



ETUDE DE LA DISPONIBILITE DE LA RESSOURCE EN
EAU SOUTERRAINE DE LA ZONE SEDIMENTAIRE DU
SUD EST DU BURKINA FASO

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

Présenté et soutenu publiquement le 07 novembre 2016

Par Jean OUBDA

Travaux dirigés par :

M. Roger WANDAOGO, Directeur Technique à IGIP Afrique SARL

Dr. Mahamadou KOÏTA, Enseignant Chercheur au LEAH, 2iE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Angelbert BIAOU

Membres et correcteurs : Dr. Justine TIROGO
M. Sina THIAM

Promotion [2015 -2016]

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

- *Ma bien aimée Loéticia OUBDAMADGO.*
- *Mes deux filles adorées Pulchérie et Hermine*
- *Mes parents*
- *Mes frères et sœurs :*

qui n'ont ménagé aucun effort pour m'apporter du réconfort et du soutien tout au long de ma vie et faire de moi la personne que je suis aujourd'hui. Ce travail est le fruit de vos efforts quotidiens que vous avez mené envers ma personne.

Remerciements

Ce parcours de deux années que nous venons de boucler a été un parcours plein d'expériences très enrichissantes et plein d'émotions intenses. En effet, il nous a permis de faire la connaissance de personnes très aimables et sympathiques qui nous ont offert sur un plateau d'or leurs savoirs et leurs disponibilités à nous accompagner sur la voie de la réussite. Nous ne pouvons donc pas rester insensible à cet égard. Nos pensées vont particulièrement à l'endroit :

- Du maître de stage, M. Roger WANDAOGO, directeur d'étude à IGIP BURKINA ;
- Du directeur de mémoire Dr Mahamadou KOITA, enseignant chercheur au laboratoire LEAH à 2iE.

Ces deux personnes ont su nous accompagner pendant cette période de stage et de rédaction du mémoire à travers des conseils multiformes et le partage de leurs expériences.

Aussi, il sied pour nous de marquer notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont été d'un apport capital à la réussite de ces deux années d'étude. Nous pensons :

- A l'ensemble des enseignants et du personnel de 2iE ;
- Au Directeur Général du Bureau d'Etude IGIP Burkina, M. Mathieu TANKOANO et l'ensemble de ses collaborateurs ;
- Aux collègues du Ministère en charge de l'eau du Burkina Faso ;
- Etc.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit de l'ensemble des étudiants de la promotion 2014-2016, avec lesquels nous avons revisité la vie estudiantine dans une ferveur inoubliable.

Table des matières

<i>Résumé</i>	v
<i>Liste des abréviations</i>	vii
<i>Liste des tableaux</i>	viii
<i>Liste des figures</i>	ix
I. Introduction générale	1
1. Introduction	1
2. Problématique.....	1
3. Objectifs	2
II. Présentation du cadre générale de l'étude	3
1. Caractéristiques générales de la zone d'étude	3
2. Caractéristiques géologiques de la zone d'étude	7
3. Caractéristiques Hydrogéologiques et hydrologiques de la zone d'étude	9
4. Recharge et décharge des aquifères du site d'étude.....	11
5. Situation actuelle de la demande en eau potable	12
III. Matériels et Méthodes	14
1. Identification des forages existants ainsi que leurs caractéristiques	14
2. Détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.....	14
3. Estimation de la recharge et la décharge de l'aquifère.....	16
4. Cartographie des sites de bonne disponibilité.....	17
IV. Résultats et discussion	23
1. Identification des forages existants ainsi que leurs caractéristiques	23
2. Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.....	27
3. Estimation de la recharge et de la décharge de l'aquifère.....	29
4. Répartition spatiale des différents critères de disponibilité de la ressource en eau.	36
5. Cartographie thématique.....	42

V. Conclusions 44

VI. Recommandations - Perspectives..... 45

VII. Annexes..... 48

RESUME

La Persistance du problème d'accès à l'eau potable que le Burkina Faso connaît depuis plusieurs décennies est vraisemblablement consécutive à une connaissance limitée de la ressource en eau, notamment souterraine. Ainsi, cette étude qui s'intéresse à la formation sédimentaire du bassin de la Volta au sud-est du pays a pour objectif de contribuer à l'amélioration de la connaissance de la ressource en eau souterraine.

Pour y parvenir, la méthodologie suivante a été adoptée : Dans un premier temps, les caractéristiques des ouvrages existants ainsi que les paramètres hydrodynamiques des aquifères qu'ils captent ont été déterminés ; dans un second temps, les informations issues des caractéristiques des ouvrages et des propriétaires des aquifères ont fait objet d'une analyse thématique et multicritère à référence spatiale.

La zone située sur la formation du mont Boumbouaka, autour de la falaise de Gobnangou a été qualifiée « zone de bonne disponibilité » de la ressource en eau. En effet, 19% des forages de cette zone produisent plus de 15 m³/h d'eau. Aussi, le débit spécifique et la transmissivité, respectivement de 0,57 m³/h/m et de 3,69x10⁻⁴ m²/s sont les meilleurs de la zone d'étude. Dans les autres zones, les valeurs de débit d'exploitation, de débit spécifique et de transmissivité sont relativement faibles.

Les processus de recharge et de décharge de l'aquifère sont fortement influencés par la pluviométrie. Ainsi, la recharge varie de 117 mm à 313,2 mm par an en fonction de la pluviométrie et de la porosité de drainage de l'aquifère.

Mots Clés :

-
1. Paramètres hydrodynamiques ;
 2. Formation sédimentaire
 3. Essai de pompage ;
 4. Région de l'est ;
 5. Forages

ABSTRACT

The limited of access to drinking water that occurred in Burkina Faso should be linked probably to unimproved knowledge of water resource, including groundwater. Thus, this study implemented in sedimentary formation of the Volta basin located in the southeast of the country aims at improving the knowledge of the groundwater resource.

To achieve this, the following methodology was adopted: the characteristic of existing boreholes and hydrodynamic parameters of the aquifer in which they are siting have been determined. In a second step, all data and information obtained of boreholes and aquifers characterization are used to dressed thematic maps based on a multicriteria spatial analysis.

The Mount Boumbouaka formations around the cliff Gobnangou was described "good availability zone" of water resources and "good productivity." Indeed 19% of boreholes in this area produce more than 15 m / h of water. Also, the specific capacity and transmissivity which are 0.57 m³/h/m and 3.69x10⁻⁴ m²/s respectively are the best of the study area.

Recharge and decharge processes of the aquifer are strongly influenced by rainfall. Thus, recharge values vary from 117 mm to 313.2 mm per year.

Key words:

1. hydrodynamic parameters;
2. sedimentary formation
3. Pumping Test;
4. Eastern Region;
5. Drilling

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP	Approvisionnement en Eau Potable
AEPS	Adduction d'Eau Potable Simplifiée
AFD	Agence Française de Développement
BUMIGEB	Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina
CIEH	Comité Inter-Etat d'Etude Hydraulique
CPE	Centre de Production d'Eau
DGRE	Direction Générale des Ressources en Eau
DREA -EST	Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement de l'Est
GWTF	Ground Water Table Fluctuation
INO	Inventaire National des Ouvrages
INSD	Institut National de la Statique et de la Démographie
MEE	Ministère de l'Environnement et de l'Eau
ODD	Objectifs pour le Développement Durable
OMD	Objectifs du Millénaire pour le Développement
ONEA	Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement
ONG	Organisation Non Gouvernementale
PN-AEPA	Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement à l'horizon 2015
SIG	Système d'Information Géographique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Taux d'accès en eau potable des communes de la zone d'étude	13
Tableau 2 : Classification des critères (Saley, 2003)	19
Tableau 3: Affectation de poids aux critères.....	20
Tableau 4: Classification des forages par intervalle de débit.....	24
Tableau 5: Classification de forages par classes de débits cumulés	24
Tableau 6: Classification des forages par intervalle de débit et par formation géologique	25
Tableau 7: Classification des forages par classe de débit et par formation géologique.....	25
Tableau 8: Eléments de statistique descriptive sur les transmissivités calculées.....	27
Tableau 9: Eléments de statistique descriptive sur les débits spécifiques calculés.....	29
Tableau 10: Synthèse des variations de niveau statique :	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude	4
Figure 2: Evolution des pluies de la station de Pama de 2000 à 2014	5
Figure 3 : Carte des sols de la zone d'étude.....	6
Figure 4: Carte du relief	7
Figure 5: Carte géologique de la zone d'étude	9
Figure 6: Carte hydrographique de la zone d'étude.....	10
Figure 7: Courbe de l'évolution des débits au cour des années sur le cours d'eau Arly	11
Figure 8: Illustration de la détermination de la variation piézométrique.	17
Figure 9: organigramme de la méthodologie de cartographie thématique.....	22
Figure 10 : Répartition spatiale des forages	23
Figure 11: Corrélation entre débit et profondeur totale de forage.....	26
Figure 12:Corrélation entre profondeur d'altération et débit.....	27
Figure 13: Illustration du calcul de la transmissivité	28
Figure 14: Variation du niveau statique du piézomètre de Kionkianga.....	30
Figure 15: Variation du piézomètre de Koalou	31
Figure 16: Evolution de la recharge moyenne à KionKianga	32
Figure 17: Evolution de la recharge moyenne des aquifères de Kionkianga et de Koalou dans le temps	33
Figure 18: Evolution de la décharge moyenne des aquifères de Kionkianga dans le temps....	34
Figure 19: Evolution de la décharge moyenne des aquifères de Koalou dans le temps	35
Figure 20: Répartition spatiale des débits	36
Figure 21: Répartition spatiale des profondeurs d'altération.....	37
Figure 22: Répartition spatiale de la densité de drainage du réseau	38
Figure 23: Répartition spatiale des pentes du terrain	39
Figure 24: Répartition spatiale des débits spécifiques	40
Figure 25: Répartition spatiale des transmissivité.....	41
Figure 26: Répartition spatiale des profondeurs des ouvrages.....	42
Figure 27 : Cartographie thématique de la disponibilité de la ressource en eau	43

I. INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction

Le Burkina Faso à l'instar de bien d'autres pays sahéliens connaît des situations persistantes de manque d'eau potable pour la consommation des populations. C'est ainsi qu'au Sommet du Millénaire tenu à New York en septembre 2000, les dirigeants des pays du monde ont convenu dans le cadre des Objectifs du Millénaire pour le Développement, de réduire de moitié, au plus tard en 2015, la proportion de la population qui n'a pas accès, de façon durable, à un approvisionnement en eau potable (Lapeyre 2006).

Le Burkina Faso avait alors adopté en novembre 2005 un Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement (PN-AEPA). Ce programme visait l'augmentation des populations ayant accès à l'eau potable de 4 millions et de 1,8 millions respectivement en milieu rural et en milieu urbain à l'horizon 2015 (PN-AEPA 2006)

Selon le rapport grand public 2014 du PN-AEPA, environ 64,1 % des populations vivant en milieu rural ont accès à l'eau potable contre environ 88,9 % en milieu urbain. Pourtant, les objectifs fixés étaient de 76 % et de 90 % en milieu rural et en milieu urbain respectivement. Si l'évolution du taux d'accès à l'eau potable est relativement faible à l'échelle nationale, elle est encore plus critique en milieu rural où les ouvrages d'approvisionnement sont exclusivement les forages équipés de pompes à motricité humaine et les Adductions d'Eau Potable Simplifiées (MEE, 1998).

Cependant, la ressource en eau semble largement suffisante selon le rapport du Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable qui précise que les besoins en eau potable de la population projetés jusqu'en 2030 sont évalués à seulement 350 millions de m³ tandis que l'état des lieux des ressources en eau et leur cadre de gestion établis en 2001 fait ressortir que le potentiel d'eau souterraine est estimé à 402 milliard de m³ (MEE, 1998). On pourrait cependant penser que les faibles taux d'accès à l'eau potable au Burkina Faso ne sont pas liés à la faible pluviométrie ni à la capacité de stockage souterrain mais plutôt à la capacité de mobilisation et de traitement de la ressource existante.

2. Problématique

Face aux difficultés de mobilisation des ressources en eau et dans le cadre de la mise en œuvre des Objectifs du Développement Durable (ODD) que le Burkina Faso vient d'adopter à la suite des Objectifs du Millénaire pour le Développement qui a pris fin en 2015, l'Agence Française

de Développement (AFD) envisage le financement d'un projet d'approvisionnement en eau potable dans la région de l'Est.

Ce projet prévoit équiper certains chefs-lieux de communes rurales ainsi que les villages à forte concentration humaine et animale en système d'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) en utilisant principalement les ressources en eau souterraine. Aussi, dans le même cadre, le Burkina Faso a adopté en octobre 2015 une stratégie d'AEP des villages dénommée « multi-villages ». Cette stratégie consiste à approvisionner plusieurs villages à partir des centres de production d'eau. Ces centres de production d'eau exploitent des nappes d'eau capables de produire environ 600 m³ d'eau par jour soit 37,5 m³/h exploitables pour l'AEP (PN AEP 2015). Cependant, la réalisation de tels grands projets devra obéir à une connaissance approfondie des ressources en eaux existantes sur le territoire régional. Des études menées dans la région Est donnent assez d'informations sur la géologie et l'hydrologie de cette partie du Burkina Faso (Affaton 1990). Mais, les aspects hydrodynamiques supposés orienter les décideurs en vue de l'utilisation des eaux souterraines pour l'alimentation des populations semblent être peu connus.

3. Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de contribuer à une meilleure connaissance de la disponibilité des ressources en eau souterraine de la zone sédimentaire du sud est du Burkina Faso en vue de leur exploitation optimale.

De manière spécifique, il s'agira de :

- Identifier les forages existants ainsi que leurs caractéristiques techniques ;
- Déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère ;
- Estimer la recharge et la décharge de l'aquifère ;
- Cartographier la répartition spatiale des paramètres relevant de la disponibilité de la ressource ;
- Identifier les sites de bonne disponibilité.

Ce document est organisé en trois (03) grandes parties.

La première partie concerne la présentation la zone d'étude. Les contextes géologique, hydrogéologique hydrologique ainsi que les conditions de recharge et de décharge de l'aquifère sont abordés dans cette partie. La deuxième partie s'intéresse au matériel utilisé et à la méthodologie adoptée pour l'atteinte des objectifs fixés. Enfin, la troisième partie est consacrée aux résultats et à la discussion.

II. PRESENTATION DU CADRE GENERALE DE L'ETUDE

1. Caractéristiques générales de la zone d'étude

a. Situation géographique.

Le Burkina Faso, est l'un des pays enclavés de l'Afrique de l'Ouest. Il est limité au nord et à l'ouest par le Mali, par le Niger à l'est, par le Bénin au sud-est, par le Togo et le Ghana au sud et par la Côte d'Ivoire au sud-ouest. Il est situé entre les latitudes 9°20' et 15° Nord et entre les longitude 5°03' Ouest et 2°30' Est (figure 1).

Avec une superficie de 274 000 km², la population du Burkina Faso est estimée à 19 034 397 habitants en 2016 selon l'Institut National de Statistique et de la Démographie (INSD, 2016).

Le territoire est découpé en treize (13) régions, 45 provinces et 359 communes de plein exercice dirigées par des maires élus.

La zone d'étude se situe dans la région administrative de l'Est du pays entre les latitudes 11°0'17,54'' et 12°34'2,48'' Nord et les longitudes 0°55'30,77'' et 2°26'18,12'' Est. Fada N'gourma, le chef-lieu de la région de l'est est situé à 280 km de la capitale politique Ouagadougou. La région comprend cinq (05) province à savoir le Gourma, la Gnagna, la Komondjari, la Tapoa et la Kompienga.

L'étude s'est déroulée plus précisément dans les provinces de la Tapoa et de la Kompienga composées de six communes et sur une superficie de 5178,3 km².

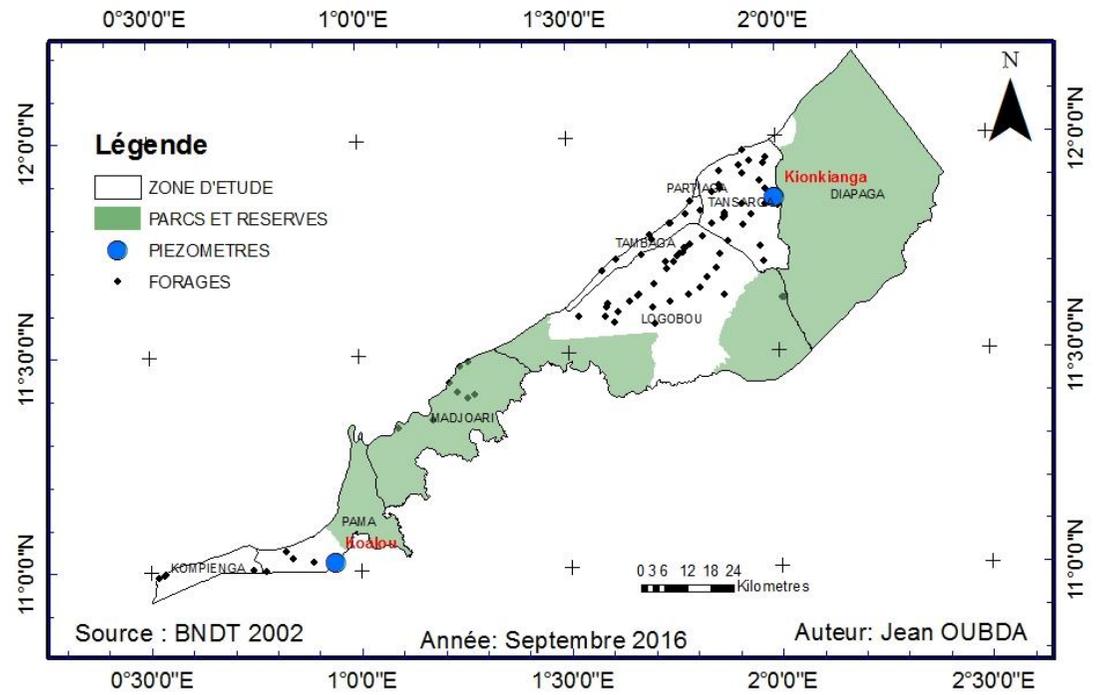
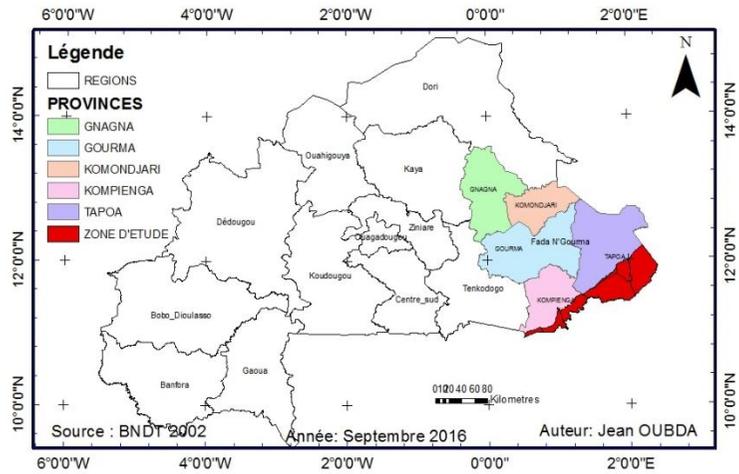


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

b. Contexte climatique

Le climat de la localité est un climat tropical de type soudano-sahélien caractérisé par des variations pluviométriques considérables avec deux saisons très contrastées : la saison des pluies et la saison sèche durant laquelle souffle l'harmattan, un vent chaud et sec, originaire du Sahara. La saison des pluies dure environ 4 mois, entre mai-juin et septembre. La température varie de 16 à 45 degrés Celsius, l'évaporation moyenne annuelle est estimée à 3 000 mm (Dembele 2014).

La station pluviométrique de Pama dans la province de la Kompienga permet d'avoir des informations sur la pluviométrie de la zone d'étude. En effet, les informations recueillies à ce niveau montrent que le cumul annuel de la pluviométrie varie de 666 mm à 1062,2 mm (figure 2) avec une moyenne de 883,77 mm sur la période 2000 à 2014. La plus faible pluviométrie a été enregistrée en 2002 tandis que la plus forte l'a été en 2003 (figure 2). On observe donc une évolution de la pluviométrie en dent de scie.

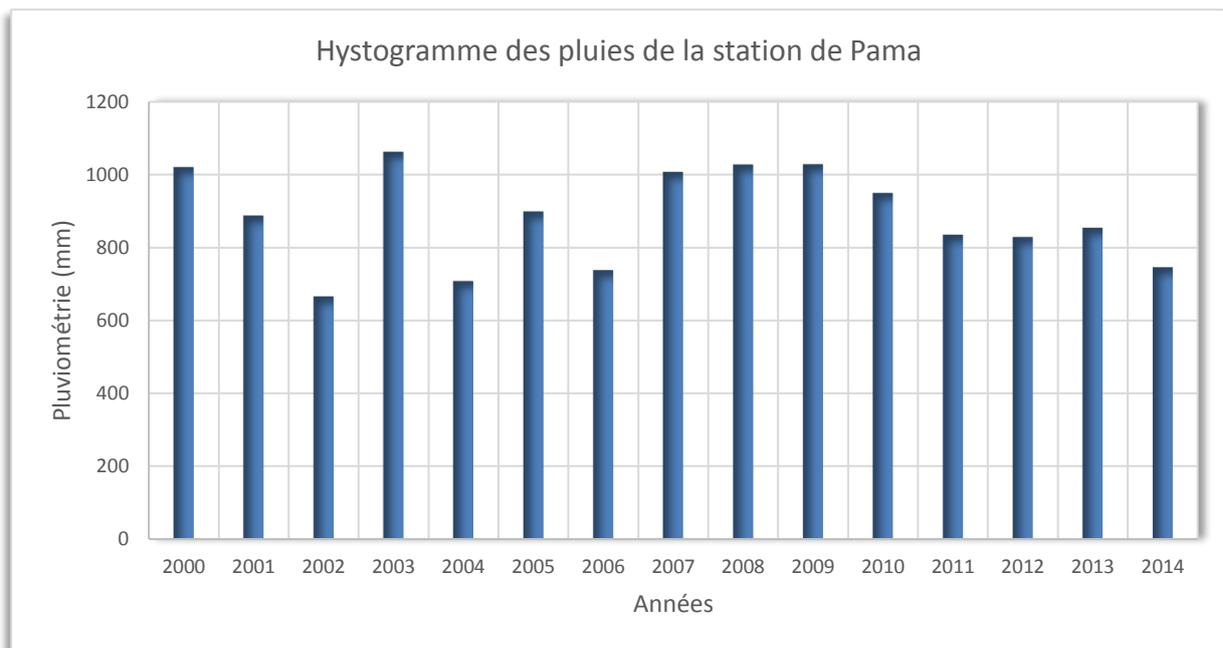


Figure 2: Evolution des pluies de la station de Pama de 2000 à 2014

Source : Direction Générale de la Météorologie (2016)

c. Les sols

Dans la zone d'étude se trouvent les sols étroitement liés aux formations du Voltaïen moyen qui bordent la Pendjari (IWACO 1993). Les sols dominants sont sablo-limoneux en surface et limono-argileux en profondeur avec la présence de sols peu épais gravillonnaires. Vers le sud de la zone d'étude, les sols deviennent hydromorphes argileux et ferrugineux lessivés, développés sur schistes argileux sédimentaires (figure 3).

