



**APPORT DE LA TELEDETECTION, DES METHODES GEOPHYSIQUES ELECTRIQUES,
ELECTROMAGNETIQUES ET DE METHODES HYDROGEOLOGIQUES A L'IDENTIFICATION ET A LA
CARACTERISATION DES AQUIFERES DE BAS-FOND DANS LA COMMUNE DE TANGHIN-DASSOURI
AU BURKINA FASO**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER
SPÉCIALITÉ GÉNIE DE L'EAU DE L'ASSAINISSEMENT ET DES AMÉNAGEMENTS
HYDROAGRIQUES**

Présenté et soutenu publiquement le 18/07/2023 par

Nathaniel HAMLONA SOUINA (20131413)

Directeur de mémoire : Dr. Mahamadou KOÏTA Enseignant-Chercheur à 2iE

Encadrant 2iE : Dr. Moussa Diagne FAYE Enseignant-chercheur à 2iE

**Maître de stage : Dr. Elie Serge Gaétan SAURET (INERA)
Dr. Bruno BARBIER (Cirad)**

Structures d'accueil du stage Cirad

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : **Dr. Angelbert Chabi BIAOU**

Membres et correcteurs : **Dr. Mahamadou KOÏTA
Dr. Sayoba KAFANDO**

Promotion 2019/2020

DEDICACES

Au Seigneur Dieu Tout-Puissant, source de vie et de mon inspiration, maître des temps et des circonstances, l'auteur de ma réussite.

A mon père qui m'a forgé un caractère d'homme par ses conseils.

A ma très chère mère, mes frères et sœurs qui ont sur tous les plans contribués pour mon bien-être et ma réussite.

A toute la communauté Tchadienne de 2iE

Aux ami(e)s et camarades qui ont été à mes côtés durant ces années d'étude.

AVANT-PROPOS

Ce mémoire de fin d'étude a été réalisé dans le cadre du "Projet IRRINN". Ce projet implique sept partenaires clés : 2iE (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement), INERA (Institut National pour l'Environnement et la Recherche Agronomique), APESI (Action pour la Promotion de l'Entrepreneuriat et des Systèmes d'Irrigation), CSIC (Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Cientificas), ZALF (Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research), PRACTICA, sous la coordination générale du Cirad (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) et est financé par l'UE (Union Européenne). Le projet est divisé en trois domaines d'application principaux :

1. Le domaine "étang fermier" est supervisé par 2iE.
2. Le domaine "petite irrigation privée" est dirigé par le CSIC.
3. Le processus d'adoption général est dirigé par APESI.

L'objectif du projet est de surmonter les contraintes techniques, financières, économiques, organisationnelles et institutionnelles qui limitent le développement de l'irrigation à petite échelle dans divers contextes de production, sociaux et environnementaux. L'objectif est d'accroître les superficies irriguées, d'améliorer la productivité et les revenus agricoles, de réduire l'insécurité alimentaire et la pauvreté, et d'augmenter la résilience des populations face aux risques climatiques. La zone d'intervention du projet se situe au Burkina Faso, dans un rayon de 30 kilomètres autour de Ouagadougou.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement pour la formation et les compétences que j'ai acquises lors de mon cycle d'ingénieur. Je tiens tout particulièrement à remercier tous les enseignants pour leur dévouement et leur implication dans la transmission d'une connaissance de qualité. Je tiens également à adresser une mention spéciale au personnel administratif, dont l'apport est essentiel pour une organisation sans faille.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers Dr Mahamadou KOÏTA, directeur de ce mémoire, qui malgré ses nombreuses responsabilités, n'a ménagé aucun effort pour m'aider dans la réalisation du présent travail. Son expertise, son encadrement et son tutorat ont été inestimables. Sa rigueur, son souci de l'excellence et son produit exemplaire en font l'un de mes modèles.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'équipe d'encadrement, en particulier à Dr Moussa Diagne FAYE, qui grâce à son encadrement interne et à son implication, ce travail a pu être mené à bien.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers Dr Elie Serge Gaétan SAURET, mon maître de stage et superviseur externe pour ce travail. Sa rigueur, ses interventions, ses suggestions et ses commentaires ont été des éléments clés dans le déroulement de ce projet. Il est pour moi une référence scientifique.

