitations (figure 4) dans l'espace et dans le temps, sur l'étendue du bassin.

Sur l'étendue du bassin les moyennes mensuelles varient suivant un régime bimodal avec deux (2) maxima en avril et en novembre et deux minima en août et en décembre comme le montre la courbe ombrothermique ci-dessous .

Les mois les plus secs sont ceux de Mars avec une moyenne mensuelle de 37,2°C (la station de Natitingou) et d'Avril avec les moyennes mensuelles de 39,6°C (station de Fada N'gourma) et de 40,9°C (station de Niamey)

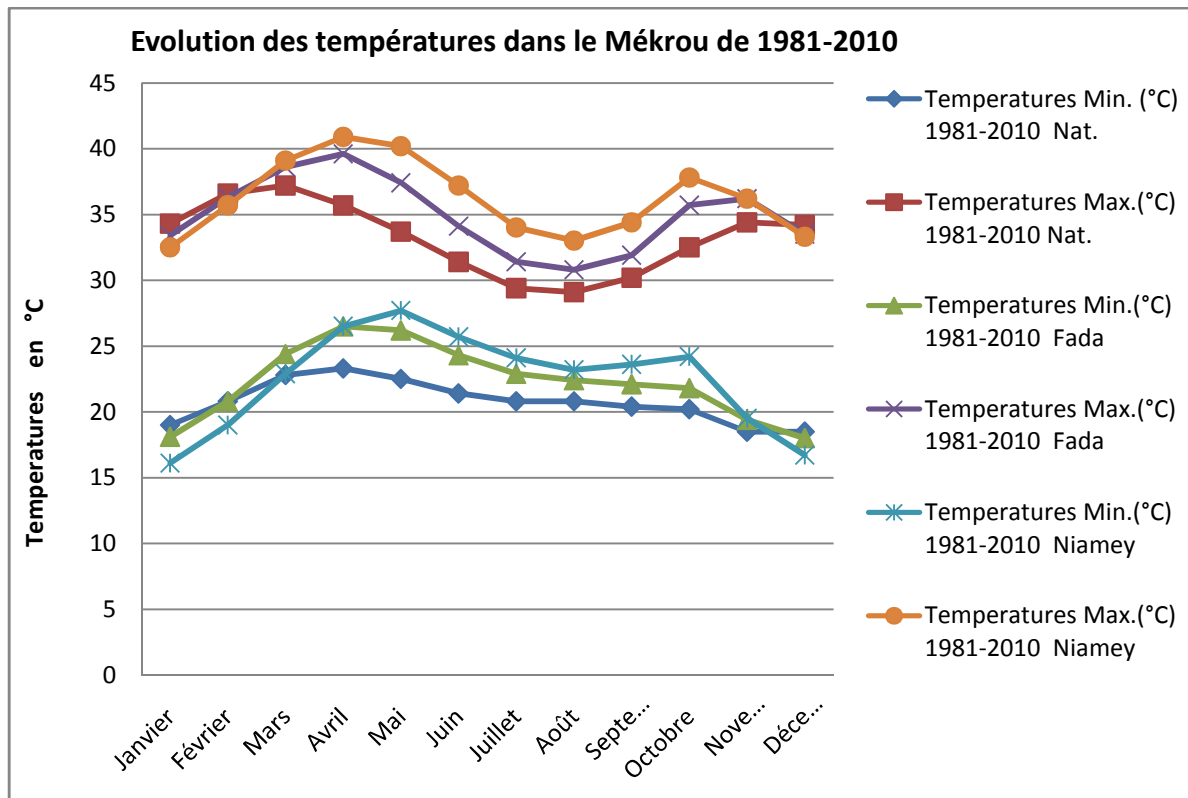


Figure 2: Evolution des températures dans le Mékrou 1981-2010

b. Le mouvement des vents

Le climat est caractérisé par l'alternance de deux masses d'air ; l'une chaude et sèche (harmattan) et l'autre humide et fraîche (mousson). Le contact au sol de ces deux masses d'air constitue le front intertropical (FIT), Boubakar A. H., (2010) représenté dans la figure 3 ci-dessous.

Sani (2012) rapporte que les vents chauds et secs (alizé continental sec) sont de secteur E-NE venant du Sahara, sont dominants pendant la saison sèche (octobre à mai), tandis que ceux du secteur S-SO venant de l'Atlantique (alizé maritime humide) dominent en saison des pluies (juin à octobre).

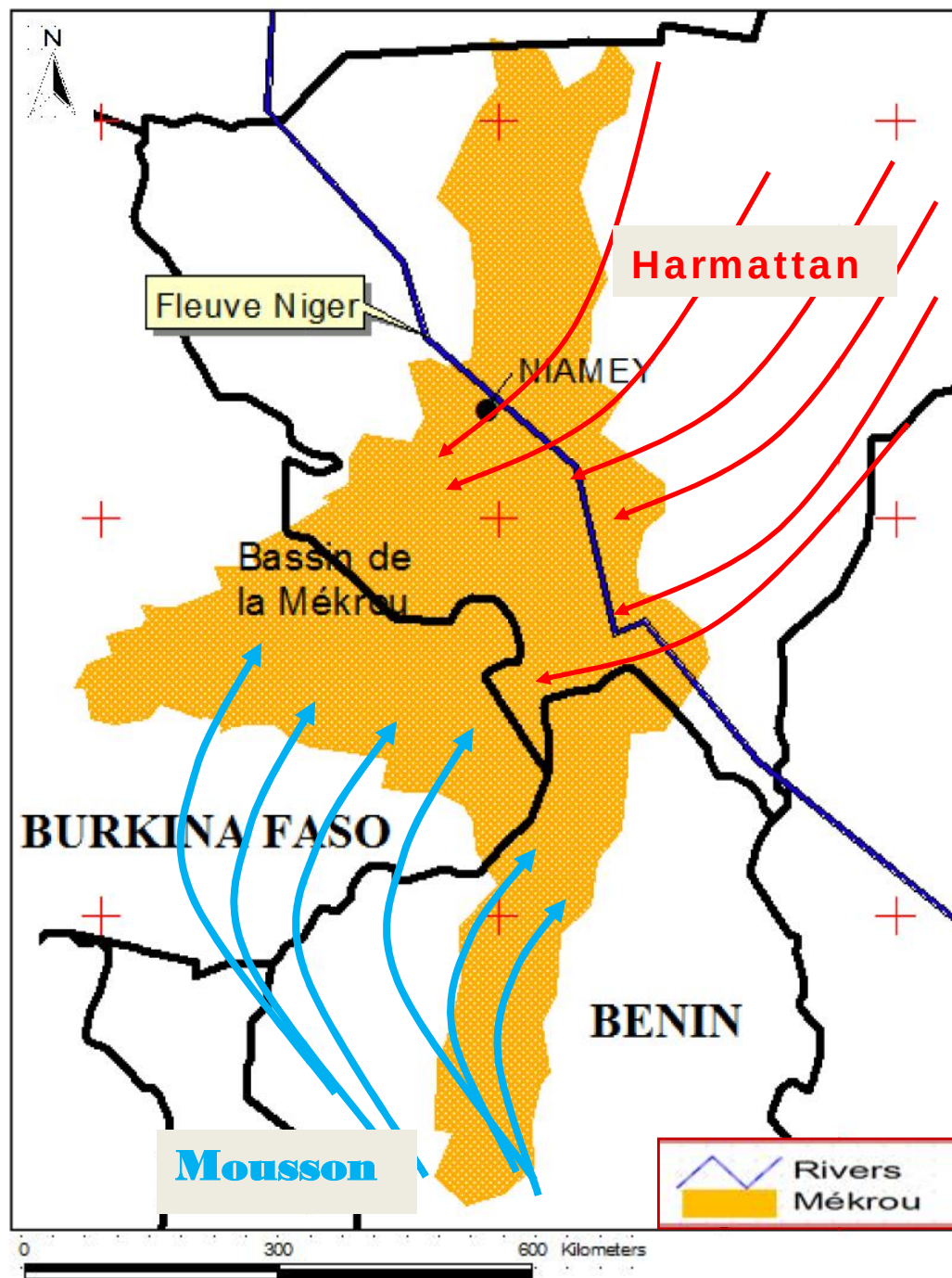


Figure 3: Evolution du FIT sur le bassin du Mékrou

c. Pluviométrie

Le territoire du Mékrou est subdivisé en trois grandes zones, basées essentiellement sur les quantités pluviométriques annuellement recueillies et le régime thermique.

La zone soudano-guinéenne(annexe 2), caractérisée par une pluviométrie qui oscille entre 800 et 1100 mm par an avec un pic au mois d'août, une saison de pluie, allant de mi-avril à mi-octobre et une saison sèche allant de mi-octobre à mi-avril.

La zone soudano-sahélienne (annexe 3), qui enregistre une pluviométrie entre 600 et 950 mm, Ici La pluviométrie annuelle varie considérablement d'une année à l'autre et pendant l'année.;Une longue saison sèche (de Novembre à Mai) et une courte saison humide (de Juin à Octobre).

La zone semi-aride sahélienne(annexe 4), ici environ 90% des précipitations annuelles tombent entre fin juin et septembre. Sur le degré carré de Niamey, les isohyètes calculées varient de 400 mm au nord à 700 mm au sud. Elle est caractérisée par deux saisons : une saison sèche allant d'octobre à mai et une saison pluvieuse allant de juin à septembre.

Le diagramme du graphique ci-dessous permet de distinguer les mois les plus secs des mois les plus arrosés dans la zone du projet ;les mois de Juillet, Août et Septembre sont les plus arrosés.

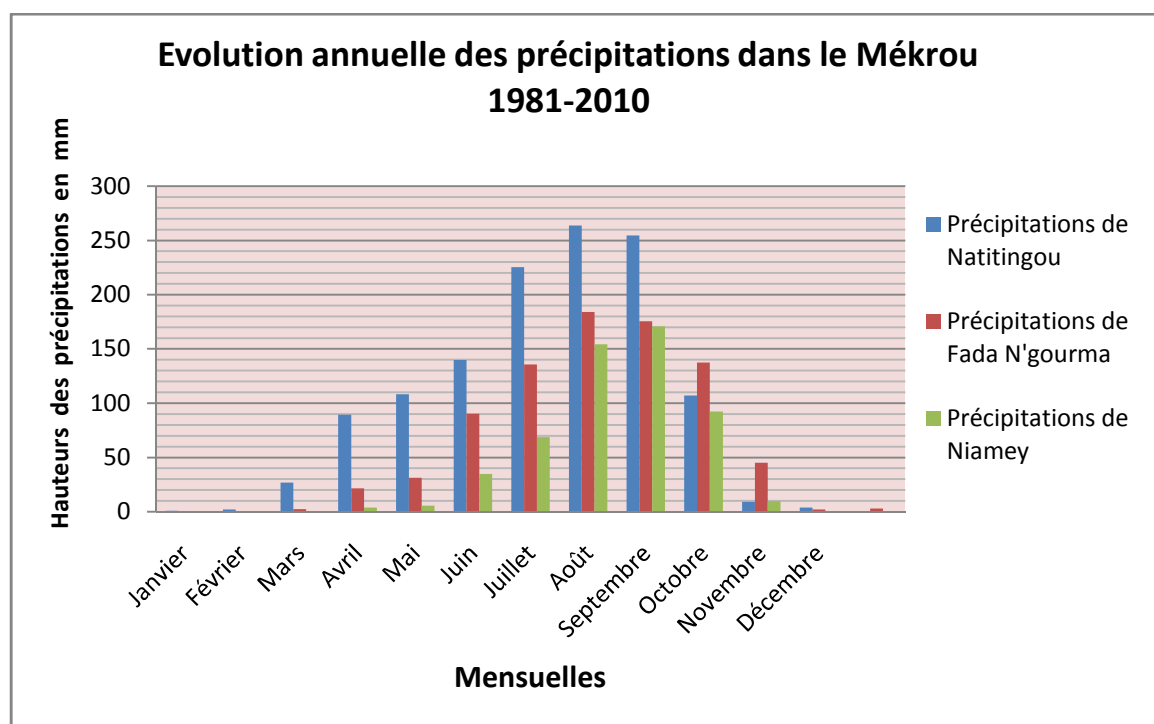


Figure 4 : Evolution annuelle des précipitations dans le Mékrou

2. Hydrographie

Le bassin est traversé par le fleuve Niger et ses affluents. L'hydrographie présente un réseau riche en petits cours d'eau et ruisseaux saisonniers. La Mékrou est l'un des cours d'eau les plus importants ; elle qui s'étend sur une longueur de 480 km. Elle prend sa source à 460 m d'altitude environ, sur les flancs N-E des monts de Birni.

Les fleuves ne coulent pas en saison sèche. Cependant certains fleuves importants tels que Sirba, Tapoa, Goulbi, Mékrou et Pendjari conservent les mares permanentes en cette saison. Tous ces cours d'eau subissent le régime torrentiel dû, aux précipitations intenses de la saison pluvieuse.

Les composantes majeurs de ce réseau sont le fleuve Niger et ces affluents ; on a les affluents Burkinabés et Béninois, on rencontre aussi quelques mares plus ou moins permanentes et des cours d'eau à écoulements intermittents pendant les saisons pluvieuses (Sani, 2012).

Les écoulements ; sur sa traversée du Niger, le fleuve reçoit l'apport des affluents de la rive droite du Burkina Faso (Gorouol, Dargol, Sirba, Goroubi) et du Bénin (Diamangou, Tapoa, Mékrou) et les apports des aquifères des Iullemmeden dans le bas Dallol et Maouri (Favreau G., 2000)

Les écoulements dans l'aquifère du Continental intercalaire vont du Nord vers le sud et convergent vers le fleuve Niger au sud-ouest (Dodo et ZUPI, 1999).