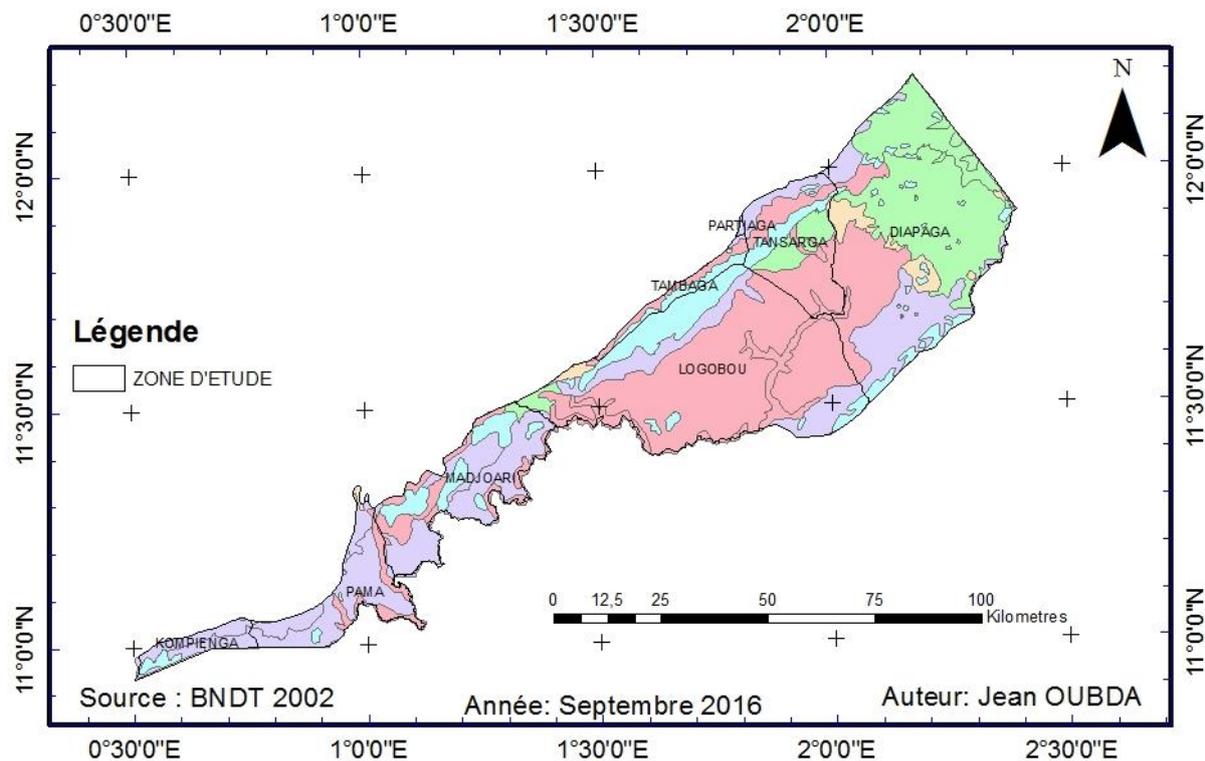


Figure 3 : Carte des sols de la zone d'étude

d. La végétation

Une grande partie de la localité est occupée par des parcs et des réserves de chasse regroupés en deux entités à savoir le complexe d'Arli-Singou et le Parc du W-Burkina.

Le complexe de l'Arli-Singou comprend plusieurs espaces écologiques protégés ou gérés totalisant une zone de près de 815 000 hectares en territoire Burkinabè (Bouché et al. 2012). On y rencontre le Parc national d'Arli, la réserve totale du Singou, la réserve partielle de Pama, la réserve partielle de l'Arli et la réserve totale de Madjoari.

Le Parc W-Burkina est situé dans la province de la Tapoa. Sa superficie est de 235 000 hectares, avec une zone tampon de 76 000 hectares. Situé le long de la ceinture de savane de l'ouest du Soudan, le W-Burkina abrite une savane arbustive tropicale et sous-tropicale, et une végétation herbacée.

e. Relief

Le relief de la région de l'est est constitué principalement de trois grands ensembles topographiques : une vaste plaine (75 % de la région), des reliefs résiduels (10 %) et des bas-fonds (15 %) (MED, 2005).

L'altitude moyenne se situe autour de 280 m. La limite entre les bassins du Niger et de la Pendjari passé par une falaise latéritique. Quelques zones montrent un relief plus prononcé constitué des buttes tabulaires à sommet cuirasse ou des collines allongées formées de schistes

armés de bancs gréseux ou de roches volcaniques ou basiques. Au sud de la falaise on observe un fort rajeunissement du relief. En dehors de cette zone le processus d'altération prédomine l'érosion d'où les affleurements sont rares et peu étendus (IWACO 1993). La figure 4 ci-dessous illustre la morphologie de la zone d'étude.

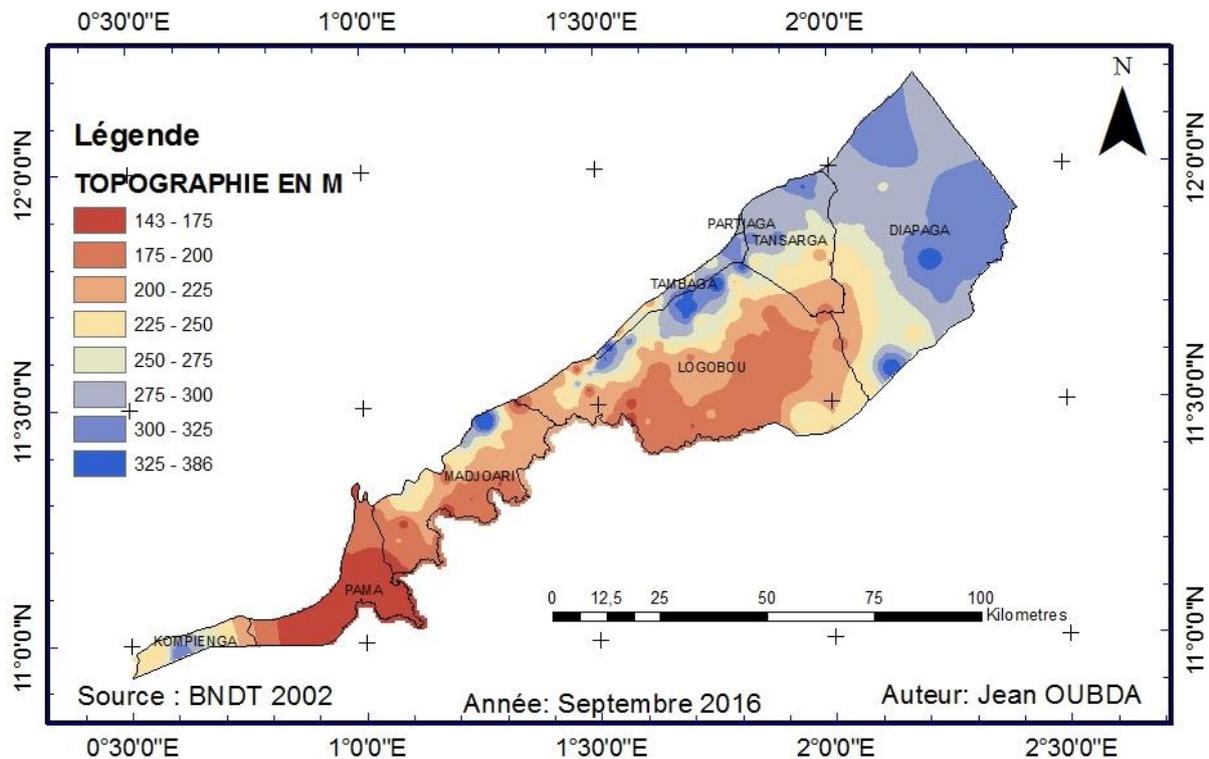


Figure 4: Carte du relief

2. Caractéristiques géologiques de la zone d'étude

Selon le rapport d'étude de IWACO, réalisé dans les années 80, la région de l'est est constituée des trois unités géologiques principales (IWACO 1993):

- ✓ Un ensemble à dominante granito-gneissique ou migmatique (socle antébirrimien). Le plus étendu du point de vue géographique.
- ✓ Un ensemble à dominante schisto-gréseuse (séries birrimiennes).
- ✓ Un ensemble sédimentaire (formations post-birrimiennes) confiné au sud-est des degrés carrés de Pama et Diapaga mais occupant les 3/5 du sud-est du degré carré d'Arli.

La série sédimentaire de la zone stable à l'est du Burkina Faso est incomplète et comprend quatre groupes de formations qui sont : le groupe du mont Boumbouaka, le groupe de la Pendjari, les faciès métamorphiques et plissés des quartzites de l'Atacora et les faciès plissés du niveau inférieur du Buem (figure 5).

Seule la formation supérieure du Groupe du Mont Boumbouaka recouvre directement le socle

birimien dans les massifs de Madjoari et de Gobnangou. Au-dessus cependant, le Groupe de la Pendjari est bien représenté avec à la base notamment la présence de plusieurs planchers glaciaires.

La sédimentation est étalée dans le temps depuis le début du Néoprotérozoïque (environ 1000 Ma), jusqu'au Cambrien possible dans le Bassin des Volta.

Groupe du Mont Boumbouaka

D'après la carte géologique du Burkina au 1/1000 000, le sédimentaire du groupe du mont Boumbouaka est essentiellement composé de grès-quartzites fins à moyens, rarement grossiers, généralement feldspathiques ou kaoliniques, à rares paillettes de muscovite. Bien lités en bancs décimétriques à métriques, ces grès-quartzites montrent de nombreux ripple marks, des stratifications obliques en gouttières métriques à décamétriques et localement des fantômes de cristaux de gypse.

Ils se seraient déposés sur une plate-forme marine peu profonde, en milieu tidal. Cependant, les formations gréseuses tabulaires constituent les massifs de Gobnangou et de Madjoari.

On constate une faille qui provient du socle cristallin et qui pénètre dans la formation sédimentaire du mont Boumbouaka.

Groupe de la Pendjari

Le Groupe de la Pendjari est discordant soit sur le Groupe du Mont Boumbouaka au niveau des massifs de Gobnangou et de Madjoari, soit directement sur le socle. Il regroupe trois formations concordantes et comprend de bas en haut : tillite continentale et calcaires dolomitiques à barytine; silexites argileuses, siltstones argileux et phospharénites ; shales, siltstones et grès (Castaing and Le Métour 2003)

Dans le secteur de Kodjari - Tansarga, la base du groupe permet d'observer de remarquables planchers glaciaires striés, montrant que les glaciers se déplaçaient de l'WNW vers l'ESE.

Quartzites de l'Atacora (faciès métamorphique et plissé)

Les quartzites de l'Atacora représentent, dans la chaîne panafricaine des Dahomeyides, l'unité structurale de l'Atacora, franchement métamorphique, qui chevauche l'unité externe du Buem. Elle est composée d'un empilement de plis et d'écailles à vergence ouest, exposés à l'extrême Sud-Est du pays. L'unité de l'Atacora est composée de schistes et micaschistes parfois conglomératiques (mixtites) qui peuvent être corrélés avec le Groupe de la Pendjari et de faciès quartzitiques dominants à muscovite et parfois disthène, équivalents probables du Groupe de Dapongo-Bombouaka.

Niveaux inférieurs du Buem (faciès plissé)

Le Buem représente l'unité structurale la plus externe de la chaîne panafricaine des Dahomeyides. Elle chevauche le bassin des Volta et notamment, au NW de Kompongou dans le Sud-Est du pays, la série de la Pendjari qui, sur une mince frange bordière, est plissée et localement écaillée. L'unité du Buem comporte tous les faciès du Groupe de la Pendjari, avec de haut en bas : séquence flyschoides verte, épaisse de 1500 m ; alternance de grès-quartzite à stratifications obliques, de shales et de mixtites à galets exotiques parfois striés (tillite), puissante de 1000 m. Elle est interprétée comme un dépôt glacio-marin.

L'unité du Buem est un équivalent du Groupe de la Pendjari du bassin des Volta, particulièrement épaissi au niveau des faciès glaciogéniques, continentale dans le bassin, marine dans le Buem. Cette unité structurale est caractérisée d'Ouest en Est par : un chevauchement frontal sur la série de la Pendjari, des plis déversés vers l'Ouest, relayés vers l'Est par des écaillures qui peuvent envahir la totalité de l'unité qui reste peu ou très peu métamorphique.

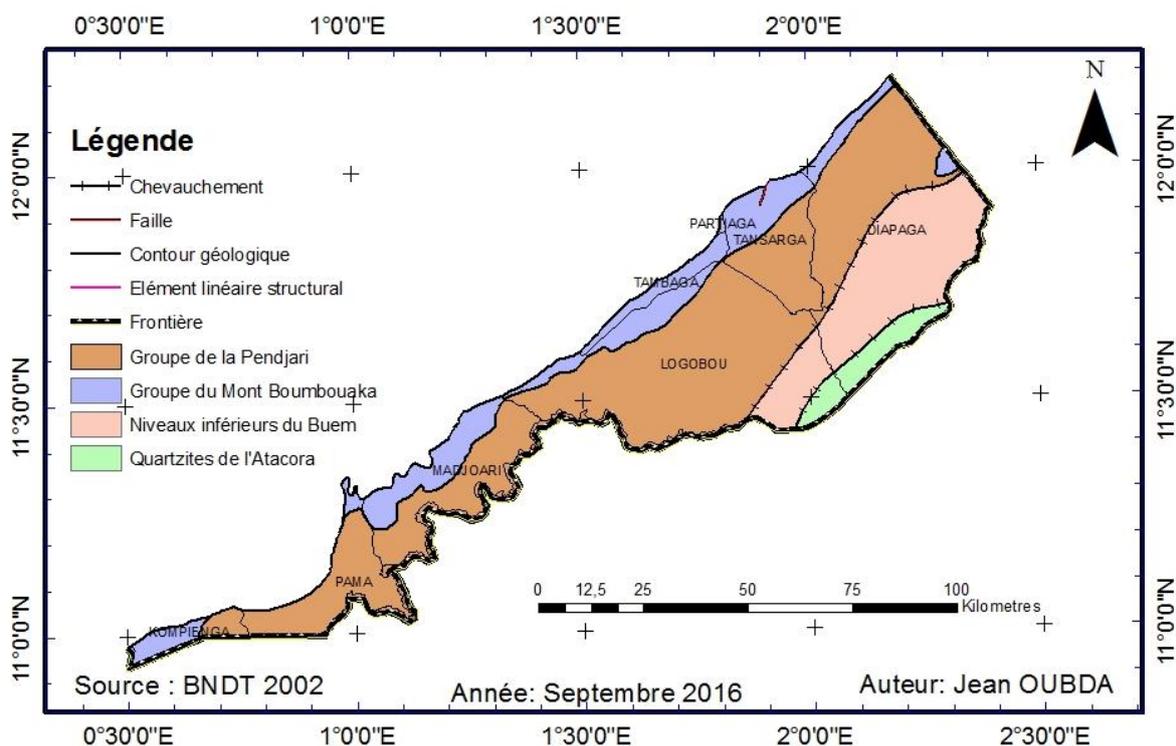


Figure 5: Carte géologique de la zone d'étude

3. Caractéristiques Hydrogéologiques et hydrologiques de la zone d'étude

a. Caractéristiques hydrogéologiques de la zone d'étude

On distingue en milieu sédimentaire la même superposition des niveaux aquifères que dans le milieu du socle, à savoir : la roche dure, la zone altérée et les latérites (par endroit). La roche

dure, constituée de grès, a une puissance minimale de 100 m et présente des caractères très divers (grès à feldspath kaolinisé, grès-quartzite avec quartz nourris, grès à grains de quartz indentés). Les aquifères des altérites sont plus uniformes et continus à cause de la stratification horizontale. Les aquifères des latérites peuvent avoir une importance locale.

b. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude

- **Hydrographie**

La région est drainée par un important réseau hydrographique dense constitué essentiellement de bas-fonds et d'affluents périodiques, de petites rivières et de plans d'eau. Le cours d'eau principal de la zone d'étude est la Pendjari. Ses affluents principaux sont l'Oualé, le Singou, l'Arly, le Doubolo et le Kourtiaga (figure 6). Ces affluents apportent moins de 30 % du débit moyen de la Pendjari (IWACO 1993).

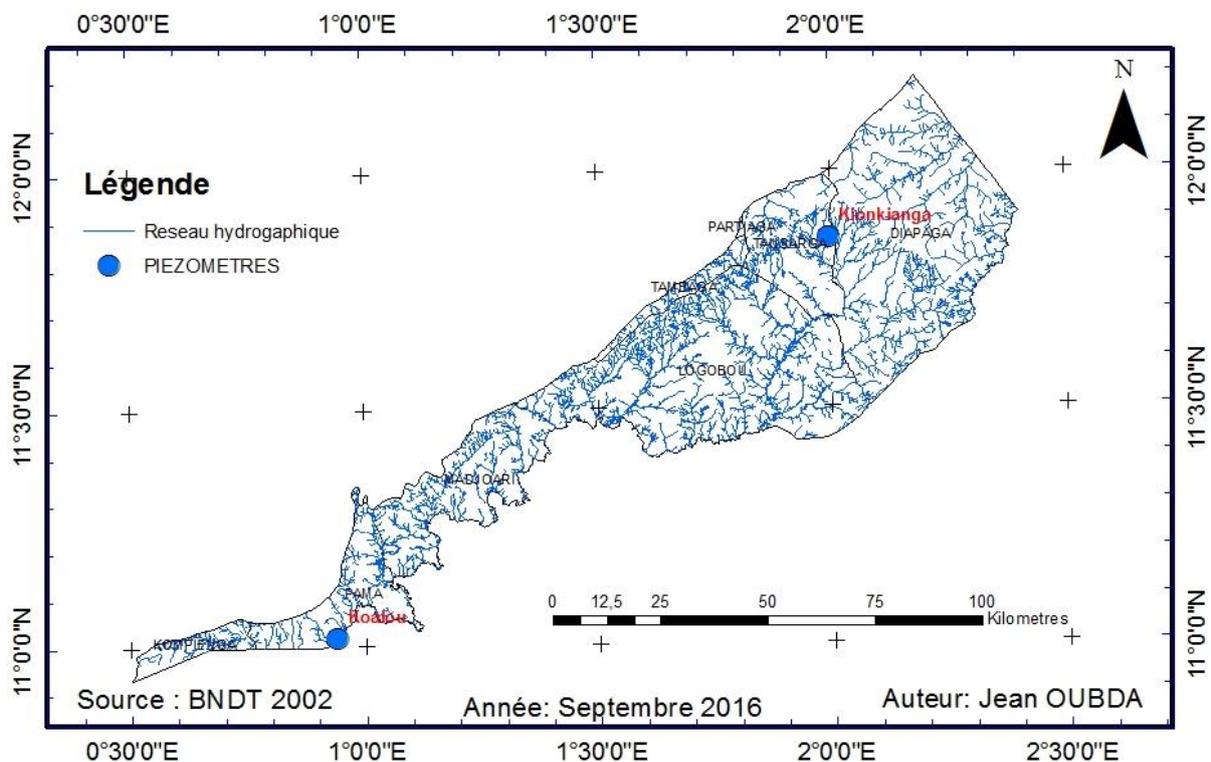


Figure 6: Carte hydrographique de la zone d'étude

- **Hydrométrie**

Station d'Arly

La station hydrométrique installé sur le cours d'eau Arly, principal affluent de la Pendjari, permet de suivre l'évolution des crues évacuées à l'exutoire. Cependant, les données sur l'évolution des crues de cette station disponibles à la DGRE datent de la décennie 1983 -1993. La courbe de l'évolution du débit transité à la station au cours des années montre que le débit

maximum est observé entre les mois d'août, de septembre et d'octobre de chaque année. Cette période correspond à celle de forte pluviométrie. Les débits faibles et souvent nuls sont observés pendant la période de novembre à juin correspondant à la saison sèche (figure 7).



Figure 7: Courbe de l'évolution des débits au cours des années sur le cours d'eau Arly

4. Recharge et décharge des aquifères du site d'étude

Nous n'avons pas trouvé aucune étude concernant la recharge et la décharge de la nappe dans la zone d'étude. Cependant, des études réalisées sur d'autres sites présentant les mêmes caractéristiques physiques existent. Il s'agit principalement des études sur les bassins versants expérimentaux et du bilan d'eau réalisées en 1993.

Recharge.

La recharge est généralement définie comme étant la quantité d'eau qui, partant de la surface, percole à travers la zone non saturée en échappant à la reprise évaporatoire et rejoint l'aquifère. Cependant, cette définition ne concerne que les apports « naturels » d'eau et ne prend pas en compte les apports indirects. Dès lors, une définition plus globale serait que la recharge correspond à la quantité d'eau qui rejoint l'aquifère et qui participe à son renflouement.

Les mécanismes de recharge de la nappe sont mal connus dans la région de l'est du Burkina. Cependant, sur la base des résultats d'étude similaires menées sur des bassins versants type représentant des caractéristiques similaires on peut retenir les mécanismes de recharge suivants (IWACO 1993) :

- **Alimentation directe par infiltration homogène.** Les eaux de pluie s'infiltrent directement dans le sol et progressent lentement dans le sous-sol sous forme de front d'humidité (recharge diffuse) ;

- **Alimentation directe par voie préférentielle.** Les eaux de pluie s'infiltrent directement et percolent rapidement vers la nappe par voies préférentielles) : zones fracturées, filons de quartz ;
- **Alimentation indirecte.** Alimentation par les eaux de ruissellement se concentrant dans et autour des dépressions topographiques locales (bas-fonds ou marigots) et régionales (vallées alluviales). Cette alimentation peut se faire par front d'humidité ou par voie préférentielle.

Plusieurs études sur des bassins versants expérimentaux ont démontré que l'eau infiltrée parvient à la nappe surtout par voies préférentielles.

a. Décharge

La décharge est l'ensemble des processus par lesquels une quantité d'eau s'échappe de l'aquifère dans lequel elle avait été stocké. Ces processus contribuent à la diminution de la ressource en eau souterraine de l'aquifère. Egalement il n'y a pas assez d'étude sur la région portant sur la décharge de la nappe. Des études sur des bassins similaires montrent que la décharge se fait suivant les mécanismes ci-dessous.

- Exploitation des eaux souterraines par l'homme ;
- Ecoulements souterrains latéraux ;
- Evapotranspiration.

L'importance de ces différents mécanismes de décharge varie à la fois dans le temps et dans l'espace (IWACO 1993).

5. Situation actuelle de la demande en eau potable

➤ Source approvisionnement en eau

Les infrastructures d'approvisionnement en eau potable de la population sont principalement les forages équipés de pompes à motricité humaine et les adductions d'eau potable simplifiées. Cependant dans les chefs-lieux des provinces notamment à Pama, à Kompienga et à Diapaga, le système classique d'AEP existe avec l'Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) qui utilise principalement l'eau du barrage de la Kompienga et quelques forages.

➤ Taux d'accès à l'eau potable en 2015.

Le rapport bilan du PN-AEPA (2016) indique qu'en décembre 2015, le taux d'accès à l'eau potable à l'échelle nationale était de 65,0 %. La région du centre avait le taux d'accès le plus élevé (88,5%) et la région des Hauts bassin le taux d'accès le plus faible (49,0%). Quant à la région de l'Est, son taux d'accès à l'eau potable était de 51,4%. C'est le taux d'accès le plus

faible après la région des Hauts Bassins.

Ledit rapport indique de dans la région de l'est, le taux d'accès varie de 30,1 % (à Foutouri) à 80,4% (à Diabo). Cependant, dans la zone d'étude, il variait de 42 % à Tansarga à 58 % à Madjoari. Des résultats qui sont très loin des objectifs escomptés dans le PN-AEPA.

Le tableau 1 ci-dessous donne le détail de chacune des communes de la zone d'étude.

Tableau 1 : Taux d'accès en eau potable des communes de la zone d'étude

Commune	Population 2006	Population Projetée 2015	Population desservie	Population non desservie	Taux d'accès (%)	Objectif du PN-AEPA (%)
KOMPIENGA	30297	40935	21511	19424	52,5	76
MADJOARI	9695	13096	7644	5452	58,4	76
PAMA	28758	38855	18879	19976	48,6	76
LOGOBOU	61421	82979	26535	56444	32,0	76
TAMBAGA	40910	55272	23660	31612	42,8	76
TANSARGA	36060	48724	20461	28263	42,0	76

III. MATERIELS ET METHODES

Nous présentons ici les matériels et les différentes approches méthodologiques adoptées dans le cadre de cette étude. Pour chacun des objectifs spécifiques, une méthodologie a été associée.