Mes remerciements vont également à l'endroit du Cirad pour m'avoir offert l'opportunité d'effectuer mon stage et pour le traitement dont j'ai bénéficié. Je tiens tout particulièrement à exprimer ma profonde gratitude à l'endroit de Dr Bruno BARBIER, qui a assuré l'encadrement administratif de ce mémoire grâce à ses conseils et orientations précieuses.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers le président du jury de la soutenance de ce mémoire ainsi que les rapporteurs pour leurs remarques et suggestions en vue de l'amélioration de ce document.

Mes remerciements vont à ma famille biologique : mon père, ma mère et tous mes frères et sœurs, pour leur soutien inconditionnel et leur affection à ma personne.

Je souhaite également remercier chaleureusement la grande et bienveillante famille qui s'est formée autour de moi ici au Burkina Faso (Eglise Bon Berger, Communauté Tchadienne), ainsi que tous mes amis et camarades. Votre soutien spirituel et moral a été d'une importance capitale pour moi.

J'exprime ma considération et ma gratitude à tous ceux qui, de manière directe ou indirecte, ont contribué au succès de ce travail. Leur implication, même si elle n'est pas explicitement mentionnée, est essentielle et je ne souhaite pas les oublier.

RESUME

L'étude entreprise pour le mémoire de fin de cycle ingénieur vise à caractériser les aquifères de bas-fond et leur hydrodynamisme, en relation avec le fonctionnement des réservoirs d'eau associés, dans les régions de pays arides et semi-arides confrontées à la raréfaction des eaux de surface. Cette rareté est attribuée à la croissance démographique, à l'expansion économique et aux effets du changement climatique. Face à cette problématique, l'accent est mis sur les ressources en eau souterraine.

Les connaissances limitées sur ces ressources ont motivé le recours à deux méthodes de prospection géophysique : la prospection électrique par traînés et sondages électriques, ainsi que la prospection électromagnétique multifréquence. Ces méthodes ont permis d'obtenir un aperçu des formations géologiques. L'analyse des données électromagnétiques a révélé des anomalies, confirmées ultérieurement par les traînés et les sondages électriques.

Les courbes de sondage électrique présentent une allure en cloche suivie d'un fond de bateau de type KH. Cette configuration suggère la présence de différentes couches géologiques avec des caractéristiques de résistivité spécifiques. L'allure en cloche est associée à des couches géologiques présentant une résistivité relativement élevée, suggérant la possible existence d'une couche de roche imperméable. Le fond de bateau de type KH, caractérisé par une résistivité apparente fortement diminuée, peut indiquer la présence d'une couche géologique très conductrice, telle qu'une couche aquifère saturée en eau.

Bien que la confirmation géologique par forages n'ait pas été possible en raison de conflits fonciers, cette étude contribue néanmoins à la compréhension et à la gestion des ressources en eau souterraine, offrant des perspectives sur la séquence géologique potentielle composée de quatre couches.

Mots clés :

Hydro géophysique, Aquifère, Télédétection, Electromagnétisme, Trainé Electrique et Sondage Electrique

ABSTRACT

The study undertaken for the engineering degree dissertation aims to characterize lowland aquifers and their hydrodynamics, in relation to the functioning of associated water reservoirs, in regions of arid and semi-arid countries faced with the scarcity of surface water. This scarcity is attributed to population growth, economic expansion and the effects of climate change. Faced with this problem, the focus is on groundwater resources.

The limited knowledge of these resources led to the use of two geophysical prospecting methods: electrical prospecting using electric drags and boreholes, and multi-frequency electromagnetic prospecting. These methods provided an overview of the geological formations. Analysis of the electromagnetic data revealed anomalies, which were subsequently confirmed by trailing and electric drilling.