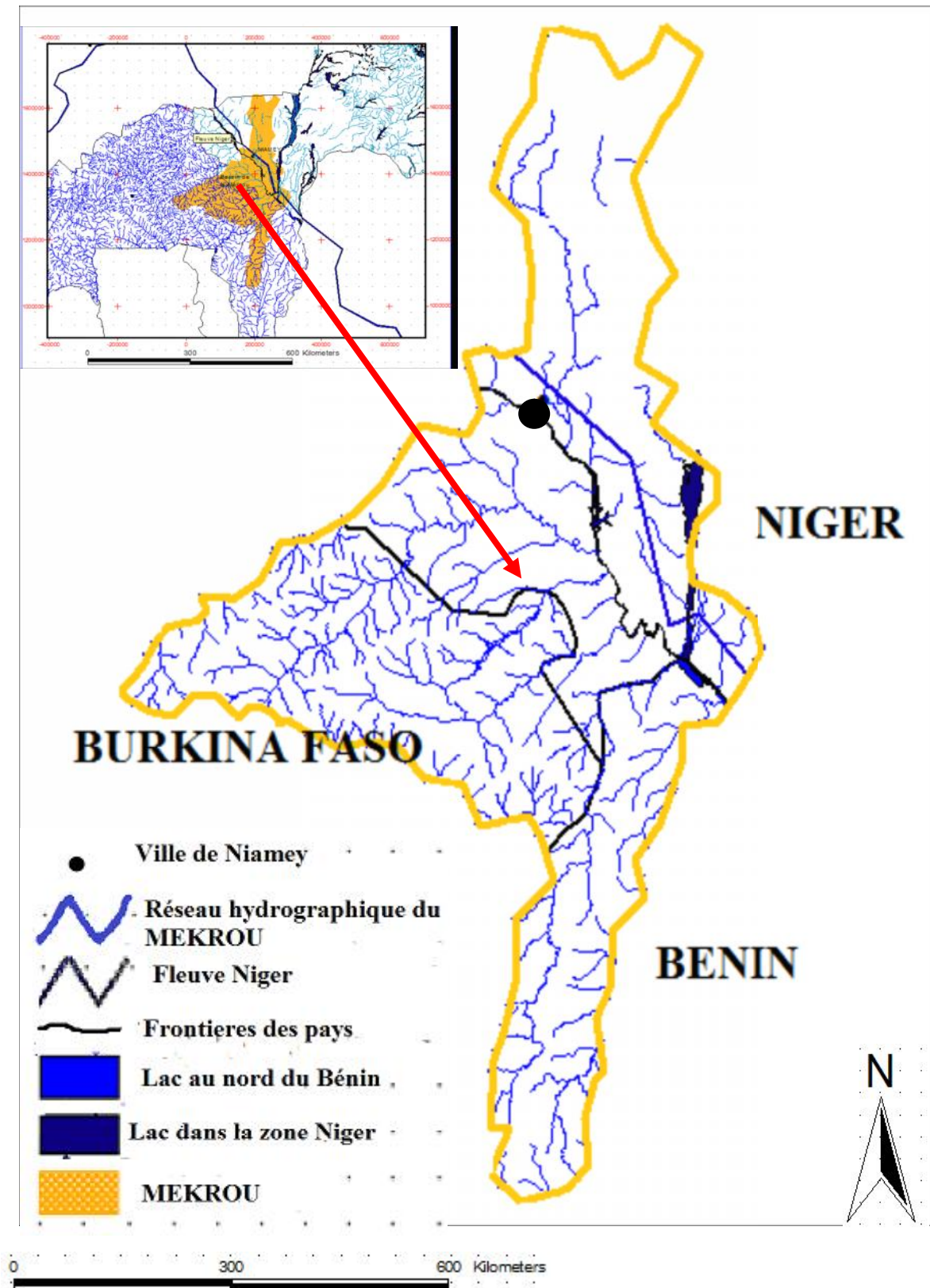


Figure 5: Spatialisation du réseau hydrographique du bassin versant de la Mékrou

III. Contexte géologique du bassin de la Mékrou.

Le bassin du Mékrou a une géologie qui passe par le socle panafricain au sud, traverse les formations de couvertures de la plate forme du Pandjari pour rejoindre la dorsale de LEO, qui constitue le socle précambrien (protérozoïque) à l'ouest du bassin (partie Burkinabé) et sur une partie du LiptakoNigérien. Les formations de sable continental (phanérozoïque) sont rencontrées sur la partie ouest et quelques peu dans le sud du bassin qui correspond au nord du Bénin.

De part et d'autre du bassin, le Mékrou est situé majoritairement sur le socle cristallin et quelque peu sur des formations sédimentaires.

1. Le socle cristallin :

Les formations rencontrées au sud, se présentent principalement sous des faciès métamorphiques et accessoirement sous forme d'intrusive. Les faciès métamorphiques sont représentés par des migmatites et des gneiss très variés. En suite on a une zone de socle ancien de migmatites de granitoïdes (Dipama, 2005). Le Mékrou au Niger, s'étend du Liptako nigérien à l'Ouest, jusqu'aux couvertures sédimentaires à l'Est où affleurent les niveaux supérieurs du bassin de l'Iullemmeden.

2. Les formations sédimentaires :

Ce sont principalement des grès à granulométrie variée appartenant au crétacé et au cambro-silurien. Ils reposent en discordance sur le socle (Komla, 2001). Au sud du bassin, le sous-sol, est constitué par trois séries sédimentaires anciennes, fortement indurées, Tandis qu'au nord du bassin où le Mékrou s'étend du Liptako nigérien, jusqu'aux couvertures sédimentaires à l'Est où affleurent les niveaux supérieurs du bassin de l'Iullemmeden, les formations de couvertures sont constituées des sédiments d'âges variés :

- Néo-protérozoïque (infracambrien et voltaïen)
- Post-Eocène (Continental Terminal) ;

(Greigert, 1966) a défini trois ensembles au sein du Continental Terminal disposés de bas en haut de la manière suivante :

La « série sidérolithique de l'Ader Doutchi » (CT1) ;

La « série argilo-sableuse à lignites » (CT2) ;

La « série des grès argileux du Moyen Niger » (CT3).

▪ Les formations superficielles du quaternaire ; Les formations superficielles comportent des colluvions, Les alluvions des cuirasses ferrugineuses, latéritiques, des dunes et terrasses récentes d'âge Quaternaire à Actuel, qui reposent sur le Continental Terminal et/ou le socle.

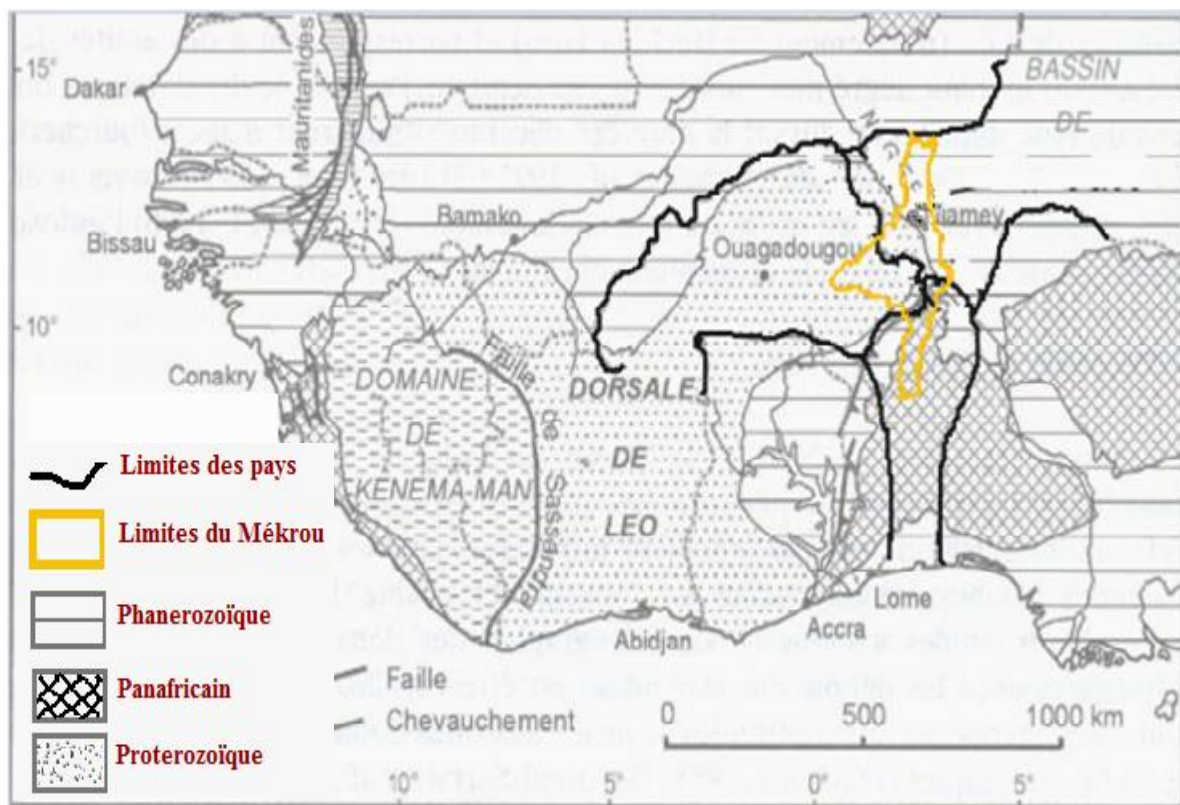


Figure 6: Contexte géologique du bassin de la Mékrou,

3. La stratigraphie des formations de couverture :

La réalisation de coupes stratigraphiques permet d'intégrer et de mettre en valeur l'ensemble de l'information recueillie lors de la compilation des données de forage et lors des levés de terrain. Le but principal des coupes stratigraphiques est d'établir, dans des régions ciblées, la stratigraphie des unités enfouies de même que les structures qui y sont associées afin de connaître l'architecture des aquifères et de voir les relations avec les unités adjacentes et la topographie du roc. L'élaboration des coupes stratigraphiques permet donc de confronter

et d'évaluer les différents types d'information recueillis et, par le fait même, de les valider Seta N., (1999).

Les formations de couverture dans le Mékrou, sont représentées par le Continental Terminal 3 (CT3) qui repose en discordance sur des roches granitiques et sur des méta-sédiments de manière générale. L'épaisseur de la couverture augmente du Sud (moins d'un mètre) vers le Nord (plus de 20 m) tout comme dans le sens W-E, passant de 10 à 15 m à plus de 40 m (figure 6 et 7)

La figure 6 montre les relations entre le socle et la couverture ; les formations de couverture sont plus importantes à l'Est qu'à l'Ouest, et dans la direction Nord-Sud, cette épaisseur des formations décroît ;

La coupe A de la figure 6, présente la profondeur du socle à 21633m au Sud contre 24091m au Nord.

La coupe B de la 7 montre que quand on va dans la direction E-W les épaisseurs des formations de la couverture deviennent moins importantes. En somme, dans le bassin de la Mékrou, côté Sud-ouest du Niger, les formations de couvertures ont des épaisseurs moins importantes et c'est à des faibles profondeurs que l'on rencontre le socle rocheux.

Le bassin du Mékrou, dans l'Illemeden, se limite au nord par des formations non aquifères (Dodo et ZUPI, 1999), il est composé de deux grands systèmes d'aquifères : Le continental intercalaire (CI) et Le continental Terminal (CT). La géologie du CT à plateaux latéritiques recouverts de brousse tigrée, typiques du CT3. L'épaisseur de ces grès, quasi-nulle près de Niamey, augmente progressivement vers l'est pour atteindre plus de 130 m en bordure est de la zone d'étude.

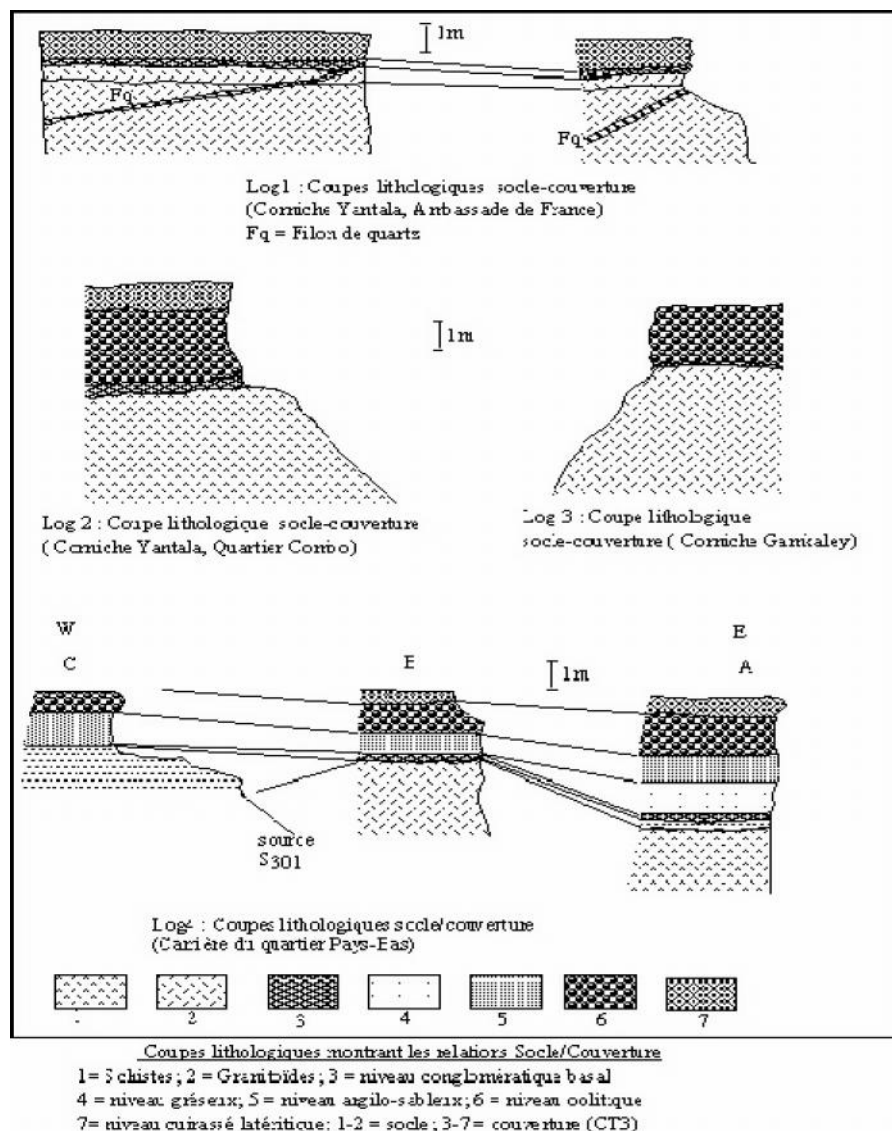


Figure 7: Coupe lithologique montrant les relations socle/couverture, (Source :BOUBAKAR H. A., (2010))

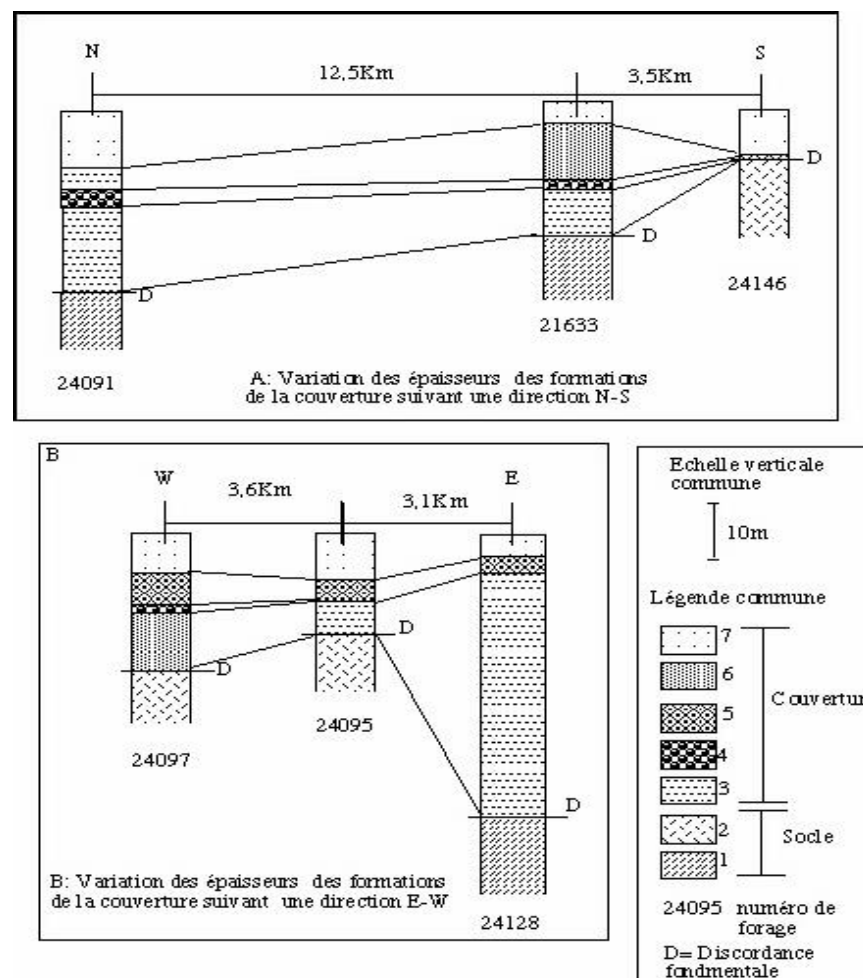


Figure 8 : Coupe lithologique en mettant les variations des épaisseurs des formations. (Source :BOUBAKAR H. A., (2010))

IV. Cadre hydrogéologique du bassin de la Mékrou

Le contexte hydrogéologique met en évidence, les principaux facteurs qui influent sur l'écoulement de l'eau souterraine d'une région. Les informations sur les facteurs qui influent sur l'écoulement de l'eau souterraine d'une région, sont pertinentes autant du point de vue de la connaissance de la ressource que de sa gestion (Parent, 1998).