1. Identification des forages existants ainsi que leurs caractéristiques

L'identification des forages existants et leurs caractéristiques a été faite sur la base des données collectées auprès des structures habilitées telles que la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE), la Direction régionale de l'eau et de l'assainissement de l'est (DREA-Est) etc.

Les données qui ont été collectées sur les ouvrages comprennent la localisation (coordonnées géographiques) la profondeur de l'ouvrage, l'épaisseur d'altération, le débit d'exploitation, les rabattements en fonction du temps obtenus lors des essais de pompage.

Pour comprendre la répartition spatiale des débits, nous avons procédé à leur classification par classes de débits comme suit : de [0 à 5[m³/h, de [5 à 10[m³/h, de [10 à 15[m³/h de [15 à 20[m³/h et de [20 à 25[m³/h dans un premier temps puis par classes cumulatives de débit avec $Q \geq 5$ m³/h ; $Q \geq 10$ m³/h, $Q \geq 15$ m³/h, $Q \geq 20$ m³/h et de $Q \geq 25$ m³/h dans un deuxième temps avec Q étant le débit de production du forage. Le choix de la classification par pas de 5 m³/h vise à faciliter les analyses.

Aussi, ces forages ont été classés en fonction de la formation géologique sur laquelle ils sont situés. Ils ont été regroupés dans deux formations géologiques distinctes. Il s'agit notamment de la formation du mont Boumbouaka et la formation de la Pendjari.

Enfin, les paramètres tels que le débit d'exploitation, l'épaisseur d'altération et la profondeur de l'ouvrage ont fait l'objet d'une analyse statistique afin de caractériser des corrélations éventuelles pouvant exister entre le débit et la profondeur de l'ouvrage d'une part et entre le débit et l'épaisseur d'altération d'autre part.

2. Détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère

2.1 Transmissivité

Les paramètres hydrodynamiques pertinents pour la caractérisation d'un aquifère sont la transmissivité et le coefficient d'emménagement. Parmi les différentes méthodes existantes pour déterminer ces paramètres, la plus utilisée est l'essai de pompage.

Dans le cas de cette étude, nous n'avons pas réalisé d'essai de pompage mais nous avons utilisé les données d'essais de pompage effectué sur les forages existant par les entreprises commises par les services étatiques (DREA-Est, DGRE ...) et les ONG (ACF, OCADES ...) dans le cadre

de divers projets d'hydraulique villageoise. Ces données sont des mesures de rabattement en fonction du temps enregistrées au cours de l'essai.

Les données collectées sont de deux (2) types :

Celles issus d'essai de pompage par paliers de débit de courte durée au nombre de quarante un (41). Chacun de ces essais comporte trois paliers dont la durée du premier est de deux (2) heures, le second d'une (1) heure et le troisième d'une (1) heure. Seules les données du premier palier sont utilisées pour déterminer la transmissivité à travers l'équation de Jacob (1946). En toute rigueur, la durée du palier ne permet pas de déterminer la transmissivité de l'aquifère au sens propre du terme, mais plutôt des valeurs approchées de celle-ci dans le voisinage de l'ouvrage. L'autre type de données issus des essais de pompages est celle de longue durée (d'au moins 72 h) au nombre de deux, réalisées sur les forages dont l'exploitation est destinée à l'hydraulique urbaine. Ce sont ces données qui sont utilisées pour la détermination de la transmissivité d'une manière générale. La transmissivité déterminée avec ce type de donnée a permis de comparer l'ordre de grandeur avec celles calculées à partir des essais de courte durée.

- **Interprétation des essais de pompage de courte durée**

L'interprétation des essais de pompage de courte durée est fondée sur la méthode semi-logarithmique de JACOB (1946). Elle consiste à reporter sur un papier semi-logarithmique les rabattements spécifiques en fonction du logarithme du temps

$$\frac{s}{Q} = f(\log t) \text{ qui est une droite}$$

La transmissivité d'après la méthode de Jacob est calculée comme suit :

$$T = \frac{0,183 Q}{a} \quad (\text{eq.1})$$

Avec :

a = Pente de la droite

Q = Le débit du palier (m³/h)

T = Transmissivité (m²/s)

- **Interprétation des essais de pompage de longue durée**

Pour ce type de pompage, l'interprétation peut se faire soit avec les données de rabattement enregistrées au niveau de l'ouvrage testé, soit avec celles enregistrées au niveau de l'ouvrage d'observation s'il en existe.

Dans le cadre de cette étude, les rabattements ont été mesurés dans le forage testé.

La représentation graphique du rabattement en fonction du temps selon la méthode d'approximation de Jacob est une droite dont la pente permet de calculer la transmissivité T de

la nappe suivant l'équation 1.

2.1 Débit spécifique

Le débit spécifique est le débit que peut produire l'aquifère par unité de rabattement. Il permet de donner une information capitale concernant la productivité de l'aquifère. Il est égal au débit en fin de pompage divisé par le rabattement final.

3. Estimation de la recharge et la décharge de l'aquifère

Plusieurs méthodes d'étude et d'évaluation de la recharge d'une nappe ont été proposées et éprouvées dans diverses conditions. Ces techniques, dont certaines ont fait l'objet de revues comparatives ont été classées en plusieurs catégories selon les processus qu'elles impliquent (Besbes 2006). Parmi toutes ces techniques, la méthode de fluctuation de la nappe phréatique est l'une des plus utilisées pour l'estimation de la recharge des nappes sur une grande variété de conditions climatiques. C'est une méthode qui est basée sur la variation du niveau piézométrique dans le temps d'une part et de la porosité efficace de l'aquifère d'autre part (Obuobie et al. 2012).

Le taux de recharge peut être estimé comme le produit de la variation du niveau de l'eau et la porosité efficace de l'aquifère. Mathématiquement, la recharge peut être exprimée comme suit :

$$: R = \frac{\eta_e dh}{dt} = \eta_e \Delta h / \Delta t \quad (\text{Eq.2})$$

Où R est la recharge des nappes (mm / heure) ;

η_e est la porosité efficace (Sans dimension) ;

Δh est la variation maximale du niveau piézométrique (mm) ;

Et Δt est la durée de la période de recharge

Selon (Obuobie et al. 2012), il y a trois hypothèses majeures inhérentes à cette technique :

- La fluctuation de la nappe phréatique dans les aquifères peu profonds non confinés est due uniquement à la recharge et l'évacuation des eaux souterraines ;
- La porosité de drainage de l'aquifère est connue et constante dans la période de fluctuation de la nappe phréatique ;
- et enfin la pré-recharge récession de niveau d'eau peut être extrapoler pour déterminer le niveau de l'eau augmenté.

Pour quantifier la recharge il a fallu d'abord déterminer la porosité de drainage qui dépend de la structure géologique de l'aquifère. En effet la porosité de drainage est un paramètre intrinsèque aux propriétés de l'aquifère. Par manque d'études spécifiques pour déterminer ce paramètre, nous nous sommes référés aux résultats de l'étude réalisée par (Sandwidi 2007) dans

des conditions similaires sur le bassin versant du Kompienga. L'aquifère étant constitué essentiellement de Siltstones et grès ou schiste de la Pendjari et de **silexites et siltstones argileuses** du mont Boumbouaka conduit au choix de 3% à 6% comme porosité de drainage. Elle sera considérée constante dans le temps et dans l'espace

Ensuite, la variation du niveau piézométrique a été calculée comme l'indique la figure 8 ci-dessous à partir de deux piézomètres suivis depuis 2004 par la DGRE. Il s'agit du piézomètre de Kionkianga situé au nord de la zone d'étude et celui de Koalou situé au sud. Cependant, les données de ces piézomètres ne sont pas complètes sur certaines années hydrologiques. Seules les données des années 2005, 2007, 2008, 2012, 2013 sont disponibles pour le piézomètre de Kionkianga et les celles des années 2005, 2008, 2010, 2012 et 2013 sont disponibles pour le piézomètre de Koalou. L'estimation de la recharge et de la décharge ne concernera que ces années.

Les baisses du niveau piézométriques ont été calculées entre la fin de la recharge d'une année hydrologique donnée jusqu'au début de la recharge de l'année hydrologique suivante.

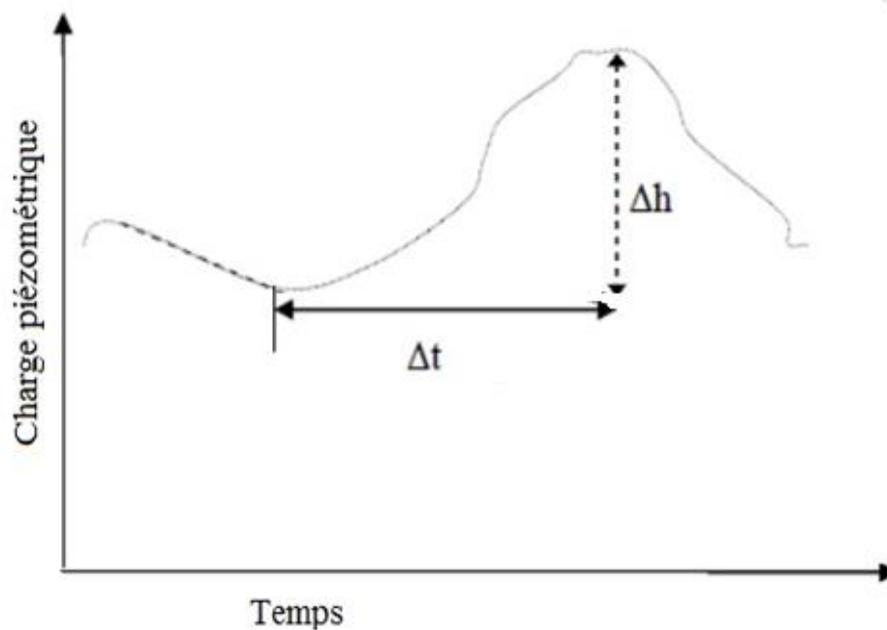


Figure 8: Illustration de la détermination de la variation piézométrique.

4. Cartographie des sites de bonne disponibilité.

Le Système d'Information Géographique (SIG) peut se révéler un précieux outil à la disposition des urbanistes et dans les processus de prises de décision (Sposito 2010). Arc Gis a été donc utilisé pour cartographier la répartition spatiale des différents paramètres hydrodynamiques.

Pour identifier les zones de bonne disponibilité, il a fallu établir des cartes thématiques afin de procéder à une analyse multicritère. Ainsi donc il a été défini des critères de disponibilité en

fonction du nombre de paramètre hydrodynamique favorable que le site regroupe.

4.1 Etablissement des cartes thématiques

Sept (07) cartes thématiques ont été réalisées par interpolation à partir de deux bases de données : la base nationale de données topographique (BNDT) du Burkina Faso et la base de données technique des forages que nous avons mis en place.

Ces cartes thématiques sont : la carte de répartition spatiale des débits de production, des débits spécifiques, des transmissivités, des profondeurs totales des forages, des épaisseurs d'altération des aquifères, de la densité de drainage et des pentes.

La technique d'interpolation utilisée est celle de l'interpolation linéaire IDW.

La formule pour le calcul IDW = Inverse Distance Weighted.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^{Nb\ points} \left(\frac{Z_i}{d_i}\right)}{\sum_{i=1}^{Nb\ points} \left(\frac{1}{d_i^2}\right)} \text{ (Eq 3)}$$

Z_p , la valeur calculée dans une cellule est la moyenne pondérée des Z_i points autour de la cellule.

Douze (12) points sont utilisés pour le calcul avec un maillage carré de 100 m

4.2 Technique d'établissement de la carte de disponibilité

Pour aboutir à ces cartes, des critères ont été d'abord définis. Ces critères ont été ensuite classés par ordre d'importance.

a. Elaboration des critères

Les critères qui ont été retenues sont des critères liés aux paramètres physiques et hydrodynamiques des aquifères. Ce sont les différentes combinaisons de critères, grâce aux « poids » qui leur ont été attribués qui ont donné des cartes de synthèses. Les critères retenus sont :

- Le débit d'exploitation de l'ouvrage ;
- L'épaisseur d'altération ;
- La pente du terrain ;
- La densité de drainage

Le choix de ces critères s'inspire en grande partie des études antérieures notamment les travaux de thèse de Saley (2003) sur le système d'informations hydrogéologiques à référence spatiale, discontinuités pseudo-images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi-montagneuse de man et sur l'apport de la télédétection et de SIG dans l'identification des

ressources en eau souterraine dans la région de Daoukro (Epse et al. 2012).

En outre, le choix de ces critères réside dans leur capacité à contribuer à la disponibilité de la ressource soit en favorisant l'infiltration et la recharge de la nappe (c'est le cas de la pente et de la densité) soit en exprimant directement la disponibilité de la ressource à travers la production actuelle.

Pour une meilleure manipulation des données, nous avons procédé à la classification des cartes thématiques représentant chaque facteur.

b. Classification et standardisation des critères.

La classification des différents critères s'est faite en tenant compte des études antérieures réalisées. Trois types de techniques ont été utilisés pour la spatialisation selon que le critère est représenté par des points, des polygones ou des polygones. Ainsi les points tels que les épaisseurs d'altération ont été interpolés grâce à la commande « interpolate grid » ; les polygones tels que les pentes ont été convertie sous format raster à partir du logiciel pour faciliter la combinaison ; les polygones telles que les densités de drainage ont été converties en format raster pour l'interpolation à partir du logiciel ArcGis. Les différentes surfaces obtenues à la suite de ces opérations ont été réparties en cinq classes comme l'indique le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Classification des critères (Saley, 2003)

	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Pente du terrain	< 0,5%	0,5 – 1 %	1 – 1,5 %	1,5 – 3%	> 3 %
Débit d'exploitation	< 5 m ³ /h	5 – 10m ³ /h	10 – 15 m ³ /h	15 - 20 m ³ /h	> 20 m ³ /h
Epaisseur d'altération	< 10 m	10 – 15 m	15 – 20 m	20 – 25 m	> 25 m
Densité de drainage	< 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 0,75	0,75 – 1	> 1

c. Evaluation et pondération des critères

La pondération des critères consiste en un recours aux chiffres pour décrire une réalité à partir des informations existantes.

Cette pondération permet d'établir les cartes des différents objectifs. La manipulation des cartes entre elles nécessite une assignation d'un « poids » à chaque facteur représentant un objectif. Ce « poids » assigné est une valeur numérique. Pour l'assignation des « poids », les critères d'un même niveau sont généralement comparés deux à deux. Cette valeur sera d'autant plus grande que le facteur qu'elle représente est important pour caractériser une situation. Cette attribution de valeur numérique est la meilleure façon de faciliter l'interprétation des cartes de

synthèse obtenues. L'assignation des « poids » à chaque critère, doit se faire avec le maximum d'objectivité et en gardant à l'esprit le contexte général de l'étude.

Les « poids » attribués varient entre 0 et 1, et leur somme doit être égale à 1. Les « poids » attribués peuvent être modifiés par un autre utilisateur pour une nouvelle interprétation, et parfois, par le même utilisateur pour des besoins de vérification.

Les critères ont été associés pour cet objectif, par leur contribution dans la définition d'un indicateur. Ainsi, les critères définissant la disponibilité de la ressource en eau sont associés entre eux pour définir cet indicateur.

On peut résumer cette combinaison des critères suivis d'assignation de poids par la formule suivante :

$$S = \sum W_i . X_i \text{ (eq.3)}$$

Avec :

S : le résultat ;

W_i : le poids du facteur i ;

X_i : la valeur du critère de facteur i ;

Le tableau 3 ci-dessous donne le poids affecté à chaque critère selon son importance et sa contribution au niveau de l'indicateur.

Tableau 3: Affectation de poids aux critères

<u>INDICATEUR</u>	<u>CRITERES</u>	<u>POIDS</u>
DISPONIBILITE	Densité de drainage	0,2
	Pente	0,1
	Epaisseur d'altération	0,3
	Débit d'exploitation	0,4
		Total = 1

4.3 Méthode d'analyse multicritères

La préoccupation qui se pose dans cette méthode est :

- de définir le problème et de préciser la solution désirée
- de structurer ces critères, grâce à une hiérarchisation avec laquelle il est possible d'intervenir pour résoudre le problème.

La méthode hiérarchique multicritères (MHM) propose ainsi une démarche claire et simple à la compréhension et à la structuration des critères et sous-critères (Saley 2003). Elle se propose de classer différents paramètres et critères selon des « poids » obtenus.

A partir de cette méthode, il s'agit d'évaluer plusieurs zones géographiques, suivant leur disponibilité en eau.

a. Combinaison des critères

Une fois les critères et les intervalles de classes choisis pour chacun des critères, il a été procédé à la combinaison de ces critères. Plusieurs méthodes de combinaison existent comme la méthode hiérarchique. Celle de la pondération qui est la plus couramment a été utilisée. Néanmoins, cette combinaison par pondération est délicate, car pose parfois le problème sur le choix des « poids » affectés. Pour faciliter les combinaisons, il est ainsi préférable de tenir compte du contexte général de l'étude. Ces combinaisons peuvent se faire deux à deux, et d'autres combinaisons sont possibles à partir des éléments déjà combinés.

Il est procédé à une classification des critères par ordre croissant ou décroissant, donnant un rang selon une échelle bien choisie au préalable (Très favorable, favorable, moyen et pas favorable). La figure 9 ci-dessous présente la méthodologie sous forme d'organigramme.

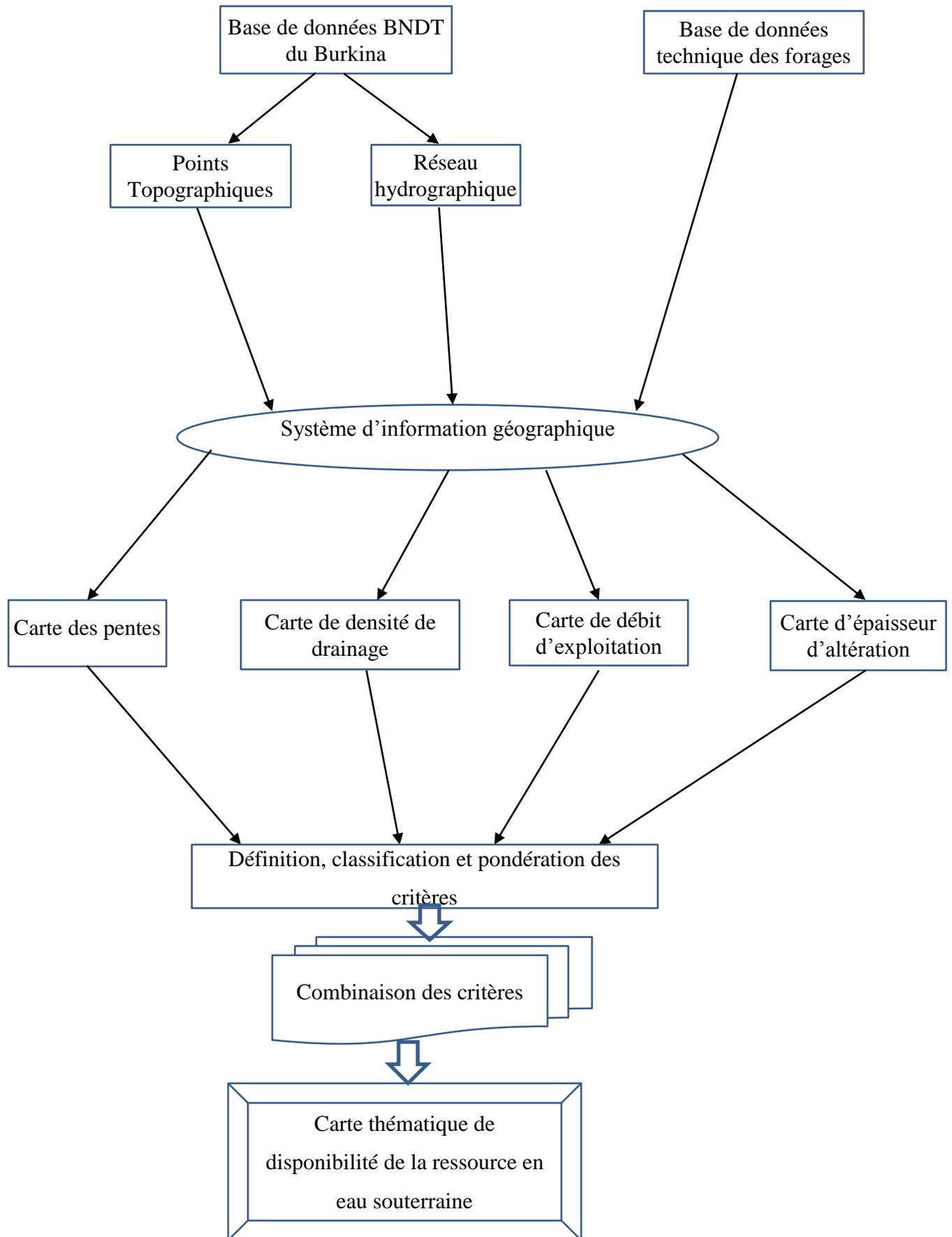


Figure 9: organigramme de la méthodologie de cartographie thématique

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Identification des forages existants ainsi que leurs caractéristiques

a. Identification par les débits

Sur la zone d'étude quatre-vingt-sept (87) forages ont été identifiés et repartis sur les différentes formations géologiques. Les forages sont principalement repartis sur deux formations géologiques à savoir la formation du groupe du mont Boumbouaka et celle de la Pendjari. Ils sont inégalement répartis entre les formations géologiques d'une part et sur une même formation géologique d'autre part. En effet, 57 % des forages étudiés sont sur la formation de la Pendjari qui est pourtant très étendue tandis que 43 % de ces ouvrages se trouvent sur la formation du mont Boumbouaka qui est peu étendue (figure 10). En outre, les forages sont plus concentrés dans la partie nord de la commune de Logobou, et dans les communes de Tansarga et Tambaga.

Une explication de cet état de fait est que les forages d'hydrauliques villageoises sont réalisés dans les zones d'habitation afin de faciliter l'accès de l'eau à la population. Dans le contexte du Burkina Faso, l'un des critères de l'accès à l'eau potable est que l'ouvrage doit être situé à moins d'un kilomètre (1 km) de l'utilisateur (PN-AEPA 2006).

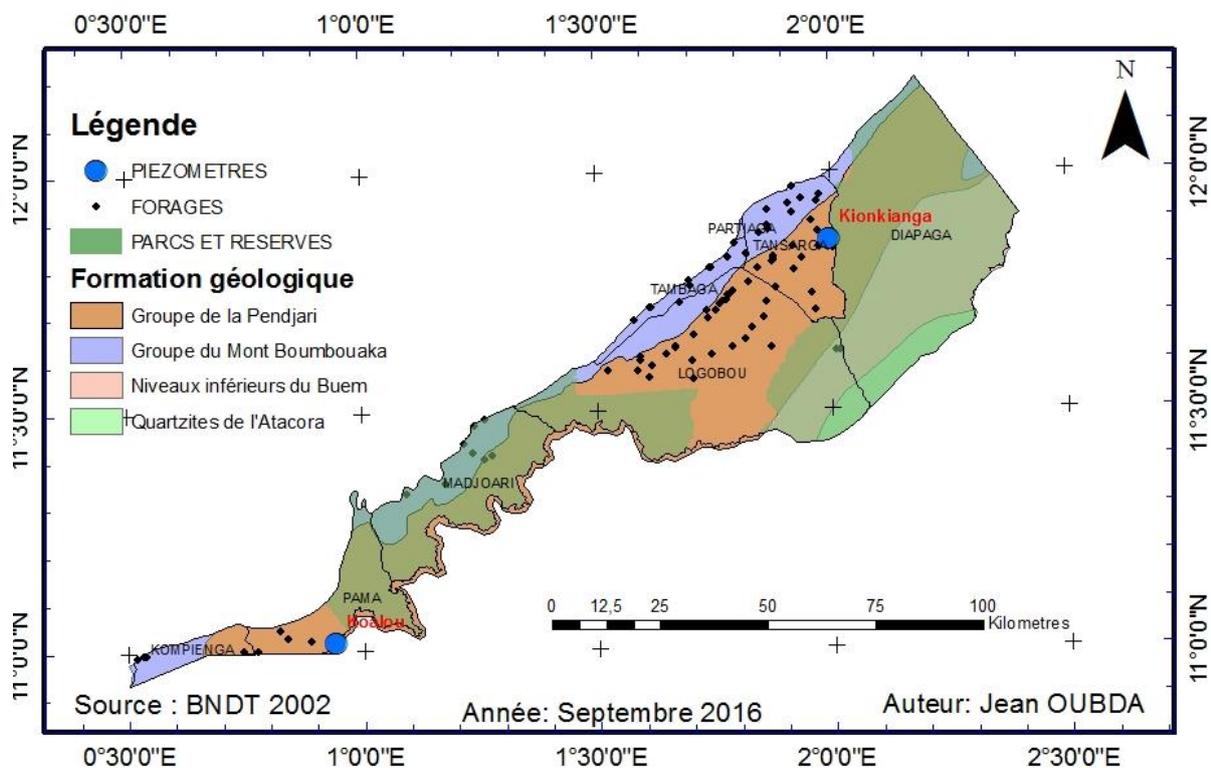


Figure 10 : Répartition spatiale des forages

Sur l'ensemble des 87 forages étudiés, 49% ont un débit inférieur à 5 m³/h. Seulement 6% des forages étudiés ont un débit supérieur à 20 m³/h (Tableau.4). Le plus grand débit de l'échantillon de la zone d'étude est de 25 m³/h.