The electrical sounding curves show a bell-shaped pattern followed by a KH-type boat bottom. This pattern suggests the presence of different geological layers with specific resistivity characteristics. The bell-shaped pattern is associated with geological layers of relatively high resistivity, suggesting the possible existence of a layer of impermeable rock. The KH-type boat bottom, characterized by greatly diminished apparent resistivity, may indicate the presence of a highly conductive geological layer, such as a water-saturated aquifer.

Although geological confirmation by drilling was not possible due to land conflicts, this study nevertheless contributes to the understanding and management of groundwater resources, offering insights into the potential geological sequence made up of four layers.

Key words:

Hydrogeophysics, Aquifer, Remote sensing, Electromagnetism, Electric train and Electrical Survey

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

ONG : Organisation Non Gouvernementale

DGEP : Direction Générale de l'Economie et de la Planification

PARIIS : Projet d'Appui Régional à l'Initiative pour l'Irrigation au Sahel), un projet de la Banque mondiale

CILSS : Comité inter-État de lutte contre la sécheresse au Sahel

Cirad : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

CSIC : Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Cientificas

APESI : Action pour la Promotion de l'Entreprenariat et des Systèmes d'Irrigation

INERA : Institut National pour l'Environnement et la Recherche Agronomique

ZALF : Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research

DGAHDI : Direction Générale des Aménagements Hydrauliques et du Développement de l'Irrigation

BUMIGEB : Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina Faso

PIP : Petite Irrigation Privée

BCER : Bassin de Collecte d'Eau de Ruissellement

T : Transmissivité

S : Coefficient d'emmagasinement

GPS : Global Positioning System

R : Résistance

Table des matières

I	INTRODUCTION	4
II	OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	5
II.1	Objectif général.....	5
II.2	Objectifs spécifiques.....	5
III	PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	6
III.1	Justification et Choix du Site	6
III.2	Cadre Physique.....	7
III.2.1	Relief.....	7
III.2.2	Sols	7
III.2.3	Climat.....	8
III.2.4	Végétation, faune et flore.....	9
III.2.5	Hydrographie.....	9
III.2.6	Contexte géologique et hydrogéologique.....	10
IV	ETAT DE L'ART DE LA CARACTERISATION DES AQUIFERES DE BAS-FONDS ET GENERALITES EN HYDROGEOLOGIE	11
V	MATERIEL ET METHODE.....	12
V.1	Matériel.....	12
V.2	Méthode.....	14
V.2.1	Cartographie des Linéaments	14
V.2.2	Méthode de prospection géophysique Electromagnétique	16
V.2.3	Méthode de prospection géophysique électrique.....	18
VI	RESULTATS ET DISCUSSION.....	23
VI.1	Cartographie linéamentaire.....	23
VI.1.1	Technique de l'analyse en composantes principale (ACP).....	23
VI.1.2	Rapport des bandes	23
VI.1.3	Composition colorée.....	24
VI.1.4	Application des filtres Sobel.....	25
VI.2	Profils électromagnétiques.....	25
VI.2.1	Kari (Association Songtaba).....	26
VI.2.2	Kossoghin.....	28

VI.3	Méthode électrique	31
VI.3.1	Trainé Electrique	31
VI.3.2	Sondage Electrique	34
VII	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	40
VIII	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	42
IX	SITE INTERNET.....	44
X	ANNEXES	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Commune de Tanghin Dassouri	6
Figure 2: Bassin Versant de Tanghin Dassouri	10
Figure 3: Carte géologique du Burkina Faso (Source BUMIGEB).....	11
Figure 4: Promis équipement multi-fréquence	13
Figure 5: Syscal	13
Figure 6: Filtres directionnels de SOBEL 7x7 a) N-S ; b) E-0 ; c) NE-SO et d) : NO-SE.....	16
Figure 7: Principe de la méthode Electromagnétique	18
Figure 8: Sondage électrique Schéma de principe d'acquisition.....	23
Figure 13: Cartes des linéaments du Bassin Versant de Tanghin-Dassouri.....	25
Figure 14: Profils Géophysique.....	26
Figure 15: Kari, Profil P1, AZ N 103° Fréquence 3520hz.....	27
Figure 16: Kari, Profil P1, AZ N 103°Fréquence 1760hz.....	27
Figure 17: Kari, Profil P2 (P2//P1), AZ N 103° Fréquence 3520hz	28
Figure 18: Kari, Profil P2 (P2//P1), AZ N 103°Fréquence 1760hz	28
Figure 19: Kossoghin, Profil P1, AZ N 103°Fréquence 110hz	29
Figure 20: Kossoghin, Profil P1, AZ N 103° Fréquence 880hz	29
Figure 21: Kossoghin, Profil P2, AZ N 157° Fréquence 110hz	30
Figure 22: Kossoghin, Profil P3, AZ N 103° Fréquence 110hz	30
Figure 23: Trainé Electrique du Premier Profil	32
Figure 24: Trainé Electrique du Deuxième Profil	32
Figure 25: Trainé Electrique du Premier Profil	33
Figure 26: Trainé Electrique du Deuxième Profil	33
Figure 27: Trainé Electrique du Troisième Profil.....	34
Figure 28: Sondage à la Station 2	36
Figure 29: Sondage à la Station 4	36
Figure 30: Sondage à la Station 7	37
Figure 31: Sondage à la Station 8.....	37
Figure 32: Sondage à la Station 9.....	38