Dans l'étendue du bassin de la Mékrou, l'on rencontre principalement trois types d'aquifères : les aquifères continus des dépôts sédimentaires, et l'aquifère alluvial (dans la région de Niamey) et les aquifères discontinus du socle.

1. Les aquifères continus des dépôts sédimentaires :

Dans les zones des dépôts du bassin sédimentaire, l'on rencontre les aquifères du quaternaire, constitués de grès, d'alluvions de la Pendjari (sables avec des passées graveleuses). Les épaisseurs varient de 2 à 10 m. Les débits varient de 5 à 20 m³/h. Les aquifères sont captés par des puits à grand diamètre et des forages qui produisent des débits 2 à 5 m³/h. Les eaux sont faiblement minéralisées et affichent des valeurs de conductivité de 10 à 900 µS/cm pendant que les pH varient de 5 à 9.

Les aquifères multicouches du Continental terminal de l'Iullemeden, sont représentés dans la zone par l'aquifère libre surtout ; les aquifères superficiels qui sont localisés dans les alluvions anciennes et récentes et parfois dans sables dunaires. Leurs gradients hydrauliques respectifs sont de 2×10^{-4} à 3.2×10^{-4} . Le niveau piézométrique est généralement à une profondeur de 20 à 50m. Sur les plateaux, le niveau est presque toujours au-delà de 60m. Les valeurs de la transmissivité sont comprises entre 1×10^{-2} et 1×10^{-2} m²/s, celles du débit spécifique de 4 à 15 m³/h/m, (Girard P., 1993).

Le Continental Terminal du Mékrou est un système d'aquifère du bassin de l'Iullemeden qui est partagé par le domaine du Bénin et du Niger. Le bassin de l'Iullemeden (Iullemeden-Taoudeni) a une petite extension (~10 000 km²) au Bénin où il est connu sous le nom de bassin de Kandi.

La figure 8 ci-dessous présente la caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du Continental Terminal 3 (CT3) au Niger obtenue par la méthode de résonance magnétique protonique (RMP).

Cette figure nous présente les argiles grises à parties supérieures de la formation du continental terminal 2 qui constituent le mur de l'aquifère des grès du continental terminal 3. Le toit des argiles s'approfondit vers l'Est. L'érosion des périodes humides du quaternaire a entaillé les grès et fait que ce toit peut se situer plus ou moins profondément selon les sites (Descloîtres, 2006).

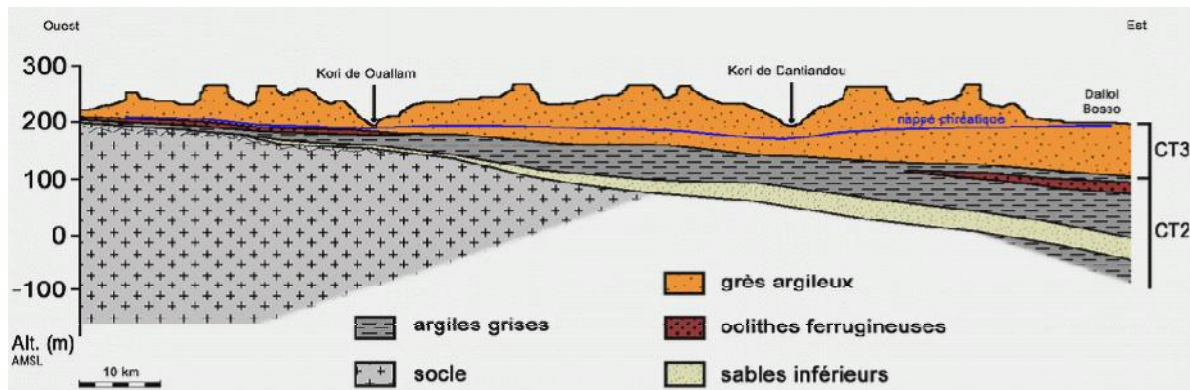


Figure 9 : Coupe hydrogéologique schématique de la zone d'étude du Mékrou au Niger. (Massuel, 2005)

2. Aquifère alluvial

Il s'agit d'un aquifère continu formé par les alluvions du fleuve Niger d'un âge quaternaire. Du point de vue de la lithologie, il est composé de sable peu compacté. Cet aquifère de nature poreuse est limité à la plaine alluviale et la vallée du fleuve Niger. Un autre aquifère alluvial très restreint se trouve le long d'un oued vers le nord-est de Niamey. Ces aquifères alluviaux sont les moins profonds parmi les trois aquifères considérés (Sven, 2013)

3. Les aquifères discontinus des formations de Socle cristallin.

Les aquifères de socle sont localisés dans les horizons fracturés et fissurés des formations cristallines et cristallophylliennes ou dans leur produit d'altération. Le rôle de drain est joué par les fractures. En milieu cristallin et cristallophyllien, les niveaux aquifères

possibles correspondent aux altérites (arène sableuses ou sablo-argileuses) et aux fissures et/ou fractures de socle, ces aquifères sont dans bien de cas superposés et fonctionnent généralement en système bicouche des aquifères monocouches d'altérites, de fissure ou de fracture peuvent exister de façon isolée (TAUPIND., 1990).

Les aquifères en milieu de socle sont constitués de réservoirs d'altérite et des séries volcano-sédimentaire et de réservoirs granito-gneissiques, le schéma générique de la structure hydrogéologique des aquifères de socle (Lachassagne et Wyns, 2005) est présenté par la figure 9. Cette structure est rencontrée dans la presque totalité du bassin la Mékrou.

La géométrie et la nature des aquifères en zone de socle dépendent du type de roches qui composent le substratum, de la tectonique et de l'altération qu'elles ont subi depuis leur mise en place.

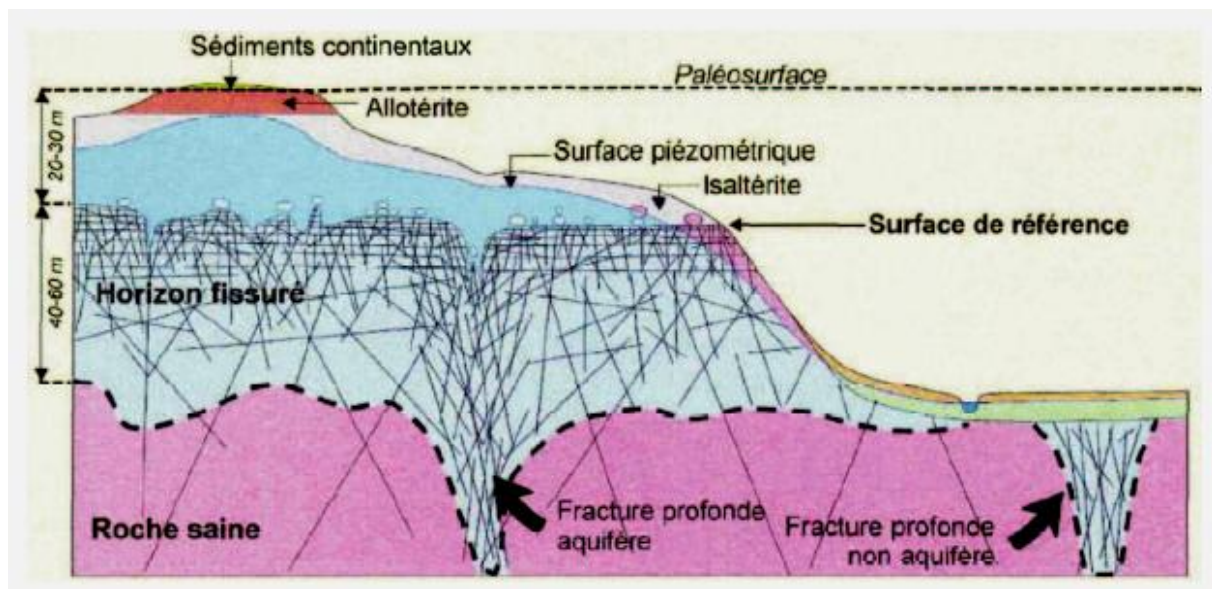


Figure 10: structure hydrogéologique des aquifères en milieu de socle, du Mékrou.
(Source : Lachassagne et Wyns, 2005)

ChapitreII: Etat des lieux de la ressource en eau souterraine

L'eau, en tant que ressource renouvelable, est généralement considérée comme naturellement abondante et disponible, contrairement à d'autres ressources naturelles menacées par l'épuisement. Cependant, si la disponibilité globale de la ressource n'est pas un problème en soi, de nombreux facteurs tels que son inégale répartition locale et temporelle, aggravée par le contexte de changement climatique et la compétition entre les divers usagers (agriculture, industrie, villes) rendent les défis liés à cette ressource de plus en plus complexe à relever (Souad,2012).

I. L'estimation de la disponibilité (recharge des systèmes aquifères)

Le climat en région aride et semi-aride, est caractérisé par une température élevée et une forte évapotranspiration (ET) potentielle dépassant deux à trois fois les hauteurs des précipitations moyennes annuelles. Ces observations montrent que sur la base du bilan hydrologique annuel, la recharge serait nulle dans ces régions. Cependant les études montrent l'existence d'une recharge effective dans laquelle les cours d'eau joueraient un rôle prépondérant (Lerner et al 1990) La recharge au sens large se définit comme tout flux d'eau s'écoulant à travers la zone racinaire, traversant la zone non saturée et arrive à la nappe souterraine, où il participe à son renouvellement. L'alimentation de ces nappes peut s'effectuer suivant les mécanismes suivant :

- Recharge directe : elle s'effectue à l'aide de la pluie, le ruissellement et la percolation verticale au niveau des lits des cours d'eau.
- Recharge localisé : elle se fait par percolation à partir des volumes d'eau accumulée dans les dépressions topographique
- Recharge indirecte : elle se fait par percolation latérale.

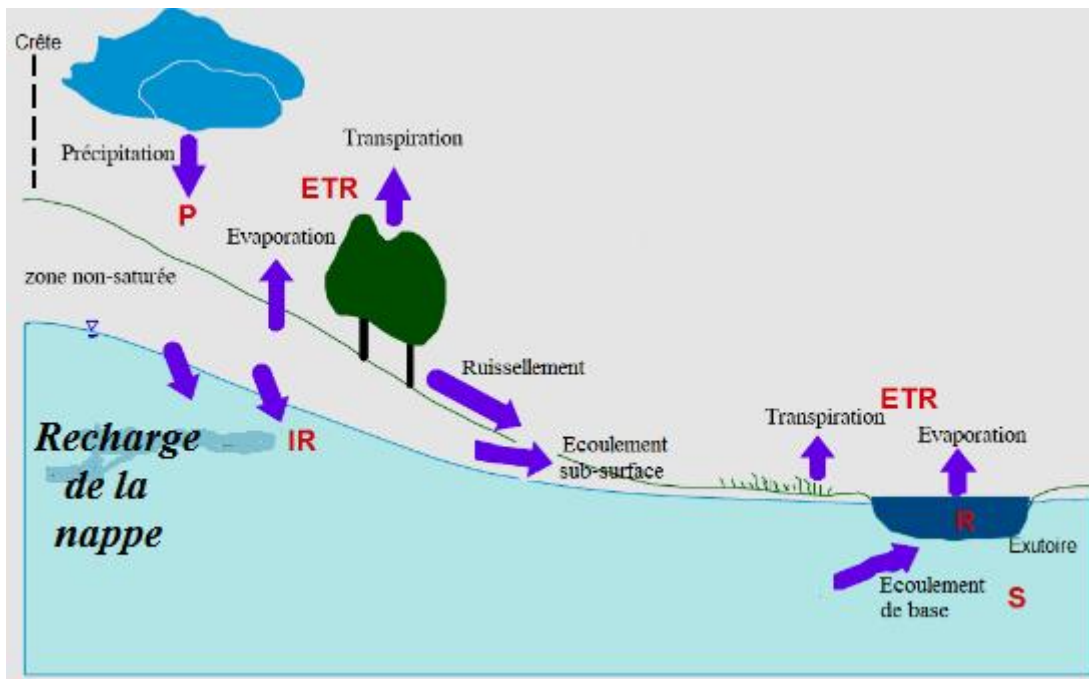


Figure 11: illustration de la recharge et du mode d'alimentation des cours d'eau
Source : (Boubacar I., 2013)

La capacité annuelle de recharge de la nappe phréatique 1.870 million de m^3 par an. Le rapport d'étude menée entre 1996 et 1997 sur la stratégie nationale de gestion des ressources en eau du Bénin estime que la capacité annuelle de recharge des aquifères du pays est de $123 m^3/ha$ pour les zones de socle et de $125 m^3/ha$ pour la zone sédimentaire au sud du Mékrou(Kandi). Sur la base de ces hypothèses, les capacités totales de recharge annuelle des aquifères de zone d'étude sont estimées à 535 millions de mètres cubes d'eau.

Plusieurs études dont celle des quatre bassins versants expérimentaux du Burkina Faso, ont démontré que l'eau infiltrée parvient à la nappe surtout par voies préférentielles. La disponibilité en des ressources en eaux souterraines de ces bassins est estimée à 11.2 de milliards en m^3 pour les sous bassins du Nakanbe et du Niger. L'analyse des données de cette étude montre que la remontée du niveau piézométrique est étroitement liée à la pluviométrie.

II. Qualité de la ressource en eau dans la zone du projet Mékrou

Selon l'OMS, il y a « pollution des eaux » lorsque la « composition ou l'état des eaux est directement ou indirectement modifié du fait de l'activité de l'homme et dans une mesure où celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel » (VANDER, 1993).

