



---

## **Caractérisation de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin du Kou, de Nasso à Diaradougou, par essai de pompage, slug test et analyse d'échantillons de sol ».**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT OPTION : AEP/Eaux souterraines

---

**Présenté et soutenu publiquement le 16 Juin 2010 par**

**Dramane SAGNON**

### **Travaux dirigés par :**

**Angelbert BIAOU**, Docteur en Hydrologie/Hydrogéologie Enseignant-Chercheur (GVEA - 2iE)

**Elie Serge Gaëtan SAURET, Ir Géologue de Conception**, Doctorant en Sciences de l'eau et de l'environnement à Université de Liège (ULG)

**Nicolas GARDIN**, Ingénieur Agronome (Génie rural)/Hydrologue) /Coopérant technique APEFE en charge du projet d'accueil

### **Jury d'évaluation du stage :**

**Président : Angelbert BIAOU**

**Membres et correcteurs : Harouna KARAMBIRI**

**Dial NIANG**

**Elie Serge Gaëtan SAURET**

**Promotion : 2008/2010**

Caractérisation de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin du Kou, de Nasso à Diaradougou, par essai de pompage, slug test et analyse d'échantillons de sol ».

---

## DEDICACE

Je dédie ce mémoire de fin d'étude à :

- ✿ ALLAH le Tout Puissant qui m'a permis d'arriver à ce résultat ;
- ✿ Mes parents SAGNON Tièoulé et Feue Tougnigatcho TRAORE pour leur instruction et éducation, leurs sacrifices, prières et encouragements pour moi ;
- ✿ Mon oncle SAGNON Dramane pour ses prières et conseils à mon égard ;
- ✿ Mes grands-parents Feus SAGNON Kagnifako et HILOU Nihilépro
- ✿ Mes frères et sœurs qui m'ont soutenu moralement et matériellement durant mon parcours scolaire ;
- ✿ Mes cousins TOU Karim, Braihima et Mahamadou;
- ✿ A tous mes amis.

## Remerciements

Ce travail est l'œuvre de la coopération entre le 2iE et le projet d'appui à la gestion et à la protection des eaux souterraines dans la commune de Bobo-Dioulasso.

Au terme de ce travail il me va droit au cœur de remercier tous ceux qui ont apporté leur contribution à l'élaboration de ce document.

Mes remerciements vont d'abord à l'endroit de mon encadreur interne à 2iE Dr Angelbert BIAOU qui a permis que ce stage puisse se réaliser

Je voudrais exprimer ma gratitude à mon encadreur externe M. Elie Serge Gaëtan SAURET, Doctorant au sein du projet. La définition des activités quotidiennes du stage lui revenait. Sa disponibilité, sa manière d'encadrer m'ont beaucoup impressionné.

Je remercie tous les enseignants du 2iE et l'administration pour la qualité de la formation et leur disponibilité.

Je souhaite remercier M. Nicolas GARDIN, coopérant technique en charge du projet, M. Ahmed Kam gestionnaire de la base de données du projet, ainsi que les autres partenaires du projet, à savoir M. Farid Traoré, et Bado Alfred qui n'ont ménagé aucun effort pour l'avancement de mon travail.

Je tiens à remercier ma famille, mes amis pour leur soutien inconditionnel.

Enfin je remercie tous ceux qui de près où de loin ont contribué à l'élaboration de ce document et dont les noms n'ont pas été cités. Puisse ALLAH vous accorder sa grâce.

## Résumé

Les ressources en eau du bassin versant du Kou dans la région du sud-ouest du Burkina Faso font l'objet de nombreuses études. Ces études visent à comprendre l'origine et le fonctionnement des ressources en eaux souterraines de ce bassin versant qui regorge d'importantes quantités d'eau. Toute compréhension utile de ces ressources permettra de mieux les gérer et de les protéger. Face aux besoins des populations, des industries, l'agriculture et l'élevage, la nappe a subi une exploitation intensive ces dernières années. Avec une augmentation des usagers de ces ressources en eaux, le bassin versant du Kou n'en demeure pas moins le théâtre de conflits autour de la question de l'eau. Il appartient donc aux principaux gestionnaires de cette ressource (administration, projet etc..) de revenir à l'échelle locale pour proposer des solutions idoines, gage d'une paix durable. De cette démarche est partie cette étude sur les caractérisations hydrodynamiques de la plaine alluviale du Kou entre Nasso et Diaradougou. Il ressort de cette étude qu'il existe à l'échelle de la plaine alluviale, des sites présentant de très bonnes caractéristiques hydrodynamiques. Une valorisation de ces sites pourrait aider à accroître la productivité en ressources en eaux afin d'apporter des solutions aux conflits.

Mots clés : aquifère, plaine, hydrodynamisme, Kou, alluviale

## Abstract

Kou watershed water resources located in the south-western of Burkina Faso are the subject of many studies. These studies aim at understanding the origin and the behavior of groundwater resources of this catchment which has important quantities of water. Any useful comprehension of these resources will make it possible to better manage and protect them. Population, industries, agriculture and livestock breeding, water needs caused an intensive exploitation of groundwater these last years. With water resources increasing users, the Kou watershed is about to be subject of conflicts around the water question. It thus belongs to the main managers of this resource (administration, project, etc.) to propose suitable solutions (at local scale), to guarantee a durable peace.

In this scope, this study on the Kou's alluvial plain hydrodynamic characterization between Nasso and Diaradougou has been initiated. It comes out from this study that there exists at the alluvial plain scale, sites presenting very good hydrodynamic characteristics. A

Caractérisation de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin du Kou, de Nasso à Diaradougou, par essai de pompage, slug test et analyse d'échantillons de sol ».

---

valorization of these sites could help to increase the productivity in water resources in order to bring solutions to emerging conflicts.

Key words: aquifer, plain, hydrodynamics, Kou, alluvial,

## **Sigles et Abréviations**

**APEFE** : Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger

**BD**: Base de données

**DGRNE** : Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement

**DRAHRH-HB** : Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques des Hauts-Bassins

**BUNASOLS** : Bureau National des Sols (Burkina Faso)

**2IE** : Institut Internationale de l'Ingénierie de l'Eau et l'environnement

**GFB** : Grès de Fô-Bandiagara

**GFG** : Grès Fins Glauconieux

**GFR**: Grès Fins Roses

**GGQ** : Grès à Granules de Quartz

**GPS**: Global Positioning System

**GVEA** : Gestion et Valorisation de l'Eau et de l'Assainissement du 2iE

**ONEA** : Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement

**PESO** : Projet Eaux Souterraines

**SOGREAH** : Bureau d'étude ingénieurs conseils

**ULg**: Université de Liège

**WBI** : Wallonie-Bruxelles-International

## Sommaire

Résumé.....	iii
Abstract.....	iii
Sigles et Abréviations.....	v
Listes des figures .....	3
Liste des tableaux.....	4
Listes des formules .....	5
<b>CHAPITRE I : INTRODUCTION ET GENERALITES .....</b>	<b>6</b>
I.    CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE.....	6
II.   OBJECTIF DE L'ETUDE .....	6
III.  HYPOTHESE.....	6
IV.   MATERIELS ET METHODES.....	7
IV.1. Démarche méthodologique.....	7
IV.2. Situation géographique de la zone d'étude.....	7
IV.3. Géomorphologie et pédologie .....	8
IV.4. Climat .....	9
IV.5. Activités socio-économiques.....	10
IV.6. Géologie et tectonique.....	10
IV.7. Hydrographie.....	13
IV.8. Hydrogéologie .....	13
IV.10. Les tests hydrogéologiques .....	16
<b>CHAPITRE II : RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....</b>	<b>20</b>
I.    GENERALITES SUR LES PLAINES ALLUVIALES .....	20
II.   CAS DE LA PLAINE ALLUVIALE DE LA ZONE D'ETUDE.....	21
II.1. Extension géométrique de la plaine alluviale .....	21
II.2. Extension verticale de la plaine alluviale.....	23
III.  CARACTERISATION DE L'HYDRODYNAMISME DE LA PLAINE ALLUVIALE .....	26
III.2. RESULTATS ET INTERPRETATION DES TESTS HYDRODYNAMIQUES ET DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES .....	30
III.2.1. Essais de pompage par paliers .....	30
<b>CHAPITRE III : DISCUSSION ET RECOMMANDATION.....</b>	<b>36</b>

<b>I. HYDRODYNAMISME DE LA PLAINE ALLUVIALE.....</b>	<b>36</b>
I.1. Etat des sols dans la zone d'étude .....	36
I.2. Caractéristiques géomorphologiques et géophysiques.....	36
I.3. Essais hydrauliques et Analyse granulométrique.....	36
<b>II. PERSPECTIVE DE STOCKAGE DES EAUX ALLUVIALES PAR RECHAGE ARTIFICIELLE .....</b>	<b>39</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>40</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>43</b>

**Listes des figures**

Figure 1: Localisation de la zone d'étude .....	8
Figure 2 : Carte pédologique de la zone d'étude .....	9
Figure 3: Géologie de la zone d'étude.....	12
Figure 4: Coupe Hydrogéologiques et géologiques de la région de Bobo-Dioulasso .....	12
Figure 5: Hydrographie de la zone d'étude .....	13
Figure 6: Plaine alluviale avec ses différentes unités .....	21
Figure 7: Limite des différentes unités géomorphologiques de la plaine .....	23
Figure 8: Fréquence de résonance en fonction de l'épaisseur de l'aquifère alluvial: modèle de résistivité en couleur relative et limite (noir sur le modèle) entre bedrock et alluvions .Rive droite du Kou à Nasso .....	25
Figure 9: Fréquence de résonance en fonction de l'épaisseur de la plaine alluviale. Modèle de résistivité en couleur relative et limite (trait noir sur le modèle) entre bedrock et alluvions. Rive droite du Kou à Diaradougou .....	26
Figure 11: Carte piézométrique de la plaine, de Nasso à Diaradougou.....	28
Figure 12: Carte piézométrique à l'horizon de Nasso .....	29
Figure 13: carte piézométrique de Diaradougou.....	29
Figure 15: Ouvrages ayant fait l'objet d'essais de pompage .....	30
Figure 16: Localisation des sites échantillonnés ayant fait l'objet de pompage et/ou de slug test.....	34
Figure 17: Degré de perméabilité déduit des essais hydrauliques .....	37
Figure 18: Triangle de corrélation entre la texture et la perméabilité.....	38
Figure 19: Degré de perméabilité des sols des sites en tenant compte des logs de forage et de l'analyse granulométrique .....	39

## Liste des tableaux

Tableau 1: log du micro piézométrique PD_04 piézomètre PD_08 .....	Tableau 2: log du micro .....	24
Tableau 3: Valeur de l'épaisseur de l'aquifère à l'aplomb des ouvrages pompés .....		31
Tableau 4: Valeurs de T et K .....		32
Tableau 5: Valeurs de T et K selon la méthode de Hvorslev .....		33
Tableau 6: texture des sols .....		35
Tableau 7: Résumé des résultats de Diaradougou .....		36
Tableau 8: Résumé des résultats de Nasso et Dindéresso .....		37

**Listes des formules**

Équation 1 :..... 17  
Équation 2..... 17  
Équation 3..... 17  
Équation 4..... 18  
Équation 5..... 18

## **CHAPITRE I : INTRODUCTION ET GENERALITES**

### **I. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE**

A l'échelle de la région de Bobo, le bassin versant du Kou étendu sur une superficie d'environ 1860km<sup>2</sup> suscite un intérêt tous azimuts pour l'AEP, l'agriculture irriguée, la pisciculture et l'élevage. Constitué d'une rivière pérenne : le Kou, à laquelle s'associent une centaine d'affluents et d'importantes sources, le bassin du Kou abrite une zone hydrogéologique très favorable, constituée d'aquifères sédimentaires très productifs (IWACO, 1993).

De nos jours, la croissance effrénée des usagers de la ressource en eau dans le bassin du Kou, a entraîné de vives compétitions entre exploitants. Ces compétitions se traduisent par des conflits latents/réels entre usagers. A ce titre, le projet ESO dans sa seconde phase (2008-2010) a de concert avec le gouvernement Burkinabè et les autorités en charge de la gestion de l'eau de la région de Bobo-Dioulasso entrepris d'étudier les potentialités en eau de la plaine alluviale du bassin et sa possibilité de valorisation en tant que ressource en eau alternative/complémentaire aux eaux de surface pour la satisfaction des besoins en eau pour l'irrigation.

Le présent stage initié par le projet en partenariat avec les 2IE se doit de caractériser l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin par des études hydrogéologiques classiques et des analyses morpho-pédologiques de sol d'où l'intitulé de la présente thématique de stage : « caractérisation de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin du Kou, de Nasso à Diaradougou, par essai de pompage, slug test et analyses d'échantillons de sol ».

### **II. OBJECTIF DE L'ETUDE**

L'objectif général de l'étude est de comprendre et caractériser le fonctionnement hydrodynamique de la plaine alluviale.

### **III. HYPOTHESE**

Cette étude se propose de vérifier l'hypothèse suivante : il existe dans la plaine alluviale des zones potentiellement très aquifères.

## **IV. MATERIELS ET METHODES**

### **IV.1. Démarche méthodologique**

Pour mener à bien cette étude la démarche méthodologique s'est articulée comme suit :

- une phase documentaire qui nous a permis de bien comprendre le sujet d'étude et ses contours à travers des anciens rapports de mémoire concernant la zone d'étude et en rapport avec le thème d'étude :
- une phase de laboratoire : pendant cette phase, il a été question d'essais d'analyse granulométrique (par tamisage et sédimentométrie) et de la détermination du poids spécifique des sols d'étude au laboratoire de génie civil du 2iE. Cette phase a permis de récolter des informations sur les propriétés de sites d'étude ;
- une phase de terrain pendant laquelle, des essais de pompage et des essais par choc hydraulique ont été effectués afin de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques ;
- une phase de bureau : lors de cette phase, il a été question de traiter les données recueillies sur le terrain et au laboratoire à l'aide Microsoft Excel.

### **IV.2. Situation géographique de la zone d'étude**

La zone d'étude est située en aval des sources de Nasso-Guinguette, à l'ouest et à environ 16 km de la capitale économique du Burkina Faso (Bobo-Dioulasso). Elle est délimitée en aval par la prise du Kou située au niveau de Diaradougou. La figure ci-après donne la carte de situation de la zone d'étude :

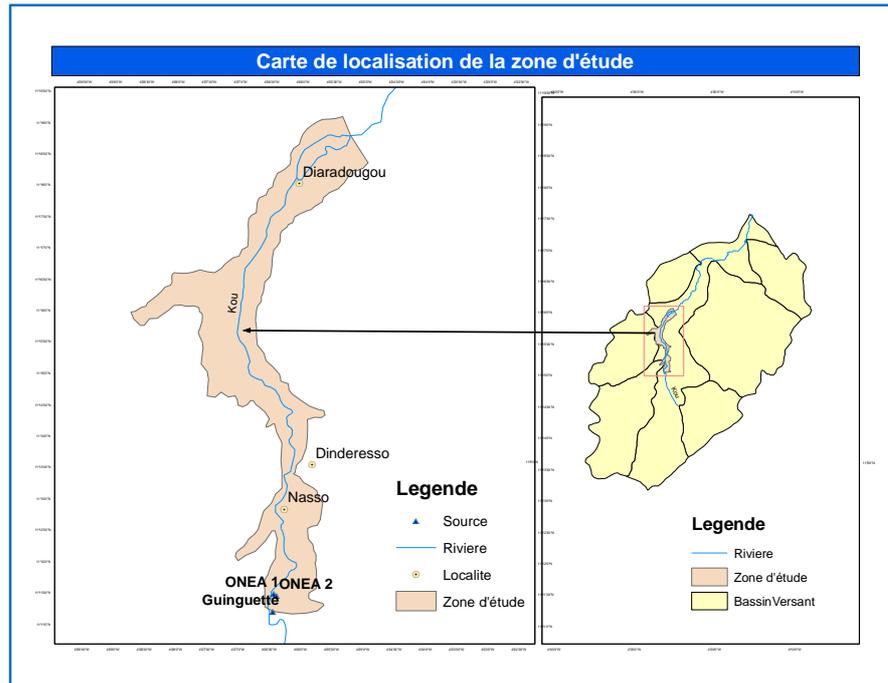


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

### IV.3. Géomorphologie et pédologie

La plaine alluviale est caractérisée par des altitudes comprises entre 315m et 355m, des pentes de l'ordre de 2%. Les types de sols (figure2) rencontrés dans cette plaine sont les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface (HPGS), les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions (FLC), les sols ferralitiques faiblement désaturés, en (B) typique modale et les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions. C'est dans les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface (HPGS) et les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions (FLC) que drainent les eaux de la rivière Kou.

- Les sols HPGS profonds, de couleur grise au premier horizon et grise claire à grise brunâtre dans les autres sont généralement rencontrés dans la plaine alluviale, notamment dans les bas-fonds mais aussi au niveau des glacis à pente inférieur. Ils sont peu poreux. La texture est limono-argileuse en surface et argileuse en profondeur. Les agrégats sont grossiers et moyens. La consistance est très dure. L'activité biologique est assez bien développée. Le drainage est imparfait.
- Les sols FLC, présents sur les hauts, moyens et les bas de pente de glacis, sur les plateaux cuirassés et dans les dépressions périphériques sont moins présents dans la

plaine alluviale et se positionnent après les sols HPGS et sont à mi-chemin entre la plaine alluviale et les unités encaissantes du relief (colluvions et terrasses).