I INTRODUCTION

En raison des changements climatiques mondiaux, de la diminution des ressources en eau et de la pression démographique croissante, la région de l'Afrique de l'Ouest, et plus spécifiquement le Sahel, se trouve parmi les zones les plus défavorisées en raison de la pluviométrie et de ses conditions naturelles. (M. D. Faye et al. 2022 ; Koita et al. 2010 ; Sauret, 2005).

En raison de la récurrence des sécheresses, les eaux souterraines sont souvent utilisées comme principale source d'eau pour divers usages dans certaines parties du Sahel. Les ressources en eaux de surface, telles que les cours d'eau non pérennes, les plans d'eau naturels et artificiels, sont généralement peu fiables dans ces régions en raison de la pollution accrue. (Adjagodo et al. 2016 ; Ble et al. 2022).

Selon le Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté (CSLP) du Burkina Faso, l'amélioration de l'accès à l'eau potable est l'un des axes stratégiques essentiels pour réduire la pauvreté. Cependant, les ressources en eau de surface se font de plus en plus rares et insuffisantes. Dans les régions où ces ressources existent, elles sont souvent contaminées, ce qui entraîne un risque élevé de maladies telles que la diarrhée, la dysenterie et le choléra, mettant en danger la santé des populations locales (Bamba et al., 2013; M. Faye et al., 2020; Sako et al., 2016). Dans ce contexte, l'exploitation des ressources en eaux souterraines devient une nécessité incontournable.

Depuis les années 1970, un grand nombre de forages ont été réalisés au Burkina Faso, un pays où près de 80% du territoire se trouve en zone de socle et 20% est occupée par la zone sédimentaire. (Dahl et al. 2018 ; Giovenazzo et al. 2018).

Toutefois, la mise en place de ces infrastructures se heurte à des difficultés, en raison de la composition géologique de la région. En effet, la majeure partie du Sahel est constituée de socle, ce qui rend le milieu hydraulique complexe, tandis qu'une bande sédimentaire se trouve dans sa partie ouest. Cette complexité géologique entraîne souvent des taux d'échec élevés dans la réalisation des ouvrages environ 60% à l'échelle nationale, (Galbané 2011). Face à cette réalité, plusieurs études géophysiques et hydrogéologiques ont été menées pour améliorer le taux de réussite des forages. Des chercheurs tels que Berger et al. 1975 et Gombert 1988 ont démontré que la productivité d'un forage est influencée par des facteurs régionaux, tels que la pluviométrie,

l'intensité de la fracturation et l'altitude du point, ainsi que des facteurs locaux liés aux caractéristiques hydrogéologiques.

Les terres situées autour des sources d'eau de surface (cours d'eau, mares, barrages...) constituent des opportunités de cultures diverses notamment le maraichage de contre-saison en raison de la disponibilité à faible profondeur des nappes superficielles et de leurs sols généralement plus propices aux cultures irriguées.