Tableau 4: Classification des forages par intervalle de débit

	[0 à 5[[5 à 10[[10 à 15[[15 à 20[[20 à 25[Total
Nombre de forages	43	23	12	4	5	87
Pourcentage	49%	26%	14%	5%	6%	100%

La classification des forages par ordre de débits cumulés (tableau 5) a permis de constater que 10 % des forages ont un débit supérieur à 15 m³/h, 24 % ont un débit supérieur à 10 m³/h et jusqu'à 51 % des forages ont plus de 5 m³/h comme débit. Ce qui est assez intéressant pour l'hydraulique urbaine. En effet, dans la pratique, en matière d'équipements en infrastructures hydrauliques d'approvisionnement en eau potable au Burkina Faso, un système d'AEPS ne doit être installé que si la ressource peut produire au moins 5 m³/h.

Les forages qui sont capables de produire plus de 10 m³/h présentent un très grand intérêt pour l'approvisionnement en eau potable à l'échelle inter village ou intercommunale. Ces ouvrages qui représentent 21 % de l'échantillon sont principalement localisés dans la zone de Madjori et de Tambaga

Tableau 5: Classification de forages par classes de débits cumulés

	Q>= 0,07	Q>= 5	Q>=10	Q>=15	Q>=20
Nombre	87	44	21	9	5
Pourcentage	100%	51%	24%	10%	6%

Les résultats ci-dessous (tableau 6) expriment la répartition spatiale des forages pour la formation géologie.

Ce classement a permis de constater que les débits inférieurs à 5 m³/h sont relativement peu nombreux (30%) dans la formation du Boumbouaka par rapport la formation de la Pendjari (64%). Aussi, les débits supérieurs à 20 m³/h y sont plus importants avec un taux de 8% contre 4% pour la formation de la Pendjari.

Il convient donc de dire que la formation du mont Boumbouaka est plus disposé à fournir de grands débits que la formation de la Pendjari.

Tableau 6: Classification des forages par intervalle de débit et par formation géologique

	[0 à 5[[5 à 10[[10 à 15[[15 à 20[[20 à 25]
Boumbouaka	30%	38%	14%	11%	8%
Pendjari	64%	18%	14%	0%	4%

La classification des forages par classes cumulées de débits et par la formation géologique (tableau 7) a montré que la formation du groupe du Mont Boumbouaka présente un taux plus élevé (70 %) de forages capables de produire plus de 5 m³/h. Dans la même formation géologique, ce taux est de 32 % pour les débits supérieurs à 10 m³/h, 19 % pour les débits supérieurs à 15 m³/h et 8 % pour des débits supérieurs à 20 m³/h.

Par contre dans la formation de la Pendjari, la chance d'obtenir des forages capables de produire des débits importants est réduite.

Sur le plan de la répartition spatiale des débits produits par les forages existants, il convient de noter que la formation du groupe du Mont Boumbouaka contient plus de forages capables de produire des débits importants. Cela est conforté par sa structure géologique essentiellement constituée de grès-quartzique à granulométrie moyenne et fine (Castaing and Le Métour 2003).

Tableau 7: Classification des forages par classe de débit et par formation géologique

	Q>= 0,7	Q>= 5	Q>=10	Q>=15	Q>=20
Boumbouaka	100%	70%	32%	19%	8%
Pendjari	100%	36%	18%	4%	4%

b. Corrélation entre le débit d'exploitation des forages et profondeurs totales des forages.

Les forages de l'échantillon étudié sont peu profonds. Les différentes formations présentes des profondeurs moyennes quasi identiques (≈ 37 m). Le forage le plus profond a été rencontré dans la formation du mont Boumbouaka correspondant à une profondeur de 62 m. ce forage se trouve à Tambaga au pied de la falaise de Gobnangou.

L'évolution du débit en fonction de la profondeur révèle qu'aucune corrélation n'existe entre ces deux paramètres (figure 11).

Cela s'explique par le fait que d'une part dans la pratique, les projets d'hydraulique villageoises fixent au préalable certaines conditions d'arrêt de foration basées sur les profondeurs de foration ou les débits de projet à atteindre et d'autre part, l'hétérogénéité des aquifères sédimentaires très consolidés (se comportant comme le socle cristallin) ne permet pas d'établir une telle corrélation.

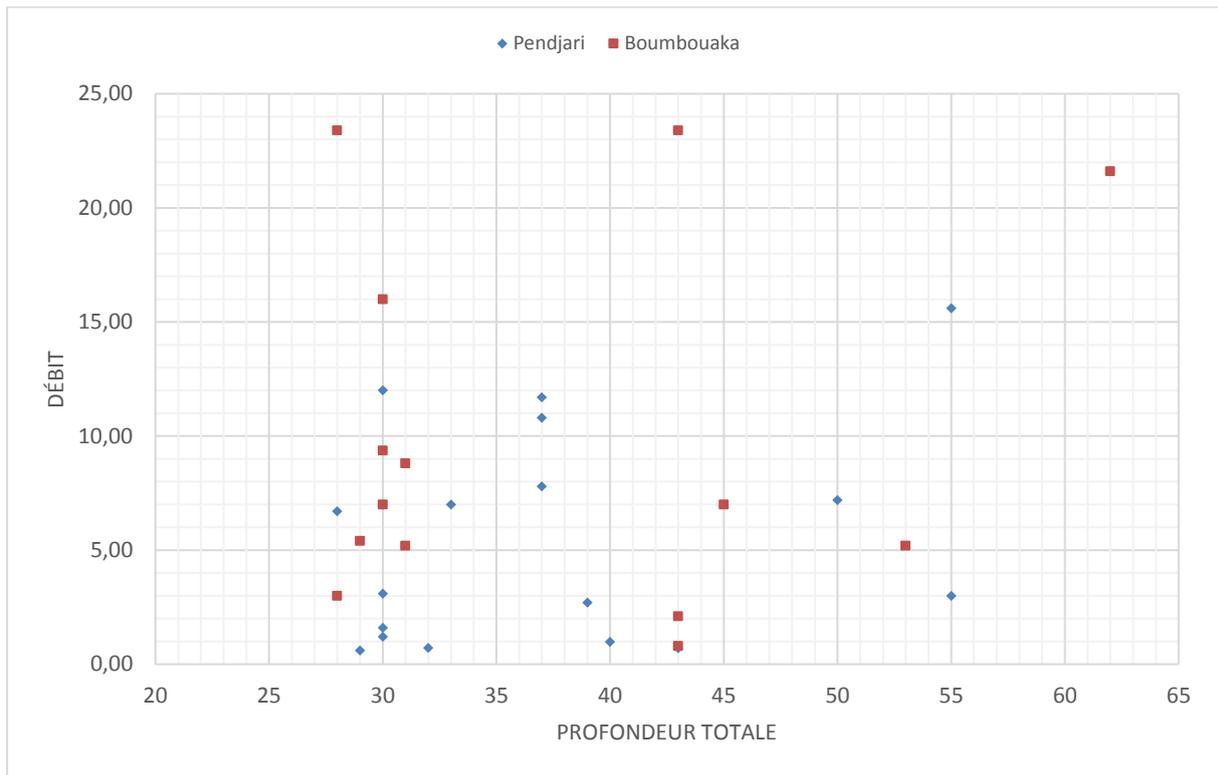


Figure 11: Corrélation entre débit et profondeur totale de forage

c. Corrélation entre le débit d'exploitation des forages et l'épaisseur d'altération

L'épaisseur d'altération moyenne est de 15,84 m pour l'ensemble des formations géologiques. L'épaisseur maximale de l'altération sur l'ensemble des forages est de 45 m. Elle a été rencontrée dans la formation du mont Boumbouaka à Tansarga. Pour les formations de la Pendjari la plus grande épaisseur d'altération est de 28 m.

L'analyse de l'évolution du débit en fonction de l'épaisseur d'altération révèle qu'aucune relation évidente n'existe entre ces paramètres (figure 11). Cependant, il est évident que l'altération joue un rôle important dans le taux de succès des forages. En effet, les altérations sont plus épaisses au droit des fractures et jouent un rôle capacitif pour l'aquifère fracturé.

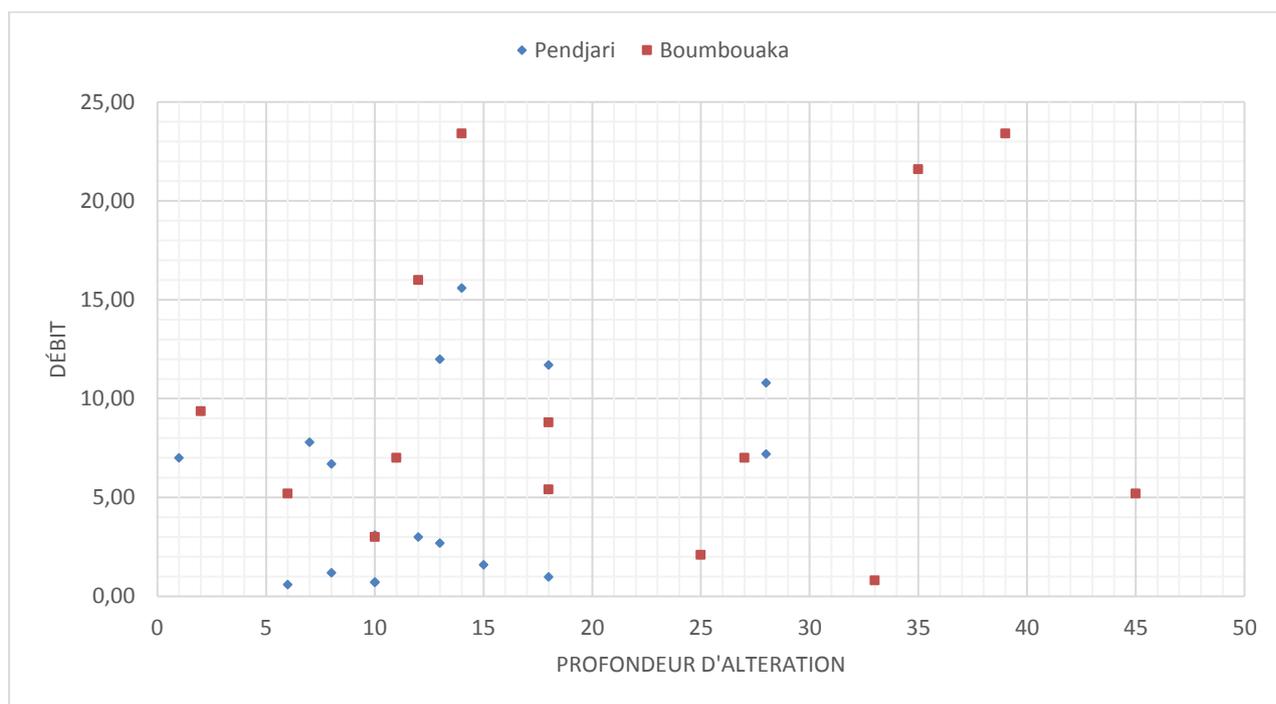


Figure 12: Corrélation entre profondeur d'altération et débit

2. Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère

2.1 Transmissivité

Sur les 42 forages dont les données de pompage ont été utilisés pour la détermination des transmissivités, les résultats ont montré que dans l'ensemble, la transmissivité varie de $2,58 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à $3,32 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ avec une moyenne de $2,29 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Pour la formation sédimentaire du groupe du Mont Boumbouaka, les transmissivités varient de $6,74 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à $2,19 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ avec une moyenne de $3,69 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ tandis qu'elles sont de $2,58 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à $4,06 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ avec une moyenne de $1,10 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la formation sédimentaire du groupe de la Pendjari. (Tableau 8)

Tableau 8: Eléments de statistique descriptive sur les transmissivités calculées

	Sédimentaire		Ensemble
	Boumbouaka	Pendjari	
Moyenne (m^2/s)	$3,69 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-4}$	$2,29 \times 10^{-4}$
Écart-type	$6,37 \times 10^{-4}$	$9,78 \times 10^{-5}$	$4,87 \times 10^{-4}$
Minimum (m^2/s)	$6,74 \times 10^{-6}$	$2,58 \times 10^{-6}$	$2,58 \times 10^{-6}$
Maximum (m^2/s)	$2,19 \times 10^{-3}$	$4,06 \times 10^{-4}$	$3,32 \times 10^{-3}$

Pour les essais de pompage de longue durée, la transmissivité déterminées sont de l'ordre de

$2,44 \times 10^{-4} m^2/s$. Cette transmissivité calculée avec l'essai de pompage de longue durée est dans le même ordre de grandeur que la transmissivité calculée avec les essais de pompages de courte durée.

Une analyse des résultats par formation géologique, montre que la formation de la Pendjari présente les valeurs de transmissivité les plus faibles de l'échantillon tandis que, les valeurs les plus élevées de transmissivité se trouvent dans la formation du mont Boumbouaka.

La formation sédimentaire de la région de l'est est une formation très ancienne (Néoprotérozoïque) qui est assez consolidée. Ce qui explique en partie les faibles valeurs de transmissivité. L'interpolation des transmissivité sur la formation géologique de la zone d'étude a montré que la formation du mont Boumbouaka regroupe les meilleurs transmissivité par rapport à la formation de la Pendjari.

La figure 13 ci-dessous illustre la méthode semi-logarithmique de Jacob qui a été utilisé pour la détermination de la pente qui a servi pour le calcul de la transmissivité.

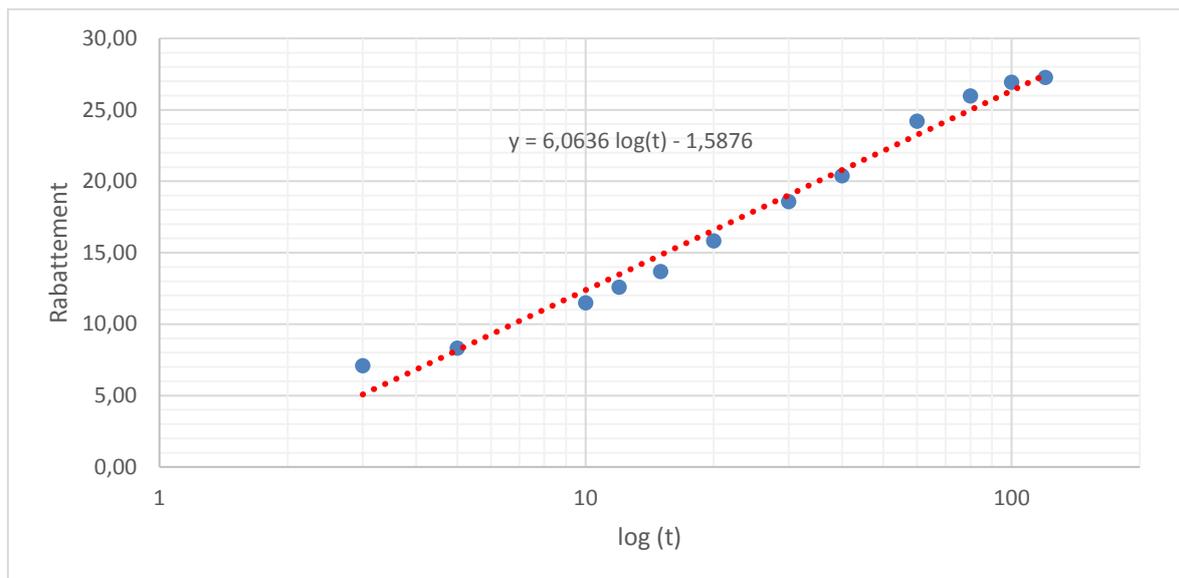


Figure 13: Illustration du calcul de la transmissivité

2.2 : Le débit spécifique

Le tableau 9 ci-dessous présente les valeurs de débit spécifique Il faut constater que les valeurs extrêmes (le maximum et le minimum) ont été identifiées dans la formation de la Pendjari tandis que la moyenne la plus élevée a été constatée dans la formation du groupe du mont Boumbouaka.

Dans le cadre de sa thèse Denis Dakouré a trouvé des valeurs de débits spécifiques allant de $0,03 m^3/h/m$ à $263,2 m^3/h/m$ avec une moyenne de $6,84 m^3/h/m$ (Dakoure, 2003). cela résulte

du fait que les forages réalisés dans le sédimentaire de l'est sont moins productifs. En effet, le débit spécifique exprime la productivité de l'aquifère.

Tableau 9: Eléments de statistique descriptive sur les débits spécifiques calculés

	Sédimentaire		Ensemble
	Boumbouaka	Pendjari	
Moyenne (m ³ /h/m)	0,57	0,41	0,45
Écart-type	0,69	0,57	0,58
Minimum (m ³ /h/m)	0,04	0,02	0,02
Maximum (m ³ /h/m)	2,51	2,67	2,67

3. Estimation de la recharge et de la décharge de l'aquifère

3.1 Variation piézométrique

a. Piézomètre de Kionkianga

La figure 14 présente la variation du niveau de la nappe observée dans le piézomètre de Kionkianga et la pluviométrie mesurée par la station de Pama. Pour la recharge pendant les années pour lesquelles les données sont disponibles, le niveau de la nappe varie de 4,020 m en 2012 à 5,940 m en 2008 tandis que pour les périodes de décharge il varie de 1,260 m entre 2012 et 2013 à 5,020 m entre 2005 et 2006.

Aussi, on constate sur la figure 14 ci-dessous que le niveau bas de la courbe piézométrique est dans une tendance d'augmentation. :

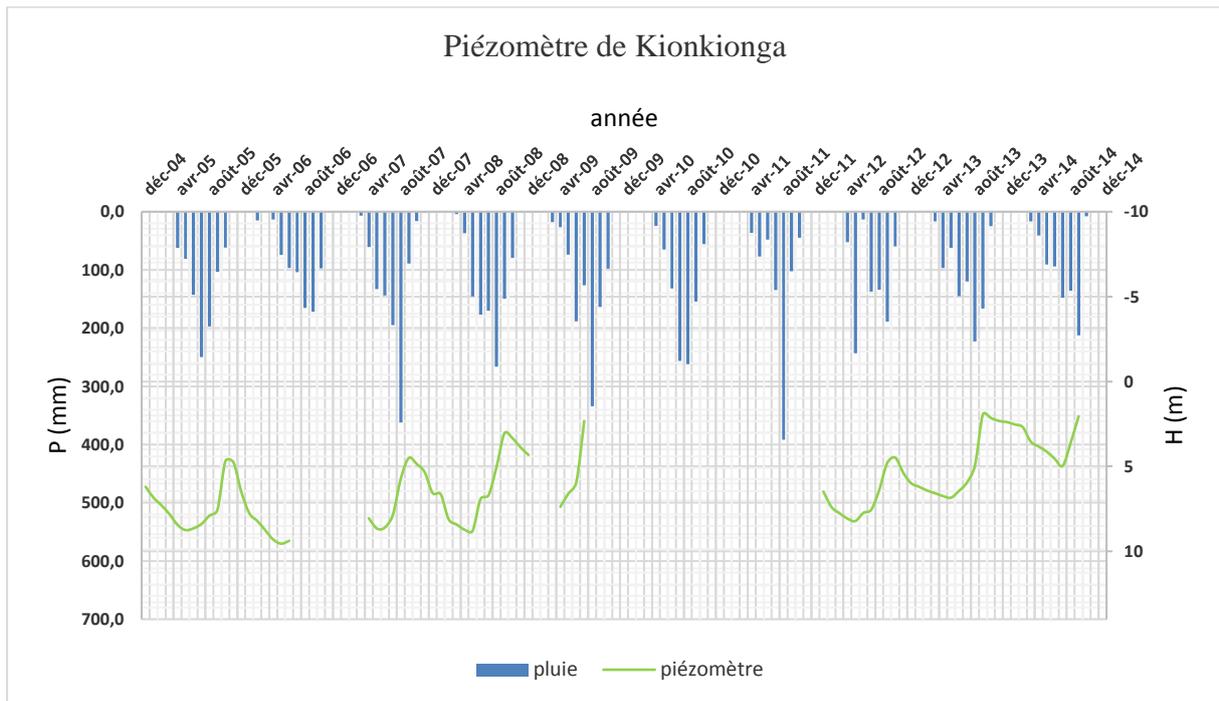


Figure 14: Variation du niveau statique du piézomètre de Kionkionga

b. Station de Koalou

La figure 15 montre la variation du niveau de la nappe observée dans le piézomètre de Koalou et la pluviométrie mesurée par la station de Pama. Pour la recharge pendant les années pour lesquelles les données sont disponibles, le niveau de la nappe varie de 2,890 m en 2006 à 6,960 m en 2006 tandis que pour les périodes de décharge il varie de 3,890 m entre 2005 et 2006 à - 6,940 m entre 2013 et 2014.

On constate que le niveau bas de la nappe est stationnaire. Ce qui montre que la quasi-totalité de la recharge d'une année donnée est pratiquement déchargé pendant la période sèche.

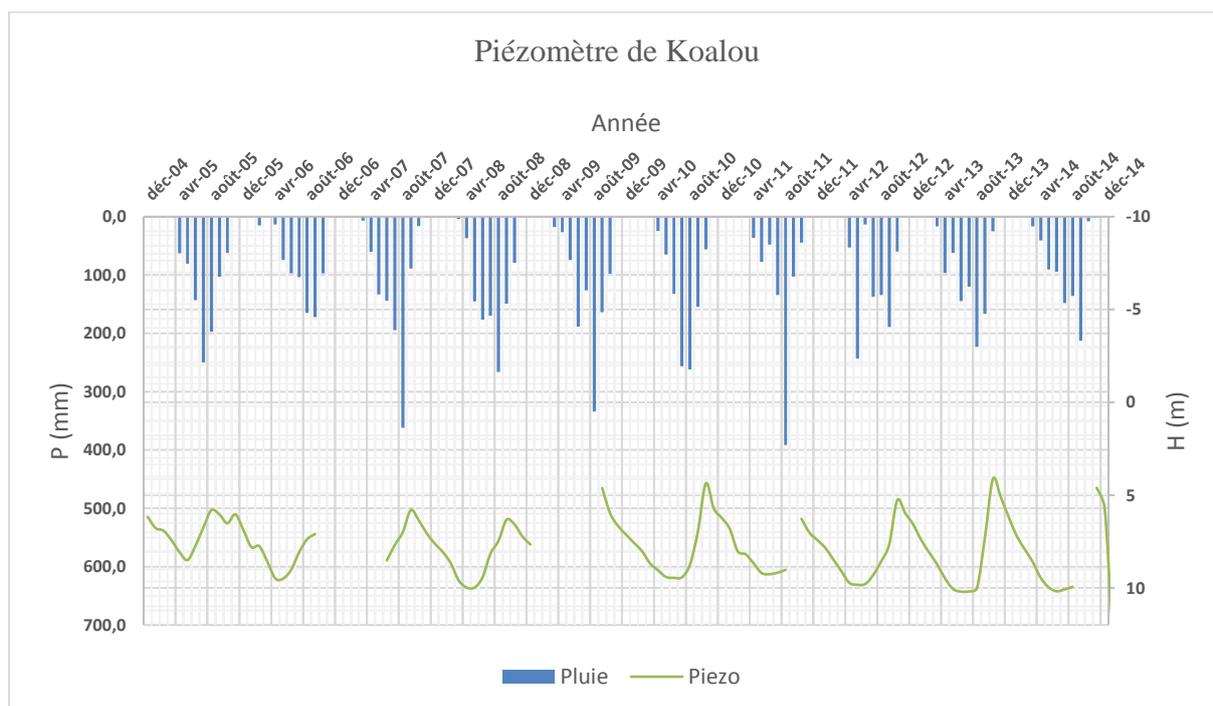


Figure 15: Variation du piézomètre de Koalou

3.2 Quantification de la recharge

a. Station de Kionkianga

La recharge moyenne varie entre 180,9 mm et 267,3 mm par an (figure 16). La faible recharge moyenne a été identifiée en 2012 tandis que la plus grande recharge a été enregistrée en 2008. Ces deux années correspondent respectivement aux années de faible pluviométrie (745,6 mm) et de forte pluviométrie (1027,8 mm) pour lesquelles les données piézométriques sont disponibles. Ce qui permet d'admettre que la recharge est influencée par la pluviométrie.