Généralement les ressources en eaux souterraines subissent une dégradation qui est le résultat des impacts des activités anthropiques et parfois des phénomènes naturels. Les eaux de surfaces fréquemment polluées par les activités agricoles, industrielles et pastorales dans une moindre mesure, polluent souvent la nappe, à travers leurs infiltrations et à travers les points d'affleurement de la nappe comme les mares. Au niveau de ces mares se déversent certaines eaux de ruissellement, qui collectent les déchets de toutes sortes le long des canalisations à ciel ouvert. Les produits rencontrés dans ces pollutions sont notamment: les nitrates, pesticides, solvant chlorés, les bactéries dont les germes sont d'origine fécale, les rejets agro-industriels. Les contaminations bactériennes sont signées par des germes d'origine fécale (coliformes et streptocoques) et résultent de défauts du système d'assainissement ou sont liées aux élevages. Les aquifères les plus sensibles sont les karsts et les alluvions. La qualité des eaux est principalement altérée par la présence de nitrates, ou de pesticides et plus rarement par la présence de micropolluants organiques (solvants chlorés en particulier).

La qualité détermine l'utilisation/l'usage de l'eau. Le suivi se réalise au pas trimestriel au niveau des forages et puits des zones où la probabilité de contamination est élevée. Le contrôle de qualité s'étend également aux eaux de surface. Les eaux livrées à la consommation sont potables. L'exploitation des données disponibles au niveau du service « Qualité Eau » de la DG-eau a permis de montrer qu'au sud du Mékrou les eaux sont minéralisées avec une conductivité de 335,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (annexe 5) Kamagaté, (2006).

Les résultats du rapport de l'analyse physico-chimique présenté dans le tableau ci-dessous, montrent que les eaux des puits ouverts (eaux souterraines) et celles des lacs de surface sont à des proportions diverses infestées par des coliformes et des streptocoques fécaux dans des ratios allant pour les coliformes totaux de 300 à plus de 1 000 pour 100 ml d'eau en 2010 dans zone burkinabé du bassin, cette étude a été faite par la direction générale des ressources en eau du Burkina (Anonyme a, 2012).

On peut considérer que dans la localité où est situé le Mékrou au Burkina que la qualité des eaux de surface et souterraines est globalement satisfaisante. (Anonyme b, 2001).

Tableau I: Valeurs de quelques paramètres physico-chimiques observés. Source : Anonyma, 2012

Eléments suivis	Sites de prélèvement	2001	2002	2003	2004
pH	Cours d'eau	5,92	7,1	6,51	6,26 à 6,4
	Barrages	6,37	7,5	6,38	5,19 à 5,82
	Eau souterraine	7,1 à 7,36	7,1 à 7,3	6,07 à 7,26	5,16 à 6,9
Conductivité électrique à 20°C ($\mu S \cdot cm^{-1}$)	Cours d'eau	39,6	37,7	51,9	46,1 à 47,2
	Barrages	42,5	27,7	39,3	30,1 à 38,8
	Eau souterraine	88,7 à 245	83,1 à 229	106,9 à 257	69,3 à 243
Sulfate (SO_4^{2-}) (mg/l)	Cours d'eau	38	-	23	-
	Barrages	0	-	7	-
	Eau souterraine	3 à 4	-	6 à 29	-
Phosphate (PO_4^{3-}) (mg/l)	Cours d'eau	0,36	-	0,2	0,77
	Barrages	0,13	-	0,17	0,75 à 0,9
	Eau souterraine	0,32 à 0,45	-	0,22 à 0,97	0,8 à 1,01
Nitrate (NO_3^{2-}) (mg/l)	Cours d'eau	39,1	-	22	3,08 à 19,36
	Barrages	11	-	7,04	5,28 à 13,2
	Eau souterraine	4,4 à 13,2	-	3,96 à 11,88	4 à 20,68
Nitrite (NO_2^-) (mg/l)	Cours d'eau	0,29	-	0,1386	59,4
	Barrages	0,06	-	1,155	39,6
	Eau souterraine	0,05	-	0,0627 à 0,0825	39,6

La conductivité électrique varie entre 227 à 1740 $\mu S/cm$ avec une moyenne de 605,25 $\mu S/cm$, les eaux les moins minéralisées sont rencontrés dans les puits avec des charges au tour de 533 $\mu S/cm$ alors que dans les socles on a les charges allant de 227 à 1740 $\mu S/cm$, les fortes valeurs mérites une attention particulière car certaines ont des teneurs élevées des nitrates (Sani , 2012). Les travaux de Maman Sani, dans la zone nord du Mékrou.

la figure 11 ci-dessous, montre la variation saisonnières des valeurs de pH et celle de la conductivité électrique, ces valeurs sont élevées en saison sèche et faibles et saison humide, par contre certains forages contaminés présentent l'effet contraire dû à l'apport de l'ion NO_3^- par les eaux d'infiltration, entrainant l'augmentation de la minéralisation de ces eaux.

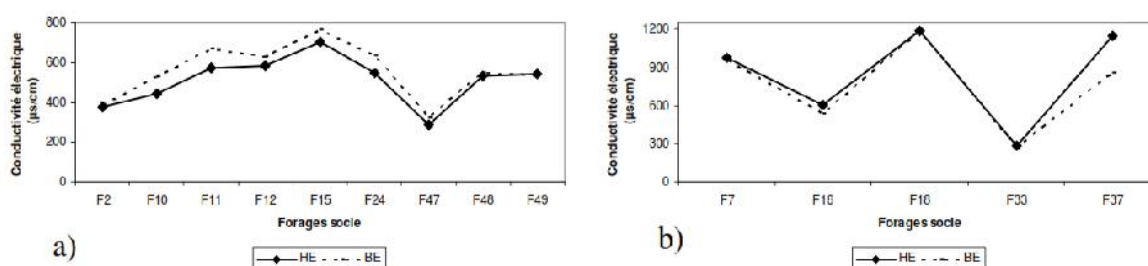


Figure 12: variation saisonnière de la conductivité électrique. Source : (Sani , 2012). HE : hautes eaux, BE : basses eaux

III. Disponibilité et accessibilité de la ressource en eau dans la zone du projet Mékrou

1. Répartition géographique, quantification et accessibilité de la ressource en eau.

a. Normes internationales par rapport à la disponibilité et l'accessibilité de la ressource en eau.

La figure12 ci-dessous présente la répartition des ressources en eau dans le monde, en fonction de la disponibilité d'eau par habitant et par an. Le seuil de pénurie, de stress ou de vulnérabilité est défini en fonction de cette disponibilité.

Cependant l'on remarque une inégale disponibilité physique de la ressource en eau à travers le monde ; à cause de ces inégalités géographiques, des différences climatiques et de la baisse des précipitations depuis les années 1970. 10% des pays possèdent 60% de la ressource mondiale (Souad,2012), en annexes N°5 présente cette disponibilité de la ressource au niveau de l'Afrique de l'Ouest.

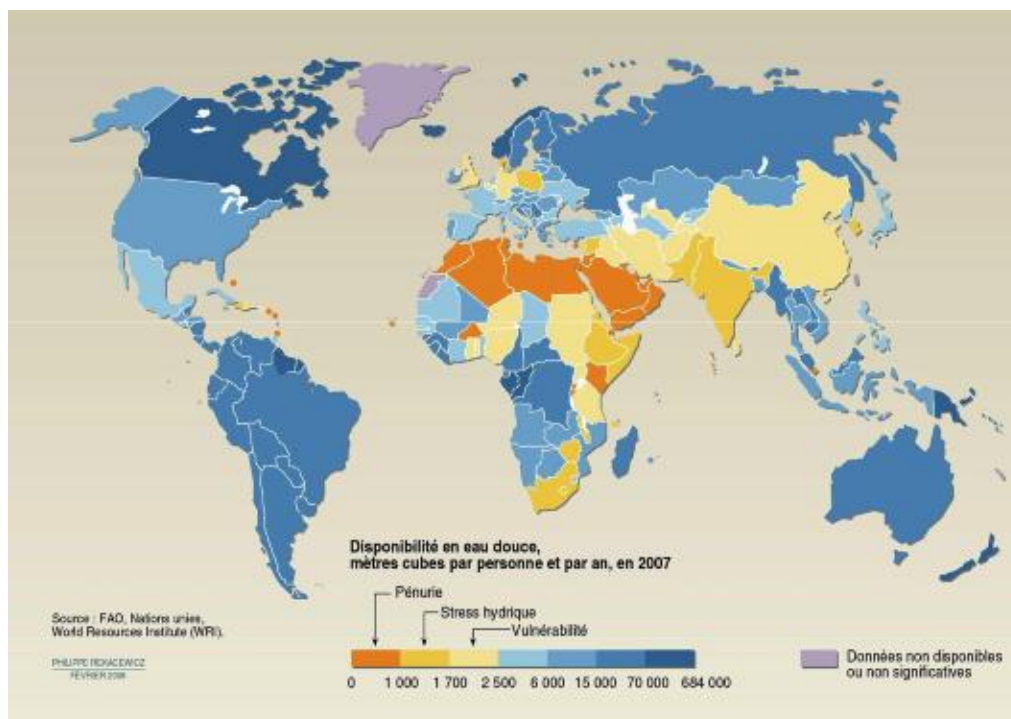


Figure 13: Disponibilité en eau douce en mètre cube par personne et par an, en 2007.
Source : FAO, WRI

La figure13 présente les différents taux d'accessibilité à la ressource en eau à travers le monde, il ressort que l'Afrique sub-saharienne a le plus fort taux de population n'ayant pas accès à une eau de boisson améliorée. Il est aussi à noter que le problème d'accessibilité à l'eau relève autant de l'économie du pays que de l'hydrographie; car l'eau exige qu'un pays mobilise des moyens financiers pour la capter, la traiter, la distribuer, l'assainir, et entretenir les réseaux et les infrastructures hydrauliques. En plus, les technologies appliquées pour améliorer l'approvisionnement et réduire les besoins en eau sont souvent coûteuses.

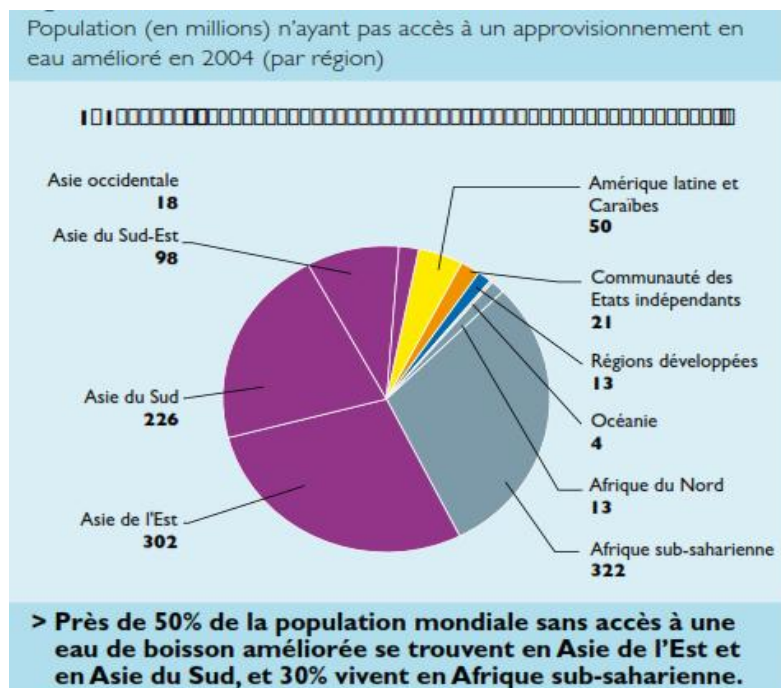


Figure 14: Population (en million) n'ayant pas accès à un approvisionnement en eau améliorée en 2004.Source : OMS et UNICEF, 2007

En Afrique subsaharienne, le taux d'accès à une source d'eau potable améliorée a été de 10 millions d'habitants par an entre 1990 et 2004. Mais la forte pression démographique enregistrée sur la même période a provoqué l'augmentation du nombre absolu de personnes – quelque 60 millions – dépourvues d'accès à l'eau potable. En 2015, la région devrait tripler le nombre d'habitants, ce qui augmenterait la demande en eau (OMS et UNICEF, 2007)

b. Situation de l'accessibilité à la ressource en eau dans ledu bassin transfrontalier de la Mékrou

La zone du projet appartient à la région où les cours d'eau du Bénin drainent environ 13 milliards de m³ d'eau par an. La recharge totale du sous-sol est estimée à 1,870 Milliards de m³ par an, soit une recharge moyenne de 166 m³/ha. Ces recharges proviennent des

précipitations qui avoisinent 750 à 1400 mm de hauteur d'eau par an. L'accessibilité à la ressource est de 61% (tableau 1), ce taux est encore sujet à beaucoup de défis.

Tableau II: Taux d'accès à l'eau potable au Bénin (source : Philippe Mouton, 2013)

Taux d'accès en 2011	Milieu rural	Milieu urbain
Eau potable (source : DG-Eau, 2012)	61 %	62 %
Assainissement (source : DHAB, 2012)	46 %	

La quantité totale des ressources en eau souterraine renouvelables est de l'ordre de 9,5 km³ par an. Cependant, d'après « l'état des lieux des ressources en eau » les fluctuations observées au niveau des aquifères depuis 20 ans permettent de conclure qu'il n'existe pratiquement pas de ressources en eau souterraine renouvelables au Burkina Faso.

Le tableau 2 ci-dessous, présente le taux d'accès à l'eau potable des différentes régions du pays en 2005. Selon l'ONEA le taux d'accès à l'eau potable dans les centres gérés par l'ONEA est évalué en 2005 à 74%, se répartissant en 40% d'accès par borne fontaine et 34% d'accès par branchement particulier.

Tableau III: Estimation des taux d'accès à l'eau en 2010. (Valfrey et Diallo, 2004)

Taux estimés pour 2010		PN-AEPA	ENA	JMP*
Accès à l'eau potable	Milieu rural	56,63%	-	72%
	Milieu urbain	75%	-	95%
	National	61%	-	76%
Accès à l'assainissement	Milieu rural	10% (est.)	0,8%	6%
	Milieu urbain	21,49%	9,6%	33%
	National	10%	3,1%	10%

Au nord du Mékrou, dans le sud-ouest du Niger, le taux d'accès à l'eau potable théorique en milieu rural selon les sources du Ministère de l'hydraulique et de l'environnement en 2012 est de 49%.

Les eaux souterraines renouvelables sont exploitées à environ 20% en raison des profondeurs excessives des nappes (Oumarou A., 2001).

Les travaux d'Oumarou (2001) montrent que la profondeur moyenne du niveau piézométrique est de 14,5 m, selon une étude statique réalisée. Les débits ne sont jamais très importants ; car la moyenne pour les forages positifs (débit = 0,5 m³/h) est 4,06 m³/h et la médiane 2,5 m³/h (Oumarou, 2001).

De façon générale, on estime à 2,5 milliards de m³ les ressources en eau souterraines renouvelables, tandis que les ressources fossiles des aquifères profonds sont évaluées à plus de 2.000 milliards de m³.

IV. Analyse de la disponibilité, accessibilité et pollution des ressources en eau souterraines

La rareté et la mauvaise répartition des pluies sont à l'origine du faible volume d'eau disponible par habitant. La consommation d'eau est entièrement dépendante de cette disponibilité ; par exemple pour un usage domestique (boisson, nourriture, hygiène et assainissement), un Américain consomme 295 litres par jour, un Japonais 278, un Français 137 et un Belge 112. En Afrique, la quantité d'eau utilisée varie de 20 à 30 litres par jour et par habitant (Anonyme c, 2010).