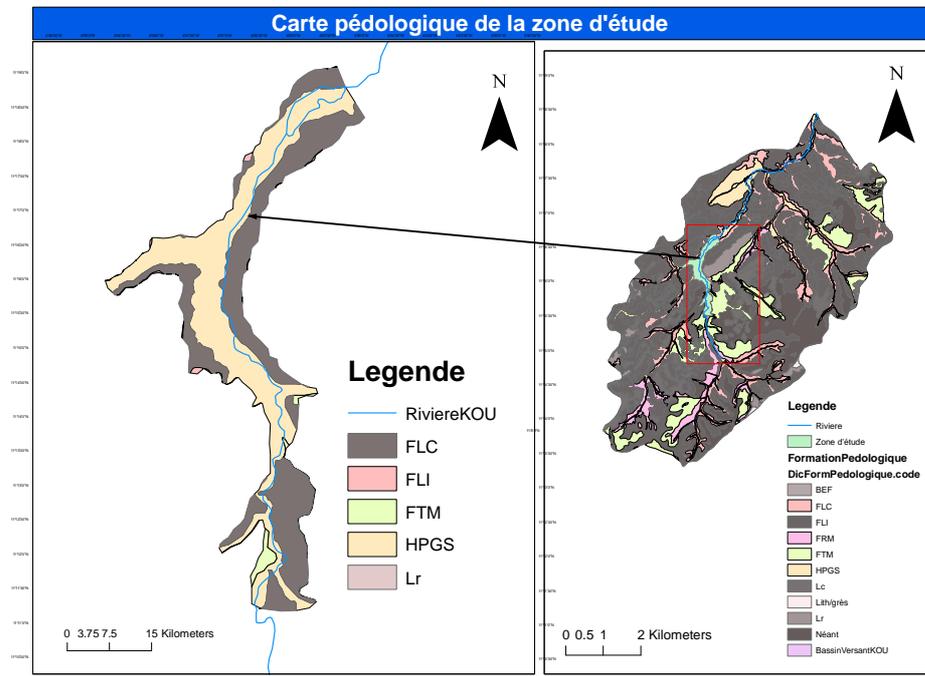


Figure 2 : Carte pédologique de la zone d'étude

#### IV.4. Climat

La zone d'étude est localisée dans la province du Houet appartenant au climat sud-soudanien caractérisé par des pluviométries annuelles de 800mm à 1200mm (Sauret, 2007). Ce climat est marqué par l'alternance de deux saisons :

- une saison sèche allant d'Octobre à Avril : caractérisé par des vents secs de l'harmattan soufflant du Nord-est au Sud-ouest ;
- une saison pluvieuse allant de Mai à Septembre : caractérisé par des vents humides provenant des hautes pressions océaniques de l'hémisphère sud.

Le mois le plus chaud est celui d'Avril correspondant à l'arrivée des vents.

Dans le bassin du Kou, la température maximale est observée de Mars à Mai et minimale en Décembre-Janvier (maximale mensuelle 37°C, minimale mensuelle 13°C), (TRAORE, et GOMBERT rapporté par SAURET, 2008).

#### **IV.5. Activités socio-économiques**

##### ➤ L'agriculture

Dans la vallée du Kou, l'irrigation est pratiquée dans la commune de Bama au nord-ouest de la ville de Bobo-Dioulasso. Le périmètre irrigué d'une superficie de 1250 ha est alimenté par canal d'amené, qui est un canal de 11km environ drainant l'entièreté des eaux de la rivière Kou à partir de Diaradougou. Le riz reste la culture dominante. Les besoins en eau du périmètre rizicole sont estimés à 20 000 m<sup>3</sup>/ha [MAMADOU CHERIF, 2006]. Des maraichers effectuent des pompages d'eau, non contrôlés, sur le canal alimentant le périmètre de Bama, pour la production de choux, les plantations de bananiers, de papayers, de mangues et des champs de maïs.

##### ➤ L'élevage

Elle constitue la deuxième activité économique de la région. Le cheptel est composé des bovins, ovins, caprins et asins. Les besoins annuels en eau du cheptel sont estimés à 168 631 m<sup>3</sup> [MAMADOU CHERIF, 2006]

##### ➤ L'industrie

La zone industrielle à Bobo-Dioulasso, qui s'avère être la deuxième plus importante du pays, est très diversifiée : agro-industries, industries chimiques, industries métallurgiques.

Les pressions exercées par ces industries consistent en des rejets d'eaux usées et des déchets solides industriels, ainsi que la consommation en eau. En plus de l'alimentation en eau potable de la ville de Bobo Dioulasso qui pompent des sources de Nasso/guinguette environ 1250m<sup>3</sup>/h (Source ONEA), des industries comme Laafi, Brakina disposent de leurs propres forages pour l'exploitation des eaux des aquifères souterrains profonds. Ces exploitations régulières et en nette croissance, entraineraient une diminution des niveaux des aquifères souterrains du bassin du Kou (ESO., 2008).

#### **IV.6. Géologie et tectonique**

L'essentiel des notions développées dans cette partie sont extraites des travaux de Ouédraogo , 1999 ; 2005, Dakouré., 2003 ; Sauret.,2008.

Dans le bassin du Kou, la géologie est composée de Dolérites, Silstones Argilites Carbonates, des formations de Grès à Granules de Quartz (GGQ), de Grès Fins Glauconieux (GFG) de Takalédougou et des Grès Fins Roses (GFR).

La zone d'étude, quant à elle, est caractérisée essentiellement par des Silstones Argilites Carbonates (SAC) et une mince couche de Grès à Granules de Quartz (GGQ) se signalant au niveau des sources de Nasso-Guingette (figure3), les dolérites et le continental terminal.

- Les SAC débutent au contact des GGQ par des grès fins roses à passées de grès grossiers et de minces niveaux d'argilites. L'épaisseur de la formation est estimée à 300 m.
- La formation de Grès à Granules de Quartz (GGQ), composée de grès quartzite fin à moyen avec des passés de grès grossiers à gros galets, est marquée par la présence de granules de quartz et a une épaisseur comprise entre 300m et 600m. Elle affleure très peu et peut être observable dans le lit de la rivière Kou (Sauret, 2007).

➤ Les formations superficielles

Elles sont représentées par les latérites, les alluvions argileuses ou sablo-argileuses et les formations de recouvrement. Les formations de recouvrement sont des formations de décomposition du substratum gréseux. Elles sont constituées de sables plus ou moins argileux, à argiles plus ou moins sableuses avec une épaisseur allant de 40m par endroits

➤ Le système de fractures

La zone d'étude est parcourue par deux directions majeures de fracturations : SW-NE et SE-NW. Ces fracturations sont d'extensions décamétriques à kilométriques. A Nasso, une faille d'effondrement orientée SW-NE serait à l'origine des sources de Nasso/guingette et favoriserait par ailleurs un contact entre les formations des SAC et des GGQ. D'après Sogréah. (1993), d'autres failles, orientées NW-SE, localisées à Dinderesso dans le cas de la zone d'étude, seraient associées à la faille d'effondrement pour induire au sein des niveaux aquifères des directions privilégiées d'écoulement : un écoulement lent et dispersé dans les grès non fracturés, et un écoulement rapide et concentré dans les zones de fractures et les niveaux de galets de quartz.

Caractérisation de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin du Kou, de Nasso à Diaradougou, par essai de pompage, slug test et analyse d'échantillons de sol ».

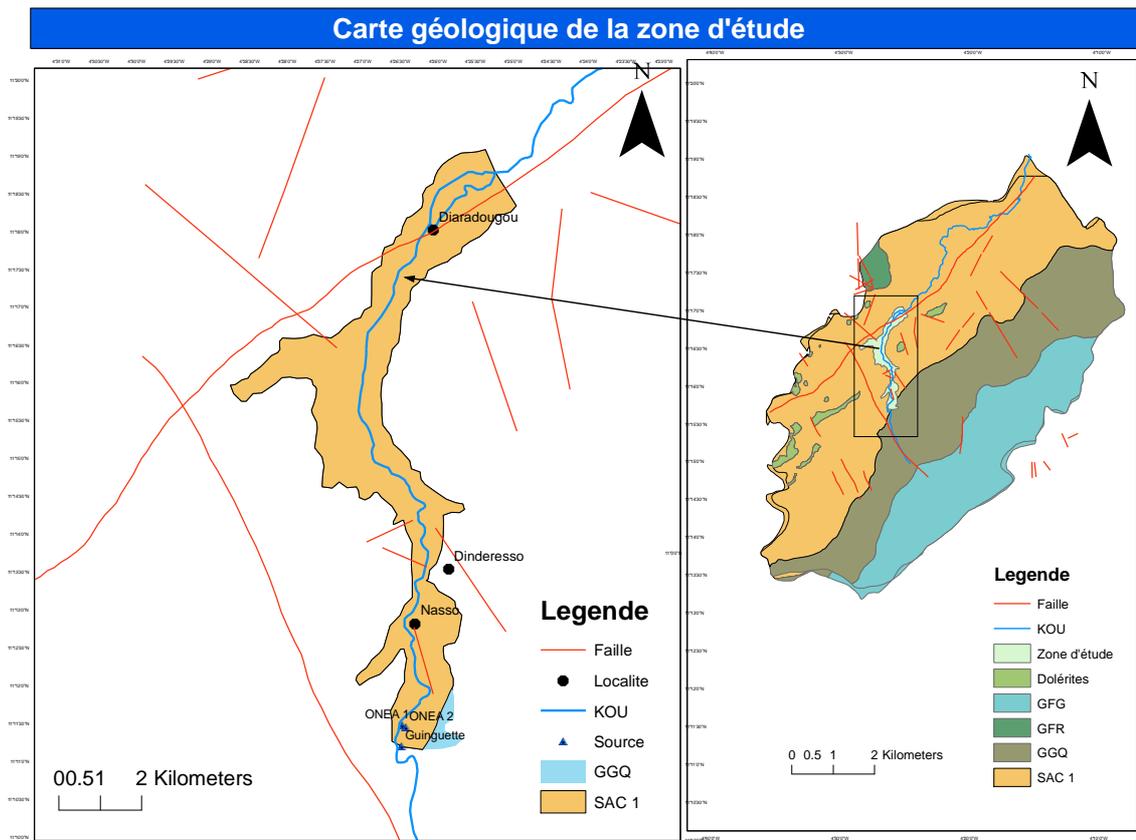


Figure 3: Géologie de la zone d'étude

La figure 4ci-dessous donne des informations sur l'hydrogéologie et la géologie de la région de Bobo-Dioulasso.

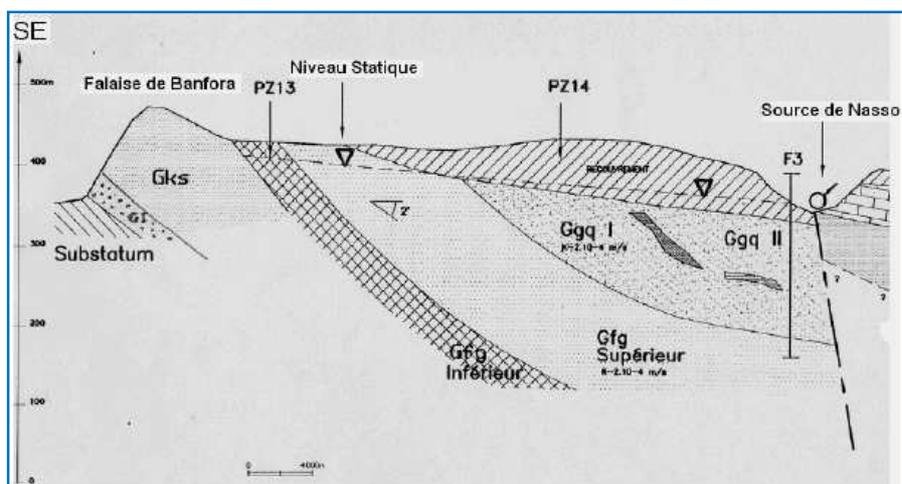


Figure 4: Coupe Hydrogéologiques et géologiques de la région de Bobo-Dioulasso

(Sogreah, 1994).

#### IV.7. Hydrographie

Sur le plan hydrographique, le bassin du Kou est caractérisé par la rivière pérenne Kou prenant sa source aux environs de Kodala à une trentaine (30) de kilomètres au sud-ouest de la capitale économique Bobo-Dioulasso. La rivière Kou est formé par la jonction de deux marigots : le Kiéné et le Farokoba. Il coule vers le nord recevant les eaux des sources de Nasso, du marigot Yengué en rive gauche et en rive droite celle des marigots Niamé et Houet. Il reçoit également les eaux des rivières Suo. Ses principales sources sont situées près de la localité de Nasso et constituées des sources de la Guingette, la source ONEA 1 et la source ONEA 2. La figure 5 donne une idée sur l'hydrographie de la zone d'étude :

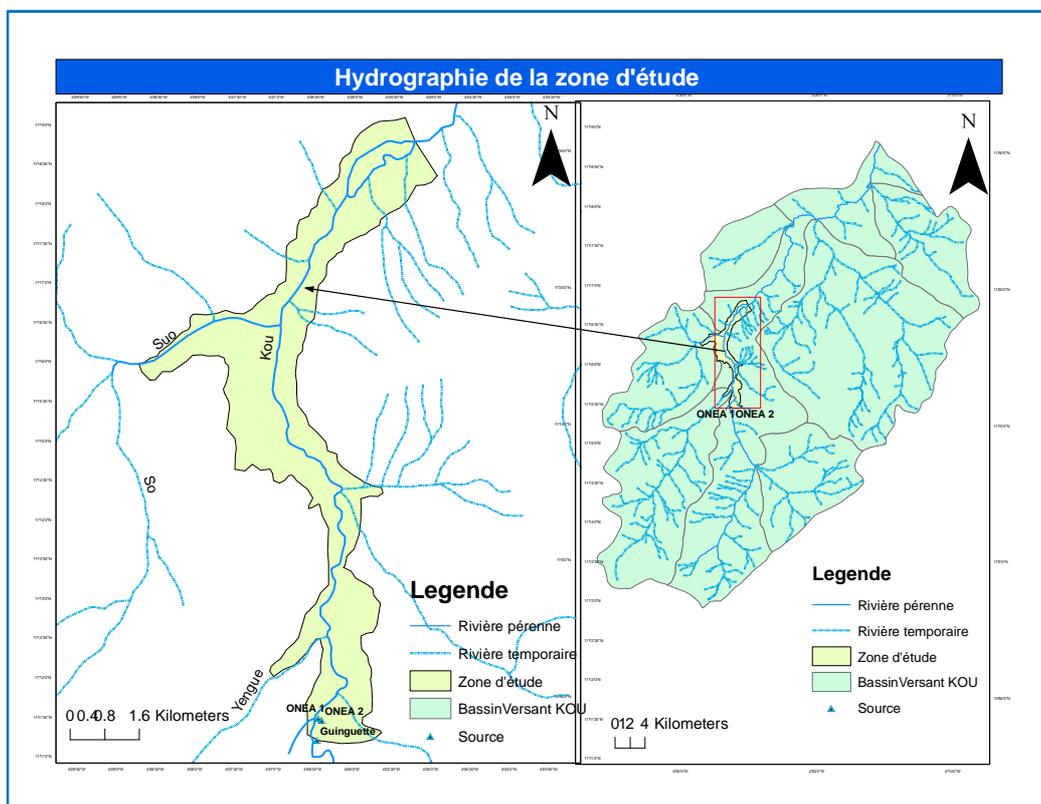


Figure 5: Hydrographie de la zone d'étude

#### IV.8. Hydrogéologie

Le bassin du Kou est caractérisé par une alternance de dépôt perméable et peu perméables favorables à l'existence de couches aquifères. De nos jours, la puissance des formations aquifères et leur limite restent inconnues car aucun forage profond n'a traversé toute la série

sédimentaire. L'hypothèse retenue jusqu'ici par les acteurs serait l'existence d'une nappe d'eau unique hébergée au sein d'un aquifère multicouche (Dakouré., 2003, Johan., 2007 ; Sauret, 2007). On observe du bas vers le haut :

### **1. L'aquifère des Grès de Kwadara Sindou (GKS)**

D'après Sogreah, 1994, il repose soit sur des schistes très peu perméables, soit directement sur les granites du socle, en fonction de la morphologie du substratum ou de l'érosion. Ces aquifères sont composées essentiellement de grès et le toit de la nappe est constitué par des formations marines très peu perméables.

### **2. L'aquifère des Grès Fins Glaucieux (GFG)**

D'après Ouédraogo., 1999. 2005 rapporté par Lorenzini., 2007, on retrouve à la base de l'aquifère GFG une épaisse série peu perméable de nature argileuse plus ou moins gréseuse, puis une série gréseuse et au sommet une couche peu perméable de nature argileuse. Cette nappe captive alimente certaines industries de la ville de Bobo-Dioulasso.

### **3. L'aquifère des Grès à Granules de Quartz (GGQ)**

Au sein de la série (GGQ), existent deux nappes présentant une variation de conductivité des eaux : de 75 à 190  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour le GGQ inférieur, et de 5 à 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour le GGQ supérieur (Sogreah Ingénierie. 1994).

Ces différentes nappes sont séparées de l'aquifère GFG par une couche d'argile plus ou moins gréseuse. La séparation entre les 2 niveaux aquifères est hétérogène et probablement discontinue, de type lenticulaire. Les roches réservoirs sont constituées par des grès très poreux et perméables. Le toit est composé de niveaux très peu perméables appartenant à la base du SAC.