Une analyse des débuts des premières pluies et du début des recharges (point le plus bas de la courbe de variation piézométrique) montre que les premières pluies commencent entre février et avril et le début des recharges entre juin et aout. Ce qui correspond en moyenne à 4 mois de temps de réponse pour la recharge. Ce temps de réponse est fonction la nature des sols et de la conductivité hydraulique des aquifères (Dembele and Somé, 1991). Les sols à tendance argileuse sont plus imperméables et s'opposent à l'infiltration donc à la recharge tandis que les sols à tendance sableuse sont plus perméables et favorise une recharge rapide de la nappe.

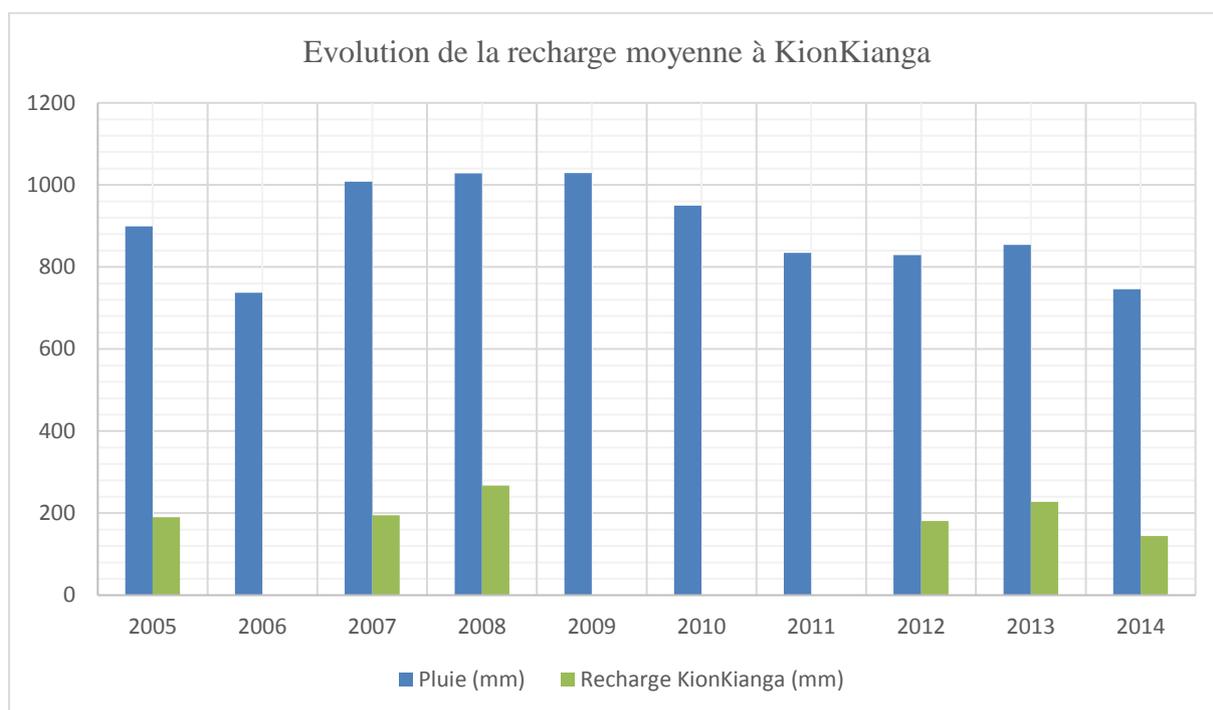


Figure 16: Evolution de la recharge moyenne à KionKianga

b. Station de Koalou

La recharge moyenne varie entre 117 mm et 313,2 mm par saison pluvieuse (figure 17). La recharge la plus faible a été enregistrée en 2006 tandis que la plus forte recharge a été enregistrée en 2013. Si la période de faible recharge correspond à l'année de faible pluviométrie, la période de forte recharge ne correspond pas à l'année de forte pluviométrie. Cela peut être due à la recharge indirecte et retardé ou par la recharge latérale.

L'analyse des périodes de premières pluies et des débuts de recharge (point le plus bas de la courbe de variation piézométrique) montre que les pluies commencent entre mars et avril tandis que les recharges commencent entre juin et juillet soit environ 4 mois d'intervalle en moyenne. Cet intervalle de temps entre le début des pluies et le début des recharges est due d'une part à la nature des sols en surface et d'autre part à la conductivité hydraulique des aquifères (Dembele and Somé, 1991).

Les mécanismes de recharge les plus prépondérants qu'on peut rencontrer dans la zone d'étude sont l'alimentation directe par voie préférentielle et l'alimentation indirecte. En effet, la présence d'un réseau important de cours d'eau favorisera une infiltration importante dans les zones de dépression et de basfond. Aussi, la présence de forêts classées permet une alimentation conséquente de la nappe à travers les fissures et galeries provoquées par les racines des arbres.

Cependant les recharges qui ont été calculées sont locales et ne concernent que l'entourage immédiat du piézomètre. Le mécanisme de recharge par alimentation directe n'est pas beaucoup considéré car le sédiment est consolidé et peut par endroit se comporter comme le socle cristallin. Dans la région de l'est notamment dans le bassin versant du Barrage de la Kompienga, une étude menée par Sandwidi sur la recharge de la nappe donne des valeurs allant de 20 mm à 395 mm par an en fonction de la formation géologique (Sandwidi 2007). Ces valeurs sont proches de ce qui est trouvé dans cette étude.

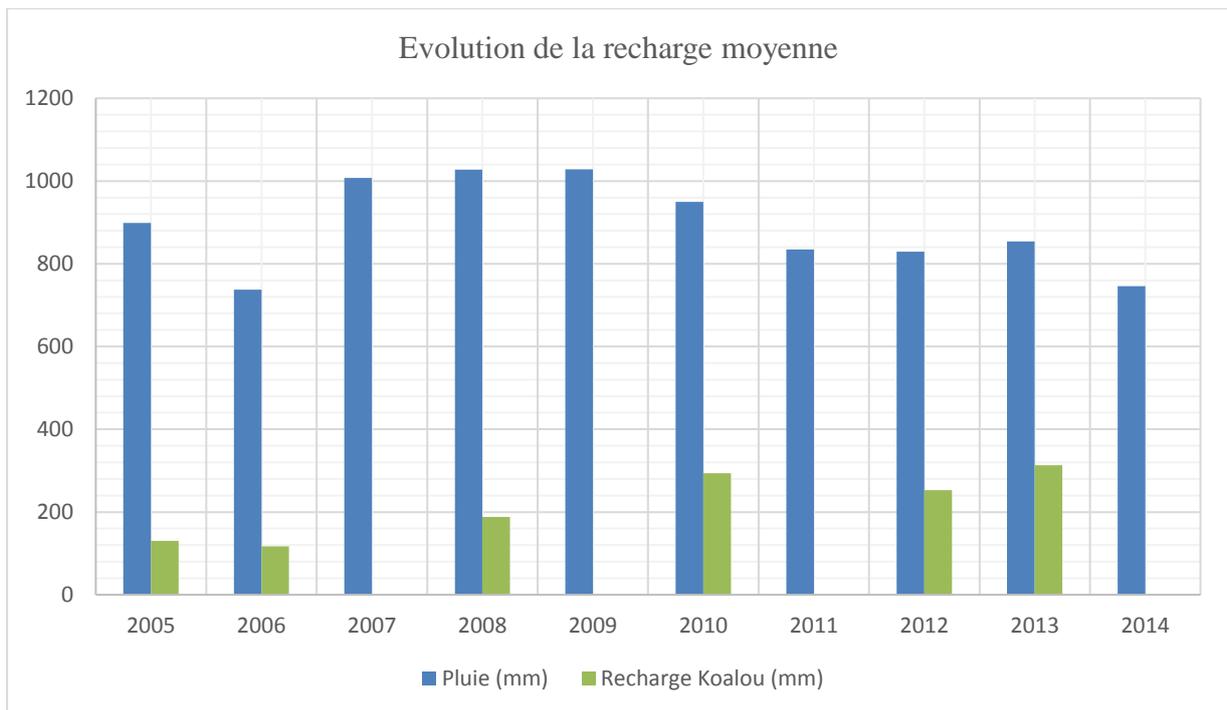


Figure 17: Evolution de la recharge moyenne des aquifères de Kionkianga et de Koalou dans le temps

3.3 Quantification de la décharge

a. Station de Kionkianga

Les résultats montrent que la décharge de la nappe varie entre 118,8 mm et 225,9 mm. La plus faible décharge a été observée entre 2012 et 2013 et la plus forte décharge s'est produite entre 2005 et 2006 (figure 18).

On constate que la décharge n'est pas liée ni à la pluviométrie de l'année précédente, ni à la pluviométrie de l'année suivante. Nous ne disposons pas de données permettant d'estimer la décharge par évapotranspiration. Cependant, il convient d'admettre que ce phénomène joue un rôle important dans la décharge sur la zone d'étude au vu du couvert végétal important.

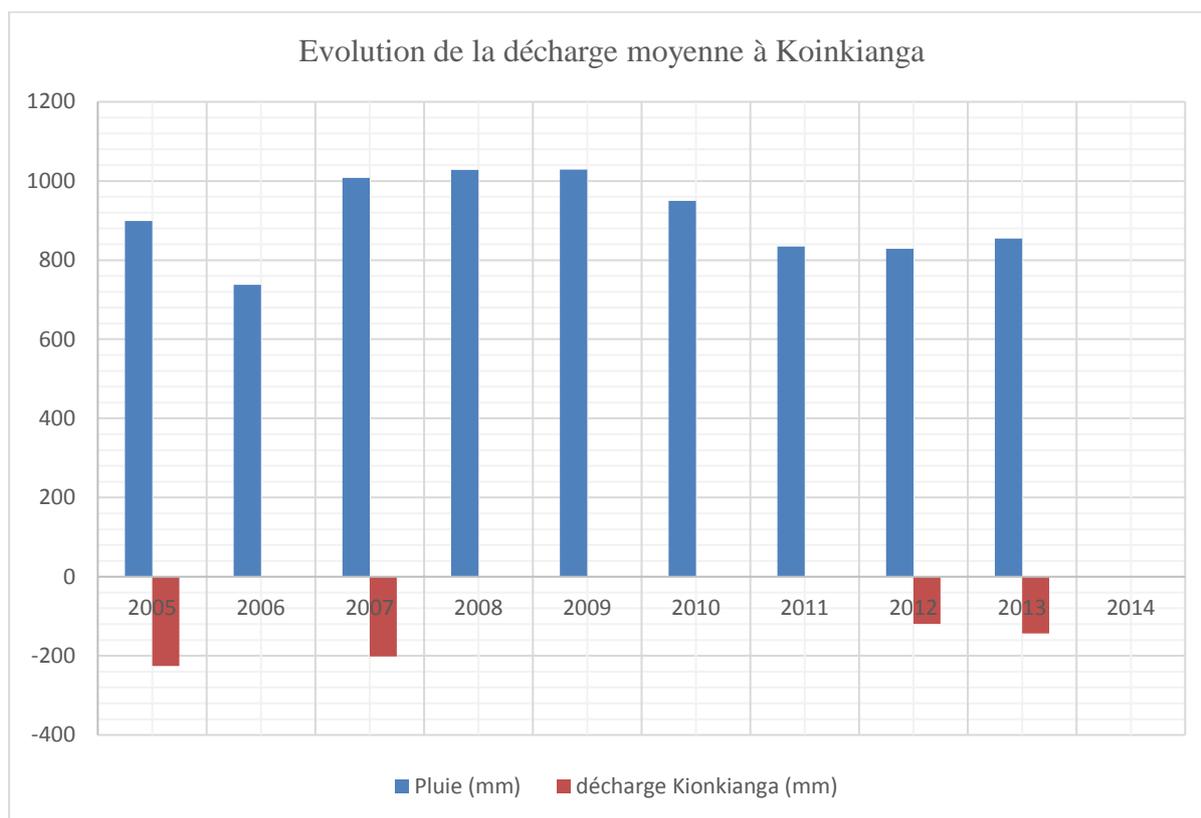


Figure 18: Evolution de la décharge moyenne des aquifères de Kionkianga dans le temps

b. Station de Koalou

Les résultats montrent qu'au niveau du piézomètre de Koalou, la décharge la plus faible a été observée au cours du cycle hydrologique 2005 à 2006 et plus élevée pendant la saison 2013 à 2014 (figure 19). Elle varie entre 137,7 mm à 312,3 mm.

On constate que la décharge n'est pas liée ni à la pluviométrie de l'année précédente, ni à la pluviométrie de l'année suivante. Nous ne disposons pas de données permettant d'estimer la décharge par évapotranspiration. Cependant, il convient d'admettre que ce phénomène joue un rôle important dans la décharge sur la zone d'étude au vue du couvert végétal important.

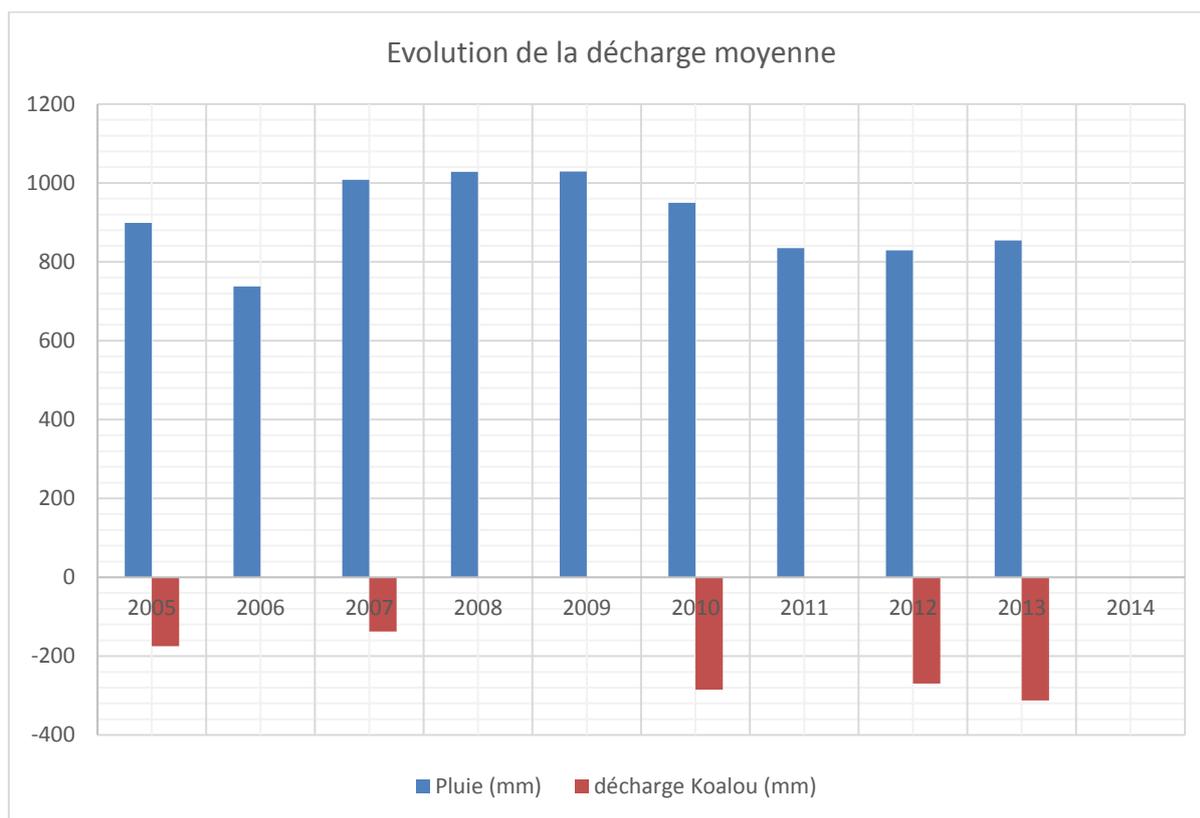


Figure 19: Evolution de la décharge moyenne des aquifères de Koalou dans le temps

3.4 Variation interannuelle

Le calcul de la variation entre deux cycles hydrologiques du niveau statique a permis de constater que le niveau statique atteint le point le plus haut pendant les années bien arrosées (2007 pour Kionkianga) et le point le plus bas pendant les années de faible pluviométrie (2012 pour Koalou). Ce qui conforte l'idée selon laquelle la pluviométrie influence directement la recharge de la nappe.

La fluctuation saisonnière du niveau statique varie de -1 m à 0,2 m soit une amplitude de 1,2 m dans la nappe du piézomètre de Koalou et de -1,92 m à 1,87 m soit une amplitude de 3,79 m dans l'aquifère de la nappe de Kionkianga (tableau 10). Cette grande différence s'explique d'autant plus que le piézomètre de Kionkianga est très proche d'une zone reconnue favorable (parc W) à la décharge par évapotranspiration.

Tableau 10: Synthèse des variations de niveau statique :

Saison	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pluie (mm)	898,8	737,3	1007,7	1027,8	1028,6	949,7	834,6	828,9	854,2	745,6
Kionkianga		-0,8	0,89	-0,14				-1,92	1,38	1,87
Koalou		-1					0,2	-0,57	-0,37	0,02

4. Répartition spatiale des différents critères de disponibilité de la ressource en eau.

Dans cette partie, il a été question de faire une représentation spatiale des critères définis plus haut. Il s'agit notamment du débit de production des ouvrages, du débit spécifique, de la transmissivité, de la pente, de la densité de drainage, de la profondeur des ouvrages, de l'épaisseur d'altération.

4.1 Répartition spatiale des débits d'exploitation

La répartition spatiale des débits d'exploitation montre que les zones de Madjoari et de Tambaga ont des forages dont les débits sont assez importants (figure 20). Cependant la zone de Pama et une grande partie de Logobou présente des forages dont les débits sont relativement faibles (inférieur à $5\text{m}^3/\text{h}$). Le débit d'exploitation des ouvrages existant permet de se faire une idée sur la disponibilité de la ressource. En effet, plus le débit d'exploitation est important, plus on est en droit de penser que la disponibilité de la ressource en eau souterraine est importante.

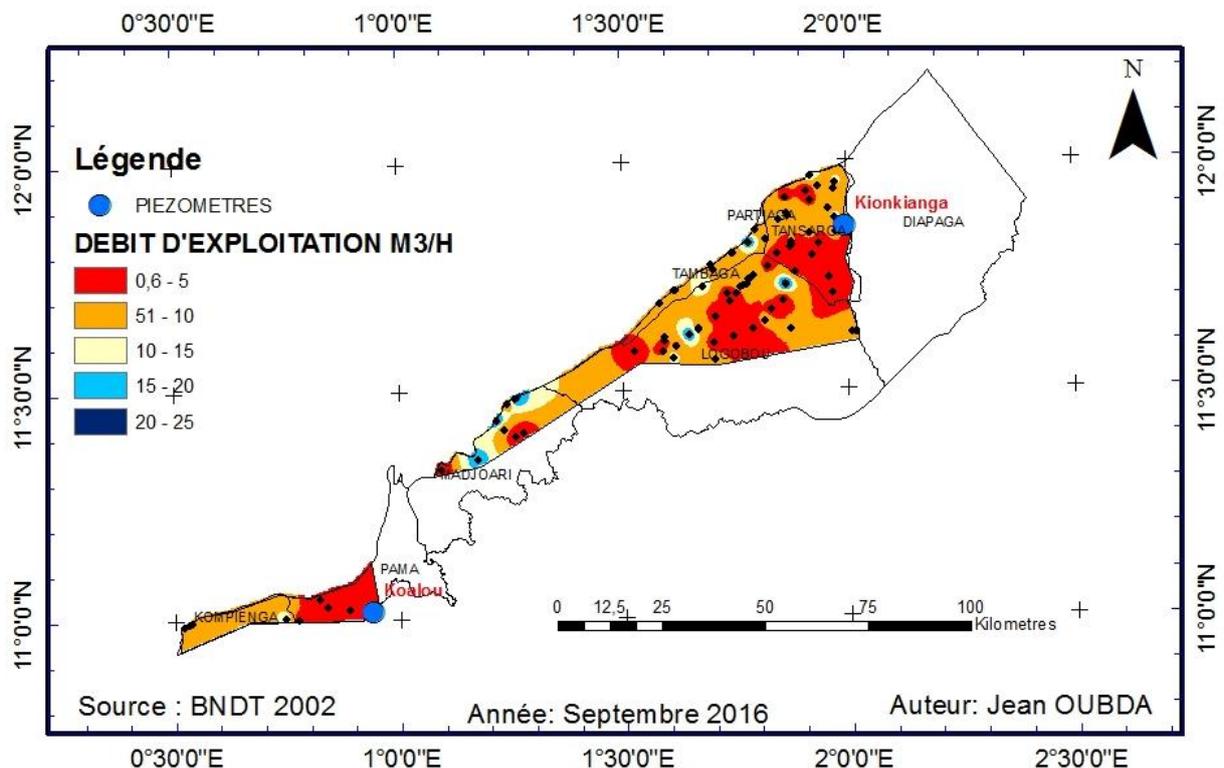


Figure 20: Répartition spatiale des débits

4.2 Répartition spatiale des épaisseurs d'altération

Les épaisseurs d'altérations sont inégalement réparties sur la zone d'étude (figure 21). De très faibles profondeurs d'altération comprises entre 0 et 10 m ont été rencontrés surtout dans les communes de Kompienga et de Tansarga. Les profondeurs d'altération supérieures à 20 m sont parsemées du nord précisément dans les communes de Diapaga, Tansarga et la partie sud de Logobou.

L'épaisseur d'altération est un paramètre important dans l'expression de la disponibilité de la ressource en eau souterraine parce qu'il contribue au renflouement des nappes par sa conductivité relativement bonne.