Sur le plan géomorphologique, le fonctionnement hydrodynamique de zones dites de bas-fond est lié à celui des cours d'eau et des retenues d'eau. Les nappes qu'ils hébergent constituent des réservoirs d'eaux superficielles facilement accessibles et exploités au moyen de puits et de puisards traditionnels ou busés ou de forage.

Malheureusement la caractérisation hydrogéologique et hydrodynamique de ces nappes de bas-fond sont mal connus, leurs mécanismes de vidanges/tarissements en lien avec ceux des réservoirs qui les créent sont fonction de la saisonnalité, des interactions nappe-retenu d'eau, de la géologie des matériaux superficiels, de la présence d'accidents tectoniques.




La présente étude menée dans le cadre de notre mémoire de fin de cycle qui a pour thème : **Apport de la télédétection, des méthodes géophysiques électriques, électromagnétisme et de méthodes hydrogéologiques classiques à l'identification et caractérisation des aquifères de bas-fonds**, vise à étudier l'extension spatiale des nappes de basfond et leur hydrodynamisme dans la zone de Tanghin-Dassouri.

II OBJECTIFS DE L'ETUDE

II.1 Objectif général

Caractériser les aquifères de bas-fond et leur hydrodynamisme en lien avec le fonctionnement des réservoirs d'eau qui les créent.

II.2 Objectifs spécifiques

-  Cartographier les linéaments
-  Réaliser des prospections géophysique par la méthode électrique, électromagnétique.
-  Réaliser un suivi du comportement hydrodynamique des aquifères du bas-fond

III PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

III.1 Justification et Choix du Site

La recherche actuelle a été effectuée dans la province de Kadiogo, qui est composée de six départements (Komki-Ipala, Koubri, Komsilga, Pabré, Saaba et Tanghin-Dassouri). En outre, cette province comprend une commune distincte, Ouagadougou, qui bénéficie d'un statut spécial.

La zone de projet est située dans le département de Tanghin-Dassouri (figure 1), où deux localités ont été identifiées pour la présente étude. Ces localités ont été sélectionnées en raison de leur fort potentiel en termes d'activités maraîchères.