### **4. L'aquifère des Silstones Argilites et Carbonates de Guéna Souroukoudinga (SAC1)**

Le mur de l'aquifère SAC est constitué d'une série d'argiles plus ou moins épaisses. La roche aquifère est composée de grès très grossiers et glaucieux, et le toit est formé d'une épaisse couche de calcaire dolomitisé très peu perméable, sans aucun signe de karstification. Les eaux sont de type bicarbonaté magnésien.

### **5. L'aquifère des Grès fins roses (GFR)**

De faibles extensions, l'aquifère des GFR est constitué de grès quartzites très fins, micacés glaucieux, de couleur rose dominante. Il serait le réservoir d'une nappe peu épaisse moins profonde (la profondeur des eaux par rapport au sol est de l'ordre de 11m, (Dakouré ,2003).

Cette nappe est captée par des puits traditionnels villageois dans le département Bama, Sakaby.

## IV.9. Caractérisation des paramètres hydrodynamiques

### IV.9.1. Généralités

Les caractéristiques hydrodynamiques en question, sont la transmissivité, la porosité efficace, la texture du sol et la perméabilité. Leur détermination a été faite par des essais hydrogéologiques : essais de pompages, slug test et, analyses sédimento-granulométriques d'échantillons de sols.

### IV.9.2. Définitions

- La transmissivité d'un aquifère correspond au débit d'une couche aquifère sur toute son épaisseur par unité de largeur et sous l'effet d'un gradient hydraulique égal à l'unité.

Elle est l'intégration de la perméabilité (K) sur l'épaisseur de terrain saturé en eau (es) :

$$T = \int_0^{es} K \cdot e \cdot d e . \text{ Soit avec K constant, } T=K \cdot e_s$$

Elle sera déterminée à l'aide d'essais de pompage et de slug test.

- La texture d'un sol donne des informations sur sa composition granulométrique et se définit par les proportions des particules minérales (du plus grossier au plus fin : sables, limons et argiles). La structure est l'assemblage en agrégats de la fraction minérale et organique. Elle est influencée par la texture. Ces deux éléments (texture et structure) ont une influence directe sur la perméabilité du sol.
- La porosité efficace, appelée également porosité de drainage, caractérise les plus grands pores dans lesquels circule l'eau librement sous l'effet de la gravité. Ces pores, contenant de l'eau uniquement en période de précipitation ou d'irrigation en milieu saturé, se vident rapidement lorsque l'alimentation cesse ou lorsque le niveau de la nappe baisse (Mermoud, 2009).

## IV.10. Les tests hydrogéologiques

### IV.10.1. Les essais de pompage par paliers de débits

#### IV.10.1.1. Principes

L'essai de pompage par palier de débits consiste à pomper pendant un temps  $t$  à un débit  $Q_1$  et à suivre la descente et la remontée pendant le même temps. Au deuxième palier, on pompe à un débit  $Q_2 > Q_1$  pendant le même temps  $t$  et on observe le comportement de la nappe : descente et remontée.

Pour la réalisation des essais de pompage, le matériel ci après a été utilisé :

- Une motopompe de marque « Honda » de débit 110 l/min,
- une sonde sonore et lumineuse pour la mesure du niveau d'eau,
- un chronomètre
- un GPS pour localiser les ouvrages de pompage (puisards)
- et un mini DIVER pour l'enregistrement des niveaux lors des essais.

#### IV.10.1.2. Méthode d'interprétation admise des essais de pompage

L'aquifère de la plaine alluviale étant libre, l'approximation logarithmique de Jacob-Theis a été utilisée pour l'interprétation des courbes de descente et de remontée.

La méthode de Jacob consiste à tracer sur un papier semi-logarithmique, les rabattements observés en fonction du temps (pour la remontée, on trace les rabattements résiduels en fonction de  $\log(1 + t_p/t_r)$  où  $t_p$  et  $t_r$  correspondent respectivement au temps de pompage depuis le début de pompage et  $t_r$  le temps de remontée après l'arrêt de la pompe).

Les hypothèses admises pour l'application des formules de Jacob-Theis sont les suivantes :

- ✚ l'aquifère est confiné ;
- ✚ l'aquifère est de dimensions latérales infinies
- ✚ l'aquifère est homogène, isotrope et son épaisseur est uniforme pour toute l'aire influencée par le pompage ;
- ✚ la surface piézométrique à l'état naturel est horizontale pour toute l'aire influencée par le pompage ;

- ✚ le pompage est réalisé à débit constant ;
- ✚ l'aquifère est crépiné sur toute son épaisseur et l'écoulement se fait horizontalement.

L'équation du rabattement (descente) en fonction du temps est donnée par la formule ci-après :

**Équation 1 :**

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) = \frac{Q}{4\pi T} \left[ -0,5772 - Lnu + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^2}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} \dots \dots \right]$$

Dans le cas des aquifères libres, comme dans le notre, cette équation est applicable si et seulement si  $\Delta h < 0,25h$ .

En pratique, dès que  $u \leq 0$ , l'équation ci-dessus devient :

**Équation 2**

$$s = \frac{0,183Q}{T} \text{Log} \left( \frac{2,25Tt}{r^2 S} \right)$$

Avec s : rabattement (m), T : transmissivité (m<sup>2</sup>/s), S : coefficient d'emmagasinement, Q : débit de pompage (m<sup>3</sup>/s), temps (s) ; r : distance à l'axe du forage (m)

La T et le S est déterminé par interprétation graphique de la courbe de descente en fonction du temps.

Sur papier semi -logarithmique, s(t) est une droite dont la pente est donnée par :

**Équation 3**

$$s_2 - s_1 = \frac{0,183Q}{T} \text{Log} \left( \frac{t_2}{t_1} \right)$$

Dans le cas d'une remontée, la formule de jacob s'écrit :

Dans le cas de la remontée, la formule de JACOB s'écrit :

#### Équation 4

$$s' = \frac{2.3 * Q}{4 * \Pi * T} * \log \left( \frac{t_p + t_r}{t_r} \right)$$

$t_p$  : temps écoulé depuis l'origine du pompage jusqu'à son arrêt ;

$t_r$  : le temps compté après cet arrêt ;

$s'$  : la remontée ou rabattement résiduel) ;

$Q$  : valeur du débit de pompage ayant créé le rabattement initial.

Le calcul se fait sur un graphique semi-logarithmique. On trace la courbe expérimentale de «  $s'$  » en fonction de  $\log \left( \frac{t_p+t_r}{t_r} \right)$  ; «  $s'$  » est en ordonnée.

#### IV.10.2. Les slug tests

Les slug tests ou chocs hydrauliques consistent à extraire ou à injecter très rapidement de l'eau d'un forage ou puits et de suivre l'évolution du niveau d'eau au cours du temps. Les remontées (s'il s'agit d'une extraction) ou les rabattements (dans le cas d'une injection) sont notés en fonction du temps.

Les essais réalisés ont été analysés par la méthode de Hvorslev

La méthode de Hvorslev consiste à abaisser (ou à élever) le niveau d'eau à partir d'un niveau initial  $H_0$  et d'observer la remontée (ou abaissement) jusqu'au niveau initial. La remontée enregistrée lors de l'essai est normalisée et portée sur un graphique semi-logarithmique de  $(H-h)/H-H_0$  en fonction du temps (courbes de Hvorslev en annexe...) ; la courbe obtenue est une droite. La méthode Hvorslev permet de déterminer localement la conductivité hydraulique et la transmissivité d'un aquifère. Pour le calcul de la perméabilité  $K$ , Hvorslev donne la formule suivante :

#### Équation 5

$$K = \frac{r^2 \log \left( \frac{L}{R} \right)}{2 * L * T_0}$$

Avec  $r$  : rayon du puits ;  $L$  : l'épaisseur de la zone crépine ;  $T_0$  : le temps au bout duquel  $(H-h)/(H-h_0)=0.37$  et  $R$  : rayon de la partie crépinée.

#### IV.10.3. Les analyses d'échantillon de sol

Les essais réalisés, au laboratoire sont des essais d'analyse granulométrique et d'essai au pycnomètre d'air.

L'analyse granulométrique est constituée de deux techniques complémentaires.

- Une technique d'analyse par tamisage des refus au tamis de 80 $\mu$ m. Cette partie est obtenue après lavage du matériau initialement trempé pendant 24h.
- Une technique d'analyse par sédimentométrie des passants au tamis de 80 $\mu$ m. Les passants au tamis de 80 $\mu$ m constituent principalement les fines du sol (limons, argiles et sable très fin).

La granulométrie complète permet de tracer la courbe granulométrique afin de déterminer les pourcentages des différents constituants du sol (argile, limon et sable). L'ensemble des courbes obtenues à l'issue de l'analyse granulométrique sont en annexe.

La détermination de la texture se fait à l'aide de la méthode du triangle texture. Mais, dans cette étude, les différentes propriétés hydrauliques ainsi que la densité apparente de ces sols sont obtenues à partir d'une base de données texturales en ligne exigeant en entrée les pourcentages de sable et d'argile pour fournir en sortie ces résultats (site :[http://www.pedosphere.com/resources/bulkdensity/worktable\\_us.cfm](http://www.pedosphere.com/resources/bulkdensity/worktable_us.cfm);[http://www.pedosphere.com/resources/bulkdensity/triangle\\_us.cfm](http://www.pedosphere.com/resources/bulkdensity/triangle_us.cfm)<http://www.bsyse.wsu.edu/faculty/saxton.html>).

## CHAPITRE II : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### I. GENERALITES SUR LES PLAINES ALLUVIALES

Une plaine alluviale est essentiellement constituée par trois éléments : le lit mineur, le lit majeur et une nappe alluviale composée en grande partie d'éléments fins. Les alluvions d'une plaine alluviale sont une roche meuble composée de grains ou particules entassés sans soudés entre eux. Au niveau d'une plaine alluviale, on trouve par granulométrie décroissante : des roches, des cailloux, des graviers, du gros sable, du sable fin, du limon et de l'argile. Les nappes alluviales présentent un très grand intérêt pour l'alimentation en eau. En effet, elles sont constituées de matériaux faciles à creuser (même avec des moyens rudimentaires : poche, huile de coude, pioche), sont à faible profondeur, d'assez bonne perméabilité. L'alimentation des nappes est très souvent importante ; elle draine fréquemment l'eau provenant des nappes adjacentes (non alluviales) : ce qui permet de stocker des quantités d'eau relativement importantes. La minéralisation de l'eau reste en général dans des limites acceptables, les éléments solubles des alluvions ayant déjà été dissous lors de leur dépôt. Leur eau est, en général, de bonne qualité.

Ces nappes présentent également des défauts. Leurs alluvions sont très hétérogènes (zones perméables et imperméables). Elles sont très sensibles à la pollution et à la contamination qui peuvent provenir :

- Soit de la surface des alluvions (ou d'injections dans la nappe) ; en particulier les étangs artificiels consécutifs à l'extraction de graviers, en contact sur une grande surface avec la nappe, sont d'excellents propagateurs de pollution.
- Soit des nappes adjacentes drainées par la nappe alluviale.
- Soit de la rivière, si celle-ci est en communication avec la nappe.

La mise en place d'une plaine alluviale résulte des différents lits topographiques que la rivière a façonné dans le fond de vallée au fil du temps, au fur et à mesure des crues successives. Ces lits sont le fait d'une combinaison entre les phénomènes d'accumulation des sédiments et leur érosion. En effet, chaque crue dépose des matériaux dans certains secteurs, tandis qu'elle érode ailleurs. C'est le rapport entre ces deux phénomènes qui préside au façonnement progressif des différentes unités. L'accumulation dans le temps des

sédiments construit les lits hydrogéomorphologiques tandis que l'érosion marque leurs limites (talus) et modèle leur surface. (Approche hydro géomorphologiques en milieu méditerranéens, avril 2007).

Les différentes unités d'une plaine alluviale sont illustrées par la figure suivante (figure6) :

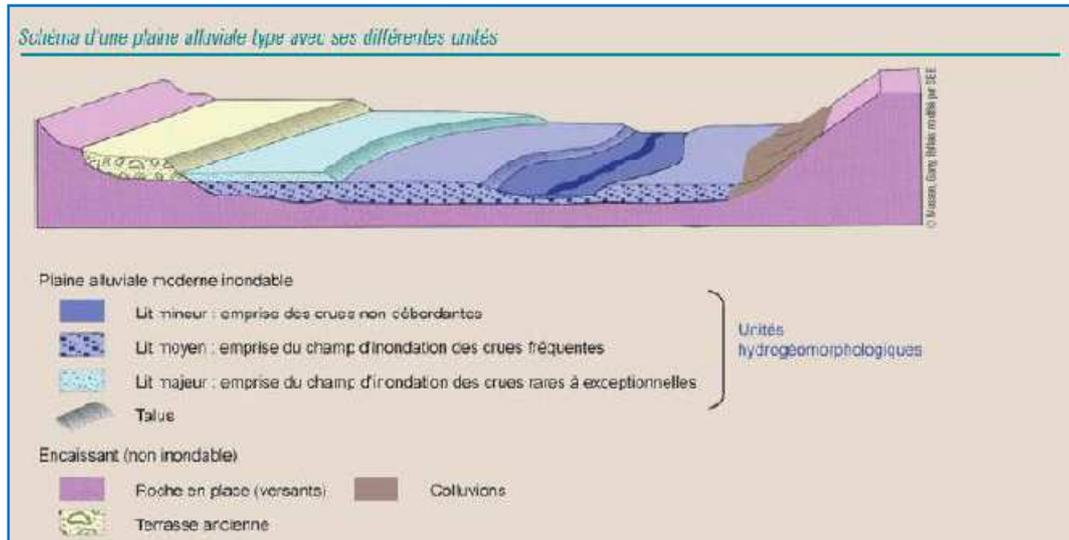


Figure 6: Plaine alluviale avec ses différentes unités

(Masson, Garry, Ballais modifié par SIEE)

## II. CAS DE LA PLAINE ALLUVIALE DE LA ZONE D'ETUDE

### II.1. Extension géométrique de la plaine alluviale

L'extension géométrique de la plaine alluviale a consisté à la délimitation des différentes unités géomorphologiques principales que sont : les lits mineur, moyen, majeur, et exceptionnel ainsi que ces unités et structures secondaires. La démarche méthodologique a consisté à :

- une identification des structures et unités géomorphologiques par interprétation des photographies aériennes et,
- une reconnaissance, observation, description des unités précédemment identifiés au bureau par une cartographie physique de terrain.

#### II.1.1. Interprétation des photographies aériennes

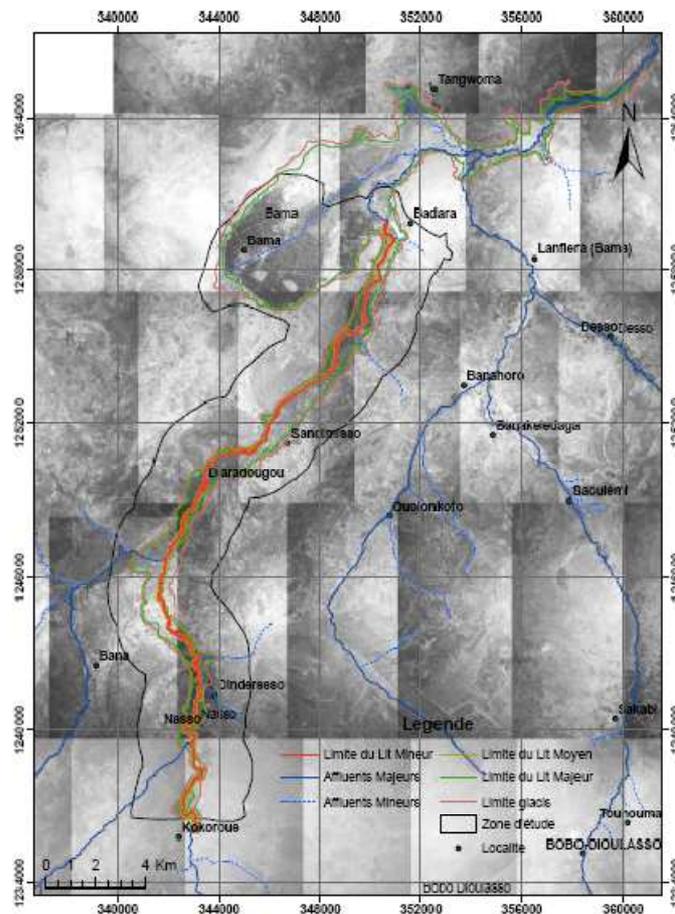
41 photos aériennes couvrant tout le bassin ont été acquises. L'interprétation stéréoscopique réalisée au fort grossissement avec un stéréogramme a permis de cartographier les différentes structures géomorphologiques de la plaine alluviale à savoir : les unités actives (lits mineur, moyen, majeur, majeur exceptionnel et le glacis de pente inférieur), les talus les séparant, les axes de crue, les unités encaissantes (terrasses, versant, matériaux de colluvions...), les unités géomorphologiques dites « potentielles : zone de débordement sur terrasse ou colluvions, les zones de versants inondables ..., et les structures de dynamisme alluviale (les bras de décharge, les axes d'écoulements de plaine alluviale, les chenaux de ruissellement, les limites d'érosion des berges, les bourrelets de berge etc....).