1. Les Normes internationales et les OMD en rapport avec la disponibilité et l'accessibilité.

Le seuil de pénurie a été identifié par les Nations Unies à 1000 m³ mobilisables par an et par habitant. Avec la figure 15 de Deloitte, on s'accorde à considérer que sur le plan international le seuil de pénurie se situe à 1 000 m³ d'eau par habitant et par an, celui de stress hydrique se situe entre 1000 m³ et 1700 m³ celui de vulnérabilité se situe dans l'intervalle de 1700 à 2500 m³, Souad E. O., (2012).

2. La situation du bassin de la Mékrou par rapport aux normes internationales.

Une synthèse très complète de la situation des ressources en eau des bassins dans lesquels appartient notre zone d'étude, a été réalisée en 2001 dans le cadre de la préparation du Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE). Cette synthèse

fait apparaître la zone du projet Mékrou au Burkina Faso, en situation de stress hydrique, la moyenne des ressources en eau théoriquement disponibles et mobilisables étant évaluée à 850 m³, par an et par habitant, alors que le seuil de pénurie est généralement évalué à 1000 m³ par an et par habitant. La principale raison de ce déficit est une pluviométrie trop limitée.

L'hydrogéologie de la zone du projet Mékrou, ne permet pas non plus de mobiliser facilement les ressources en eau souterraine, puisque la presque totalité de la zone d'étude se situe en zone de socle.

La zone du projet au Niger qui a une disponibilité de ressource en eau entre 1700 et 2500 m³ par an et par habitant, se trouve en situation de stress hydrique. Celle du Bénin qui a une disponibilité supérieure à 2500 m³ d'eau par habitant et par an, se trouve en situation de vulnérabilité (annexe 6).

La disponibilité en eau douce est de nos jours, une problématique complexe du fait qu'il faut considérer non seulement la réserve globale, mais aussi et surtout la question de la répartition et de l'accès à la ressource. Elle relève de l'environnement physique et des pressions croissantes exercées sur les écosystèmes. L'intensification des activités agricoles, le développement des activités industrielles fragilisent les écosystèmes et aggravent le risque de pénurie. Les besoins d'une population croissante, combinés au manque d'infrastructures adaptées, entraînent une demande en eau plus forte, ainsi les écosystèmes, milieux producteurs et régénérateurs de cette ressource sont menacés, pollués et détruits. Au-delà de la disponibilité de la ressource, l'Afrique fait face au défi de l'accès à l'eau potable.

3. Situation du bassin de la Mékrou par rapport aux OMD pour l'accès à l'eau.

L'accès à l'eau est essentiel dans la mesure où cela permet d'atteindre plusieurs objectifs : amélioration de l'hygiène et de la santé des populations, développement de la production agricole par l'extension des terres irrigables, essor de la production industrielle, etc.

Selon l'OMS, chaque individu a accès à l'eau potable s'il est desservi par un réseau ou une pompe à moins de 200 m de son habitation (Zerah, 1999). Une personne a un accès facile à une eau de boisson de qualité, lorsqu'elle dispose de cette eau sur place ou dans les 15 minutes de marche de son domicile (Nzuzi et Mbuyi, 2004). Environ 30% de la population rurale ne dispose pas d'un accès à l'eau potable de qualité. La norme internationale établit

comme satisfaisant un service d'eau qui fournit au moins 20 litres d'eau par personne et par jour à partir d'un point d'eau amélioré situé à moins d'un kilomètre de l'habitant

En vue d'atteindre les objectifs de l'OMD, le Gouvernement du Bénin a élaboré la stratégie nationale de l'approvisionnement en eau potable, 2006 – 2015 adoptées en juillet 2007 par tous les acteurs de l'Alimentation en Eau Potable au Bénin.

Tableau IV: Evolution des taux de desserte OMD et des taux de desserte réels en milieu
(Source : DG Eau et MS/DHAB ,2007)

	ANNEE							
	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
TAUX DE DESSERTE OMD	35,54	36,4	38,97	40,85	43,3	46,7		
TAUX DE DESSERTE REELLE	35	36	39	41	44	46,35		
GAP EN TAUX DE DESSERTE	-0,54	-0,4	+0,03	+0,15	+0,7	-0,39		
	ANNEE							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TAUX DE DESSERTE OMD	49,9	52,04	54,34	56,85	59,4	61,94	64,48	67,3

Source : DG Eau (2007)

Il en résulte qu'en 2014, le Bénin prévoyait un taux d'accès à l'eau potable qui se situera entre 61% et 64,94% en milieu rural et semi-rural. Cependant en 2007 selon le tableau de la DG Eau, ce taux est encore à 46,35%. Mais d'importantes disparités entre les régions sont enregistrées. L'exploitation des statistiques officielles de la DG-Eau indique qu'à fin 2007, les meilleurs taux de desserte ont été enregistrés dans les départements de l'Alibori, des Collines et de l'Atacora. Les populations de ces départements seraient desservies à plus de 50% (annexe N°7)

Au Burkina Faso, on enregistre une bonne progression du taux de couverture par rapport à l'enjeu que représentent les objectifs de développement du millénaire. Tout comme en milieu urbain, le pays a fait un effort remarquable dans la réalisation des points d'eau potable au profit des populations rurales. En effet, sur la base des données disponibles dans la base de données intégrée de la DGEau du Burkina, le taux de couverture des besoins en eau potable en milieu rural est passé de 41% en 2005 à 63,3% en 2012 soit un taux d'accroissement moyen annuel du taux de couverture d'au moins 3% par an. Si ce niveau de performance se conserve, les besoins en eau potable des populations rurales seront couverts à au moins 72,3% en 2015. Si ce rythme est maintenu, le pays atteindra en milieu rural un taux de couverture d'environ 100% en 2024. (Tonouhewa, 2013)

Le défi du Niger en 2009, en matière d'accessibilité en eau potable était de le relever de 48% en 2009 à 58% en 2015 en milieu rural, la figure 16 ci-dessous nous présente des résultats, qui dans l'ensemble ne donnent pas un taux de 50% en 2013. Fort est de constater qu'il reste encore beaucoup à faire au Bénin par rapport à l'atteinte des OMD en matière d'accès à l'eau potable .

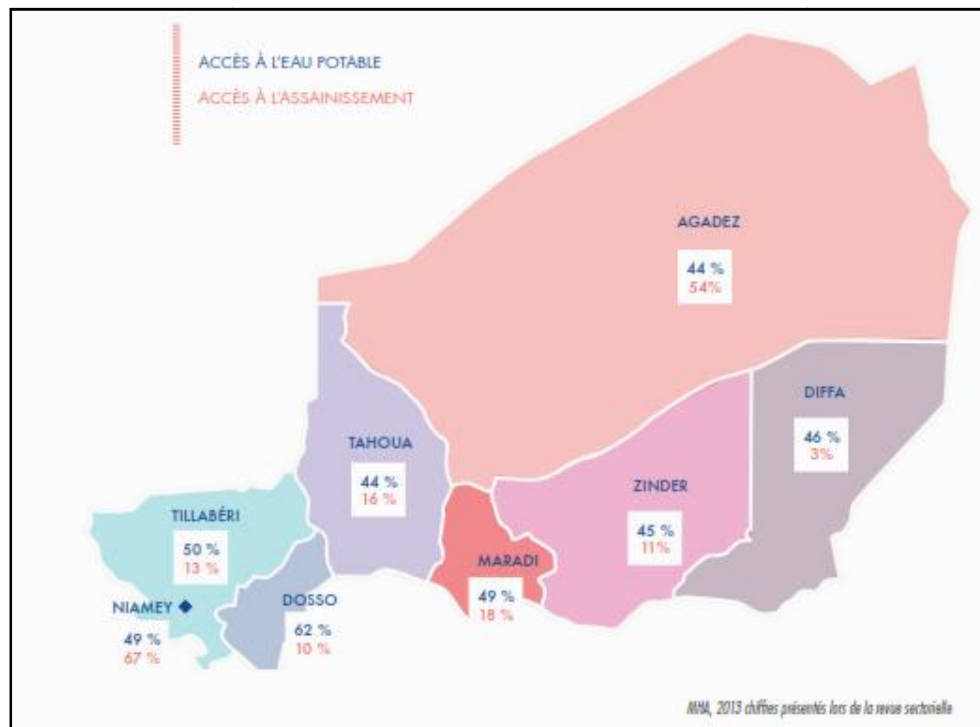


Figure 15: Taux d'accès à l'eau potable(MHA, 2013 chiffres présentés lors de la revue sectorielle)

4. Défis visant à la vie et le bien être dans le Mékrou.

Les défis contenus dans cette partie portent essentiellement sur les efforts à fournir par les différents acteurs pour rendre la ressource suffisante et durablement profitable à tous. En effet, l'eau joue un rôle prépondérant dans l'agriculture, la santé, l'énergie et toutes les autres formes de consommation. L'eau est essentielle pour toutes les formes de vie; toutefois, la quantité d'eau disponible est limitée.

Défi 1 : fournir de l'eau potable en quantité suffisante, Compte tenu de l'accroissement des besoins multiples et surtout de la forte croissance de la population. Les États sont obligés d'augmenter leurs investissements pour de nouvelles infrastructures afin d'assurer un meilleur accès à l'eau potable. Les infrastructures doivent être à des distances relativement proches des habitations. Au vue des efforts à mener pour accroître le taux d'accès à l'eau potable une projection de la disponibilité en eau douce à l'an 2025, montre que le Burkina Faso passera de la situation de pénurie pour rejoindre le Niger à celle de stress hydrique (Annexe N°8).

Défi 2 : le défi d'améliorer la qualité : l'accès limité à l'eau signifie que le bassin fait face à une forte incidence de maladie liées à l'eau, car de nombreuses maladies proviennent uniquement de l'usage d'une eau insalubre, pour boire ou nettoyer les aliments : choléra, typhoïde, diarrhée... D'autres se propagent par l'intermédiaire des insectes qui se reproduisent dans ou à côté de plans d'eau insalubres : fièvre jaune, paludisme. Les rejets polluants des activités humaines dans lesquels l'eau a évolué (Boelee et Madsen 2006).

Les études épidémiologiques démontrent clairement que l'accès à 25 litres d'eau potable par jour et par personne a une incidence directe sur le taux de prévalence du choléra, de la dracunculose et de certains parasites intestinaux (Tableau 5). Aussi, c'est le lavage des mains (avant de manger et après défécation) qui réduit significativement l'incidence des diarrhées endémiques (souvent fatales pour les enfants de moins de cinq ans). Par ailleurs, le lavage du visage et des yeux réduit l'incidence de la conjonctivite.

Le Bénin, le Burkina Faso, et le Niger, sont cités parmi les pays Africains atteints de Schistosomiase humaine (bilharziose). Une cause principale de mortalité au Burkina est la consommation d'une eau souillée ou malsaine. En milieu rural, les puits traditionnels ne produisent pas toujours une eau de bonne qualité. Lorsqu'ils sont taris en saison sèche, le marigot, auquel s'abreuvent également les animaux, demeure la seule ressource disponible.

Tableau V: Consommation d'eau, couverture des besoins et risques sanitaires

Quantité d'eau	Distance du point d'eau	Couverture des besoins	Risques pour la santé
Pas d'accès < 5 L/pers/jour	> 1000 m ou 30 minutes	La consommation ne peut être assurée. Les pratiques d'hygiène sont impossibles (sauf si pratiquées à la source)	Très élevé
Accès minimal : ≤20 L/pers/jour	de 100 m à 1 000 m ou de 5 à 30 minutes	La consommation peut être assurée : – lavage des mains et hygiène pour la nourriture de base possible ; – douche et lessive difficiles à assurer, sauf si prises à la source.	Elevé
Accès intermédiaire : 50 L/pers/jour en moyenne	Robinet dans la parcelle ou à moins de 100 m ou à 5 minutes	La consommation et l'hygiène sont assurées : l'hygiène pour la nourriture et tous les aspects de l'hygiène personnelle (WC, douche, lessive) sont assurés.	Bas
Accès optimal : 100 L/pers/jour et +	Approvisionnement continu, grâce à de nombreux robinets	Consommation : tous les besoins assurés Hygiène : tous les besoins assurés.	Très faible
Le caractère intermittent de l'approvisionnement en eau réduit en général la consommation et accroît le risque sanitaire.			

Source : Domestic Water Quantity, Service, Level and Health - WHO/SDE/WSH/03.02 - Guy Howard et Jamie Bartram, 2003

Défi 3 : défi de promouvoir une bonne utilisation et une bonne gestion de la ressource dans un contexte de raréfaction de la ressource et de demande en eau toujours croissante. La variabilité climatique est susceptible de compromettre la production agricole et la sécurité alimentaire.

Outre les problèmes d'insuffisance de ressources en eau, le faible taux d'accès à l'eau potable est surtout lié à sa mauvaise gestion, sa pollution et son gaspillage. Des mesures doivent être prises contre les pertes d'eau, causées par les problèmes technique, l'absence de maintenance et le délabrement du système. Les eaux souterraines sont polluées par l'intrusion d'eau salée issue de la production agricole en Afrique est issue majoritairement de terres pluviales et de l'irrigation. Une gestion inadéquate de l'irrigation peut causer une dégradation des sols sous forme d'engorgement et de salinisation de cultures précédemment productives.

Défi 4 : identifier et évaluer les différentes valeurs de l'eau ; Il est question à travers ce défi d'identifier et évaluer les différentes valeurs économiques, sociales, environnementales et culturelles de l'eau et d'accorder les coûts de son stockage et de son traitement aux objectifs d'équité et de réponse aux besoins des populations pauvres et vulnérables.

Les valeurs de l'eau comprennent les valeurs liées à son utilisation directe (le coût des besoins domestiques, le coût des besoins industriels et le coût des besoins agricoles en eau) et les valeurs associées ou valeurs indirectes (valeurs sociale, culturelles et environnementales de l'eau).

Ce défi vise à garantir les connaissances de base sur les ressources en eau, de garantir l'acquisition des informations et des connaissances sur les ressources en eau.

Défi 5 : promouvoir une coopération dans le bassin, afin réduire les conflits probables au sujet des ressources en eau et de promouvoir une bonne utilisation de la ressource, donc, mettre en valeur la coopération dans le bassin pour faire intervenir et impliquer les acteurs du bassin dans les projets de développement et le renforcement du dialogue entre tous les acteurs concernés.

Mettre en place une plateforme permettant de sensibiliser et d'éduquer les populations sur les règles d'hygiène, sur toutes les pratiques qui contribuent à la dégradation des ressources en eau et sur les bienfaits d'un environnement sain. Axer la gestion dans le sens de la réduction des risques et des maladies

V. EXPLOITATIONS ET UTILISATIONS DES EAUX SOUTERRAINES

1. Inventaire des exploitations en cours (puits et débits) ; types d'utilisations (approvisionnement en eaux potable et usage agricoles)

L'utilisation de l'eau souterraine présente une large gamme d'applications: l'alimentation des villages, des exploitations agricoles, l'utilisation industrielle à petite.