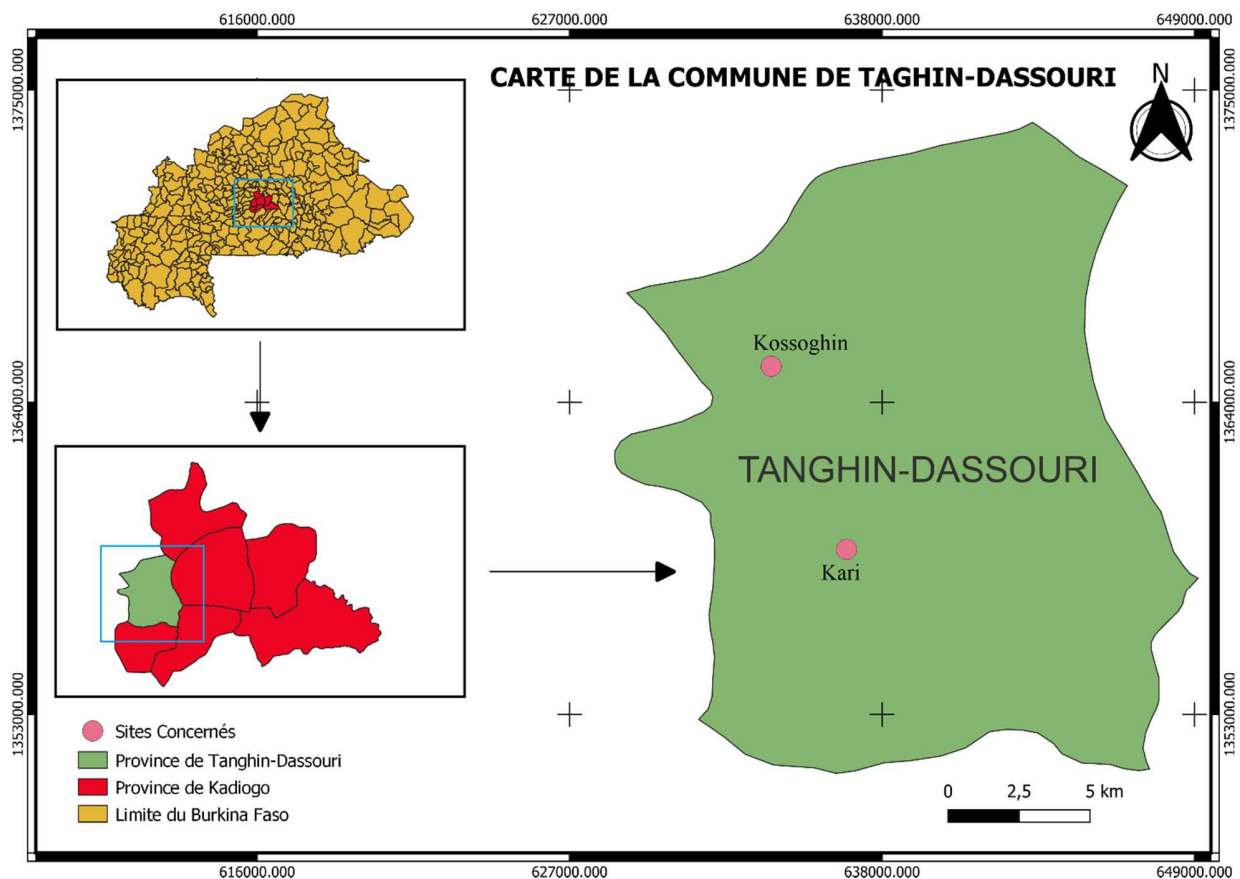


Figure 1: Commune de Tanghin Dassouri

III.2 Cadre Physique

Le relief et le sol jouent un rôle essentiel dans la répartition de la population dans différentes zones de la région, expliquant ainsi la concentration élevée de population dans certains endroits et le sous-peuplement de certaines terres.

III.2.1 Relief

Selon les données (*Cinquième Recensement Général de La Population et de l'Habitation Du Burkina Faso - Recherche Google, 2022*), la Région du Centre se caractérise comme une vaste pénéplaine s'étendant sur une superficie d'environ 1 903 km², ce qui représente environ 66 % de la région. Cette pénéplaine présente des altitudes variantes entre 300 et 400 mètres par rapport au niveau de la mer. Malgré cette uniformité de paysage plat, on y observe des vallées ou des bas-fonds qui s'introduisent par endroits, avec des altitudes moyennes d'environ 200 mètres.

Les bas-fonds occupent une superficie de 969,8 km², soit environ 33 % de la superficie régionale. Ils constituent des zones plus basses et en creux au sein de la pénéplaine générale. Ces résultats montrent la distribution spatiale de la Région du Centre, mettant en évidence la prédominance de la pénéplaine, mais également l'existence de zones en relief plus bas.

III.2.2 Sols

Selon les critères de profondeur et de position physiographique, la Région du Centre présente une variété de types de sols. Le tableau ci-dessous met en évidence cette diversité : Les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés occupent la plus grande partie de la superficie régionale, représentant 59,7% du territoire, les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et à concrétions couvrent une superficie de 19,8%.

Ces types de sols se caractérisent généralement par leur pauvreté en éléments nutritifs et leur fragilité, les rendant vulnérables à l'érosion. La région abrite principalement des sols légers qui sont particulièrement sensibles à l'érosion, et cette dégradation est souvent accélérée par les activités humaines telles que les systèmes de production extensifs, la coupe excessive de bois de chauffage et l'occupation anarchique des terres.

Ces données, issues du 5ème Recensement Général de la Population et de l'Habitat de Décembre 2022, répertorient les principaux types de sols présents dans la Région du Centre, ainsi que leurs superficies respectives.