### **II.1.2. Campagne cartographique de terrain**

Cette campagne a consisté à une cartographie physique sur le terrain des différentes unités géomorphologiques citées plus haut par la reconnaissance, la localisation et la description in situ des indicateurs et/ou marqueurs de surface : talus, ruptures de pente, microtopographie des contacts entre les différentes unités ; nature et granulométrie des sédiments, couleur des formations sédimentaires superficielles des différents lits, indice hydrique lié à la présence d'eau dans le sol et à faible profondeur, végétation, traces d'inondation (laises de crues, érosion, atterrissements, sédimentation dans le lit majeur...). La cartographie a couvert une superficie de 60km<sup>2</sup> environ de l'amont des sources de Nasso au périmètre maraîcher de Bama prenant ainsi en compte la zone d'étude.

A l'échelle de la zone d'étude, sur base des photos aériennes photo-interprétées et de la campagne de terrain il ressort que: La plaine alluviale s'individualise en quatre sous unités principales (figure7):

- le lit mineur : qui correspond à l'emprise du cours d'eau : la rivière Kou,
- le lit moyen : qui correspond à l'emprise du champ d'inondation causé par des crues fréquentes du Kou,
- le lit majeur et le lit majeur exceptionnel : qui correspondent à l'emprise du champ d'inondation dû à des crues rares à exceptionnelles du Kou,
- et le glacis de pente inférieur hydromorphe : qui correspond à l'emprise inimaginable de crues pouvant être atteinte « une fois par le Kou au cours de son histoire »,



**Figure 7:** Limite des différentes unités géomorphologiques de la plaine (ESO. 2009)

## II.2. Extension verticale de la plaine alluviale

### II.2.1. Interprétation de log de forage

#### ➤ Zone de Nasso

Les logs de trois piézomètres ont été étudiés. Il s'agit des piézomètres PN 35, PN 36 et PN37 situé en rive droite de la rivière. Cette étude révèle une superposition de sable (3.5m) et d'argile au-delà de 3.5m de profondeur.

#### ➤ Zone de Diaradougou

- Les coupes lithologiques des forages PD\_04 et PD\_08 (tableaux 1 et 2) montrent que les premiers horizons du sous-sol sont couverts par une superposition du haut vers le bas de limons rouges (0 à 0.5m), d'argile rouge (0.5 à 1.5m de profondeur), d'alluvion (1.5 à 2.5 ou 3m) et de sable noir (2.5 ou 3 à 3 ou 3 ; 5m). Il est à noter que dans cette zone, l'eau est à environ 1m du terrain naturel.

Tableau 1: log du micro piézométrique PD\_04

Sommet	Base(m)	description
0	0.5	Limon rouge
0.5	1	Argile rouge
1	3	Alluvillon noir
3	3.5	Sable noir

Tableau 2: log du micro piézomètre PD\_08

Sommet	Base (m)	description
0	0.5	Limon rouge
0.5	1.5	Argile rouge
1.5	2.5	Alluvillon noir
2.5	3	Sable noir

### II.2.2. Apport de la prospection géophysique par tomographie électrique.

En complément des données de log de forages, quelques méthodes de géophysique testées en 2009, ont permis d'étudier les hétérogénéités latérales des matériaux de la plaine alluviale d'une part et d'autres part connaître les profondeurs du de la roche mère.

En admettant que l'épaisseur de la plaine alluviale est celle qui s'étend jusqu'à la limite de la roche mère, il est possible d'extrapoler sur base des données de tomographie électrique, l'extension verticale de la plaine alluviale de la zone d'étude sur les sites de Nasso et Diaradougou

#### A Nasso.

La figure 8 ci-dessous montre une variation des matériaux en surface sur les 08 premiers mètres de profondeur. En absence de log de forage co-localisé sur ce profil quelques observations de terrain montrent une forte prédominance d'argiles et argiles limoneux en surface. Les valeurs de résistivités inférieures à 400ohms sont caractéristiques de ces types de dépôts. Le bedrock a une résistivité supérieure à 5000Ω.m. La résistivité diminue de 1127 à 178 Ω.m en direction de la rivière Kou vers le Nord-ouest pouvant être associé à de la fracturation. Corrélativement la profondeur du bedrock, soit l'épaisseur de la plaine alluviale remonte de 23m à 8.6m environ à proximité de la rivière Kou.

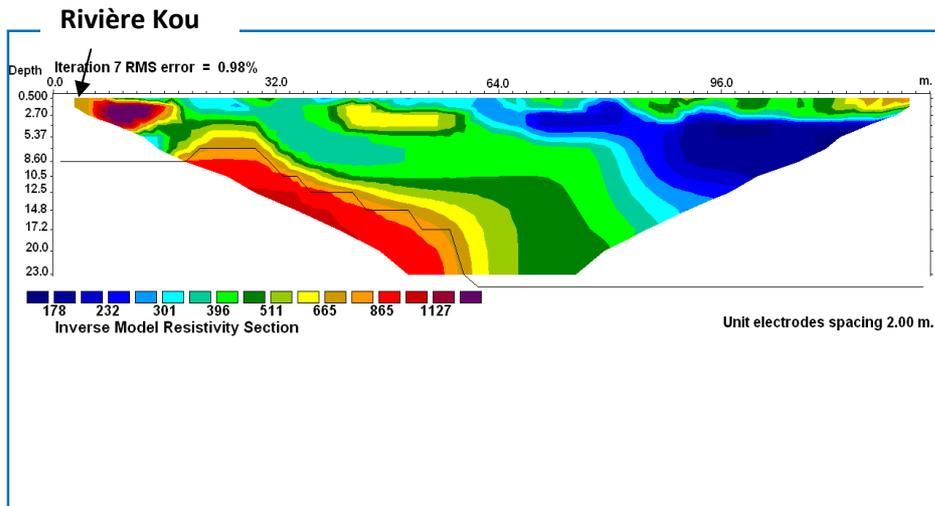
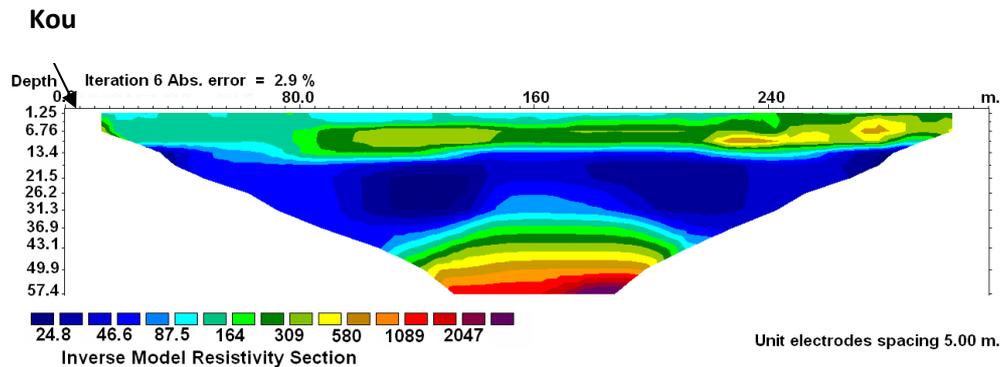


Figure 8: Fréquence de résonance en fonction de l'épaisseur de l'aquifère alluvial: modèle de résistivité en couleur relative et limite (noir sur le modèle) entre bedrock et alluvions. Rive droite du Kou à Nasso

#### ✚ A l'horizon de Diaradougou

La géophysique montre trois couches de faibles résistivités (inférieures à 200 ohms) traduisant des dépôts alluvionnaires assez importants. Ces dépôts sont presque homogènes sur tout le profil de la rivière vers la limite de la plaine. Ce sont des dépôts argileux et limoneux assez importants tels que corrélés par le log de forage du micropiézo-mètre PD09 situé à proximité du profil (figure 9). Le bedrock se situe à presque 55m avec des résistivités de l'ordre de 1089 ohms ; la plaine alluviale garderait une épaisseur presque constante sur tout le profil, voire la localité de Diaradougou.



**Figure 9:** Fréquence de résonance en fonction de l'épaisseur de la plaine alluviale. Modèle de résistivité en couleur relative et limite (trait noir sur le model) entre bedrock et alluvions. Rive droite du Kou à Diaradougou

### III. CARACTERISATION DE L'HYDRODYNAMISME DE LA PLAINE ALLUVIALE

#### III.1. Piézométrie

La synthèse et l'interpolation spatiale des niveaux piézométriques, sont représentées par des cartes piézométriques. Les cartes de la surface piézométrique, dites piézométriques, établies avec les données sur les niveaux piézométriques, représentent, à une date donnée, la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques (CASTANY, 1982).

Les cartes piézométriques sont les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrodynamique.

L'établissement de ces cartes repose sur la mesure des niveaux piézométriques qui passe nécessairement par la mise en place d'un réseau piézométrique dont les objectifs visent principalement :

- une meilleure compréhension du système aquifère ;
- un suivi quantitatif et qualitatif des ressources en eaux souterraines ;

- une participation à la protection des ouvrages d'exploitation et à la gestion des eaux souterraines.

La surface piézométrique correspond à la surface supérieure de la zone saturée de l'aquifère. Les cotes de cette surface forment des courbes de niveau appelées courbes isopiézométriques car correspondant à des points de même charge hydraulique. L'écoulement se fait perpendiculairement aux courbes isopiézométriques ; sa vitesse est inversement proportionnelle à la distance entre deux courbes consécutives.

Dans la pratique :

- une carte piézométrique d'ensemble de la zone d'étude a été tracé (Nasso à Diaradougou). Cette carte exploite une soixantaine de micropiézo mètres (piézomètres de diamètre de 15microns environs, réalisés à la tarière mécanique) disposés ça et là dans la zone d'étude ;
- Deux autres cartes piézométriques ont été tracées sur les sites expérimentaux de Nasso et Diaradougou où le projet dispose respectivement de 31 ouvrages et 09 micros-piézo mètres espacés de 1 à 5 m les uns des autres.

Ces cartes piézométriques par site, renseignent sur les écoulements locaux et sont d'un intérêt pour la compréhension du dynamisme de la plaine alluviale en accord avec les paramètres hydrodynamiques qui sont identifiés.

Les courbes d'iso-valeurs ont été obtenues par interpolation géostatistique sur base de l'inverse à la distance au carré des valeurs de niveaux piézométriques mesurées sur le terrain. L'outil ayant servi à cet exercice est le logiciel **Surfer8**.

### **III.1.1. Présentation des résultats.**

#### **III.1.1.1. Carte piézométrique à l'échelle de la zone d'étude**

La carte piézométrique (figure 9) d'ensemble de la zone d'étude (entre Nasso et Diaradougou) montre que les eaux alluviales coulent dans la direction sud-ouest (de la rive droite de Kou vers sa rive gauche).

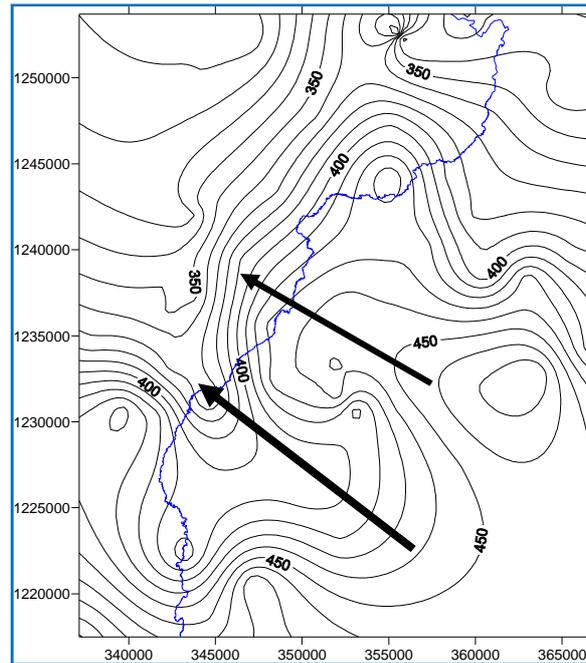


Figure 10: Carte piézométrique de la plaine, de Nasso à Diaradougou

Sens d'écoulement des eaux alluviales: 

### III.1.1.2. Cartes piézométriques locales

#### III.1.1.2.1. Carte piézométriques à l'échelle du site de Nasso

L'interprétation de cette carte montre qu'au niveau de Nasso, les eaux alluviales coulent dans le sens sud-ouest : en rive droite, les eaux s'écoulent vers la rivière Kou et en rive gauche, elles s'écoulent de la rivière vers l'aquifère. Ce qui permet de dire qu'en rive gauche l'aquifère est alimenté par la rivière Kou.

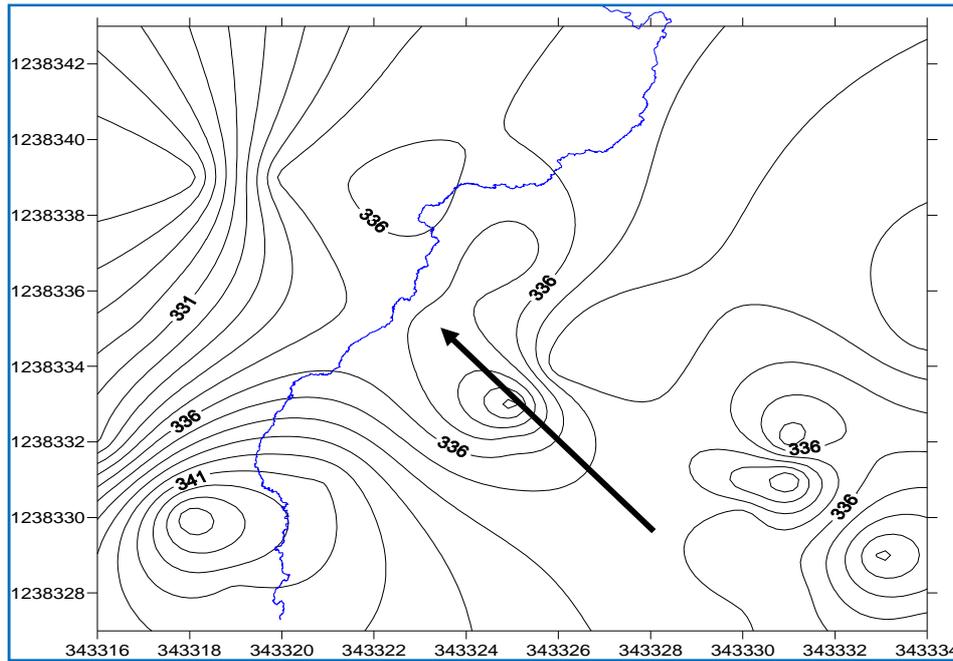


Figure 11: Carte piézométrique à l'horizon de Nasso

### III.1.1.2.2 Carte piézométrique à l'échelle du site de Diaradougou

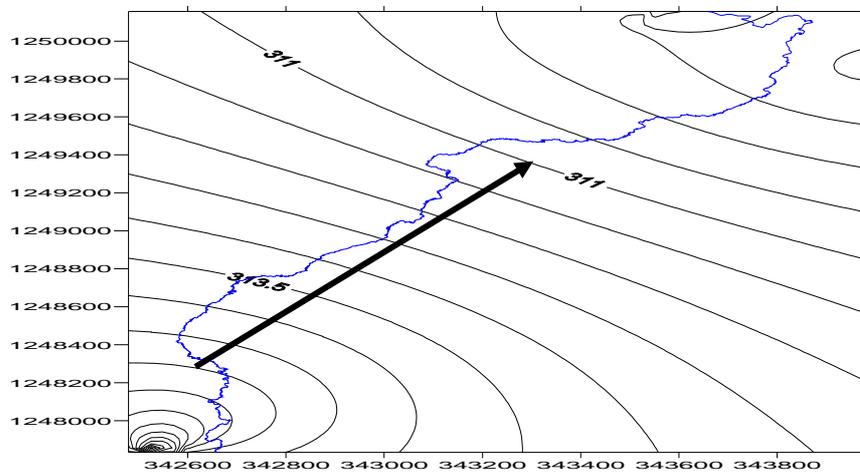


Figure 12: carte piézométrique de Diaradougou

Cette carte montre un écoulement dans la direction de la rivière Kou.

## III.2.RESULTATS ET INTERPRETATION DES TESTS HYDRODYNAMIQUES ET DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

### III.2.1.Essais de pompage par paliers

#### III.2.1.1.Localisation des ouvrages pompés

Au total sept (07) essais de pompage par débits de paliers ont été réalisés dont quatre (04) à Diaradougou et trois à Dindéréso tels que illustrés sur la figure 10.

A Diaradougou, les ouvrages pompés sont des puisards agricoles de diamètres compris entre 2.5 à 4.67 m et de profondeur de l'ordre de 2.42 à 5.34m. Par contre, à Dindéréso, les ouvrages sont des micropiézomètres de diamètre de l'ordre de 150mm avec des profondeurs de 5 à 7m.