Alimentation des villages en eau potable: L'eau souterraine peut être la plus importante source d'eau pour les collectivités. Dans beaucoup d'endroits, l'eau souterraine est la seule source d'approvisionnement en eau potable.

Adduction d'eau agricole pour l'irrigation / la culture: Les paysans pratiquent l'irrigation depuis plus de huit mille ans, et depuis l'avènement de la technologie de forages et

de puits, l'eau souterraine est devenue une importante source d'alimentation en eau pour l'irrigation.

Usage industriel à petite échelle : Les industries villageoises, telles que la briqueterie, le textile, l'élevage, et la transformation de produits alimentaires, requièrent toutes de l'eau.

Au Bénin, On évalue néanmoins leur capacité de recharge à environ 1,9 milliard de mètres cubes par an en moyenne. Elles sont essentiellement utilisées pour l'alimentation en eau potable des villes et des campagnes. Les prélèvements annuels sont de l'ordre de 0,03 milliard de mètres cubes. Ce qui représente à peine 2% de la recharge annuelle des aquifères. Même à long terme, la satisfaction des besoins nécessitera un prélèvement global d'environ 0,25 milliard de mètres cubes par an, soit environ 14% de la recharge annuelle des aquifères du pays.

Au Burkina Faso, les prélèvements d'eau totaux en 2000 s'élevaient à 395 millions de m³ pour l'irrigation et l'élevage, 104 millions pour les usages domestiques et 6,5 millions pour l'industrie et les mines. L'ensemble des points d'eau (puits et forages) permet de mobiliser environ 90 millions m³ par an, soit 0,9 % du potentiel renouvelable. Les eaux souterraines sont essentiellement destinées à l'alimentation en eau potable des populations.

Au Niger, Les eaux sont utilisées en agriculture, notamment pour l'élevage, et dans l'industrie, en particulier le secteur minier.

2. Les risques sociaux, économiques et environnementaux des ressources en eaux souterraines

Le risque de contrainte hydrique c'est le facteur pouvant affecter ou compromettre l'approvisionnement en eau d'un site.

L'identification des risques s'est fondée sur l'identification des activités à risques sur les ressources connexes aux ressources et sur l'identification des risques sur les ressources en eau elles-mêmes dans la zone de l'étude.

a. Risques de conflits: pollution et chute de productivité des ouvrages.

Une étude du CERES montre qu'un déséquilibre entre l'offre et la demande en matière de disponibilité de la ressource en eau douce sera bientôt une source de conflit. Dès lors que la disponibilité de la ressource est limitée et considérant le fait que l'eau est un élément essentiel à la vie (alimentation, santé et hygiène, activités culturelles et économiques...), des

tensions locales peuvent surgir autour de son usage. Au-delà de la croissance démographique, le développement économique accroissent les besoins (irrigation, industrie) demandent de plus en plus d'eau. La situation de compétition ainsi installée entraîne des conflits entre usagers. A ces causes de conflit, on cite également la diminution et la dégradation de la ressource. Dans un contexte d'aléas climatiques (sécheresse, baisse de la pluviométrie, etc.), la maîtrise de l'eau peut devenir une source de tension. Le déséquilibre entre l'offre et la demande en eau est donné en Annexe N°10. Le déplacement de la population abandonnant les points d'eau asséchés (forages, puits) ou taris (sources) par suite de la diminution progressive des eaux souterraines, accroît la pression démographique sur les ouvrages plus productifs et le nombre de personnes n'ayant pas accès à l'eau potable en quantité suffisante et de qualité acceptable. Cette situation entraîne inévitablement, chute de productivité d'ouvrages à usages collectifs servant à l'alimentation en eau, entraînant des pénuries chroniques, dénoyage de niveaux productifs et l'épuisement des ressources en eau en rapport avec l'accroissement de la demande en eau tous usages confondus, avec une tendance de la pénurie absolue d'ici 2025.

b. Au plan économique : pollution de la nappe souterraine.

Une estimation de l'UNDP en 2006 présente le pourcentage de perte du PIB du fait des maladies et de pertes de productivité liées à l'eau et à l'assainissement. Le manque d'eau salubre affaiblit l'économie en ce sens que dans les pays en voie de développement, les maladies liées à l'eau rendent les gens incapables de générer les revenus et en plus les longues distances parcourues par les femmes et les fillettes, privent ces dernières de temps pour se livrer à des activités génératrices de revenus et aller à l'école. La pollution issue de l'industrie minière, notamment celle de l'uranium, celle par des pesticides et des déchets de tous types (Guyomard, 2011) s'infiltrer grâce aux eaux de ruissellement pour polluer la nappe souterraine.



Figure 16: Pourcentage de perte du Bip, du fait des maladies et perte de productivité liée à l'eau. Source : UNDP 2006a

L'irrigation mal gérée, provoquent une évaporation massive. L'agriculture est la plus grande utilisatrice d'eau en Afrique, l'agriculture consomme jusqu'à 86 pour cent de l'extraction totale annuelle d'eau douce (Frenken 2005).

c. Sur le plan environnemental : pollution de la nappe souterraine.

Les rejets des industries peuvent altérer la qualité des milieux et écosystèmes associés, en causant des changements : de débit au niveau des rivières, de températures, perturbations des aquifères même sans prélèvement. Les eaux de surface, entraînant avec elles, les produits : les produits de l'érosion, les produits de la pollution fécale s'infiltrent et présente des dangers potentiels pour les zones où la nappe phréatique n'est pas profonde.

VI. SYNTHESE ET DESCRIPTION DES PROBLEMES SPECIFIQUES DU MEKROU

1. Modes d'utilisation des ressources en eau dans le bassin

Les ressources en eau du bassin de la Mékrou sont diversement valorisées.

Production végétale : Il s'agit de l'utilisation de l'eau dans les cultures de contre saison (maraîchage et rizicultures) à travers des aménagements hydro-agricoles et des cultures pluviales.

Elevage : Le développement de l'élevage est lié fondamentalement à l'eau. En effet, le difficile accès à l'eau est l'un des facteurs explicatifs des mouvements saisonniers des éleveurs Peulhs qui partent en transhumance.

Pisciculture et pêche : Au tour des retenues d'eau et la pêche est organisée chaque année à partir du mois de février jusqu'au mois d'avril.

Usages domestiques : Sur le plan domestique, l'eau est utilisée l'alimentation, pour la boisson et pour la préparation des repas. Elle sert également à faire, la douche.

Dans le lit des cours d'eau les femmes font la lessive et la vaisselle. Cet usage, n'est pas sans danger pour les cours d'eau en ce sens que les produits chimiques tels que les savons utilisés se déposent directement dans l'eau ; ce qui constitue une source de pollution de l'eau avec des risques non seulement pour les personnes mais aussi des menaces de disparition pour la faune et la flore aquatique.

Le lavage des engins de transport dans les cours d'eau et à proximité des ouvrages hydrauliques présente des risques de santé tant pour les humains que pour les animaux.

Dans de nombreux endroits de la rivière Mékrou ou de ses affluents, les enfants s'adonnent aux activités de loisirs en allant y faire de la natation. Mais, la baignade dans ces eaux présente non seulement des risques de noyade pour ces enfants mais aussi de risques de pollution de la ressource.

Construction des habitations : En saison sèche, les points d'eau sont fortement sollicités pour la construction des maisons. L'eau et le sable sont directement prélevés au niveau des cours d'eau.

2. Risques liés aux ressources en eaux

L'identification des risques s'est fondée d'une part sur l'identification des activités à risques sur les ressources connexes aux ressources en eau dans la zone de l'étude. Au nombre des principales activités identifiées, il y a les activités agricoles, les activités pastorales, l'exploitation forestière, les activités aurifères. D'autre part, l'identification des risques sur les ressources en eau elles-mêmes s'est principalement fondée sur les activités à risques directs sur les ressources en eau (lessive, vaisselle, lavage des engins et équipements dangereux ; baignade, etc.)

Au nombre des risques liés à ces différentes ressources en eau on peut citer les risques environnementaux (liés aux effets des changements climatiques, l'érosion et le comblement des plans d'eau dus notamment aux mauvaises pratiques agricoles, l'exploitation forestière abusive, les activités pastorales et la recherche aurifère, la pollution physique et chimiques des plans d'eau du fait des pratiques de pêche, des activités domestiques et pastorales...), les risques sanitaires et les risques socio-économiques marqués par les conflits liés à l'utilisation de la ressource.

Risques environnementaux :

Au nombre des risques environnementaux identifiés dans la zone de l'étude, il y a les risques liés aux changements climatiques, à l'érosion, au comblement des plans d'eau, à la pollution des ressources en eau de surface, à l'eutrophisation et à la pollution des eaux souterraines et le comblements des plans d'eau. Les phénomènes d'érosion et de comblement des plans d'eau sont liés au développement de certaines activités comme :

Pratiques de production végétale : L'agriculture extensive sur brûlis et les techniques de labour dans le sens des pentes pour la production du coton et des céréales, l'exploitation des versants abrupts et des berges des cours d'eau pour la production de l'igname sont autant de pratiques agricoles qui fragilisent et l'exploitation forestière : En plus des exploitations à l'intérieur de la forêt de la Mékrou, il y a aussi d'importantes coupes de bois d'œuvre et de carbonisation qui se font le long des petits cours d'eau qui se versent dans la Mékrou et dans les zones périphériques de la Mékrou. L'ampleur de ces activités a même amené induit la dégradation des sols.

L'activité pastorale : le piétinement des sols, conduit à une destruction systématique du couvert végétal et d'un émondage de certaines essences forestières fourragères. Des feux de brousse précoces sont parfois occasionnés par ces éleveurs aux fins d'accélérer la pousse des rejets pour alimenter les animaux.

La recherche aurifère : Cette pratique consiste à creuser le lit de la Mékrou et de part et d'autre de la rive tout en ramenant des dunes de sable dans le cours principal de la rivière les activités de déforestation et les feux de brousse dénudent les terres qui, à la faveur des précipitations torrentielles, sont soumises à une forte érosion.

Risque de pollution des eaux souterraines :

Le volet « Eaux souterraines » n'ayant pas fait objet d'investigations approfondies, il faut dire que les risques de pollution de ces eaux n'ont pas été correctement documentés. Il faut cependant noter qu'il y a des risques de pollution fécale des eaux souterraines par le fait que les ouvrages d'évacuation des excréta rencontrés dans ces communes sont des latrines traditionnelles. Ce sont des latrines dont les fosses ne sont pas étanches ni revêtues et qui ne sont pas souvent vidées. De ce fait, elles présentent des dangers potentiels surtout pour les zones où la nappe phréatique n'est pas profonde.

Risques sanitaires :

Dans les trois communes, les besoins en ouvrages d'AEP ne sont pas totalement couverts et les populations continuent à faire recours à diverses sources (eaux de pluies, aux eaux des cours d'eau et surtout des retenues d'eau). En effet, la récupération de l'eau de pluie est une pratique très développée dans la zone de l'étude. Cette eau est créditée d'une certaine qualité au point où elle est utilisée comme eau de boisson dans les ménages. Pourtant, les conditions de récupération et de stockage de cette eau ne garantissent pas toujours la qualité qui lui est créditée. Par ailleurs, en période de saison sèche, les eaux des retenues d'eau sont même utilisées comme eaux de boisson par les riverains les plus proches. Or, les eaux de surface non protégées font objet de plusieurs formes de pollution comme explicité plus haut. En plus des contaminations directes, il y a des cas de risques de développement dans les eaux des insectes vecteurs de maladies humaines tels que le paludisme, la fièvre jaune, l'onchocercose (responsable de l'affection connue sous le nom de cécité des rivières) ont un stade larvaire aquatique. Il est impossible en raison de leur très grand nombre d'énumérer toutes les maladies d'origine hydrique. Il suffit d'évoquer les noms de poliomyélite, de fièvre typhoïde, de choléra pour comprendre que l'eau peut être vectrice de maladies graves à caractère épidémique si elle n'est pas salubre. Mais, la confrontation de ces réalités aux statistiques sanitaires dans

Risques socio-économiques

Les risques socio-économiques peuvent être directement ou indirectement liés à l'eau. Les diverses pratiques de production végétale, d'élevage, de pêche et les activités

domestiques sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets d'animaux et des engrais commerciaux, notamment des nitrates. De même, les herbicides qui étaient utilisés par le passé dans les champs de coton sont entrés dans les stratégies de désherbage

Activités pastorales : les déchets animaux sont avides d'oxygène, riches en azote et en phosphore, et renferment souvent des organismes pathogènes.

Pratiques de pêche : Quant aux pratiques de pêche consistant à utiliser les produits phytosanitaires et des plantes, elles modifient la composition physique et chimique de l'eau.

Activités domestiques : le lavage des appareils de traitement des cultures, le lavage des moyens de déplacement (engins à deux ou plusieurs roues), lessive et vaisselle, le lavage des déchets des abattoirs constituent diverses autres activités sources de pollutions physiques et chimiques des ressources en eau

Au nombre des risques indirects, il y a par exemple les cas de conflits opposant les usagers. C'est le cas des conflits entre agriculteurs et éleveurs, entre éleveurs eux – même ; par exemple le tableau en annexe présente la récurrence des conflits liés à la ressource en eau

CHAPITRE III: CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Ce travail de monographie des ressources en eau souterraine du bassin transfrontalier du Mékrou, nous a permis de contribuer à l'amélioration de l'état des connaissances de la disponibilité, du taux d'accessibilité et des différents usages des ressources en eau souterraine du Mékrou.

L'étude a révélé que du point de vue disponibilité que le bassin de la Mékrou présente des taux différents en fonction de chacune des trois zones qui le composent ; dans la zone du projet, du côté du Burkina Faso, elle est inférieure à $1000\text{m}^3/\text{habitant/an}$ ce qui la place en situation de stress hydrique. Dans les zones Béninoises et Nigérienne du projet, la disponibilité varie respectivement entre $2500\text{-}6000\text{ m}^3/\text{habitant/an}$ et $1700\text{-}2500\text{ m}^3/\text{habitant/an}$.

Du point de vue accessibilité à l'eau potable dans le Mékrou, le taux est également fonction des différentes zones d'intervention du projet Mékrou ; les différents taux sont de 72% pour la partie Burkinabé, 61% pour la partie Béninoise et 49% pour la partie Nigérienne.