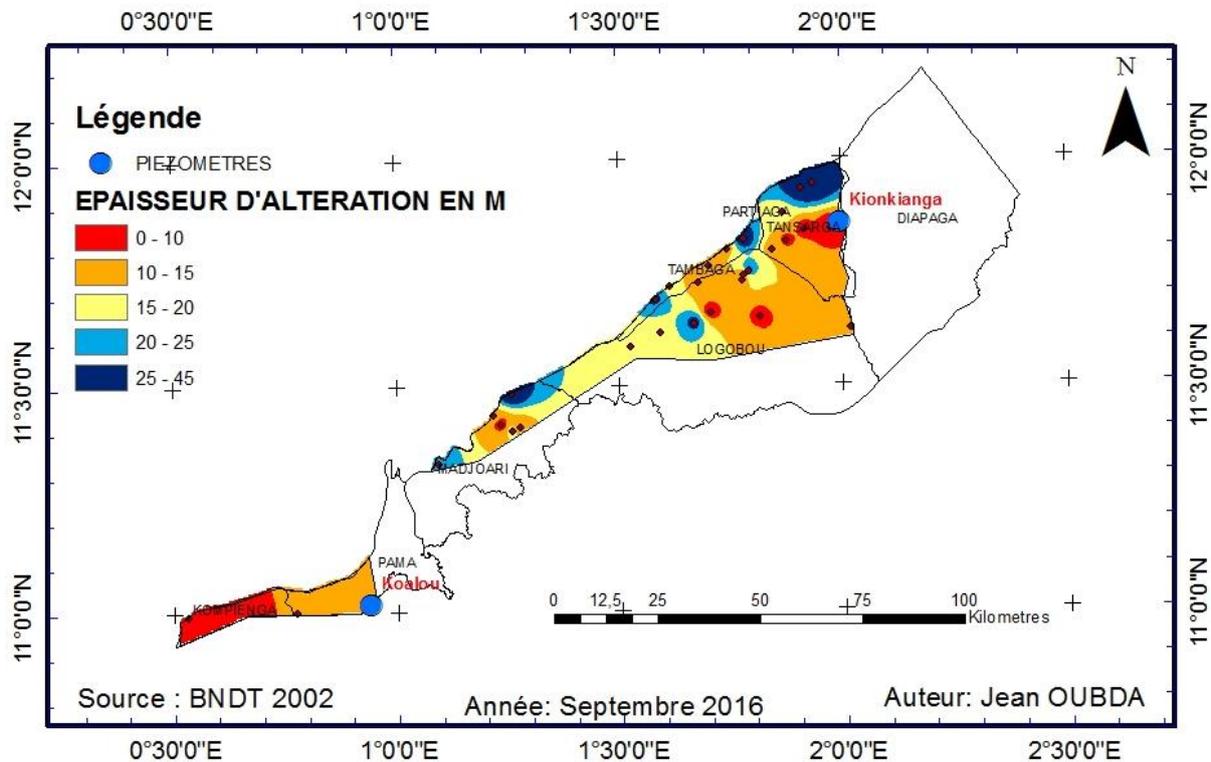


Figure 21: Répartition spatiale des profondeurs d'altération

4.3 Répartition spatiale de la densité de drainage

Le réseau hydrographique est régulièrement réparti sur l'ensemble de la zone d'étude. Les plus fortes densités sont dans les localités de Tambaga et de Tansarga notamment autour de la falaise de Gobnangou (figure 22). Les faibles densités sont rencontrées dans le parc de W dans la commune de Diapaga et au sud des communes de Pama et de Madjori.

La densité de drainage qui exprime la répartition du réseau hydrographique sur la surface de la zone d'étude montre l'importance de la quantité d'eau qui transite sur une surface donnée. Elle est donc importante pour l'alimentation de la nappe à travers une alimentation indirecte par voie préférentielle.

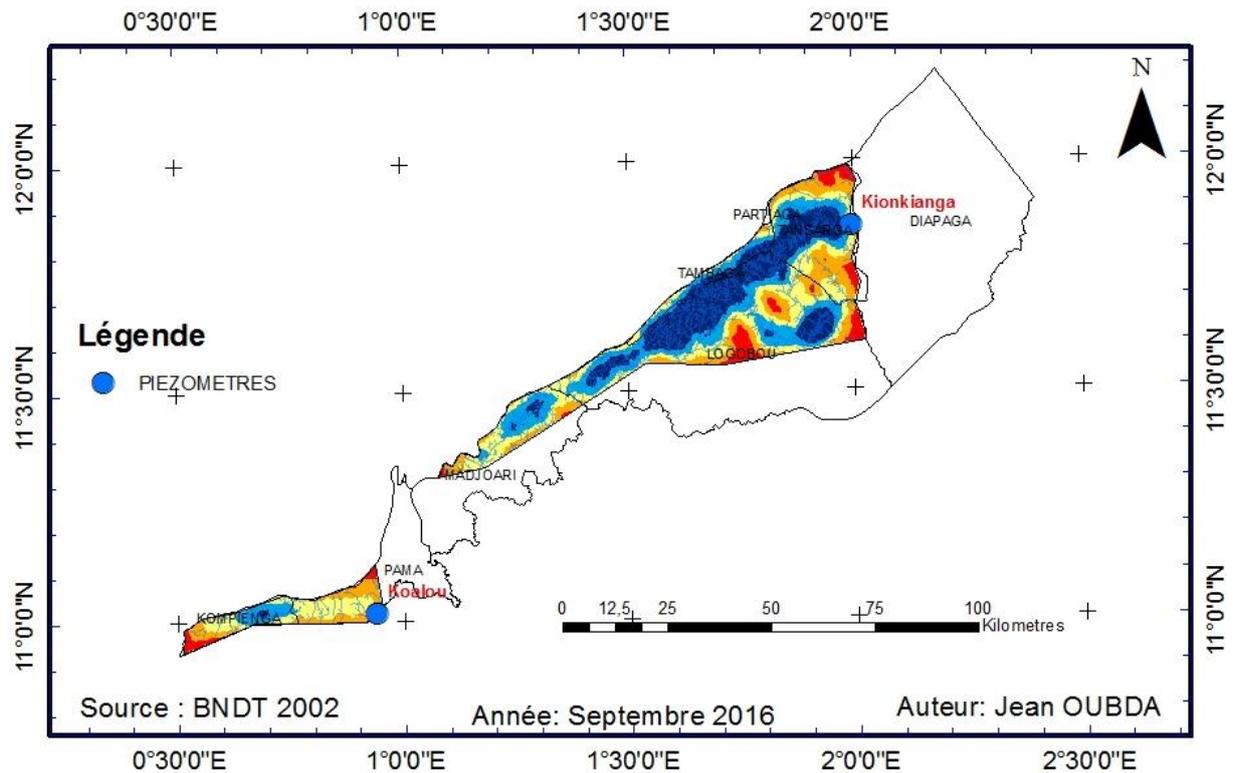


Figure 22: Répartition spatiale de la densité de drainage du réseau

4.4 Répartition spatiale des pentes

La zone d'étude est relativement plate. La plus grande partie de la zone a une pente inférieure à 1% (figure 23). La frontière avec le Benin est principalement constituée de basfond autour du fleuve Pendjari. Les plus grandes pentes sont rencontrées à Tambaga et au nord de Logobou notamment autour de la falaise de Gobnangou.

La pente favorise le ruissellement de surface ou l'écoulement dans les cours d'eau. Ainsi, les pentes fortes entraînent un ruissellement et un écoulement très rapides et ne favorise donc pas l'infiltration. Aussi, les pentes faibles peuvent être constituées de basfond ou de zone de dépôt de matière fine réduisant ainsi la capacité d'infiltration du sol. Une pente modérée est bonne pour une réalimentation de la nappe.

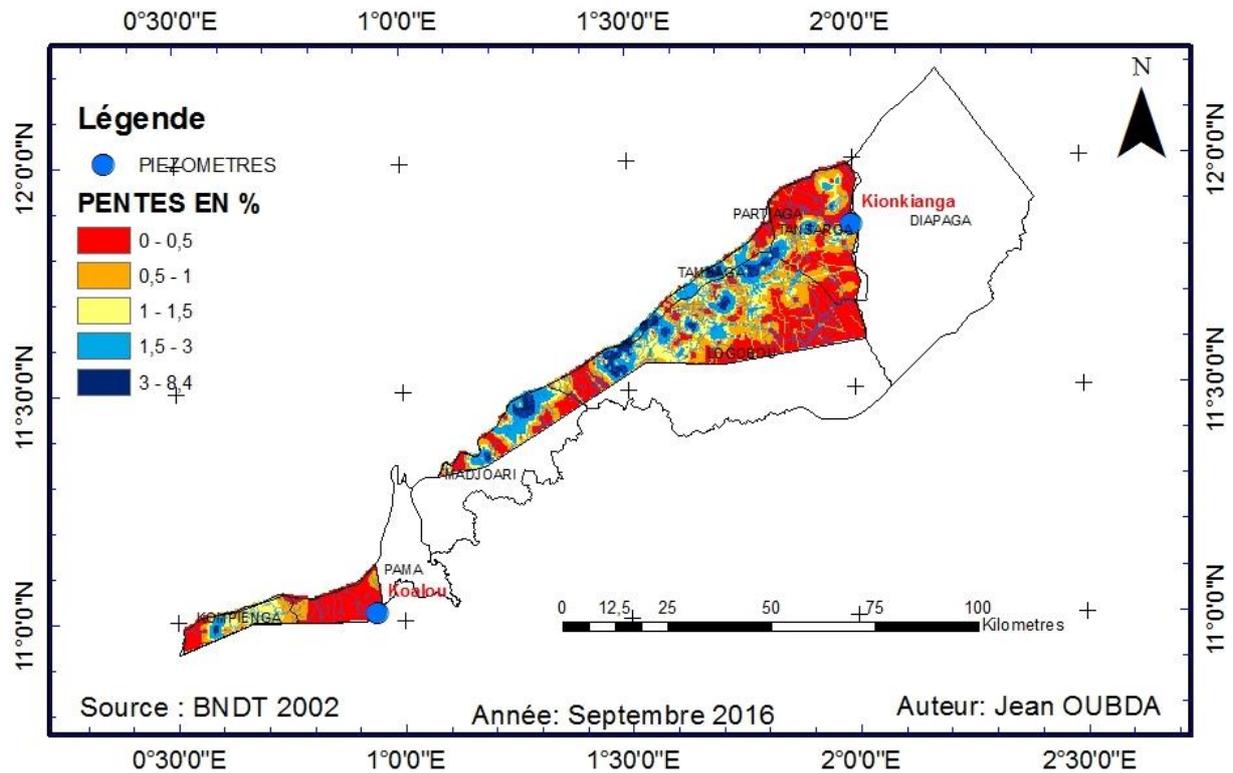


Figure 23: Répartition spatiale des pentes du terrain

4.5 Répartition spatiale des débits spécifiques

La carte indique que les débits spécifiques qui ont été calculés sont importants dans les zones de Tansarga, Tambaga et une partie de Logobou. Il est relativement faible dans une grande partie représentée par les débits spécifiques situés entre 0,1 et 0,5 m³/h/m. Une zone isolée dans la commune de Pama indique un très faible débit spécifique (figure 24).

Le débit spécifique est l'expression de la productivité de l'aquifère. Plus le débit spécifique est important, plus l'aquifère est productif.

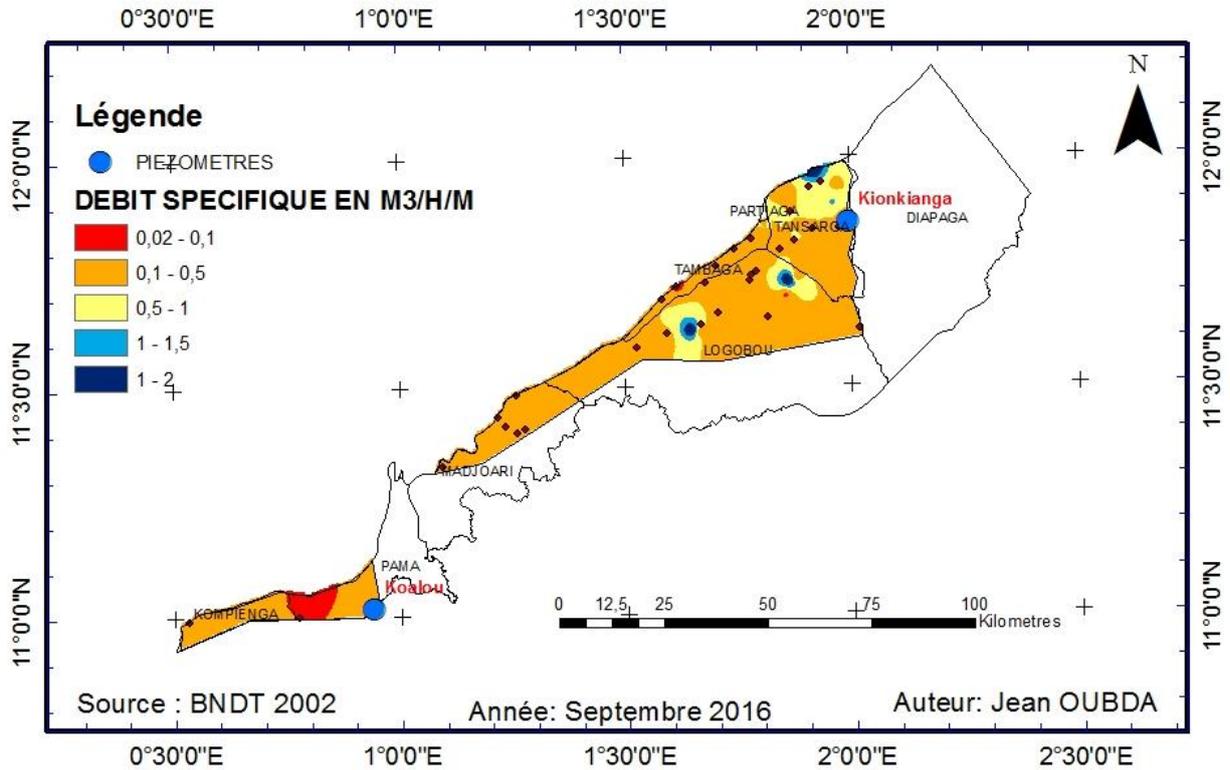


Figure 24: Répartition spatiale des débits spécifiques

4.6 Répartition spatiale de la transmissivité des aquifères

La répartition spatiale de la transmissivité ci-dessus a permis de noter une bande de bonne transmissivité (10^{-3} à 10^{-4} m²/s). Les autres représentent une transmissivité relativement faible (figure 25). La transmissivité à l'image du débit spécifique exprime aussi la productivité de l'aquifère

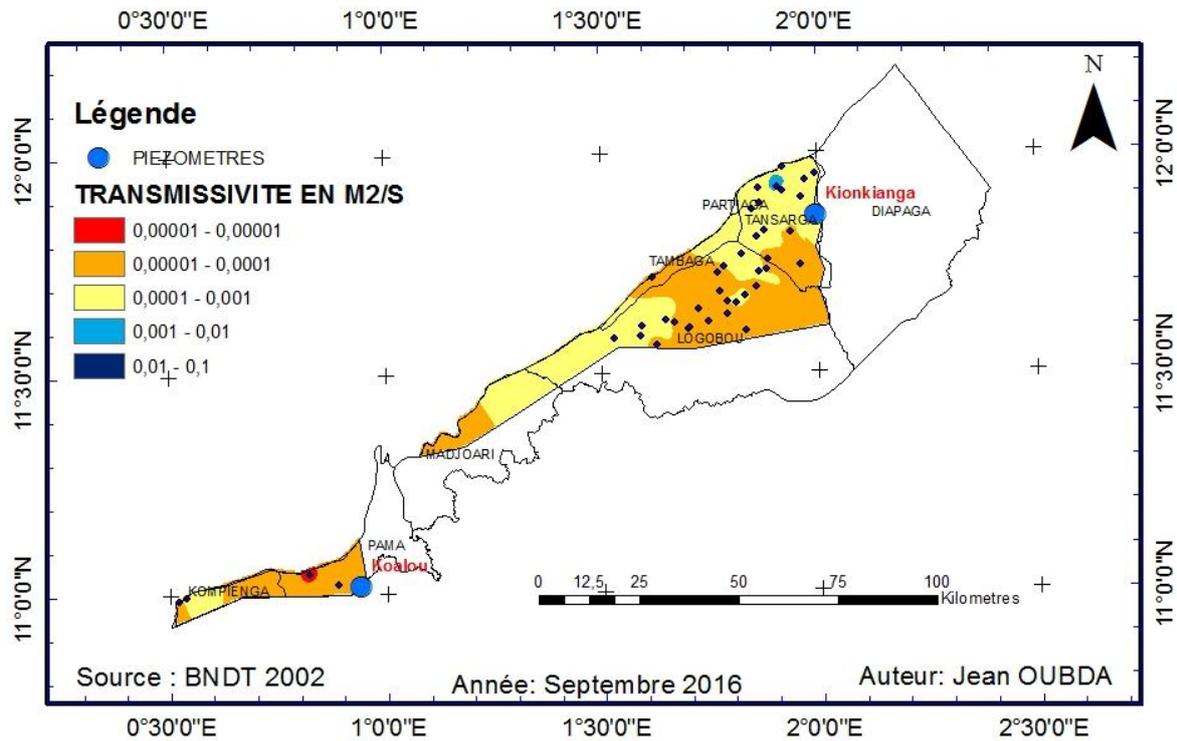


Figure 25: Répartition spatiale des transmissivité

4.7 Répartition spatiale des profondeurs totales

Sur une grande étendue représentée par la couleur jaune, les forages réalisés ont des profondeurs relativement faible. Ces profondeurs sont entre 30 et 40 m. Les grandes profondeurs sont parsemées un peu partout du nord au sud (figure 26).

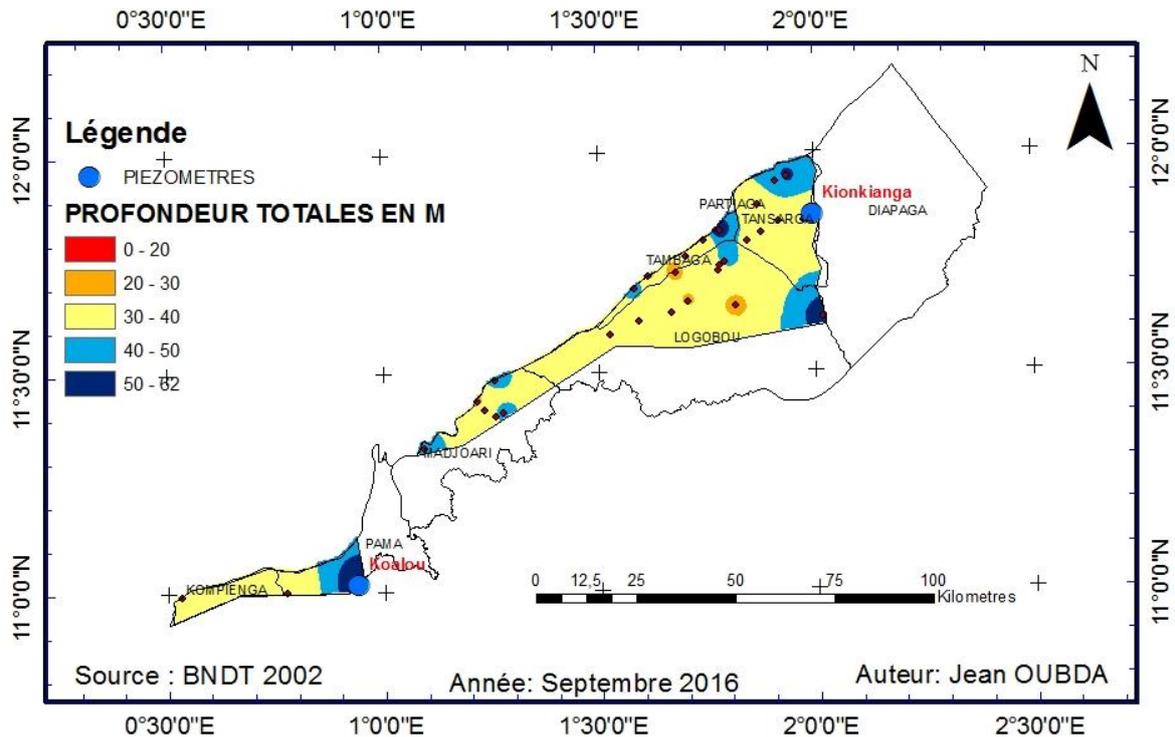


Figure 26: Répartition spatiale des profondeurs des ouvrages

5. Cartographie thématique.

➤ Carte de disponibilité de la ressource

La combinaison de plusieurs critères ayant trait à la disponibilité de la ressource en eau souterraine a donné les résultats suivant sous forme de carte thématique (figure 27).

On constate que la disponibilité de la ressource est favorable et très favorable sur une grande partie de la zone d'étude notamment dans la formation sédimentaire de Boumbouaka. Par contre la disponibilité n'est pas favorable sur la partie sud de la commune de Logobou et dans les communes de Pama et Kompienga.

Les zones de disponibilité favorable et très favorable sont les zones les plus recherchées. Ces zones sont plus situées sur la formation sédimentaire du mont Boumbouaka. Cette formation, présente une structure sédimentaire favorable au stockage de la ressource en eau souterraine. Aussi, l'épaisseur d'altération y est plus importante (21,07 m en moyenne avec un maximum de 45 m). La densité de drainage y est aussi la plus élevée (supérieur à 1). La densité de drainage élevée a un impact important dans l'alimentation de la nappe à travers le mécanisme de recharge indirecte par voie préférentielle.

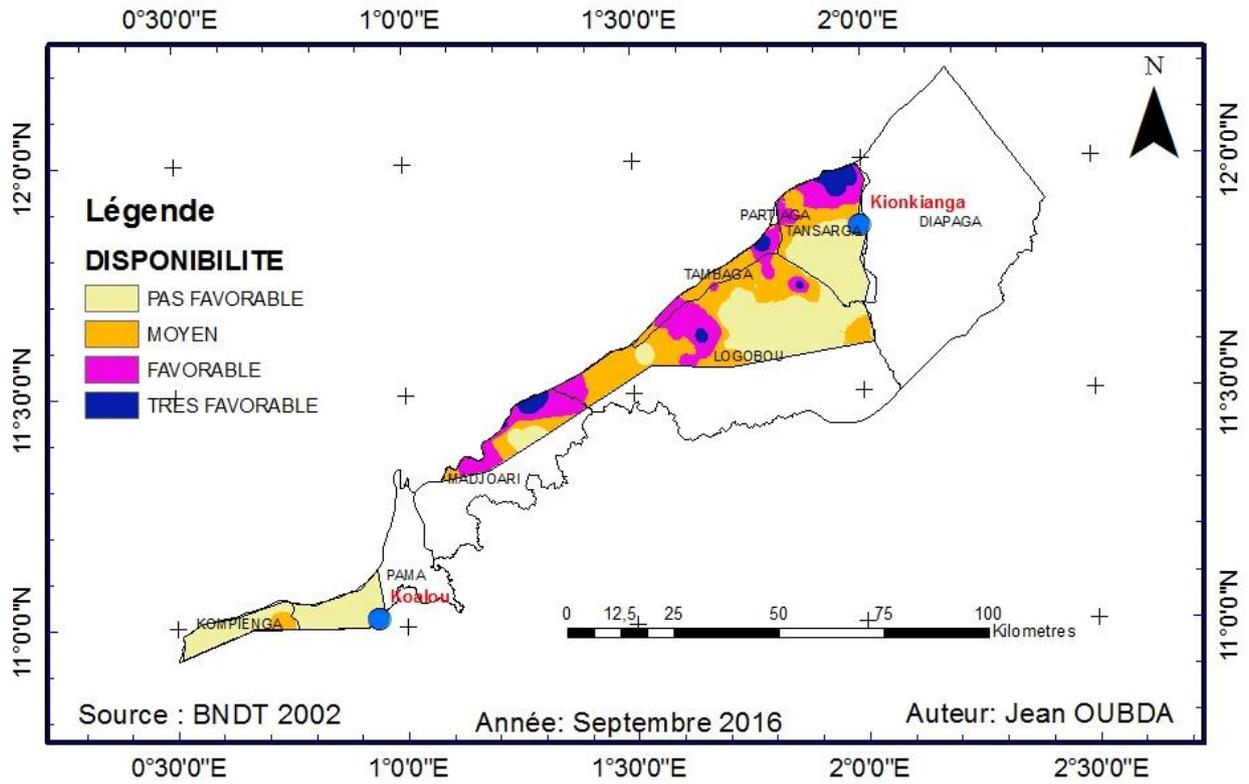


Figure 27 : Cartographie thématique de la disponibilité de la ressource en eau

V. CONCLUSIONS

Au terme de cette étude sur la disponibilité de la ressource en eau souterraine de la zone sédimentaire du sud est nous pouvons retenir les conclusions suivantes :

Les analyses sur les forages montrent que sur les deux types de formations géologiques, la formation du groupe du mont Boumbouaka est la plus favorable en termes de disponibilité de la ressource en eau au vue des paramètres hydrodynamiques et géologiques qu'elle contient. En effet, l'analyse des débits a montré que cette formation regroupe le plus grand nombre de forages à productivité importante. Ainsi, 19% des forages positifs de cette zone produisent plus de 15 m³/h d'eau contre 4% pour la formations de la Pendjari. En outre, dans cette formation géologique, la moyenne de débit spécifique calculés (0,57 m³/h/m) est la plus importante de la zone d'étude.