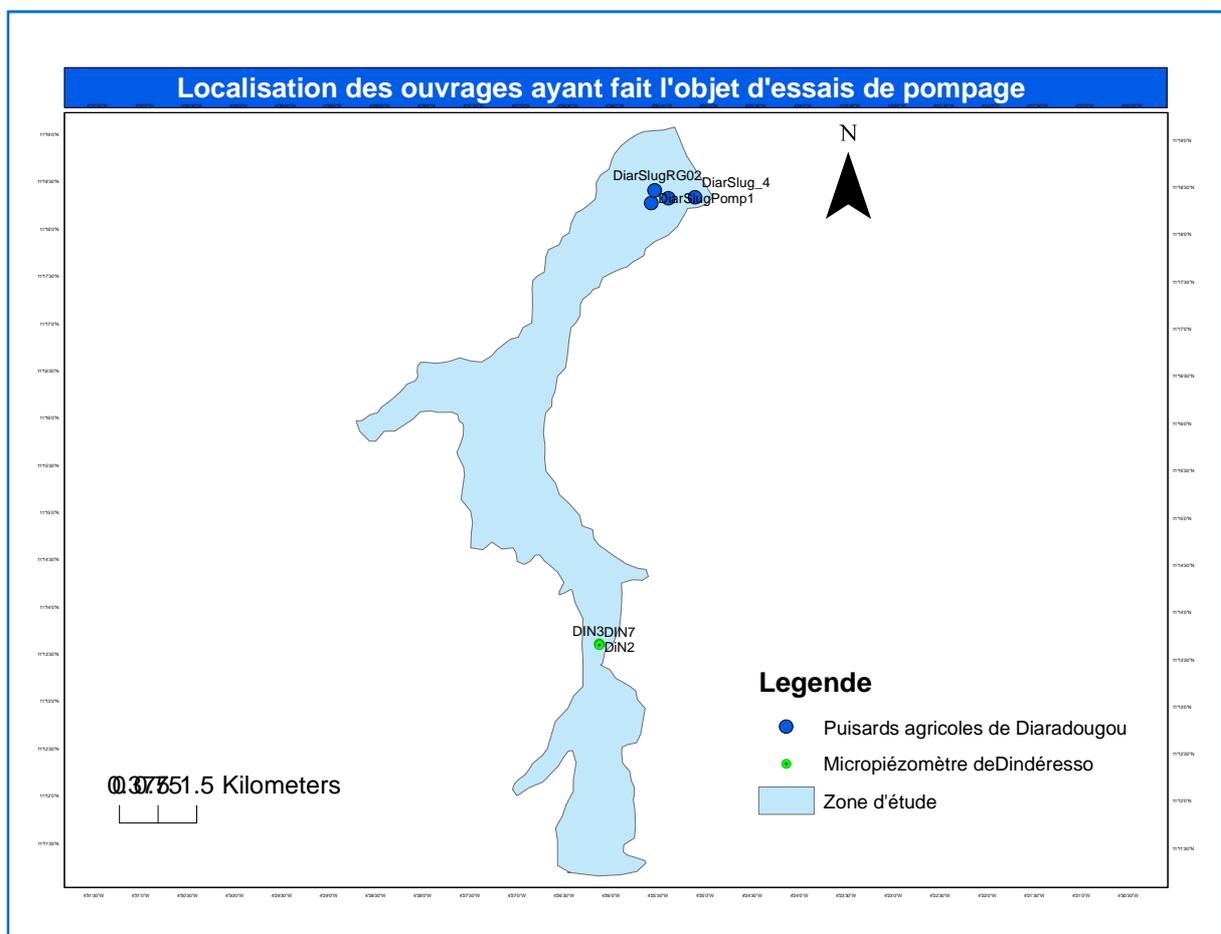


Figure 13: Ouvrages ayant fait l'objet d'essais de pompage

Pour l'ensemble des essais réalisés dans la localité de Diaradougou, la détermination de la transmissivité s'est faite sur base des courbes de descente et remontée sur base de l'approximation de Jacob.

Pour les essais réalisés à Dinderesso, les paramètres T et K ont pu être identifiés sur base de l'interprétation de la courbe de rabattement (s) en fonction du temps écoulé sur la distance séparant les différents ouvrages situés à une distance r du piézomètre pompé ( $t/r^2$ )

Les courbes caractéristiques pour chaque ouvrage pompé sont mentionnées en annexe.

### III.2.1.2. Résultats

Les différentes épaisseurs de l'aquifère à l'aplomb des différents ouvrages pompés sont données dans le tableau 3 ci-après :

Tableau 3: Valeur de l'épaisseur de l'aquifère à l'aplomb des ouvrages pompés

Localité	Nom de l'ouvrage	Epaisseur (es) (m)
Diaradougou	DiarSlug01 (DiarSlugPomp1)	43.78
	DiarSlugAllu	14.88
	DiarSlugRG02	16.96
	DiarSlug04	29.54
Dindéresso	DIN2	17.4
	DIN 3	
	DIN 7	
Nasso	P1, P8	16

Les résultats de l'ensemble des essais de pompages réalisés sont présentés dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4: Valeurs de T et K

Localité	Nom de l'ouvrage	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)		Conductivité Hydraulique (m/s)	
		Descente	Remontée	Descente	Remontée
Diaradougou	DiarSlug04	0.0014	0.00097	0.000047	0.000033
	DiarSlugRG02	0.0013	0.00059	0.000077	0.000048
	DiarSlug01	0.002	0.0004	0.000046	0.000009
	DiarSlugAllu	0.00027	0.00049	0.000018	0.000033
Dinderesso	DIN2	0.00383		0.00022	
	DIN 3	0.002		0.00011	
	DIN 7	0.00338		0.00002	

### ➤ Interprétation des résultats

Pour l'ensemble des essais hydrauliques réalisés à Diaradougou, l'interprétation des courbes de descente et de remontée donnent des valeurs de perméabilité de l'ordre de  $10^{-5}$  (sauf le cas du puisard DiarSlug1 qui est de l'ordre  $10^{-6}$ ). Le même ordre de grandeur obtenue au niveau de Diaradougou, montre une certaine homogénéité de l'aquifère alluvial dans cette localité.

Au niveau de Dindéresso, les valeurs de perméabilités sont de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s ; ce qui montre qu'à cet endroit les sols sont perméables.

## III.2.2. Résultats des Slug tests

### III.2.2.1. Localisation des ouvrages testés

En plus des ouvrages agricoles de Diaradougou ayant fait l'objet d'essais de pompage, il faut ajouter le micro piézomètres situés à Nasso.

- Hypothèse d'application de la méthode de Hvorslev aux puisards de grand diamètre de Diaradougou :

Il n'a été considéré que les débits de pompage des derniers paliers suffisants pour créer un choc hydraulique dans les puisards agricoles situés à Diaradougou.

### III.2.2.2. Résultats

Les valeurs de T et K obtenus à partir de la méthode de Hvroslev sont données dans le tableau ci-après :

Tableau 5: Valeurs de T et K selon la méthode de Hvroslev

Localité	Noms des oeuvres	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)
Diaradougou	DiarSlug04	0.0046	0.00016
	DiarSlugRG02	0.0012	0.00007
	DiarSlug01	0.0063	0.00015
	DiarSlugAllu	0.0046	0.00031
Nasso	P1	0.000053	0.0000033
	P8	0.00022	0.000014

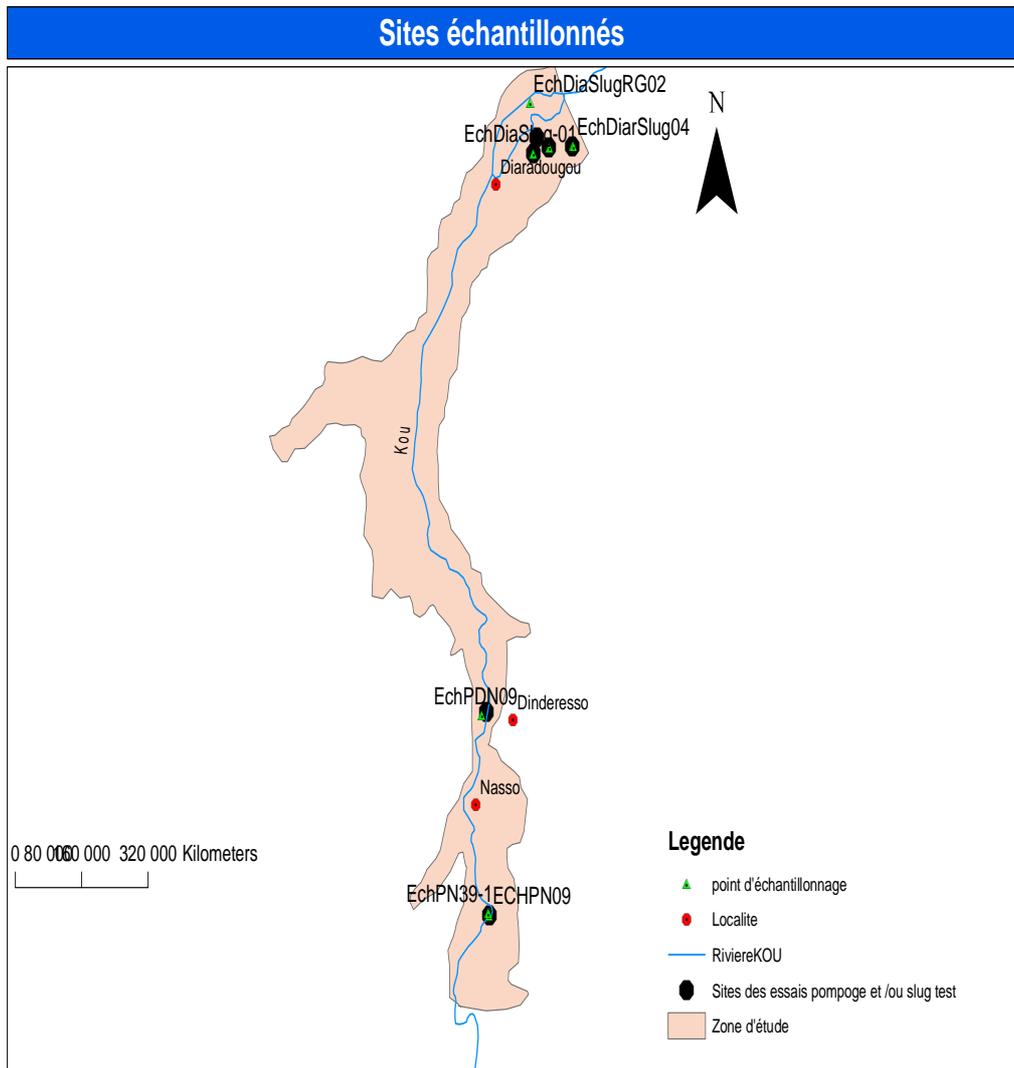
#### ➤ Interprétation des résultats

Au niveau de Diaradougou, les valeurs de K sont de l'ordre de  $10^{-4}$ . Tandis qu'au niveau de Nasso, elles sont de l'ordre de  $10^{-6}$ .

### III.2.3. Analyses granulométriques

#### III.2.3.1. Localisation des sites

Dans la zone d'étude, il y'a eu au total dix-sept (17) sites ayant fait l'objet d'une étude granulométrique. La figure ci- après présente les sites ayant fait l'objet d'étude granulométriques et d'essais de pompage et/ ou de slug test :



**Figure 14: Localisation des sites échantillonnés ayant fait l'objet de pompage et/ou de slug test**

### III.2.3.2. Résultats et interprétation

Les résultats obtenus après granulométries sont donnés dans l'annexe sur la granulométrie. Le tableau ci-dessus (tableau 4) donne des informations sur la classification des sites selon la texture et le degré de perméabilité:

**Tableau 6: texture des sols**

Localité	Nom de l'échantion	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Texture
Nasso	EchtPNO9	20	19	61	limon sableux (Sandy loam)
	EchtPN39_1	7.5	15.5	77	
Dinderesso	EchtPDN09	18.5	19.6	61.9	limon sableux (Sandy loam)
Diaradougou	EchtDiarSlug1	32	41	27	argile limon (clay loam)
Diaradougou	EchtDiarPomp1	26	36	38	
diaradougou	EchtDiarSlug04	26	36.2	37.8	
Diaradougou	EchtDiarSlugRG02	29	31	40	

Les résultats montrent qu'au niveau de Nasso et de Dindéresso, les sols sont composés de pourcentage élevé de sable et faible en limon et argile (la somme de leur pourcentage est inférieure à celui du sable). Ces sols sont de texture limon sablonneux.

Par contre au niveau de Diaradougou, il y a un petit équilibre entre ces proportions ; il n'y a pas de valeur très élevée par rapport aux autres. Les sols à cet horizon sont argileux limoneux.

L'ensemble des résultats obtenus à l'issu de l'analyse granulométrique sont données en annexe. Il s'agit de la porosité, de la conductivité hydraulique de saturation, de la porosité.

## CHAPITRE III : DISCUSSION ET RECOMMANDATION

### I. HYDRODYNAMISME DE LA PLAINE ALLUVIALE

#### I.1. Etat des sols dans la zone d'étude

Les sols du bassin de Kou, plus particulièrement du tronçon Nasso- Diaradougou, subissent l'effet de l'érosion éolienne et hydrique. La forte pression anthropique accentue cette dégradation. Cela favorise un très grand ruissellement et une faible infiltration.

#### I.2. Caractéristiques géomorphologiques et géophysiques

L'objectif de ce travail était de déterminer l'hydrodynamisme de la plaine alluviale. L'étude géomorphologique a montré que les matériaux de la plaine alluviale sont composés d'alluvions et de dépôts de sable pendant les périodes de crues favorisant le drainage à l'horizon de la plaine alluviale. Quant à l'étude géophysique, elle a montré une hétérogénéité de la plaine alluviale.

#### I.3. Essais hydrauliques et Analyse granulométrique

Les tableaux 5 et 6 ci-après donnent tous les résultats obtenus lors de cette étude en fonction des types d'essais dans chaque localité :

Tableau 7:Résumé des résultats de Diaradougou

Ouvrage et site			DiarSlug 04	DiarSlug RG02	DiarSlug 01	DiarSlug Allu
Essais de pompage	Descente	T	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	0.00027
		K	$4.7 \cdot 10^{-5}$	$7.7 \cdot 10^{-5}$	$4.6 \cdot 10^{-5}$	$1.8 \cdot 10^{-5}$
	Remontée	T	$9.7 \cdot 10^{-4}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4.9 \cdot 10^{-4}$
		K	$3.3 \cdot 10^{-5}$	$4.8 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-6}$	0.000033
Slug test		T	0.0046	0.0012	$6.3 \cdot 10^{-3}$	$4.6 \cdot 10^{-3}$
		K	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$3.1 \cdot 10^{-4}$
Analyse granulométrique	Texture	<b>argile limon (clay loam)</b>				

Tableau 8: Résumé des résultats de Nasso et Dindéresso

Localité			Nasso		Dindéresso		
Ouvrage et site			P1	P8	DIN2	DIN 3	DIN 7
Essais de pompage	Descente	T	NON	NON	$3.8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$
		K			$2 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Slug test		T	$5.3 \cdot 10^{-5}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$	NON		
		K	$3.3 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{-5}$			
Analyse granulométrique	Texture		limon sableux		limon sableux		

K (m/s) et T ( $m^2/s$ )

Les valeurs de K trouvées diffèrent d'un essai hydrogéologique à un autre. Cela peut s'expliquer par l'hétérogénéité de la plaine alluviale.

Les deux tableaux ci-dessus montrent qu'en considérant les valeurs de K, la zone la plus perméable est le site expérimental de Dindéresso. La figure ci-après montre le degré de perméabilité des sites en se basant sur les résultats des essais hydrauliques :

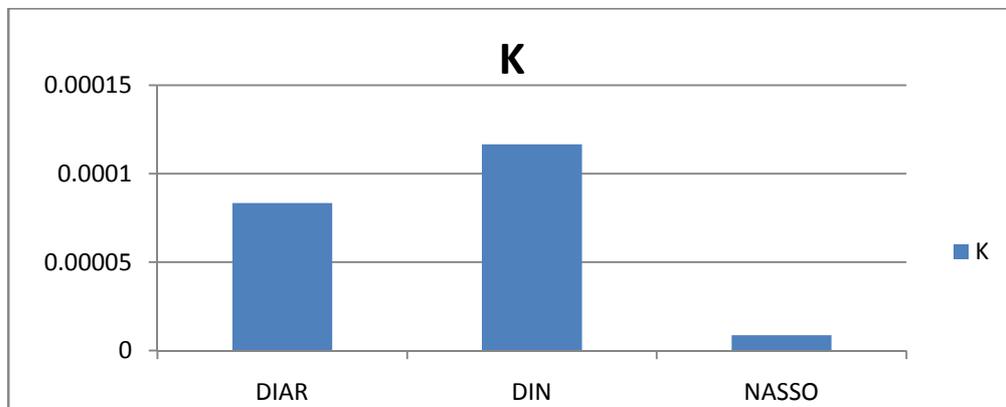


Figure 15: Degré de perméabilité déduit des essais hydrauliques

L'analyse granulométrique montre que les sols des sites de Nasso et de Dindéresso sont limono- sablonneux et ceux de Diaradougou sont argileux limoneux.

Le triangle de corrélation entre la texture et la perméabilité (figure 18), permet de dire que les sites de Nasso et de Dindéresso sont perméables et à Diaradougou, les sols sont peu perméables. En effet, dans le triangle de corrélation entre la texture et la perméabilité, à chaque type texture, est attribué un degré de perméabilité. Dans ce triangle (figure 18), les

sols de texture limon sablonneux sont situés dans la zone B (partie perméable) et les sols de texture argileux limoneux dans la zone C (peu perméable). Par conséquent, à Nasso et Dinderesso, les sols sont considérés perméables et peu perméables à Diaradougou.