Du point de vue accessibilité, les efforts de part et d'autre du bassin de la Mékrou, sont forts appréciables et sont en bonne voie vers l'atteinte des OMD. Toutefois, le constat selon lequel il y a une augmentation des extractions d'eau, à un rythme deux fois plus rapide que celui de la croissance de la population est établi. Dans un tel contexte, il importe pour les populations du bassin Mékrou, comme pour l'ensemble des pays de l'Afrique sub-saharienne de maintenir les efforts dans le sens de l'amélioration de la quantité, de la qualité et de l'utilisation de la ressource pour ne pas se retrouver en situation de stress hydrique ; c'est à titre que nous recommandons que :

Par rapport au problème de disponibilité de la ressource, nous recommandons, que soit encouragé la création des micro-barrages, qui augmente la disponibilité de la ressource et participent à l'alimentation de la nappe

Il faudra sensibiliser à la bonne utilisation de la ressource, éviter au maximum les gaspillages et les fuites ; même si on ne pourrait limiter les pertes naturelles dues à l'évaporation qui peuvent être accentuées par certaines infrastructures (les retenues artificielles) et méthodes d'irrigation,

Par rapport aux problèmes de dégradation de la qualité de la nappe, nous proposons que

- Établis des périmètres de protection au tour des points de captages d'alimentation en eau potable (forages, puits, sources).
- Ne pas réaliser des forages qui captent toutes les couches productives traversées Dans les milieux reconnus comme vulnérables, pour protéger la qualité des eaux des aquifères profonds.
- Refermer les puits ou forages abandonnés sans précaution ; car ces derniers constituent des points d'entrée préférentiels d'éléments polluants.
- Réaliser un réseau piézométrique pour un suivi régulier tant quantitatif que qualitatif.de la nappe,

Bibliographie

ABDOU BABAYE M. S., (2012), Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako-Niger), Thèse de doctorat, université Abdou Moumouni, 265 P, pp 4, 17.

ANONYME a, (2012), Annuaire statistique 2011 de l'eau potable et de l'assainissement des eaux usées et excréta, Rapport du Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique. 258p, pp 26.

ANONYME b, (2001), État des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. Rapport, Ministère de l'environnement et de l'eau. 252p, pp 48.

ANONYME c, (2010), Ensemble pour l'accès à l'eau au Burkina Faso. 6p, pp 2.

BOELEEE E., MADSEN H., (2006), Irrigation and Schistosomiasis in Africa: Ecological Aspects. IWMI Research Report 99. International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka. 43p, pp 27.

BOUBAKARH. A., (2010), Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique: Cas de la communauté urbaine de Niamey (NIGER). Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, 249p. pp.6-8, 17.

BOUBACAR I., (2013), Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 246p, pp53.

DEP/IWACO (1990), Etudes des quatre bassins versants expérimentaux au Burkina Faso. Rapport Bilan d'Eau n° 60.235/47, 87p, pp 45.

DESCLOITRES M., FAVREAU G., VOUILLAMOZ J. M., BOUCHER M., (2006), Projet hydro-géophysique Niger sondages électromagnétiques TDEM Rapport de mission, 120p, pp4.

DIPAMA J.M.(2005), Le mécanisme général de la genèse des pluies et leur répartition au Burkina Faso. In: Espace Scientifique, n° 005, 7p, pp 1.

DODO A., ZUPI (1999), variabilité climatique durant le Quaternaire dans la nappe du Tarat (Niger). Centre de Recherche, Académie des Sciences, Paris, n°328, pp 371-379.

HAOUCHINE A., (2011), Cartographie de la recharge potentielle des aquifères en zone aride. Article, 14p, pp 7.

FAVREAU G., (2000), Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel : dynamique et géochimie de la dépression piézométrique naturelle de Kori de Dantiandou (sud-ouest du Niger), Thèse de doctorat, Université Paris-Sud XI- Orsay, 353p, pp 43-45.

FRENKEN, K., (2005), Irrigation en Afrique - enquête AQUASTAT – 2005 Rapport FAO sur l'eau no.29. 652p, pp 27.

GAULTIER G., (2004), Recharge et paléo-recharge d'une nappe libre en milieu Sahélien (Niger oriental) : approche géochimique et hydrodynamique. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud, Orsay, France, 179 p, pp 13.

GIRARD P., (1993), Techniques isotopiques (^{15}N , ^{18}O) appliquées à l'étude des nappes des altérites et du socle fracturé de l'ouest africain. Étude de cas: l'ouest du Niger, Thèse présentée à l'université du Québec à Chicoutimi. 154p, pp 43.

GREIGERTJ., (1966), Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemmeden (Afrique occidentale). Publication n°02, Direction des Mines et de la Géologie (Niger) et document BRGM, 250p, pp 153-199.

GUYOMARD M., (2011), La gestion concertée des eaux souterraines Transfrontalières. Synthèse documentaire, 38p, pp 16-17.

KAMAGATE B., (2006), Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin, Thèse, université Montpellier II, 320p, pp 254.

LACHASSAGNE P., WYNS R., (2005), nouveaux concepts : Application à la prospection et la gestion de la ressource en eau, Article géoscience 6p, pp 2.

LERNER D.N., ISSAR A.S, SIMMERS I., (1990), Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge, 345 p, pp 145.

MASSUEL S., (2005), Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest du Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du kori de Dantiandou sur la période 1992-2003. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2, France 238p, pp 57.

MENGE S., (2013), Campagne de mesure des eaux souterraines dans la région de Niamey, Niger. 5p, pp 3.

NZUZI F. L., MUBUYI C. T., (2004), Pauvreté urbaine à Kinshasa, rapport, éd. Cordaid, La Haye, 166 p, pp 43.

OMS et UNICEF, (2007), Atteindre l'OMD relatif à l'eau potable et à l'assainissement le défi urbain et rural de la décennie, 36p.

OUMAROU A., BOUBACAR R., (2001), Bilan et analyse des aspects hydro – environnementaux, écologiques et socio-économiques du bassin du fleuve Niger au Niger (rapport), 112p, pp 12 et 34.

PARENT, M., MICHAUD Y., BOISVERT É., BOLDUC A.M., FAGNAN, N., FORTIER R., CLOUTIER M., DOIRON A., (1998), Cartographie hydrogéologique régionale du piémont laurentien dans la MRC de Port neuf, Canada, dossier public 3664-b, pp 22-23.

KOMLA M.P., TONOUHEWA A., (2001), Renversement de la Tendance à la Dégradation des Terres et des Eaux dans le Bassin Béninois du Fleuve Niger, rapport, 89 p, pp 8.

SÉTA N., (1999), Structure et Mode de Mise en Place de Plutons Granitiques Emboîtés: Exemple de l'Alignement Plutonique Paléoprotérozoïque de Tenkodogo Yamba dans l'Est du Burkina Faso. Thèse, 241p, pp 40.

SOUAD E. O., (2012), L'entreprise et l'eau Vers une gestion responsable (Deloitte), rapport, 48 p, pp 8.

TAUPIN D., (1990), Evaluation isotopique de l'évaporation en zone non saturée sous climat sahélien et évolution géochimique des solutions du sol (Vallée du Moyen Niger). Thèse, université de Paris Sud, 172 p, pp 16.

TONOUHEWA A., (2009), projet de renforcement des capacités nationales de suivi des ressources en eau axe sur la gestion de l'eau agricole. 75p, pp 17.

VANDER B., (1993), Les Ecosystèmes aquatiques, cours, FUL, Arlon (Royaume-Uni), 87p, pp 25.

WHO/UNICEF, (2010), Progress on Sanitation and Drinking Water- 2010 Update, Report, Geneva, 76 p, pp 22.

VISSIN E. W., (2007), Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger, Thèse de l'Université de Bourgogne, 311p, pp 22-32.

ZÉRAH M. H., (1999), L'accès à l'eau dans les villes indiennes, éd. ECONOMICA, coll. VILLES, 168 p, pp 17.

ANNEXES :

ANNEXE I: Données climatiques de trois stations dans le Mékrou. Source : météo-France

	Natitingou			Fada N'gourma			Niamey		
MOIS	Températures Min. (°C) 1981-2010	Températures Max.(°C) 1981-2010	Hauteurs de Précipitations (mm)	Températures Min.(°C) 1981-2010	Températures Max.(°C) 1981-2010	Hauteurs de Précipitations (mm) 1981-2010	Températures Min.(°C) 1981-2010	Températures Max.(°C) 1981-2010	Hauteurs de Précipitations (mm) 1981-2010
Janvier	19	34,3	0,9	18,1	33,4	0	16,1	32,5	0
Février	20,8	36,6	2,2	20,8	36,3	2,5	19	35,7	0
Mars	22,8	37,2	26,7	24,4	38,6	21,5	22,9	39,1	3,9
Avril	23,3	35,7	89,3	26,5	39,6	31,2	26,5	40,9	5,7
Mai	22,5	33,7	108,2	26,2	37,4	90,4	27,7	40,2	34,7
Juin	21,4	31,4	139,9	24,3	34,1	135,7	25,7	37,2	68,8
Juillet	20,8	29,4	225,5	22,9	31,4	184	24,1	34	154,3
Août	20,8	29,1	263,6	22,4	30,8	175,6	23,2	33	170,8
Septembre	20,4	30,2	254,7	22,1	31,9	137,4	23,6	34,4	92,2
Octobre	20,2	32,5	107,1	21,8	35,7	45,2	24,2	37,8	9,7
Novembre	18,5	34,4	9	19,4	36,2	2,2	19,5	36,2	0,7
Décembre	18,5	34,2	3,7	18	33,5	3	16,7	33,3	0

ANNEXE II: Carte climatique du Bénin. (Source : Adam et Boko, 1993)

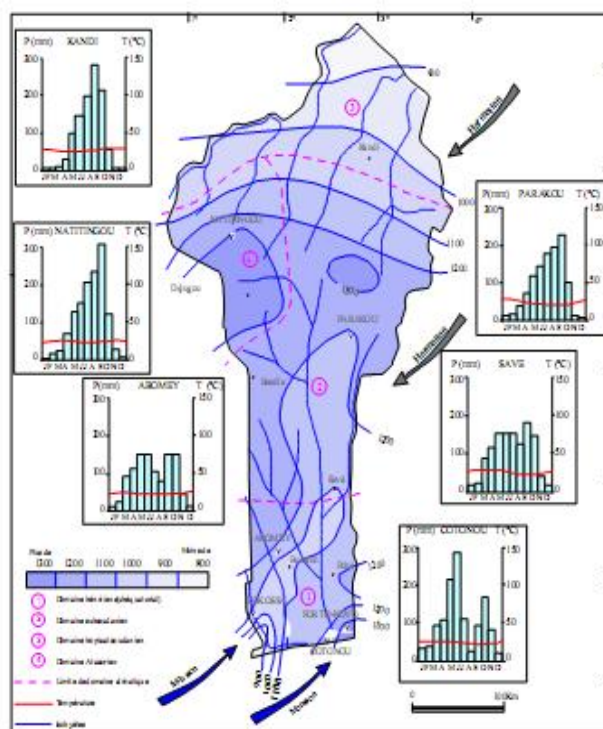
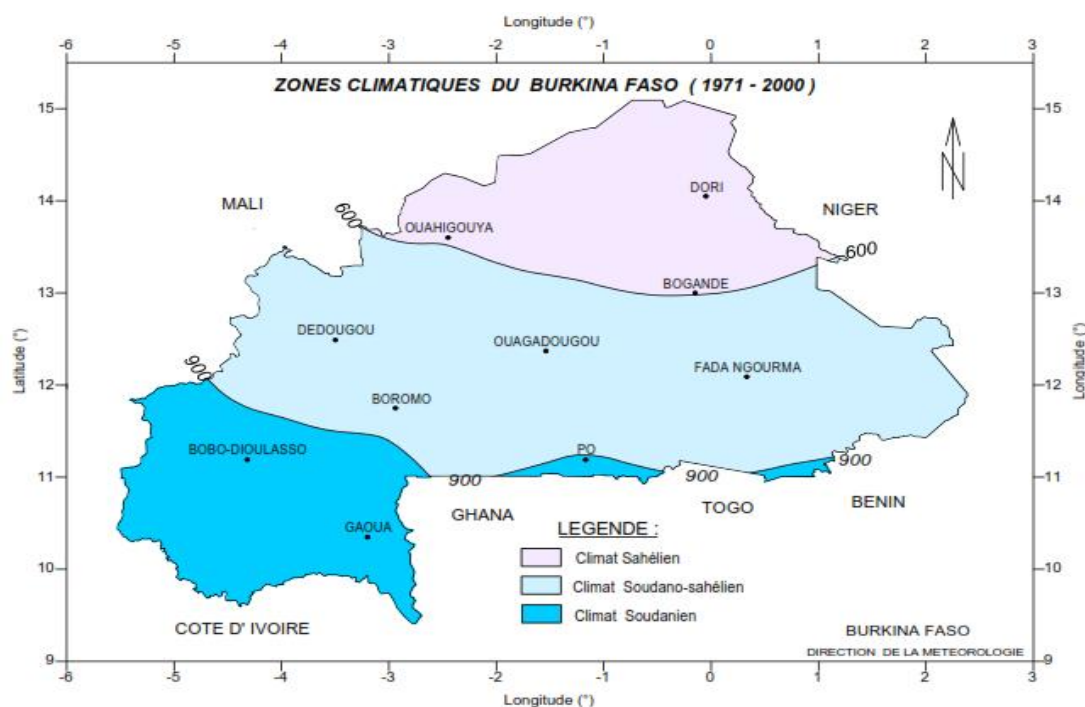
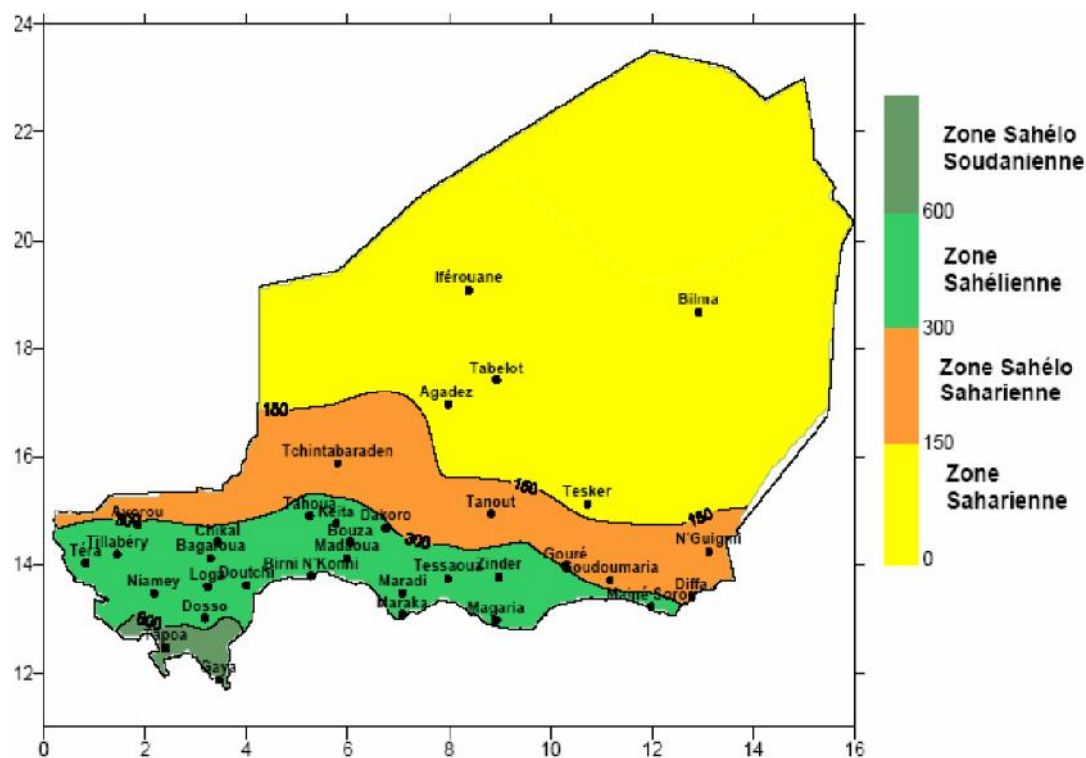


Figure 2.4- Carte climatique du Bénin (d'après Adam et Boko, 1993). On peut y lire : les courbes ombro-thermiques, les directions des vents, les nuances climatiques et les températures.