Quant à la formation du groupe de la Pendjari, elle est plus occupée par les parcs et réserves de chasse sur lesquels très peu de forages ont été réalisés. Néanmoins, l'analyse faite sur les forages existants a montré que plus de 18 % des forages produisent un débit supérieur à 10 m³/h et 36 % forages produisent plus de 5 m³/h. Ce qui présente aussi un intérêt déterminant pour la résolution des problèmes d'hydraulique villageoise au niveau local.

L'analyse sur les profondeurs totale des forages et des épaisseurs d'altérations des aquifères a montré que les forages qui se trouvent dans la formation du Mont Boumbouaka sont les plus profonds et que les aquifères y afférents ont une épaisseur d'altération plus importante. Cependant, il n'existe aucune corrélation entre le débit et chacun des paramètres profondeur de l'ouvrage et épaisseur d'altération

La valeur de transmissivité la plus élevée a été rencontrée dans la formation du mont Boumbouaka ($3,69 \times 10^{-4}$ m²/s). Il convient de noter que cela peut s'expliquer par la structure de cette formation sédimentaire constitué de grès quartzite.

La recharge des aquifères est fortement liée à la pluviométrie. Les années de forte pluviométrie enregistrent une forte augmentation de recharge tandis que les années de faible pluviométrie enregistrent peu. La recharge moyenne varie entre 180,9 mm et 267,3 mm par an au niveau de Kionkianga et de 117 mm et 313,2 mm an au niveau de Koalou. Quant à la décharge moyenne, elle varie entre -118,8 mm et - 225,9 mm par an à Kionkianga et entre -137,7 mm à -312,3 mm à Koalou.

Enfin les paramètres appropriés à la productivité d'un aquifère sont rencontrés dans les environs de la falaise de Gobnangou qui se trouve entièrement dans la formation du mont Boumbouaka.

VI. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES

Dans le contexte des ODD où le Burkina Faso cherche à atteindre un taux d'accès universel à l'eau potable pour sa population, les efforts accrus doivent être conjugués pour mieux connaître la ressource en eau souterraine du pays notamment celle de la zone sédimentaire du sud-est du pays. Ainsi donc, il est recommandé une étude plus approfondie sur la disponibilité, l'exploitabilité et la qualité de la ressource.

La réalisation d'une carte piézométrique serait une très bonne contribution dans la connaissance du sens d'écoulement des eaux souterraines et éventuellement la mise en évidence d'un écoulement latéral régional, les zones de recharge et de décharge des aquifères. Cela nécessite une campagne piézométrique réalisée dans un intervalle de temps convenable.

Dans l'ensemble, environ 600 forages sont réalisés dans la zone sédimentaire, cependant, les données y relatives ne sont pas disponibles aussi bien auprès de la DREA-EST qu'au niveau de la DGRE. Les données qui existent posent un sérieux problème d'utilisation. Il est donc fortement recommandé de veiller avec une grande vigilance à la qualité et à la quantité des données collectées et archivées par les services techniques de l'Etat.

Cette étude a permis d'identifier des potentielles zones de bonne disponibilité. Cependant, il faudrait en perspective, une étude bien approfondie pour confirmer ou infirmer cette hypothèse.

Bibliographie

- Affaton, Pascal. 1990. Le Bassin Des Volta (Afrique de l'Ouest): Une Marge Passive, D'âge Protérozoïque Supérieur, Tectonisée Au Panafricain (600 plus Ou Moins 50 Ma).
- Besbes, MUSTAPHA. 2006. "Recharge Des Aquiferes Par Les Crues D'oueds." IAHS PUBLICATION 305: 43.
- Bouché, Philippe, M. Aboudou, S. A. Amadou, O. I. Amahowe, M. Djibey, H. Halilou-Malam-Garba, Z. I. Hassane, L. Hebie, S. J. Kougnati, and A. Makadassou. 2012. "Inventaire Aérien de L'écosystème W-Arly-Pendjari, Mai-Juin 2012." Ouagadougou, Burkina Faso: CITES-MIKE, WAP/UNOPS, Benin, Burkina Faso, Niger.
- Castaing, Christian, and Joël Le Métour. 2003. Carte Géologique et Minière Du Burkina Faso À 1: 1,000,000. Bureau de recherches géologiques et minières.
- Dakoure, Denis. 2003. "Etude Hydrogéologique et Géochimique de La Bordure Sud-Est Du Bassin Sédimentaire de Taoudeni (Burkina Faso-Mali): Essai de Modélisation." Paris 6.
- Dembele, Y. 2014. "Cartographie Des Zones Socio-Rurales Du Burkina Faso" 22.
- Dembele, Y., and L. Somé. 1991. "Propriétés Hydrodynamiques Des Principaux Types de Sol Du Burkina Faso." In Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991) IAHS Publ, 199:217-27.
- Epse, Kanohin Fulvie, Saley Mahaman Bachir, Aké Gabriel Etienne, and Savané Issiaka. 2012. "Apport de La Télédétection et Des SIG Dans L'identification Des Ressources En Eau Souterraine Dans La Région de Daoukro (Centre-Est de La Côte D'Ivoire)."
- IWACO, FEUILLE. 1993. "CARTE HYDROGEOLOGIQUE DU BURKINA FASO."
- Lapeyre, Frédéric. 2006. "Objectifs Du Millénaire Pour Le Développement: Outils de Développement Ou Cheval de Troie Des Politiques Néolibérales." Alternatives Sud 13 (1): 9-26.
- MEE, Gouvernement. 1998. "Politique et Stratégies En Matière D'eau." Ouagadougou: Gouvernement Du Burkina Faso.
- Obuobie, Emmanuel, Bernd Diekkrueger, William Agyekum, and Sampson Agodzo. 2012. "Groundwater Level Monitoring and Recharge Estimation in the White Volta River Basin of Ghana."
- PN-AEPA. 2006. "Programme National d'Approvisionnement En Eau Potable et d'Assainissement À L'horizon 2015 PN-AEPA 2015."
- Saley, M. B. 2003. "Système D'informations Hydrogéologiques À Référence Spatiale,

Discontinuités Pseudo-Images et Cartographies Thématiques Des Ressources En Eau de La Région Sémi-Montagneuse de Man (Ouest de La Côte d'Ivoire).” Abidjan, Côte d'Ivoire: Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody.

Sandwidi, Wennegouda Jean Pierre. 2007. “Groundwater Potential to Supply Population Demand within the Kompienga Dam Basin in Burkina Faso.” Universitäts-und Landesbibliothek Bonn.

Sposito, T. 2010. “UTILISATION DES APPLICATIONS DU SIG POUR CARTOGRAPHIER L'HUP.” In International Symposium on Urban and Peri-Urban Horticulture in the Century of Cities: Lessons, Challenges, Opportunitites 1021, 361–65.

Rapport grand public 2014 ;

Profil des Régions du Burkina Faso, Ministère de l'Economie et du Développement, 2005

SITES INTERNET

http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/index.php

<http://www.eauburkina.org/>

<http://www.emse.fr/~bouchardon/enseignement/processus-naturels/up3/web/essais-pompage-2003-e.htm>

http://www.memoireonline.com/09/11/4816/m_Evaluation-et-analyse-geostatistique-des-parametres-hydrodynamiques-des-aquiferes-fissures-de-la9.html

<http://www.insd.bf/n/>

VII. ANNEXES

Table des matières

ANNEXE 1: Eléments de statistique descriptive sur les caractéristiques des forages et les paramètres hydrodynamiques	1
ANNEXE 2: Synthèse sur les fluctuations de la nappe.....	3
ANNEXE 3: liste de forage avec débit.....	5
ANNEXE 4 : Liste des forages utilisés pour l'interpolation de la transmissivité, et du débit spécifique.....	10
ANNEXE 5 : Liste des forages utilisés pour l'analyse de la lithologie	13
ANNEXE 6 : interprétation des essais de pompage	15
ANNEXE 7 : Porosité de drainage en fonction du type de sol	17

ANNEXE 1: Eléments de statistique descriptive sur les caractéristiques des forages et les paramètres hydrodynamiques

Les éléments de statistique descriptive ont été calculés pour les différentes formations géologiques et permettent de voir l'évolution de chaque paramètre.

Eléments de statistique descriptive sur les profondeurs totales

	Ensemble	Pendjari	Boumbouaka	Socle
Moyenne	37,45	36,94	37,57	37,43
Écart-type	8,83	8,73	10,72	8,21
Minimum	27,00	28,00	28,00	27,00
Maximum	62,00	55,00	62,00	57,00

Eléments de statistique descriptive sur les épaisseurs d'altération

	Ensemble	Pendjari	Boumbouaka	Socle
Moyenne	15,84	12,78	21,07	14,13
Écart-type	9,74	6,92	13,15	7,36
Minimum	1,00	1,00	2,00	3,00
Maximum	45,00	28,00	45,00	35,00

Eléments de statistique descriptive sur les épaisseurs d'altération noyée

	Ensemble	Pendjari	Boumbouaka	Socle
Moyenne	7,43	8,68	12,02	6,37
Écart-type	8,79	6,02	11,48	7,81
Minimum	-9,36	2,73	-9,36	-6,25
Maximum	29,80	21,75	29,80	24,20

Eléments de statistique descriptive sur les débits spécifiques calculés

	Socle cristallin	Sédimentaire		Ensemble
		Boumbouaka	Pendjari	
Moyenne (m ³ /h/m)	0,46	0,57	0,41	0,45
Écart-type	0,51	0,69	0,57	0,58
Minimum (m ³ /h/m)	0,07	0,04	0,02	0,02
Maximum (m ³ /h/m)	2,20	2,51	2,67	2,67

Éléments de statistique descriptive sur les transmissivité calculées

	Socle cristallin	Sédimentaire		Ensemble
		Boumbouaka	Pendjari	
Moyenne (m ² /s)	3,98 x 10 ⁻⁴	3,69 x 10 ⁻⁴	1,10 x 10 ⁻⁴	2,29 x 10 ⁻⁴
Écart-type	7,65 x 10 ⁻⁴	6,37 x 10 ⁻⁴	9,78 x 10 ⁻⁵	4,87 x 10 ⁻⁴
Minimum (m ² /s)	1,13 x 10 ⁻⁵	6,74 x 10 ⁻⁶	2,58 x 10 ⁻⁶	2,58 x 10 ⁻⁶
Maximum (m ² /s)	3,32 x 10 ⁻³	2,19 x 10 ⁻³	4,06 x 10 ⁻⁴	3,32 x 10 ⁻³

Éléments de statistique descriptive sur les rabattements spécifiques calculés

	<i>SOCLE CRISTALIN</i>	<i>BOUMBOUAKA</i>	<i>PENDJARI</i>	ENSEMBLE
Moyenne (m/(m ³ /h))	5,79	7,32	7,95	7,43
Écart-type	6,08	10,45	13,18	11,38
Minimum	0,46	0,52	0,51	0,46
Maximum	20,68	35,91	81,89	81,89

ANNEXE 2: Synthèse sur les fluctuations de la nappe

Synthèse sur les fluctuations de la nappe sur le piézomètre de Kionkianga

Saison	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pluie (mm)	898,8	737,3	1007,7	1027,8	1028,6	949,7	834,6	828,9	854,2	745,6
Δh recharge (mm)	4220		4330	5940				4020	5060	3210
Δh décharge (mm)	-5020	-1260	-4470					-2640	-3190	

Synthèse sur les fluctuations de la nappe sur le piézomètre de Koalou

Saison	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pluie (mm)	898,8	737,3	1007,7	1027,8	1028,6	949,7	834,6	828,9	854,2	745,6
Δh recharge (mm)	2890	2600	0	4180	0	6530	0	5620	6960	0
Δh décharge (mm)	-3890		-4590		-5910	6330		-	-	-

Synthèse des recharges à Kionkianga

Saison		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pluie (mm)		898,8	737,3	1007,7	1027,8	1028,6	949,7	834,6	828,9	854,2	745,6
Δh (mm)		4220		4330	5940				4020	5060	3210
Porosité efficace	Min	0,03		0,03	0,03				0,03	0,03	0,03
	Max	0,06		0,06	0,06				0,06	0,06	0,06
Recharge (mm)	Min	126,6		129,9	178,2				120,6	151,8	96,3
	Max	253,2		259,8	356,4				241,2	303,6	192,6

Synthèse des recharges à Koalou

Saison		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pluie (mm)		898,8	737,3	1007,7	1027,8	1028,6	949,7	834,6	828,9	854,2	745,6
Δh (mm)		2890	2600		4180		6530		5620	6960	
Porosité efficace	Min	0,03	0,03		0,03		0,03		0,03	0,03	
	Max	0,06	0,06		0,06		0,06		0,06	0,06	
Recharge (mm)	Min	86,7	78		125,4		195,9		168,6	208,8	
	Max	173,4	156		250,8		391,8		337,2	417,6	0

Synthèse des décharges à Kionkianga

Saison		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Pluie (mm)		898,8	737,3	1007,7	1027,8	1028,6	949,7	834,6	828,9	854,2
Δh (m)		-5020	-1260	-4470					-2640	-3190
Porosité efficace	Min	0,03		0,03		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	Max	0,06		0,06		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Décharge (mm)	Min	-150,6		-134,1					-79,2	-95,7
	Max	-301,2		-268,2					-158,4	-191,4

Synthèse des décharges à Koalou

Saison		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Pluie (mm)		898,8	737,3	1007,7	1027,8	1028,6	949,7	834,6	828,9	854,2	
Δh (m)		-3890		-4590		-5910	-6330		-5990	-6940	
Porosité efficace	Min	0,03		0,03			0,03		0,03	0,03	
	Max	0,06		0,06			0,06		0,06	0,06	
Recharge (mm)	Min	-116,7					-189,9		-179,7	-208,2	
	Max	-233,4		-275,4			-379,8		-359,4	-416,4	

ANNEXE 3: liste de forage avec débit

La liste des forages utilisés pour l'interpolation des débits. C'est en ensemble de forages réalisé depuis les années 80 à nos jours. Plusieurs autres forages existent mais ne sont pas pris en compte dans l'analyse parce qu'il en manque de d'informations qualitative.

Commune	Village	Situation	Année d'exécution	Longitude	Latitude	DEBIT
Tansarga	Tansarga	Q-Nandamba	2014	1,8483610	11,8699400	12,00
Tansarga	Kotchari	H-Kobana	1990	1,8776940	11,8201900	8,00
Tansarga	Kabougou	Topiga II	2014	1,9705560	11,9353100	5,00
Tansarga	Malpoa	Q-Malpoa	2014	1,8828610	11,7550000	2,40
Tansarga	Natongou	Q-Natongou	2013	1,9208330	11,7923100	0,90
Tansarga	Kpenkouandi	Q-Kpenkouandi	2010	1,9735560	11,8740800	12,00
Tansarga	Kombongou	Q- Niamanga	2014	2,0094440	11,6229200	10,60
Tansarga	Banduo	Q-Nabondoula	2014	1,9384170	11,8169200	2,00
Tansarga	Diafouanou	Q-Diafouannou III	2014	1,9180560	11,9110000	4,00
Tansarga	Tansarga	Diakonli	2014	1,8645560	11,9169700	2,30
Tambaga	Naboue	Q-Bondiori	2014	1,6735560	11,8413300	4,00
Tambaga	Agbana	Q-Niantouali	2014	1,6850830	11,7734200	0,66
Tambaga	Yirini	Q-Nianpuoli	2014	1,6163610	11,7168300	8,40
Tambaga	Diadori	Q-Niampoli	2013	1,7951111	11,8483300	3,60
Tambaga	Boupiena	Q-Kicombiga	2014	1,6563060	11,7748100	6,75
Tambaga	Gnouambouli	Q-Tampieni	2014	1,6026390	11,7511700	3,00
Tambaga	Tindangou	Q-Pama	2014	1,6353890	11,7666400	20,20
Logobou	Mamangou	Q- Kakanmoali	2012	1,7531940	11,7073300	2,20
Logobou	Mahadaga	Q-Palisoangui	2013	1,8562780	11,6921400	0,80
Logobou	Mahadaga	Q-Gbani Bossoali	2013	1,8313610	11,6719700	3,10
Logobou	Namponkore	Q-Gnianituari	2013	1,7816670	11,7407800	3,60
Logobou	Namponkore	Q-Sebouri	2013	1,8625280	11,7266100	25,00
Logobou	Nagare	Q-Nagare Boyala	2013	1,5877780	11,5842500	3,00
Logobou	Fangou	Q-FangouI Ecole	2014	1,7024440	11,6023100	0,80
Logobou	Kindi-kombou	Q- Fouambiga	2012	1,7886670	11,6310000	1,30
Logobou	Nagare		2015	1,5924440	11,6050000	0,90
Logobou	Logobou	Q-Koupaligou	2013	1,6472220	11,6179400	24,00
Tambaga	Yirini	Perkanli	2014	1,5585830	11,7230000	12,20
Pama	Koalou	Q-Boka	1988	0,8875555	11,0215800	3,10
Pama	Kompienbiga	Q-Tounga Ecole	2013	0,5917500	11,2565600	1,97

Pama	Kompienbiga	Tounga Mossi	2011	0,5917500	11,2558900	3,07
Pama	Kompienbiga	Q-dayamba	1988	0,5965555	11,2766900	6,00
Pama	Kompienbiga	Q-Yemboado	2002	0,6000834	11,2760600	1,91
Pama	Oumpougdeni	Q-camp pêcheuri	1996	0,6397778	11,2156100	1,30
Pama	Pama-secteur 1	Q-Secteur 1	1987	0,7064722	11,2432500	5,70
Pama	Pama-secteur 2	Q-Secteur 2	2004	0,7175834	11,2118600	4,75
Pama	Pama-secteur 3	Q- Secteur 3	2012	0,7121944	11,2460300	4,31
Pama	Tibadi	Q-Niampoli	1995	0,7500556	11,2035300	4,00
Pama	Tibadi	Q-Niantoli	1985	0,7500278	11,2055300	1,50
Pama	Tindagou	samboanli	1988	0,9011389	11,2128900	1,77
Kompienga	Diabiga	Q-Diabiyaanga	2011	0,5510278	11,1206100	3,22
Kompienga	Diabiga	Q-Gniampoli	2001	0,5613611	11,1348300	3,50
Kompienga	Kompienga	Q-Secteur 4	2004	0,7403611	11,0898600	2,95
Kompienga	Kpankpage	Q- Onadombou	2011	0,7929167	11,1103900	5,01
Kompienga	Nakiantanga	Q-Gniampoli	1988	0,4963333	11,0811900	1,80
Kompienga	Pognoa-sankoado	Q-Gniantinga	2005	0,5728611	11,0260600	5,25
Kompienga	Pognoa-tikonti	Q-Gbangbandi	1989	0,5193334	10,9875300	6,02
Kompienga	Pognoa-tikonti	Q-Gniampouali	1991	0,5364444	10,9947500	5,20
Kompienga	Tambibangou	q Koumagbangou	2003	0,5502222	11,0137500	8,24
Kompienga	Toukoudouga	E EP	2005	0,4890833	11,0272500	10,00
Kompienga	Toutourgou	Q- Palalianga	2012	0,8223056	11,0456400	2,00
Tansarga	Pielgou	Q-PIELGOU	2012	1,9597780	11,7417200	1,20
Tansarga	Katela	Q-Nambontiri	2013	1,9201940	11,9658600	18,00
Tansarga	Tansarga	S-CSPS	2008	1,8650000	11,8847200	4,57
Logobou	Morideni	Q-Fangou	2000	1,7448890	11,6158100	2,00
Logobou	Mahadaga	Q-Gniampouoli	2000	1,7673890	11,7258900	2,40
Logobou	Namponkore	Q-Gniansiga	2008	1,8231110	11,7665000	2,61
Kompienga	Bonnou	H-Naninsoangui/ sébisouaga		0,6043700	11,0986300	7,20
Kompienga	Toutourgou	Q-Diabonkiali		0,7445300	11,0034000	12,00
Kompienga	Toutourgou	Djoada		0,8385900	11,0291800	3,50
Madjoari	Madjoari	Centre		1,2392800	11,4720400	4,20
Madjoari	Namounyouri	Kodjidja -Walo		1,1762400	11,3489400	18,00
Pama	Bombontangou	Q-Gnimoaga		0,6245400	11,2969700	1,30
Pama	Kaboanga 1	Ouaga		0,5620600	11,3201600	5,00
Pama	Kpadiari	H-Batambougou 1		0,8214900	11,1016500	3,00
Logobou	Houaré	Kpana		1,61881	11,59478	3,60

Logobou	Fangou	Totanbina		1,70564	11,56500	5,60
Logobou	Mahadaga	Q-Layandi		1,8718300	11,6300600	5,20
Logobou	Nagaré	Bougouli I		1,61175	11,56947	12,60
Logobou	Naponkonré	Bossoali		1,82317	11,76653	4,70
Logobou	Kindi-kombou	Lambouandi		1,73797	11,69300	2,57
Logobou	Logobou	Secteur 2		1,66714	11,63147	6,70
Tambaga	Kpanfoani	Kodjoba		1,81983	11,82606	8,50
Tambaga	Palboa	Ioubtiari		1,75858	11,91139	1,50
Tambaga	Popéri	Centre		1,73422	11,70803	3,60
Tambaga	Yobri	Kalimama I		1,69767	11,77083	12,00
Tambaga	Kogoli	Centre1		1,78444	11,87792	6,85
Tambaga	Palboa	Gniansiga		1,75858	11,91139	1,73
Tambaga	Tambaga	Q Gniampouali - Secteur 1		1,74594	11,79722	1,70
Tansarga	Bodiaga	Centre 1		1,87681	11,81281	1,00
Tansarga	Bodiaga	Centre 2		1,87367	11,80906	2,00
Tansarga	Pielgou	Q-Gnimboama gbani		1,96692	11,70831	0,75
Tansarga	Boupiena	Q-Boupiéna II		1,83831	11,97111	2,40
Tansarga	Kabougou	Q-Topiga I		1,97564	11,94919	12,00
Tansarga	Kobdari	H-Todouanga		2,00417	11,83694	2,40
Tansarga	Kobdari	Poagbala		1,95939	11,89394	4,50
Tansarga	Tansarga	CSPS		1,86519	11,88478	12,00
Logobou	Mahadaga	Mission protestante		1,76269	11,72247	10,35
Tambaga	Kogoli	Peulh		1,77889	11,87303	10,35
Kompienga	Bossoari		16/05/1992	0,6042222	11,0250600	1,50
Kompienga	Diabiga		27/01/1988	0,5584444	11,1333600	3,00
Kompienga	Diamanga		18/02/1988	0,5579166	11,1636700	1,20
Kompienga	Kpanpkaga		21/05/1992	0,7780278	11,1076700	0,79
Kompienga	Nabamboula		11/05/1989	0,5467500	11,0512200	6,20
Kompienga	Pepembougou		13/05/1992	0,5089445	11,0338600	5,85
Kompienga	Pognoa-Sankoado		15/02/1988	0,5843611	11,0308900	9,30
Kompienga	Pognoa-Tikonti		14/05/1992	0,5322222	10,9929700	9,36
Kompienga	Tambibongou		14/02/1988	0,5515556	11,0128600	4,20
Kompienga	Toukoudiga		16/02/1988	0,4890833	11,0255800	15,60
Kompienga	Toutourgou		27/01/1988	0,7750000	11,0016400	3,10
Madjoari	Gnobtenkoagou		01/02/1988	1,2764170	11,4076400	0,71
Madjoari	Kodjoari		28/01/1988	1,0927220	11,3292500	2,10