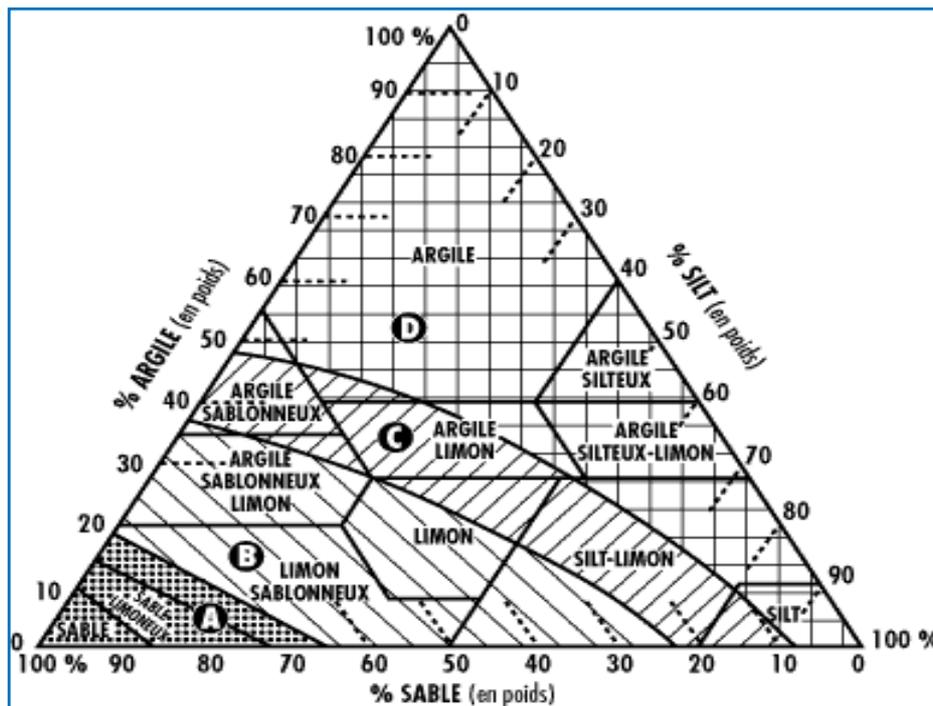


Figure 16: Triangle de corrélation entre la texture et la perméabilité

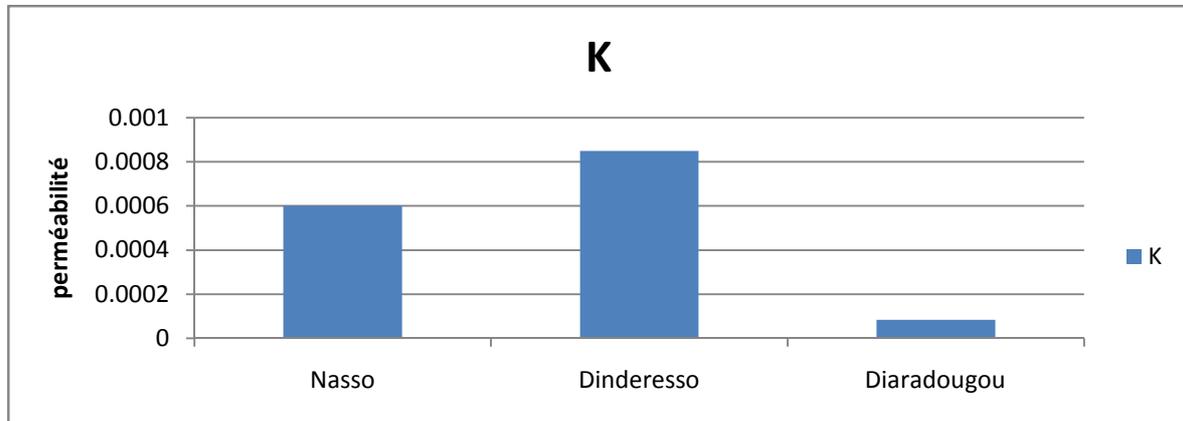
(Tiré du Guide technique – Captage des eaux souterraines et traitement des eaux usées des résidences isolées. Règlement Q-2, r.8 (MDDEP, 2006), rapportée par Giasson et Jaouich, 2008).

**Zone A : Très perméable ; zone B : perméable ; zone C : peu perméable ; zone D : imperméable.**

Ces résultats sont en contradiction avec la figure 17 par rapport au degré de perméabilité du site de Nasso.

A Nasso, l'étude des logs des forages PN 35, PN 36 et PN37 situés en rive droite de la rivière révèle une superposition de sable (3.5m) et d'argile au-delà de 3.5m de profondeur ; ce qui montre une certaine perméabilité des sols à l'horizon car composés de sable. Cela confirme les résultats donnés par la granulométrie. En considérant les informations fournies par les logs de forage et par l'analyse granulométrique, il est sans doute que les sols du site expérimental de Nasso soient perméables.

Les sites de Nasso et de Dinderesso sont donc des sols perméables et ceux de Diaradougou peu perméable. Ces résultats sont résumés dans le diagramme 15 :



**Figure 17: Degré de perméabilité des sols des sites en tenant compte des logs de forage et de l'analyse granulométrique**

De Nasso à Diaradougou, en tenant compte de ce qui précède, il est à noter que c'est au niveau de Diaradougou que les faibles valeurs de la perméabilité pourraient être rencontrées.

## II. PERSPECTIVE DE STOCKAGE DES EAUX ALLUVIALES PAR RECHAGE ARTIFICIELLE

La région de Bobo-Dioulasso, plus particulièrement la plaine alluviale, est l'une des régions les plus arrosées du Burkina Faso avec une pluviométrie moyenne d'environ 1200mm/an. Cependant, sa population ne cesse d'augmenter. En zones aride et semi-aride la disponibilité en eau pour satisfaire les besoins d'une population urbaine en très forte croissance devient de plus en plus aléatoire, le stockage superficiel à l'air libre entraînant des pertes importantes par évaporation.

Cette présente étude a montré l'existence de sites favorables à l'infiltration. Pour faire face aux problèmes d'eaux qui commencent à se poser au niveau de la plaine alluviale du Kou, les responsables en charge des ressources en eaux, les responsables municipaux devront valoriser ces sites. Pour cela, nous préconisons pour les études à venir, la réalisation d'essais d'injection au niveau des zones concernées dans cette présente étude afin de pouvoir choisir avec exactitude des zones pour stocker les eaux de pluie pendant l'hivernage. Ce stockage permettra d'augmenter les potentialités en eaux de l'aquifère alluvial.

## CONCLUSION

Ce travail de recherche est une contribution à l'amélioration de l'état de connaissance des ressources en eaux souterraines de la région de Bobo-Dioulasso. L'objectif de cette étude est de déterminer les caractérisations de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin, de Nasso à Diaradougou par essai de pompage, slug test et analyses granulométrique. Cette étude nous a permis de caractériser l'hydrodynamisme de la plaine alluviale en des régions bien précises. Elle a permis de cibler des zones présentant de grande potentialité en ce qui concerne l'infiltration de l'eau ; les sites de Nasso et de Dinderesso sont qualifiés de zones perméables. La connaissance des caractéristiques hydrodynamiques de la plaine alluviale permettra aux décideurs de mettre en place des stratégies permettant d'accroître les potentialités en eaux souterraines de la région de Bobo-Dioulasso.

.

## BIBLIOGRAPHIE

- **DIENG.B**, 2005, Hydrogéologie et ouvrages de captage, 168p,
- **BANTON O. et BANGOY L, M**, 1997, Hydrogéologie – Multi science environnementale des eaux souterraines. Presses Universitaires du Québec
- **BICABA. K**, 1991. Etude hydrologique du bassin versant du Kou au confluent Niamé-Baoulé. Mémoire de fin d'études d'ingénieur du centre AGRIMETH de Niamey, 113p
- **BUNASOL**, 1996, Etude morphologique des forêts classées du Houet et de la Comoé, Rapport technique n°102
- **BLAIS.C**, 1996 ; Caractérisation des propriétés hydrauliques au CTED de la ville de Montréal ; Mémoire pour l'obtention du grade de Maître ès science (M.Sc.), 278p .
- **DAKOURE. D**. 2003, Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure Sud-est du bassin sédimentaire de Taoudéni (Burkina Faso - mali) - Essai de modélisation. Thèse de Doctorat, Université Paris VI - Pierre et Marie Curie. 256p,
- **DASSARGUES. A**, 2006, Caractérisation des nappes aquifères : une nécessité pour leur gestion et leur protection. Jeudis de l'aquapôle, Université de liège (Ulg/Belgique),
- **SAURET.E**, 2007, Contribution à la compréhension hydrogéologique du système aquifère dans le bassin de KOU, Mémoire de fin d'étude du diplôme d'Etudes Approfondies en sciences appliquées (DEA), 96pp
- **GARDIN. N**, 2007, Etat des lieux du réseau piézomètres dans le bassin du Kou,
- **G. de Marsily**, 2004, Cours d'hydrogéologie, 236p
- **N'DIAYE.M**, 2008 ; Description et évaluation de la réalimentation des aquifères de la région de Bobo-Dioulasso par les précipitations météorologiques ; 96p
- **OUEDRAOGO. C.**, 1998. Cartographie géologique de la région sud ouest du Burkina Faso au 1/200.000-Synthèse géologique, AQUATER/BUMIGEB
- **OUEDRAOGO, C**, 2007, Synthèse géologique du bassin hydrographique du Kou, 96p
- **GIASSON et JAOUICH**, 2008 : Propriétés physiques du sol, 32p
- 
- **CHAPUIS.P**, 2007, Guide des essais de pompage et leurs interprétations, 57p

- **SOME.S**, Avril 2009, Cours sur la géologie des aquifères à l'attention des étudiants de Master 1 de 2iE (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement), 70 p,
- **DIALLO.S**, 2008, Cartographie des caractéristiques physiques et chimiques des nappes d'eaux souterraines du sud-ouest du Burkina Faso, Mémoire de fin d'études d'ingénieur, 74p

## **ANNEXES**

### **Listes des annexes**

**ANNEXE 1 : Essais hydrauliques**

**ANNEXE 2 : Logs de forage**

**ANNEXE3 : Analyse granulométrique**

Annexe 1 : Essais hydrauliques

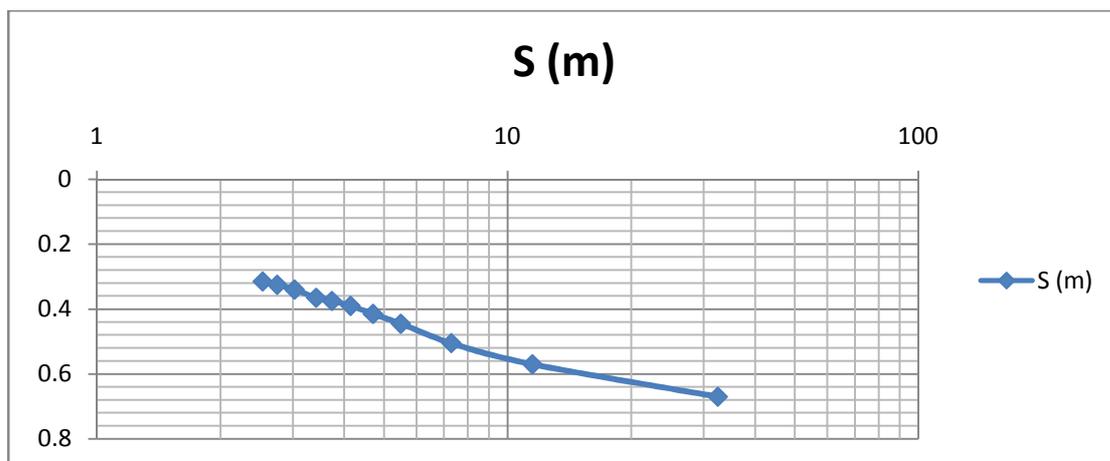
**Protocole de mise en oeuvre des essais de pompage**

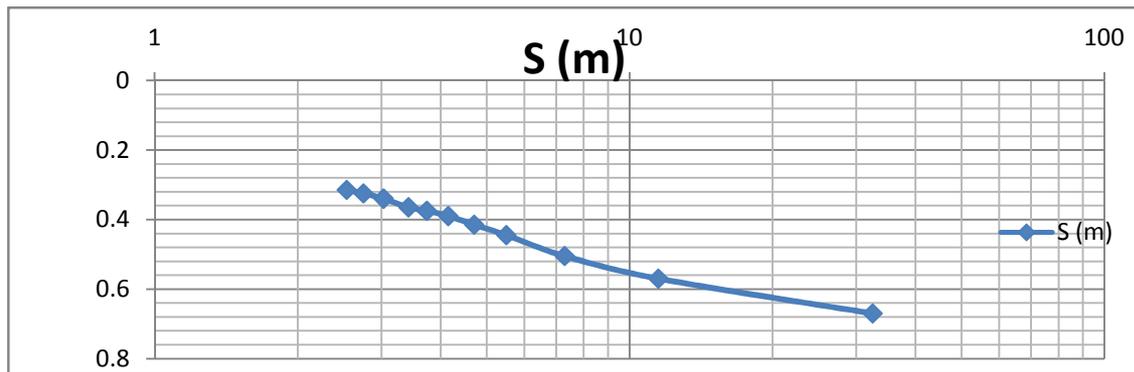
Localité	Nom de l'ouvrage	Durée de la descente	Durée de la remontée	Méthode d'interprétation
Diaradougou	DiarSlug01 (DiarSlugPomp1)	01h02mn	01h28mn	s=f(t)
	DiarSlugAllu	01h36mn	02h10mn	
	DiarSlugRG02	01h10mn	02h07mn	
	DiarSlug04	0.5h	01h40mn	
Dindéresso	DIN2	53mn		s= f(log(t/r <sup>2</sup> ))
	DIN 3	1h47mn		
	DIN 7	42mn		