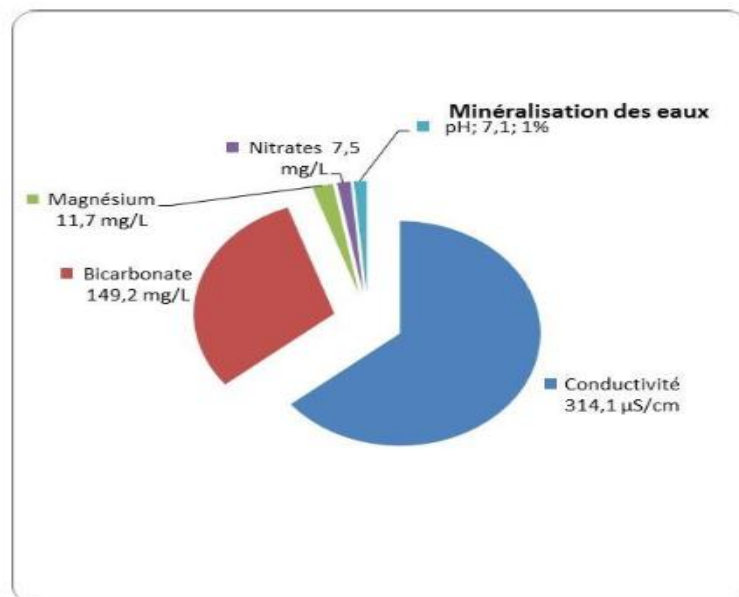
ANNEXE III: carte climatique du Burkina Faso



ANNEXE IV: carte climatique du Niger

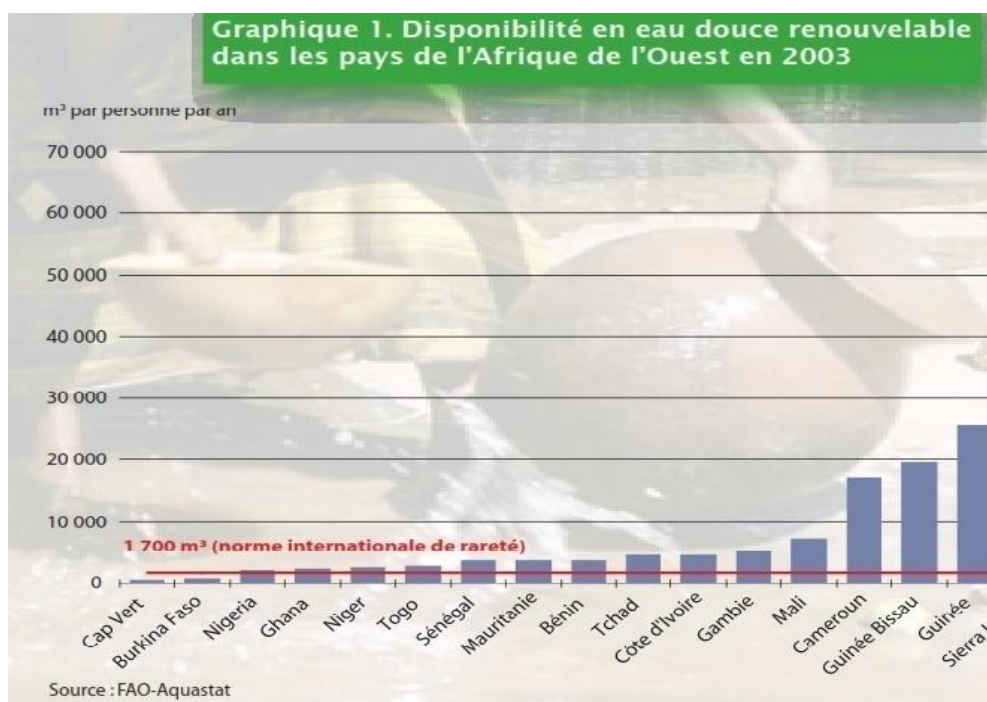


ANNEXE V: Minéralisation de l'eau dans la portion Béninoise du Mékrou.



Source : Servie Qualité Eau/DG-Eau, 2012

ANNEXE VI: Disponibilité en eau douce renouvelable dans les pays d'Afrique de l'Ouest

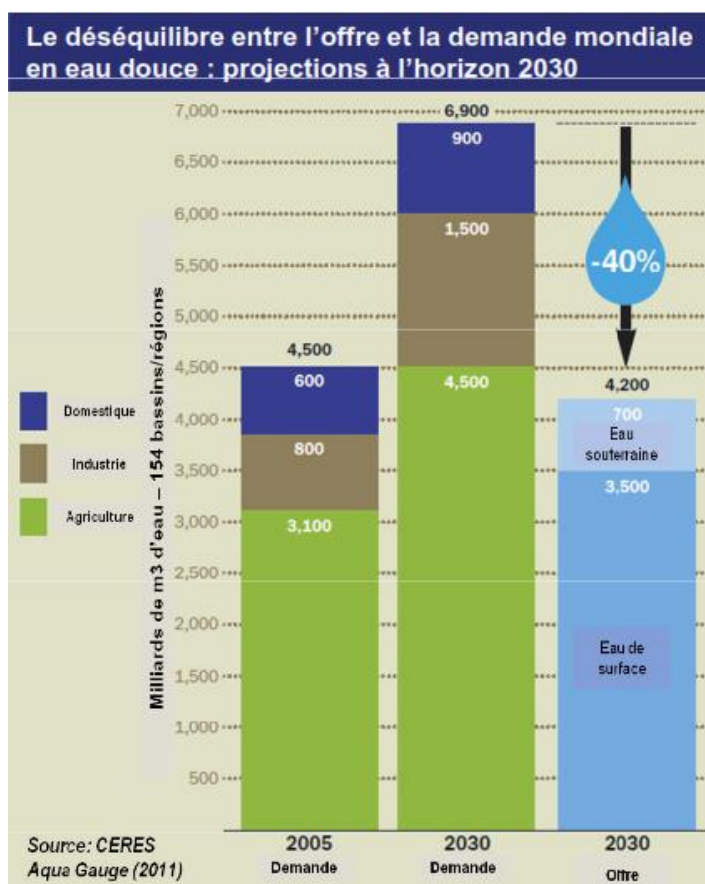


ANNEXE VII: Taux de desserte pour l'atteinte des OMD en milieu rural et semi-urbain dans les départements du Bénin

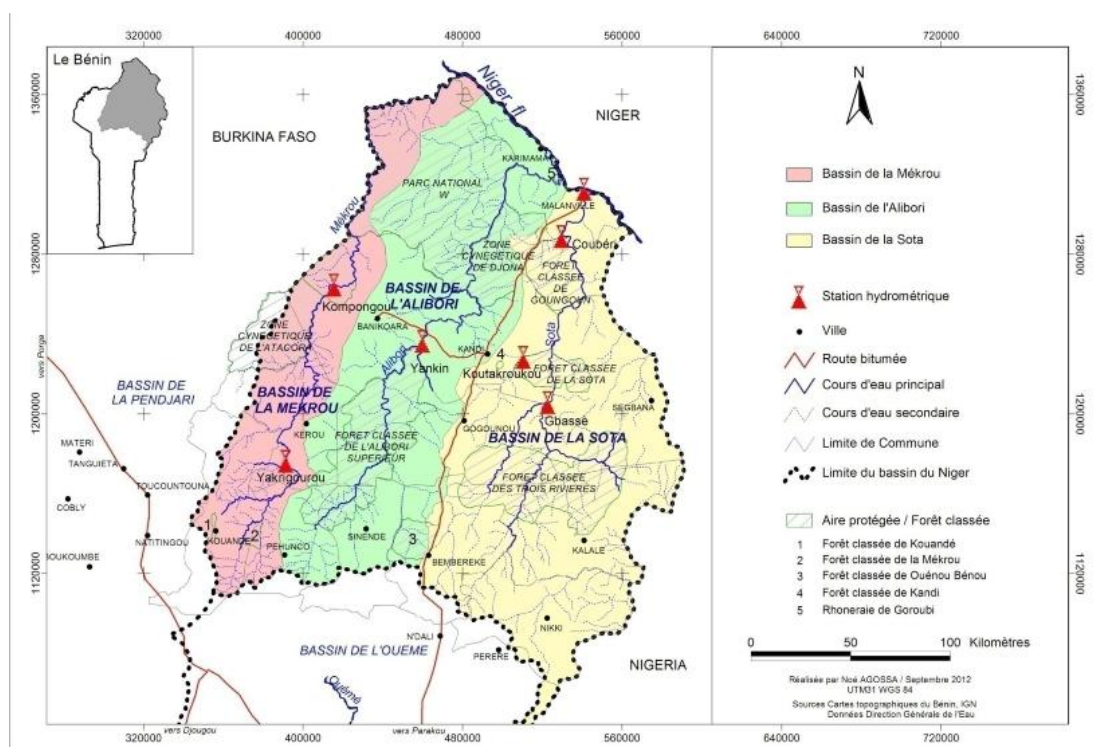
N°	DEPARTEMENT	ANNEE													
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	ALIBORI	44,0	45,7	56,0	59,3	59,9	63,9	67,6	67,6	67,6	67,4	67,2	67,0	67,2	67,3
2	BORGOU	39,0	37,9	42,2	43,6	44,8	47,6	50,1	50,7	51,7	55,6	59,1	62,2	64,9	67,3
3	ATACORA	49,0	48,2	47,7	47,4	48,0	52,0	55,6	56,9	58,3	59,9	61,4	62,6	64,9	67,3
4	DONGA	37,0	38,2	38,1	40,7	42,2	47,2	51,8	54,0	56,1	58,2	60,3	62,7	64,9	67,3
5	ATLANTIQUE	30,0	29,9	31,2	31,5	31,3	31,9	32,3	37,6	43,9	50,3	55,8	60,4	64,3	67,3
6	MONO	30,0	35,9	38,0	42,7	46,7	51,2	55,5	57,8	59,9	61,8	63,6	65,3	66,3	67,3
7	COUFFO	37,0	40,1	40,3	42,6	44,3	47,0	49,6	52,1	54,5	56,6	58,6	61,5	64,2	67,3
8	ZOU	24,0	24,5	33,2	35,4	42,1	48,4	54,5	56,6	58,7	60,7	62,5	64,2	65,8	67,3
9	COLLINES	54,0	51,7	53,7	54,6	58,4	62,5	66,1	66,1	66,2	66,1	66,1	66,0	66,6	67,3
10	OUEME	17,0	16,6	17,4	18,7	20,5	22,0	23,3	27,2	32,1	36,8	43,8	51,7	59,1	67,3
11	PLATEAU	30,0	31,7	30,9	32,9	38,1	40,4	42,5	45,8	48,8	52,0	55,0	57,7	61,1	67,3

Source : DG-Eau (2006)

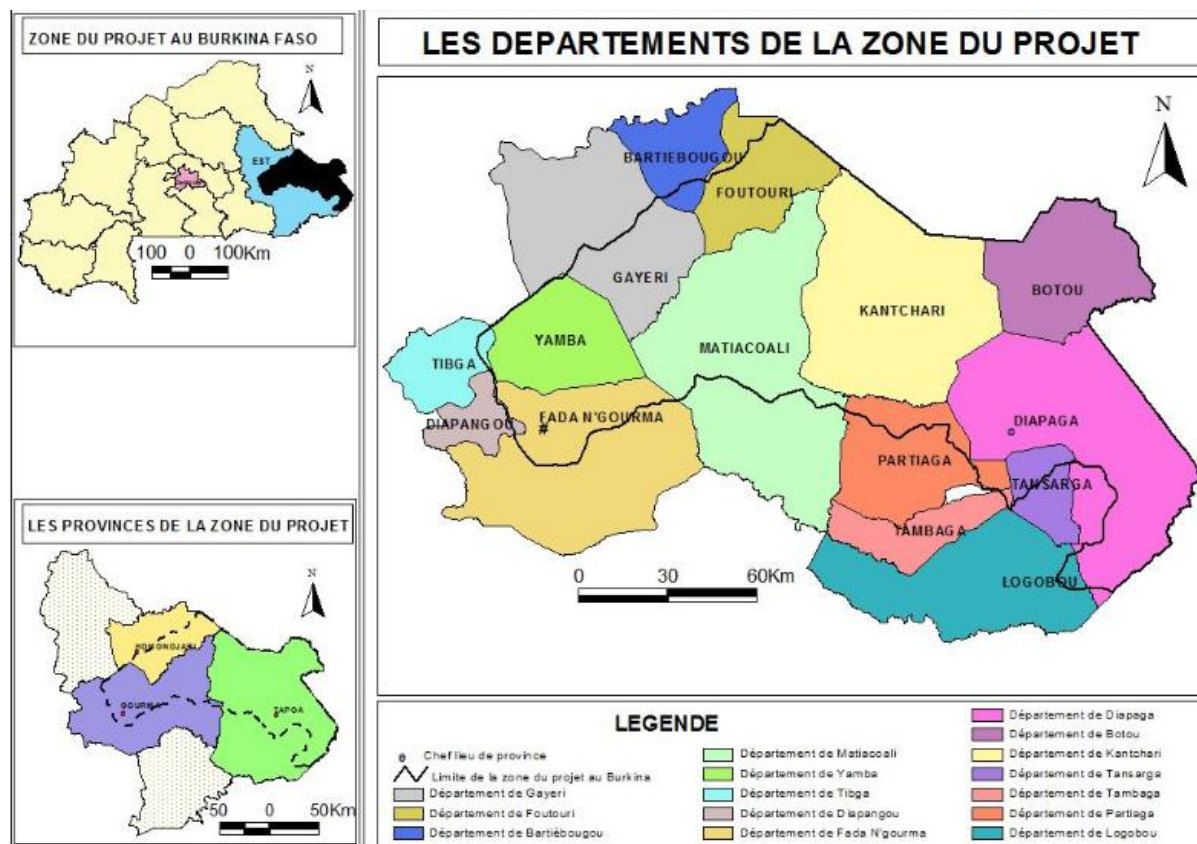
ANNEXE VIII: Déséquilibre entre l'offre et la demande mondiale en eau à l'horizon 2030



ANNEXE IX: Zone du bassin Mékrou au Bénin



ANNEXE X: Zone du projet Mékrou au Burkina Faso



ANNEXE XI: Cas de conflits liés à la ressource en eau dans la zone du Mékrou au Bénin

	Kérou	Kouandé	Péhunco	Total
Agriculteur/agriculteur	01		06	07
Agriculteur/éleveur	10	05	04	19
animateur/usager domestique ou éleveur	08		01	09
éleveur local/éleveur transhumant	02	01		03
exploitant/population/forestier/autorités	01	03	06	10
entre exploitant de sable/ propriétaire		03	01	04
gérant/usager	02		02	04
entre usagers domestiques	02	04	05	11
usager domestique/éleveur	02	00	00	02

Source : Résultats d'enquête, février 20123