Madjoari	Madjoari			1,2589720	11,4837500	23,40
Madjoari	Matambima		03/03/1988	1,2350000	11,4133300	5,20
Madjoari	Tambarga		11/05/1989	1,2158330	11,4345000	23,40
Madjoari	Tanli		31/01/1988	1,2589720	11,3993300	0,99
Pama	Folpodi		29/01/1988	0,7161111	11,1579400	1,10
Pama	Koalou		28/01/1988	0,9397778	11,0216900	3,00
Pama	Kpadiari		15/05/1989	0,8127500	11,1386400	1,80
Pama	Nadiagou		26/01/1988	0,8373055	11,1598100	1,80
Pama	Niorgou 1		14/05/1989	0,9098889	11,9314400	0,72
Pama	Tindangou		13/05/1989	0,8296667	11,1810000	15,60
Logobou	Diabonli		04/05/1988	1,5249720	11,5840000	1,60
Logobou	Kindi-Kombou		24/04/1989	1,6771940	11,7253900	15,60
Logobou	Logobou		22/06/1989	1,6683330	11,6336900	10,80
Logobou	Mahadaga		20/03/1990	1,7762500	11,7289200	12,00
Logobou	Morideni		21/03/1990	1,7056940	11,6584400	0,60
Logobou	Nagaré		10/12/1987	1,5937220	11,6140000	11,70
Logobou	Namponkoré		08/04/1987	1,7916670	11,7491700	7,20
Logobou	Namponsiga		16/03/1990	1,7799440	11,7401400	7,00
Logobou	Palboa		26/04/1989	1,8158610	11,6478300	6,70
Tambaga	Boalbigou		25/04/1989	1,5974720	11,7716700	5,20
Tambaga	Fanfangou		06/06/1989	1,7070280	11,7962200	4,00
Tambaga	Konli 1		07/06/1989	1,7174720	11,8152500	7,00
Tambaga	Momba Peulh		23/11/1987	1,7045000	11,8396700	0,70
Tambaga	Naboué		21/04/1989	1,5727220	11,7973900	1,06
Tambaga	Nambari		28/04/1989	1,7659170	11,9544200	5,00
Tambaga	Pentinga-Gourmantché		06/04/1987	1,7817220	11,8190600	21,60
Tambaga	Poperi		26/04/1989	1,7400830	11,8741900	2,70
Tambaga	Saborga-Kori		20/05/1989	1,5810830	11,6883300	7,00
Tambaga	Sansanga		26/04/1989	1,7512780	11,8481100	2,10
Tambaga	Tambaga		13/06/1989	1,7429170	11,7978300	16,00
Tambaga	Tiakoagli		30/04/1989	1,7915280	11,9169200	4,20
Tambaga	Tindangou		25/05/1989	1,6491390	11,7441400	7,00
Tambaga	Yirini		23/05/1989	1,6151390	11,7170600	5,40
Tambaga	Yobri		25/05/1989	1,7015560	11,7599700	7,00
Tansarga	Bobomondi		07/12/1987	1,8451110	11,7956700	2,70
Tansarga	Bodiaga		06/06/1980	1,8775830	11,8135000	1,20

Tansarga	Boupiena		29/04/1989	1,8403330	11,9719400	5,20
Tansarga	Diafouanou		14/02/1990	1,9106940	11,9298900	0,80
Tansarga	Katela		28/04/1989	1,9364720	11,9406900	5,20
Tansarga	Kobdari		06/04/1990	1,9744440	11,8408900	7,00
Tansarga	Kombongou			2,0161110	11,6218300	3,00
Tansarga	Kotchari		11/12/1987	1,9186940	11,8404200	7,80
Tansarga	Tansarga		29/11/1987	1,8677780	11,8766900	8,80

ANNEXE 4 : Liste des forages utilisés pour l'interpolation de la transmissivité, et du débit spécifique

Sur l'ensemble de forages de la région, un certain nombre dispose toujours de leur fiche d'essai de pompage. L'interprétation de ces fiches d'essai de pompage ont permis de déterminer les paramètres suivants. Ces paramètres ont ensuite été interpolé pour donner les cartes ci-dessus.

Commune	Village	Situation	Année d'exécution	Longitude	Latitude	T	Q/s	s/Q 8mois
Logobou	Namponkore	Q-sebouri	2013	1,862528	11,72661	3,38E-04	2,674	0,512
Tansarga	Katela	Q-nambontiri	2013	1,920194	11,96586	7,41E-04	2,514	0,523
Logobou	Logobou	Q-koupaligou	2013	1,647222	11,61794	3,08E-04	2,406	0,956
Kompienga	Toukoudouga	E ep	2005	0,489083	11,02725	3,32E-03	2,20	0,46
Tambaga	Yirini	Perkanli	2014	1,558583	11,72300	2,13E-04	1,447	1,185
Tambaga	Tindangou	Q-pama	2014	1,635389	11,76664	4,06E-04	1,261	1,155
Tansarga	Kobdari	H-poigbala	1987	1,962389	11,89489	9,82E-05	1,053	1,855
Pama	Tibadi	Q-niampoli	1995	0,750056	11,20353	4,15E-04	1,02	0,94
Kompienga	Tambibangou	Q koumagbangou	2003	0,550222	11,01375	6,08E-04	0,82	1,41
Tansarga	Diafouanou	Q-diafouannou iii	2014	1,918056	11,91100	1,93E-04	0,736	2,238
Tansarga	Diafouanou	Q-diafoanou	1990	1,908389	11,92103	2,19E-03	0,721	1,379
Pama	Kompienbiga	Tounga mossi	2011	0,591750	11,25589	8,56E-04	0,72	1,35
Tansarga	Tansarga	Q-nandamba	2014	1,848361	11,86994	2,28E-04	0,625	2,136
Logobou	Nadieringa	Q-nandiéringa	2004	1,625417	11,56356	8,05E-05	0,566	2,994
Tansarga	Kotchari	H-kobana	1990	1,877694	11,82019	8,08E-05	0,549	3,387
Tansarga	Kabougou	Q-kabougou centre	2011	1,995472	11,95028	1,23E-04	0,547	2,588
Kompienga	Pognoa-sankoado	Q-gniantinga	2005	0,572861	11,02606	3,80E-04	0,48	2,02
Tansarga	Tansarga	S-csps	2008	1,865000	11,88472	2,32E-04	0,427	2,584
Logobou	Namponkore	Q-gniansiga	2008	1,823111	11,76650	1,57E-04	0,418	3,360
Pama	Pama-secteur 3	Q- secteur 3	2012	0,712194	11,24603	3,33E-04	0,39	1,67
Logobou	Mahadaga	Q-gbani bossoali	2013	1,831361	11,67197	1,11E-04	0,383	3,119
Tambaga	Boupiena	Q-kicombiga	2014	1,656306	11,77481	2,91E-04	0,380	2,518
Logobou	Nagare		2015	1,592444	11,60500	1,05E-04	0,377	3,617
Pama	Pama-secteur 2	Q-secteur 2	2004	0,717583	11,21186	1,14E-04	0,37	2,80
Pama	Kompienbiga	Q-yemboado	2002	0,600083	11,27606	3,34E-04	0,33	2,36
Kompienga	Diabiga	Q-gniampoli	2001	0,561361	11,13483	3,10E-05	0,32	6,41

Pama	Pama-secteur 1	Q-secteur 1	1987	0,706472	11,24325	8,85E-05	0,32	3,65
Pama	Tibadi	Q-niantoli	1985	0,750028	11,20553	7,10E-05	0,31	4,65
Tambaga	Gnouambouli	Q-tampieni	2014	1,602639	11,75117	1,90E-04	0,289	2,307
Tansarga	Toptiagou	Q-toptiagou centre	1980	1,960167	12,00939	8,38E-05	0,284	2,561
Logobou	Palboa	Q-palboa ecole	2013	1,810306	11,65672	1,21E-04	0,281	1,483
Logobou	Nagare	Q-nagare boyala	2013	1,587778	11,58425	1,27E-04	0,277	3,731
Pama	Kompiengbiga	Q-dayamba	1988	0,596556	11,27669	3,01E-04	0,26	1,76
Tansarga	Kabougou	Topiga ii	2014	1,970556	11,93531	1,23E-04	0,253	2,915
Tansarga	Bobomondi	E-ep	2010	1,858750	11,80764	2,65E-04	0,241	2,281
Pama	Kompiengbiga	Q-tounga ecole	2013	0,591750	11,25656	1,69E-04	0,24	4,01
Tansarga	Malpoa	Q-malpoa	2014	1,882861	11,75500	3,48E-05	0,235	5,688
Logobou	Namponkore	Q-gnianituari	2013	1,781667	11,74078	9,99E-05	0,231	5,050
Logobou	Diabonli	E - ep	2000	1,529611	11,57819	1,79E-04	0,228	2,781
Logobou	Mahadaga	Q-gniampouoli	2000	1,767389	11,72589	8,91E-05	0,222	6,724
Kompienga	Pognoa-tikonti	Q-gniampouali	1991	0,536444	10,99475	1,68E-04	0,21	4,74
Kompienga	Kompienga	Q-secteur 4	2004	0,740361	11,08986	2,44E-05	0,19	9,02
Logobou	Morideni	Q-fangou	2000	1,744889	11,61581	5,41E-05	0,193	6,048
Tansarga	Malpoa	Q-malpoa	2003	1,880139	11,73272	3,90E-05	0,186	8,753
Tansarga	Banduo	Q-nabondoula	2014	1,938417	11,81692	6,94E-05	0,179	3,422
Tambaga	Diadori	Q-niampoli	2013	0,795111	11,84833	2,09E-04	0,176	4,334
Logobou	Kindi-kombou	Q- fouambiga	2012	1,788667	11,63100	2,74E-05	0,164	6,547
Pama	Koalou	Q-boka	1988	0,887556	11,02158	3,41E-05	0,16	7,09
Logobou	Mouabou		2012	1,832167	11,59414	5,34E-05	0,163	5,903
Logobou	Logobou	Q-gnimamamou	2013	1,667306	11,61419	2,79E-05	0,159	10,252
Logobou	Morideni	Q-gbani	1997	1,721611	11,64317	4,44E-05	0,142	8,937
Tansarga	Pielgou	Q-pielgou	2012	1,959778	11,74172	3,74E-05	0,141	9,933
Tambaga	Agbana	Q-niantouali	2014	1,685083	11,77342	1,38E-05	0,133	17,105
Logobou	Fangou	q-fangou1 ecole	2014	1,702444	11,60231	5,87E-05	0,132	8,920
Tambaga	Naboue	Q-bondiori	2014	1,673556	11,84133	1,72E-05	0,121	12,381
Kompienga	Pognoa-tikonti	Q-gbangbandi	1989	0,519333	10,98753	3,41E-05	0,12	10,58
Logobou	Siaga	Q- siaga	2012	1,790333	11,65858	1,11E-04	0,114	2,924
Logobou	Namponsiga	Q-gniantouari	2003	1,773972	11,68194	2,79E-05	0,111	11,942
Logobou	Fangou	Q-fangou 1	2000	1,700583	11,59906	5,05E-05	0,102	6,274
Tansarga	Tansarga	Diakonli	2014	1,864556	11,91697	1,90E-05	0,096	14,953
Kompienga	Nakiantanga	Q-gniampoli	1988	0,496333	11,08119	8,25E-05	0,08	8,51

Pama	Tindagou	Samboanli	1988	0,901139	11,21289	1,28E-05	0,08	20,68
Kompienga	Kpankpaga	Q- onadombou	2011	0,792917	11,11039	2,19E-05	0,08	15,48
Pama	Oumpougdeni	Q-camp pêcheuri	1996	0,639778	11,21561	1,13E-05	0,07	17,09
Tansarga	Kobdari	Q-tchontconga	2013	1,992806	11,85778	1,39E-05	0,062	20,651
Kompienga	Toutourgou	Q- palalianga	2012	0,822306	11,04564	7,17E-06	0,05	30,12
Tambaga	Yirini	Q-nianpuoli	2014	1,616361	11,71683	6,74E-06	0,040	35,907
Logobou	Mahadaga	Q-palisoangui	2013	1,856278	11,69214	2,58E-06	0,022	81,891

ANNEXE 5 : Liste des forages utilisés pour l'analyse de la lithologie

FORMATI ON GEOLOGI QUE	Province	Commune	Village	Long	Lat	Prof	Epaisseur_ altération	Debit_ Estimé
GROUPE DE LA PENDJARI	KOMPIENGA	Kompienga	Toutourgou	0,7750000	11,0016400	30	10	3,10
	KOMPIENGA	Madjoari	Gnobtenkoagou	1,2764170	11,4076400	43	10	0,71
	KOMPIENGA	Madjoari	Tanli	1,2589720	11,3993300	40	18	0,99
	KOMPIENGA	Pama	Koalou	0,9397778	11,0216900	55	12	3,00
	KOMPIENGA	Pama	Niorgou 1	0,9098889	10,9314400	32	10	0,72
	TAPOA	Logobou	Diabonli	1,5249720	11,5840000	30	15	1,60
	TAPOA	Logobou	Logobou	1,6683330	11,6336900	37	28	10,80
	TAPOA	Logobou	Mahadaga	1,7762500	11,7289200	30	13	12,00
	TAPOA	Logobou	Morideni	1,7056940	11,6584400	29	6	0,60
	TAPOA	Logobou	Nagaré	1,5937220	11,6140000	37	18	11,70
	TAPOA	Logobou	Namponkoré	1,7916670	11,7491700	50	28	7,20
	TAPOA	Logobou	Namponsiga	1,7799440	11,7401400	33	11	7,00
	TAPOA	Logobou	Palboa	1,8158610	11,6478300	28	8	6,70
	TAPOA	Tansarga	Bobomondi	1,8451110	11,7956700	39	13	2,70
	TAPOA	Tansarga	Bodiaga	1,8775830	11,8135000	30	8	1,20
	TAPOA	Tansarga	Kobdari	1,9744440	11,8408900	30	1	7,00
	TAPOA	Tansarga	Kotchari	1,9186940	11,8404200	37	7	7,80
	TAPOA	Logobou	Kindi-Kombou	2,0161110	11,6218300	55	14	15,60
GROUPE DU MONT BOUMBOUAKA	KOMPIENGA	Kompienga	Pognoa-Tikonti	0,5322222	10,9929700	30	2	9,36
	KOMPIENGA	Madjoari	Kodjoari	1,0927220	11,3292500	43	25	2,10
	KOMPIENGA	Madjoari	Madjoari	1,2589720	11,4837500	43	39	23,40
	KOMPIENGA	Madjoari	Matambima	1,2350000	11,4133300	31	6	5,20
	KOMPIENGA	Madjoari	Tambarga	1,2158330	11,4345000	28	14	23,40
	TAPOA	Tansarga	Kombougou	1,6771940	11,7253900	28	10	3,00
	TAPOA	Tambaga	Pentinga-Gourmantché	1,7817220	11,8190600	62	35	21,60
	TAPOA	Tambaga	Saborga-Kori	1,5810830	11,6883300	45	27	7,00
	TAPOA	Tambaga	Tambaga	1,7429170	11,7978300	30	12	16,00

	TAPOA	Tambaga	Yirini	1,6151390	11,7170600	29	18	5,40
	TAPOA	Tambaga	Yobri	1,7015560	11,7599700	30	11	7,00
	TAPOA	Tansarga	Diafouanou	1,9106940	11,9298900	43	33	0,80
	TAPOA	Tansarga	Katela	1,9364720	11,9406900	53	45	5,20
	TAPOA	Tansarga	Tansarga	1,8677780	11,8766900	31	18	8,80
FORMATION DU SOCLE CRISTALLIN	KOMPIENGA	Kompienga	Bossoari	0,6042222	11,0250600	33	4	1,50
	KOMPIENGA	Kompienga	Diabiga	0,5584444	11,1333600	44	8	3,00
	KOMPIENGA	Kompienga	Diamanga	0,5579166	11,1636700	32	12	1,20
	KOMPIENGA	Kompienga	Kpanpkaga	0,7780278	11,1076700	49	10	0,79
	KOMPIENGA	Kompienga	Nabamboula	0,5467500	11,0512200	37	15	6,20
	KOMPIENGA	Kompienga	Pepembougou	0,5089445	11,0338600	30	3	5,85
	KOMPIENGA	Kompienga	Pognoa-Sankoado	0,5843611	11,0308900	31	6	9,30
	KOMPIENGA	Kompienga	Tambibongou	0,5515556	11,0128600	36	12	4,20
	KOMPIENGA	Kompienga	Toukoudiga	0,4890833	11,0255800	31	12	15,60
	KOMPIENGA	Kompienga	Toutourgou	0,7750000	11,0016400	30	10	3,10
	KOMPIENGA	Pama	Folpodu	0,7161111	11,1579400	42	10	1,10
	KOMPIENGA	Pama	Kpadiari	0,8127500	11,1386400	35	17	1,80
	KOMPIENGA	Pama	Nadiagou	0,8373055	11,1598100	32	18	1,80
	TAPOA	Tambaga	Boalbigou	1,5974720	11,7716700	27	16	5,20
	TAPOA	Tambaga	Fanfangou	1,7070280	11,7962200	30	12	4,00
	TAPOA	Tambaga	Konli 1	1,7174720	11,8152500	36	13	7,00
	TAPOA	Tambaga	Momba Peulh	1,7045000	11,8396700	46	10	0,70
	TAPOA	Tambaga	Naboué	1,5727220	11,7973900	48	20	1,06
	TAPOA	Tambaga	Nambari	1,7659170	11,9544200	57	35	5,00
	TAPOA	Tambaga	Poperi	1,7400830	11,8741900	39	28	2,70
	TAPOA	Tambaga	Sansanga	1,7512780	11,8481100	27	13	2,10
	TAPOA	Tambaga	Tiakoagli	1,7915280	11,9169200	50	20	4,20
	TAPOA	Tambaga	Tindangou	1,6491390	11,7441400	39	21	7,00
	TAPOA	Tansarga	Boupiena	1,8403330	11,9719400	43	35	5,20

ANNEXE 6 : interprétation des essais de pompage

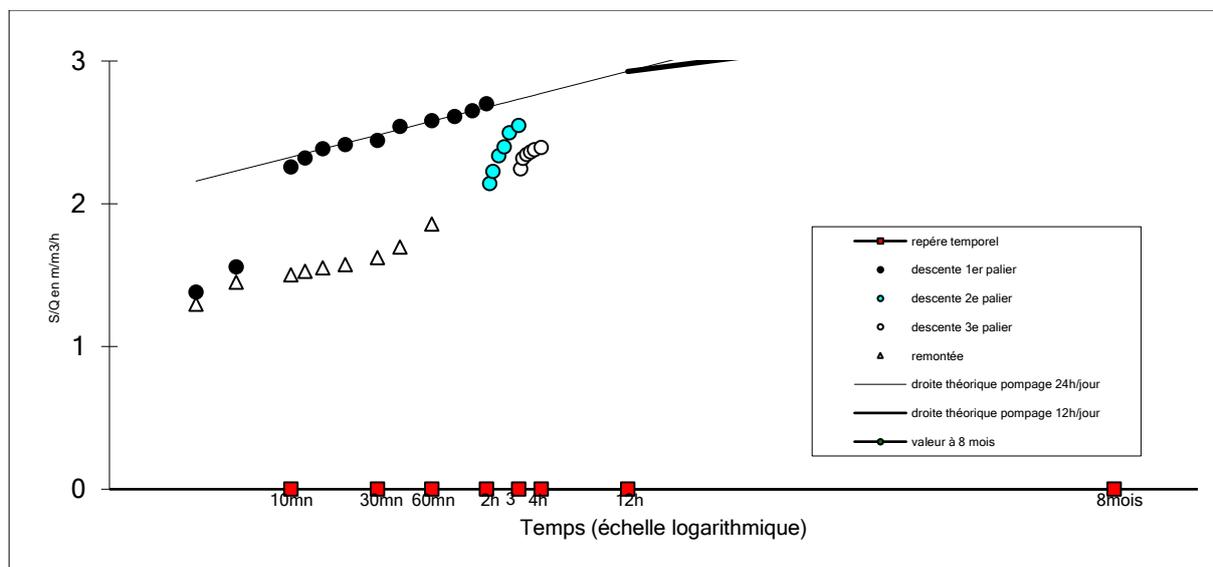
Exemple de calcul de la transmissivité par la méthode de CIEH (Forage du quartier Gniansiga dans la commune de Logobou)

Essais par 3 paliers enchaînés

Données brutes

Descente					Remontée		
Temps t en mn	Niveau m	Rabatement s en m	Débit Q en m ³ /h	Rabat. Spécif. s/Q en m/m ³ /h	Niveau m	Rabatement s' en m	rabatt.spéc. s'/Q en m
0	10,22	0,00	1,02	0,00	14,53	4,31	1,36
3	11,62	1,40	1,02	1,38	12,20	1,98	0,62
5	11,80	1,58	1,02	1,56	11,92	1,70	0,54
10	12,51	2,29	1,02	2,26	11,83	1,61	0,51
12	12,58	2,36	1,02	2,32	11,79	1,57	0,49
15	12,64	2,42	1,02	2,38	11,74	1,52	0,48
20	12,67	2,45	1,02	2,41	11,70	1,48	0,47
30	12,70	2,48	1,02	2,44	11,61	1,39	0,44
40	12,80	2,58	1,02	2,54	11,48	1,26	0,40
60	12,84	2,62	1,02	2,58	11,19	0,97	0,31
80	12,87	2,65	1,02	2,61			
100	12,91	2,69	1,02	2,65			
120	12,96	2,74	1,02	2,70			
125	13,55	3,33	1,56	2,14			
130	13,68	3,46	1,56	2,23			
140	13,85	3,63	1,56	2,33			
150	13,95	3,73	1,56	2,40			
160	14,10	3,88	1,56	2,50			
180	14,18	3,96	1,56	2,55			
185	14,26	4,04	1,80	2,24			
190	14,39	4,17	1,80	2,32			
200	14,44	4,22	1,80	2,34			
210	14,47	4,25	1,80	2,36			
220	14,50	4,28	1,80	2,38			
240	14,53	4,31	1,80	2,39			

Construction de la courbe du rabattement spécifique en fonction du temps.



Détermination des paramètres de la droite théorique de pompage

La pente de la courbe a été déterminée sur le premier pallier. Les points choisis pour la calculer sont les points au temps $t= 15$ mn et $t= 100$ mn. Ainsi donc les coordonnées de ces points sont donc :

t (mn)	Log t	s/Q
15	1,18	2,38
100	2,00	2,65

La pente d est calculée avec la formule suivante : $d = \frac{s/Q_{100}-s/Q_{15}}{\log t_{100}-\log t_{15}}$

$$p = \frac{2,65 - 2,38}{\log 100 - \log 15} = \frac{2,65 - 2,38}{2,00 - 1,18} = 0,32$$

Pourtant $d = 0,183/T$ soit $T = 0,183/d$ ainsi donc $T = \frac{0,183}{3600 \times 0,32} = 1,57 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

L'ensemble des 68 fiches d'essais ont été interprété de la même manière. Le résumé des résultats est ci-dessous.

ANNEXE 7 : Porosité de drainage en fonction du type de sol

Table 6.8: Specific yield (S_y) according to soil texture and the recharge in 2005 using the WTF method

Station	Soil class	S_y		Δh (mm)	Recharge (mm)				
		Min	Max		Min	Max	Average	Stdev	CV(%)
Tanyélé	Sandy loam	0.005	0.10	3950	19.8	395.0	207.4	187.6	90
Pama	Gravelly clay	0.01	0.12	2800	28.0	336.0	182.0	154.0	85
Natiabouani	Gravelly silt	0.02	0.13	2410	48.2	313.3	180.8	132.6	73
Kouaré	Sandy clay	0.03	0.06	1850	55.5	111.0	83.3	27.8	33

CV = Coefficient of Variation; Stdev = Standard deviation