**Courbes des essais hydrauliques**

**Courbes de descente de Jacob Jacob**

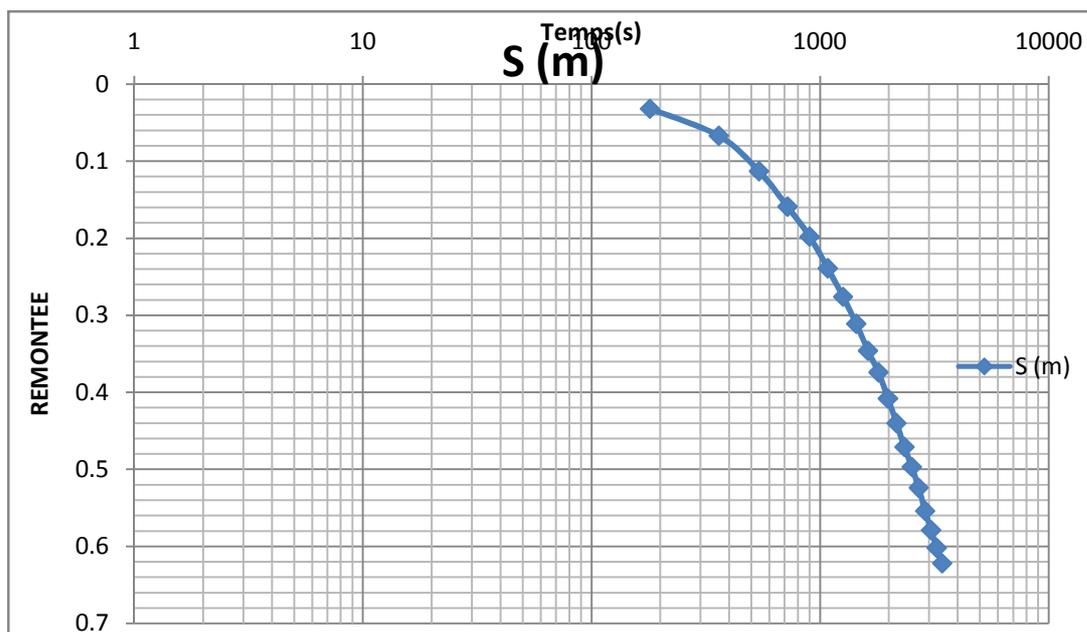
**DiarPomp1**



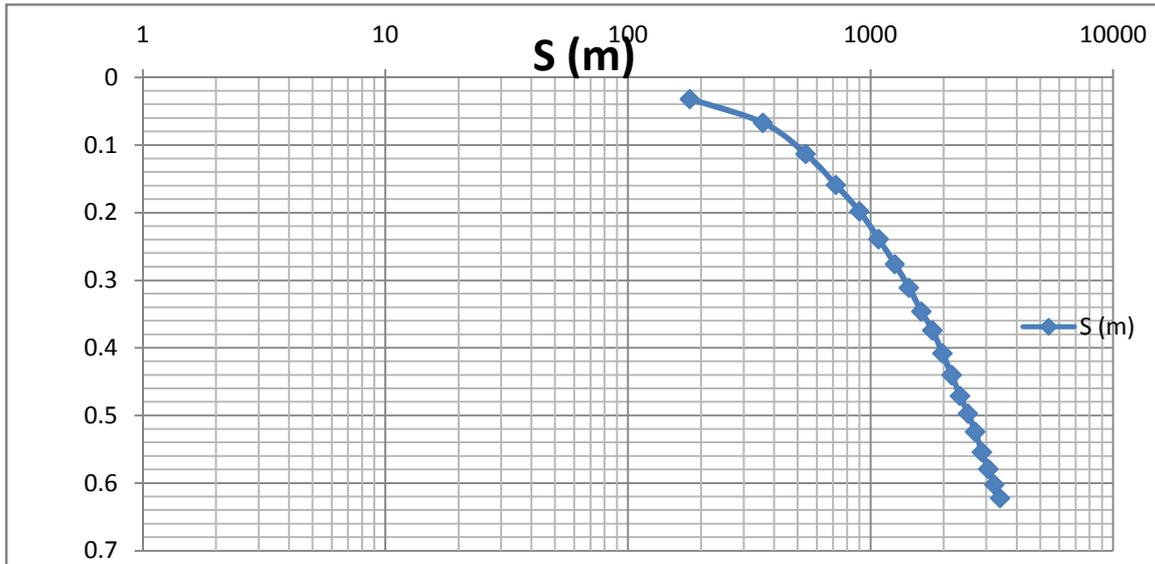


### DiarSlug4

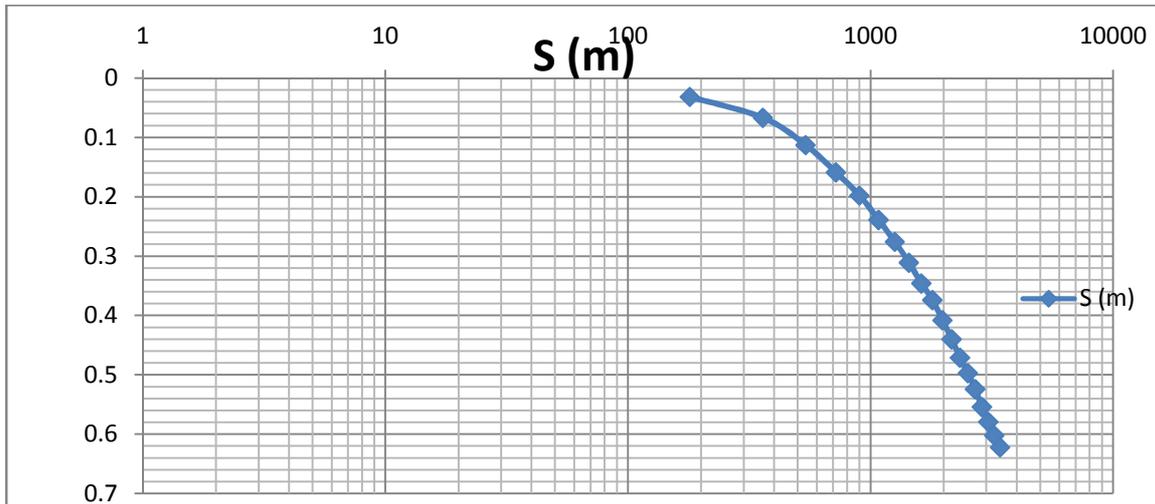
### Courbes de remontée de Jacob



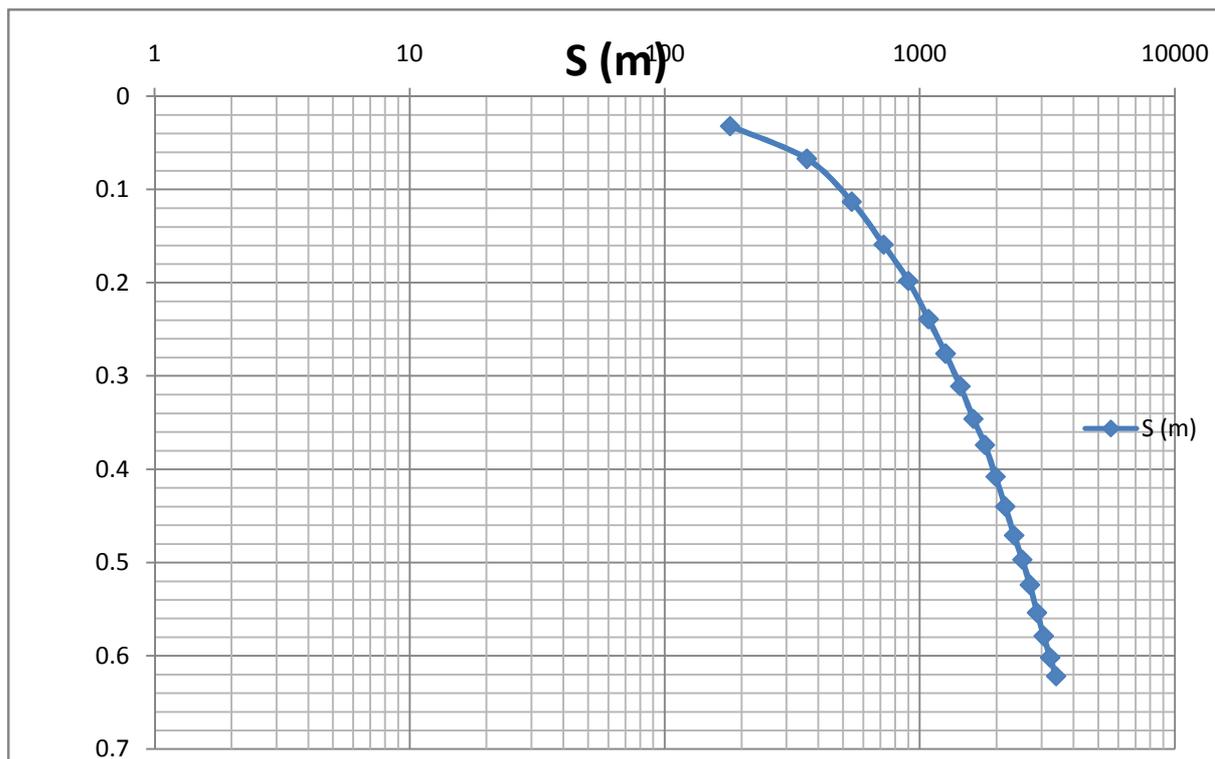
### DiarSlug01



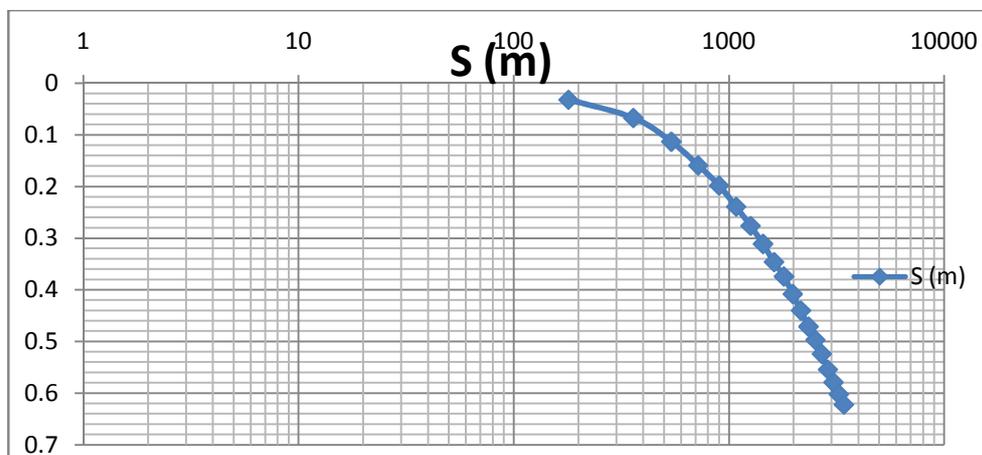
### REMONTEE



### DiarSlugAllu



**REMONTEE**



Méthode de HVROSLEV

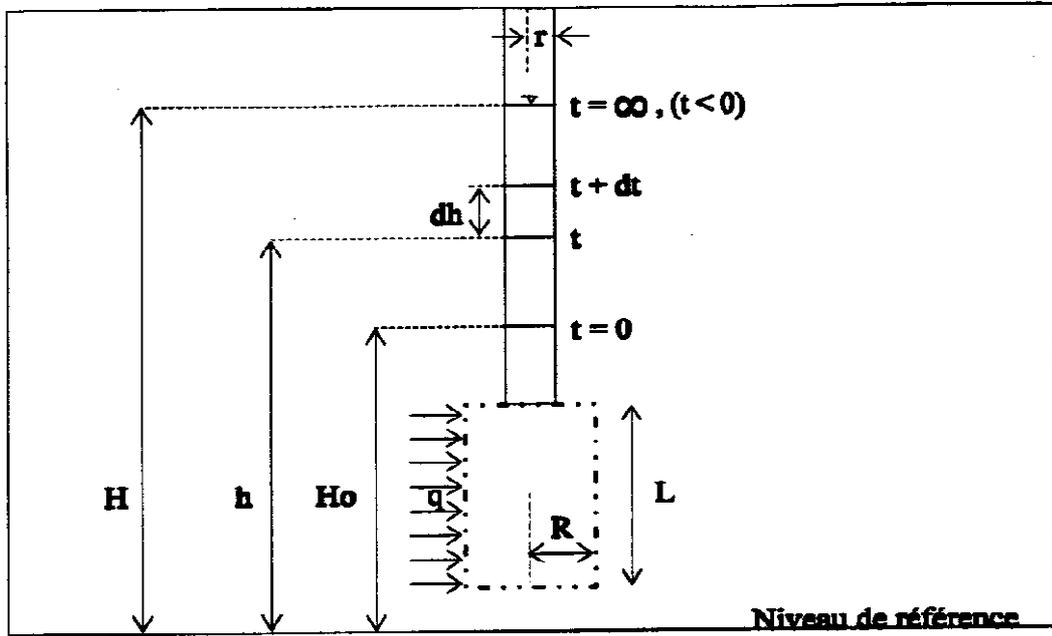
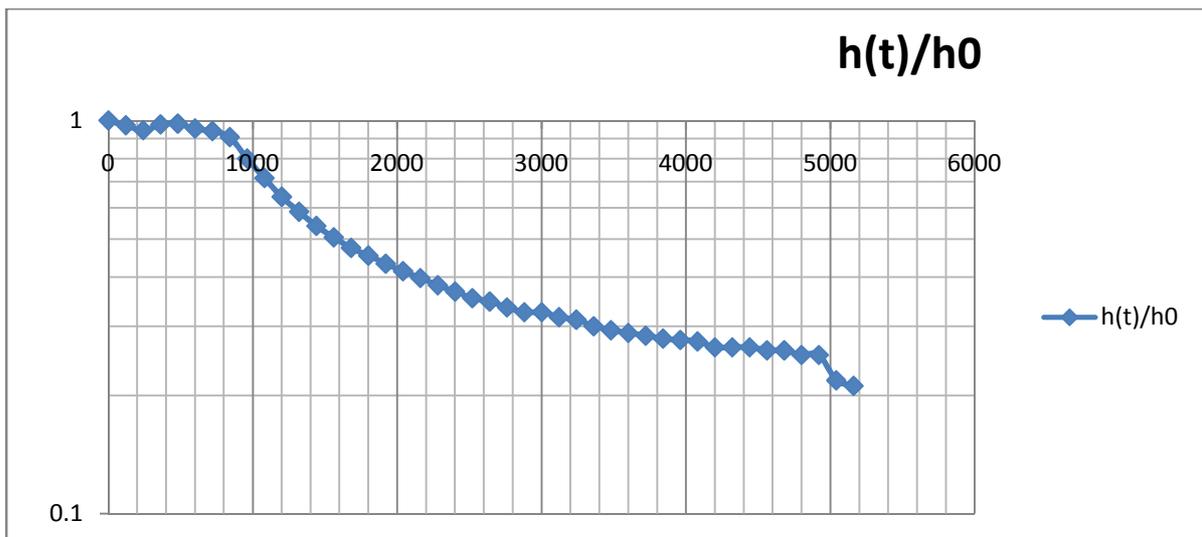
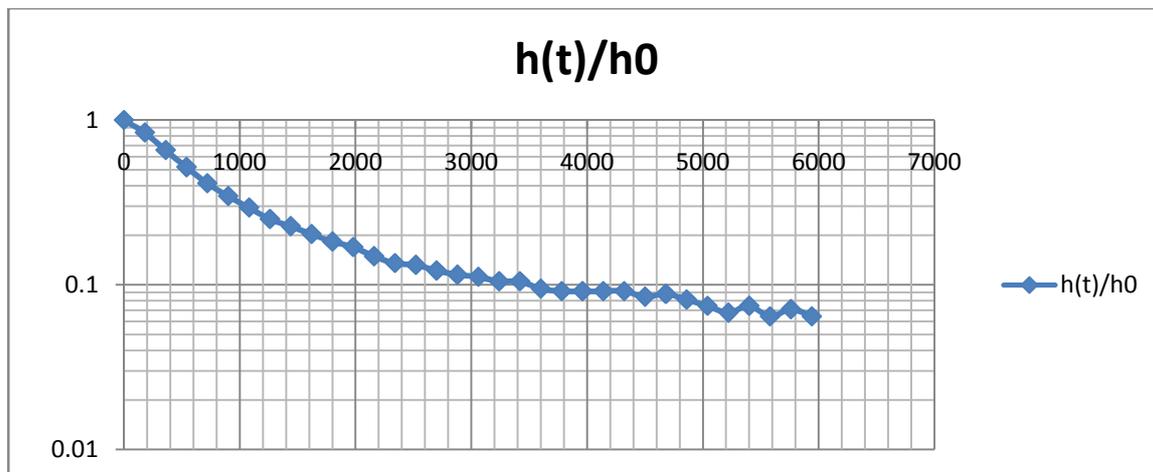


FIGURE 2.16: Paramètres de Hvorslev pour un essai dans un piézomètre.

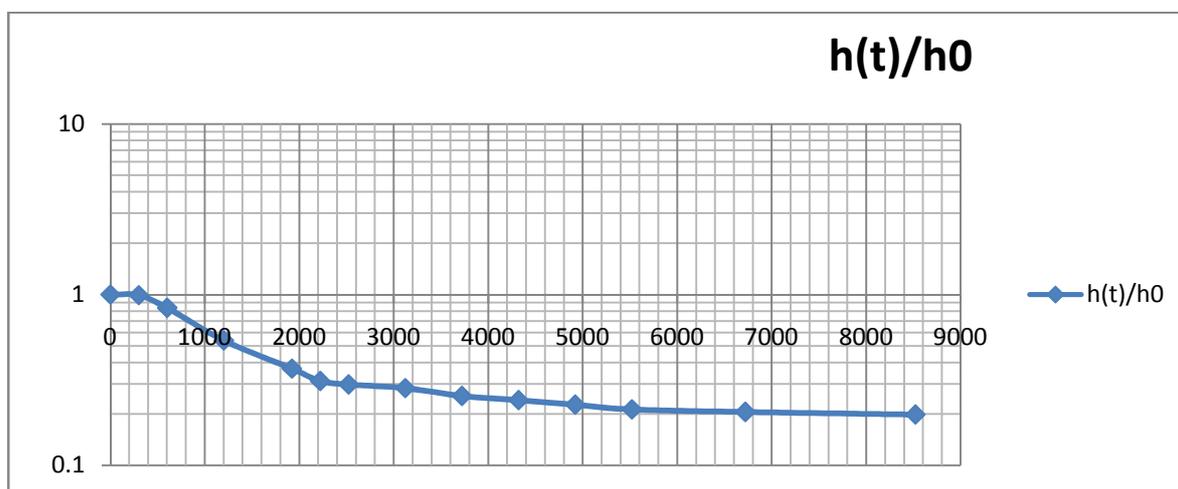
DiarSlugRG02



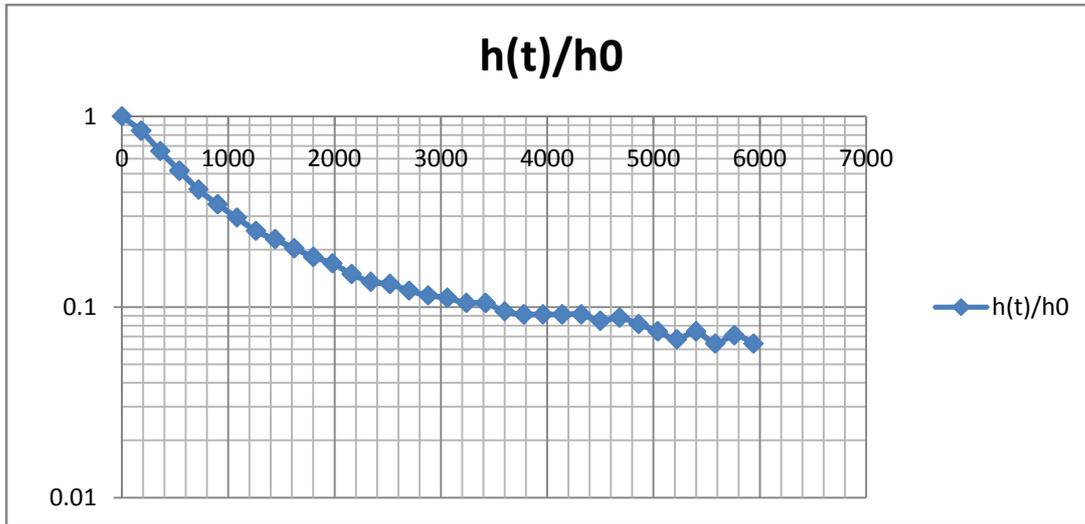
**DiarSlugAllu(DiarSlug02)**



**DiarSlug04**

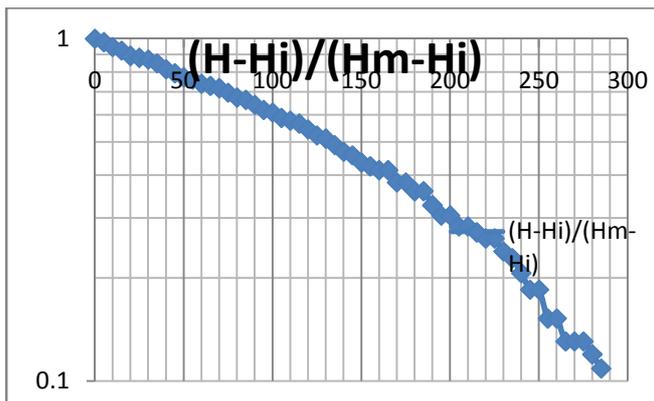


**DiarSlugPomp1(DiarSlug1)**

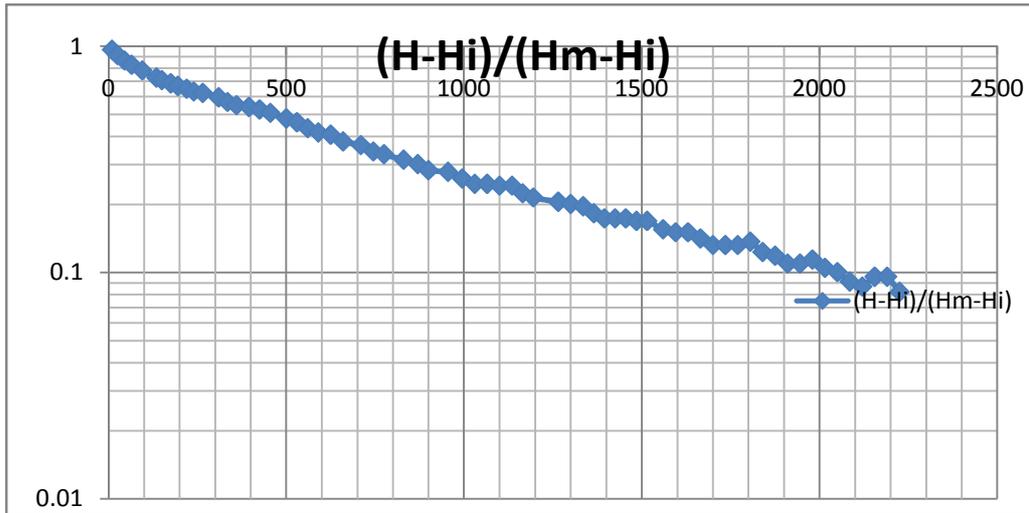


Nasso

Courbe de P8



Courbe de P1



## ANNEXE 2 : Coupe logs des forages et piézomètre

PD09

### Log de forage

Profondeur	Texture	Couleur	Teneur en eau
0,5 m	Limon	Noire	Sec
1 m	Limon	Noire	Sec
1,5 m	Limon	Noire	Sec
2,0 m	Limon	Noire	Sec
2,5 m	Argile	Jaune	Humide
3,0 m	Argile	Jaune	Humide
3,5 m	Argile	Jaune	Humide
4,0 m	Argile	Jaune	Humide
4,5 m	Argile	Jaune	Humide
5,0 m	Argile	Jaune	Humide
5,5 m	Argile	Jaune	Humide
6,0 m	Latérite	Rouge	Sec

### Paramètres divers

Niveau d'eau: 2,47 (13/11/2008) m\*

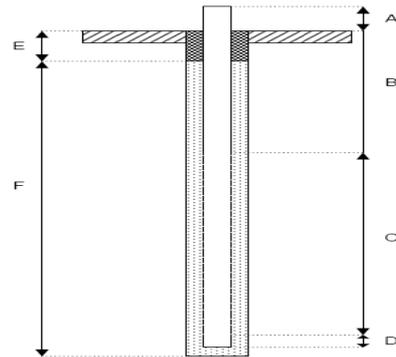
Température: \_\_\_\_\_

C.E.: \_\_\_\_\_

pH: \_\_\_\_\_

\* par rapport au sommet du tubage

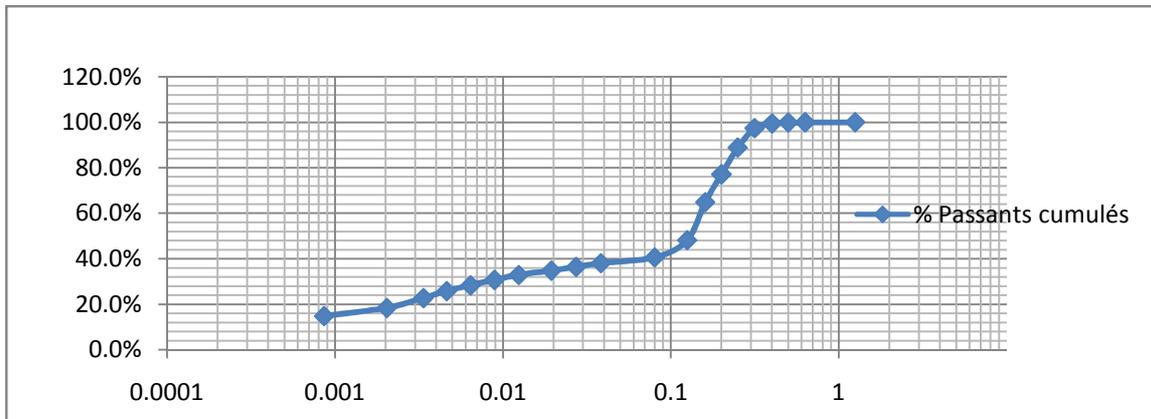
### Equipement



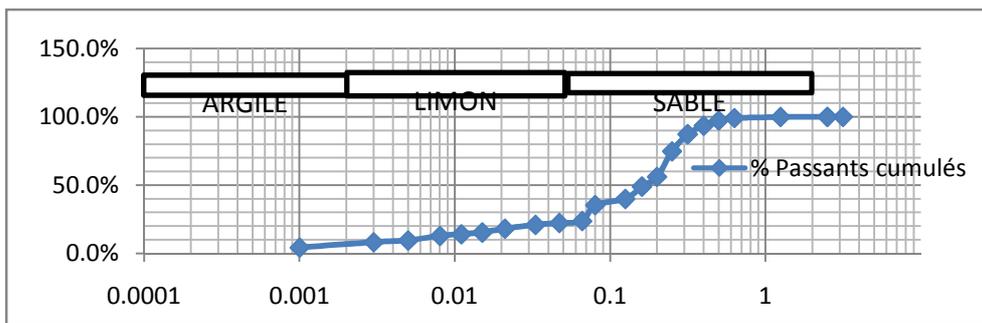
A =	0,20	m
B =	2,0	m
C =	3,45	m
D =	0,15	m
E =		m
F =		m

**ANNEXE 3 : Analyse granulométrique**

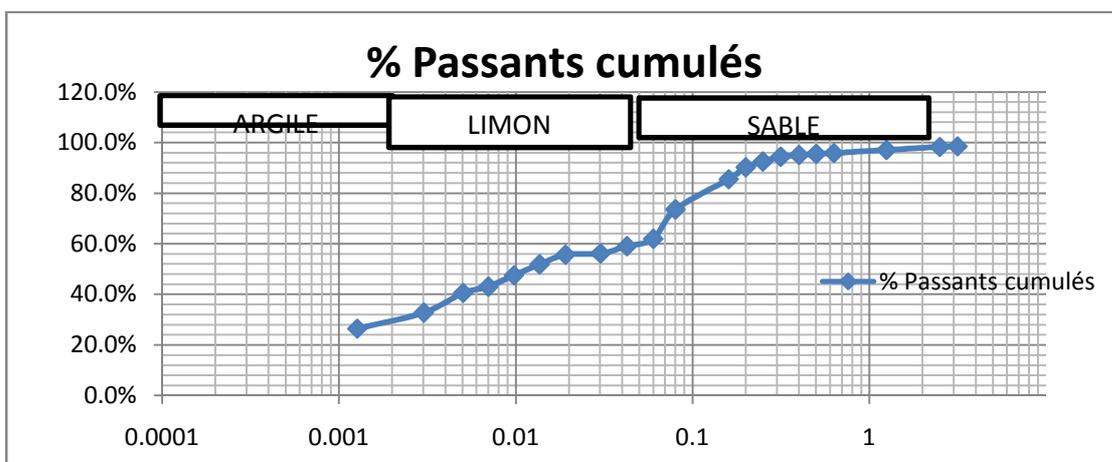
Courbes granulométriques



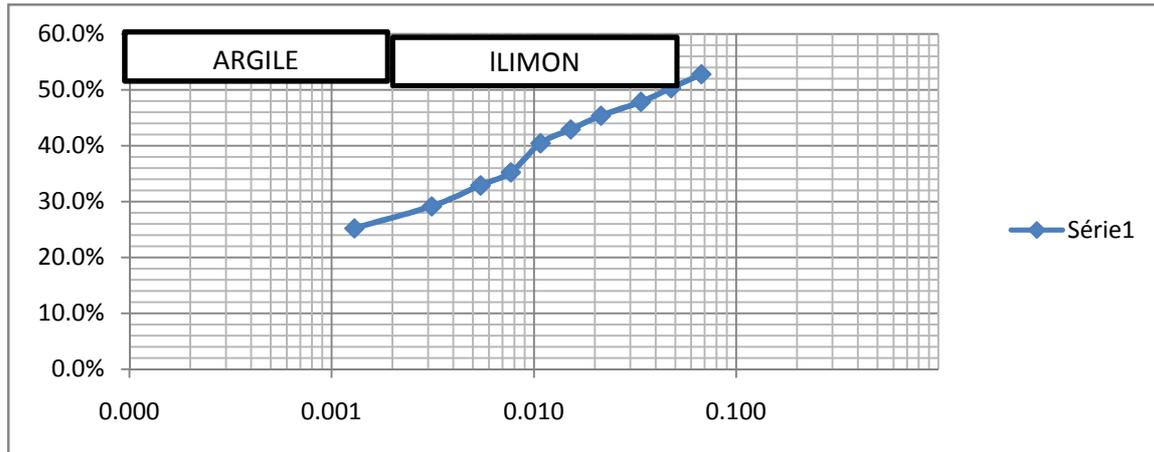
EchtPN09\_1



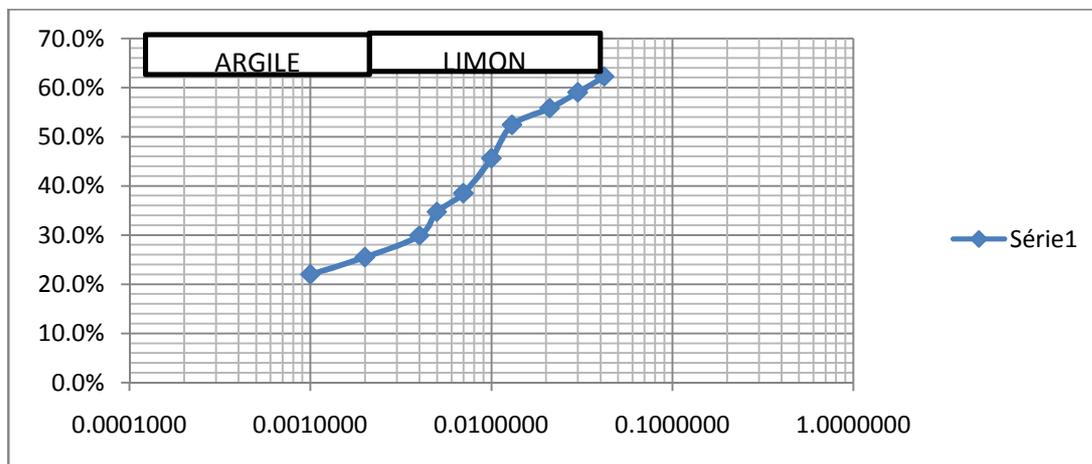
EchtPN39\_1



Caractérisation de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin du Kou, de Nasso à Diaradougou, par essai de pompage, slug test et analyse d'échantillons de sol ».



**DiarSlugRG02**



**DiarDiarSlug04**

**Tableau: Poids spécifiques des sols**

N° échantillon (le cas échéant)	Poids sec matériau x mis dans la cuve (g)	Volum e d'eau distillé ajouté (cm <sup>3</sup> )	Pression finale ( P' ) cuve échantillon + chambres (mWs)				Valeur Vlu (cm <sup>3</sup> )	Poids spécifique ys (KN/m <sup>3</sup> )
			1ère essai	2ième essai	3ième essai	, moyenne (mWs)		
<i>EchtPB01</i>	841 g	390 cm <sup>3</sup>	9.15	9.15	9.05	9.1	703 cm <sup>3</sup>	26.9 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtERT09D</i>	949 g	395 cm <sup>3</sup>	9.85	9.80	9.85	9.8	745 cm <sup>3</sup>	27.1 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtERT10D(29)</i>	872 g	305 cm <sup>3</sup>	8.65	8.35	7.95	8.3	647 cm <sup>3</sup>	25.5 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPK01</i>	682 g	355 cm <sup>3</sup>	7.60	8.10	7.95	7.9	612 cm <sup>3</sup>	26.6 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPN09_1</i>	878 g	380 cm <sup>3</sup>	7.25	7.20	7.25	7.2	549 cm <sup>3</sup>	52.0 KN/m <sup>3</sup>

Caractérisation de l'hydrodynamisme de la plaine alluviale du bassin du Kou, de Nasso à Diaradougou, par essai de pompage, slug test et analyse d'échantillons de sol ».

<i>EchtERT10D</i>	943 g	395 cm <sup>3</sup>	9.85	9.80	9.70	9.8	742 cm <sup>3</sup>	27.2 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPD12</i>	795 g	375 cm <sup>3</sup>	8.65	8.50	8.45	8.5	664 cm <sup>3</sup>	27.5 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPD19</i>	735 g	395 cm <sup>3</sup>	8.80	8.75	8.65	8.7	678 cm <sup>3</sup>	26.0 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPSO_RD01</i>	781 g	380 cm <sup>3</sup>	8.85	8.65	8.60	8.7	676 cm <sup>3</sup>	26.4 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPN39_1</i>	1 044 g	390 cm <sup>3</sup>	10.55	10.40	10.45	10.5	776 cm <sup>3</sup>	27.0 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtDarSlug05</i>	933 g	365 cm <sup>3</sup>	9.15	9.05	9.05	9.1	701 cm <sup>3</sup>	27.8 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPD08</i>	897 g	365 cm <sup>3</sup>	9.05	8.95	8.90	9.0	694 cm <sup>3</sup>	27.3 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtSandAV15</i>	783 g	365 cm <sup>3</sup>	8.55	8.50	8.50	8.5	662 cm <sup>3</sup>	26.3 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPD05</i>	848 g	365 cm <sup>3</sup>	9.15	8.95	8.90	9.0	696 cm <sup>3</sup>	25.6 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtERT09F</i>	555 g	359 cm <sup>3</sup>	7.20	7.40	7.50	7.4	563 cm <sup>3</sup>	27.3 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtRG01A</i>	472 g	369 cm <sup>3</sup>	7.00	7.10	7.00	7.0	527 cm <sup>3</sup>	30.0 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtPSa_03</i>	548 g	365 cm <sup>3</sup>	7.40	7.35	7.40	7.4	564 cm <sup>3</sup>	27.5 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtDiarPompAll</i>	648 g	360 cm <sup>3</sup>	7.75	7.65	7.65	7.7	594 cm <sup>3</sup>	27.7 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtDiarSlug04</i>	518 g	370 cm <sup>3</sup>	7.05	7.10	7.15	7.1	534 cm <sup>3</sup>	31.5 KN/m <sup>3</sup>
<i>EchtRD01A</i>	383 g	360	6.55	6.5	6.55	6.5	465 cm <sup>3</sup>	36.6909857
<i>EchtDiarSlug07</i>	269 g	365.62	6.25	6.35	6.35	6.3	434 cm <sup>3</sup>	39.3369777
<i>EchtPaSa_05</i>	304 g	367.44	6.5	6.45	6.55	6.5	460 cm <sup>3</sup>	32.8458178
<i>EchtBamaSlugM</i>	532 g	387.54	7.4	7.35	7.45	7.4	566 cm <sup>3</sup>	29.8135469
<i>EchtDiarSlugRG02</i>	517 g	410.09	7.6	7.6	7.6	7.6	586 cm <sup>3</sup>	29.4326778
<i>EchtPS01</i>	517 g	487.21	8.9	8.9	8.85	8.9	688 cm <sup>3</sup>	25.7310676
<i>EchtPDN09</i>	242 g	528.93	7.9	7.85	7.9	7.9	612 cm <sup>3</sup>	29.2690016
<i>EchtPN16</i>	631 g	456.98	8.95	9	8.85	8.9	691 cm <sup>3</sup>	26.8925029

**Propriétés hydrodynamiques et texture des sols**

Site	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Type de sol	Wp (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Fp (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Sat (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Sat. hydraulicité (cm/h)	Aw (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Awn (water/froot soil)	Porosité efficace (%)	Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )
Diar Slug RG02	29	31	40	Clay loam	0.16	0.29	0.49	0.37	0.13	1.53	20	1.35
Ech TPN 39_1	7.5	15.5	77	Sandy loam	0.08	0.17	0.39	4.21	0.09	1.09	22	1.62
Echt P09_1	19	20	61	Sandy loam	0.13	0.23	0.45	0.81	0.1	1.22	22	1.46
Diar Slug 1	32	41	27	Clay loam	0.18	0.32	0.50	0.36	0.15	1.8	22	1.31
Diar Slug 04	26	36.2	37.8	Clay loam	0.15	0.29	0.49	0.47	0.13	1.61	18	1.29
Diar Pompl	26	36.2	28	clay loam	0.16	0.31	0.50	0.50	0.15	1.82	19	1.33
PDN 09	18.5	19.6	61.9	Sandy loam	0.12	0.22	0.45	0.86	0.10	1.21	23	1.38

**ANNEXE 3 : Calculatrice texturale**

### American Bulk Density Calculator

Use this worktable to see the impact of Soil Texture on Bulk Density.

Percent Sand	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Percent Clay	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
	<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Calculate"/>
Percent Silt	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Texture (US System)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Enter values for percent sand and percent clay and click on [Calculate] to obtain the soil texture class. Bulk density values may not be available for certain texture classes.

## Soil Texture Triangle

### Hydraulic Properties Calculator