Sols dominants	Superficie en Km2
Sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes	17,1
Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds	18,5
Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds	0,2
Sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et à concrétions	553,0
Sols Hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface	248,3
Lithosols sur cuirasse ou sur roche	146,2
Sols Peu évolués d'apport alluvial, hydromorphes	51,4
Sols Bruns eutrophes tropicaux ferruginisés	110,3
Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds	831,5
Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds	821,1

Source : BUNASOLS, 2021

III.2.3 Climat

Le climat de la région du Centre présente les caractéristiques du climat soudano-sahélien, typique des régions tropicales. Il se divise en deux principales saisons :

La saison pluvieuse s'étend de mai à octobre et est influencée par les vents humides de la mousson. Cependant, la pluviométrie est très variable d'une année à l'autre, avec des niveaux souvent insuffisants. En moyenne, les précipitations annuelles ne dépassent que rarement les 700 mm, avec les mois de juillet et août enregistrant les plus fortes chutes de pluie.

La saison sèche, qui est la plus longue, s'étend de novembre à avril. Elle comprend une période sèche et fraîche de décembre à février, caractérisée par des épisodes importants de poussière en suspension dans l'air. Pendant cette saison, les vents d'harmattan dominant la région.

En ce qui concerne les températures, les moyennes annuelles se situent entre 17°C et 36°C, créant ainsi une amplitude thermique de 19°C. Les mois les plus chauds (mars à mai) enregistrent en moyenne des températures maximales de 38°C, tandis que les mois les plus frais sont décembre et janvier, avec des températures minimales moyennes de 16,9°C.

Ces données climatiques ont été recueillies lors du 5ème Recensement Général de la Population et de l'Habitat de Décembre 2022.

III.2.4 Végétation, faune et flore

En raison du faible niveau de précipitations et des caractéristiques de ses sols, la région du Centre est principalement recouverte par une savane arbustive claire, parsemée de quelques grands arbres et agrémentée d'une strate herbacée. Ce type de végétation est principalement composé des éléments suivants : Arbres de taille moyenne tels que le karité, le néré et le baobab, Arbustes, dont certains sont épineux, Herbes, dont une partie est largement utilisée dans la fabrication de pailletes pour les toits de cases, de greniers ou de hangars, etc.

Cependant, en raison d'une exploitation intensive pour répondre aux besoins domestiques, artisanaux et de construction, cette végétation est relativement clairsemée. Les activités humaines ont un impact significatif sur cette couverture végétale.

Les zones situées le long des cours d'eau temporaires ont développé une savane boisée, offrant des conditions plus favorables pour la croissance des arbres.

Afin de préserver et d'améliorer cette couverture végétale, des efforts notables ont été entrepris et se poursuivent à la fois en zone rurale et urbaine. Chaque année, des programmes de reboisement sont menés en utilisant des espèces ligneuses adaptées au climat et aux sols de la région.

Informations issues du 5ème Recensement Général de la Population et de l'Habitat de Décembre 2022.

III.2.5 Hydrographie

Le bassin versant de Tanghin-Dassouri (Figure.2), situé dans le département de la province de Kadiogo, se trouve dans une région traversée par le Massili, une branche du fleuve Nakambé, ainsi que ses nombreux affluents.

De plus, la région présente des glacis cuirassés qui s'intercalent entre les plateaux relativement élevés et les axes de drainage, tels que le Massili. En ce qui concerne l'approvisionnement en eau, la province a bénéficié de la construction de trois barrages pour répondre à la demande croissante en eau de la ville de Ouagadougou. Outre les trois barrages situés dans la ville elle-même, il existe également les barrages de Loumbila et de Ziga.

Les ressources en eau de la région comprennent à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines. Le réseau hydrographique est principalement composé de cours d'eau saisonniers de moindre

envergure. En raison de leur position géographique le long d'une ligne de partage des eaux, ces municipalités contribuent principalement à l'alimentation du sous-bassin du Nakambé par le biais du Massili. Ainsi, les eaux de surface s'écoulent vers le Nakambé (anciennement connu sous le nom de Volta Blanche), qui ne coule que pendant la saison des pluies. Les débits de ce fleuve augmentent en aval, à partir de la station de Wayen, et étendent leur pic à Bagré, dans la province du Boulgou. En juillet, le débit moyen est d'environ 65 m³/s, tandis qu'il atteint 1445 m³/s en août et 106,7 m³/s en septembre (Source : DGEP, Étude sur les treize régions du Burkina 2018).

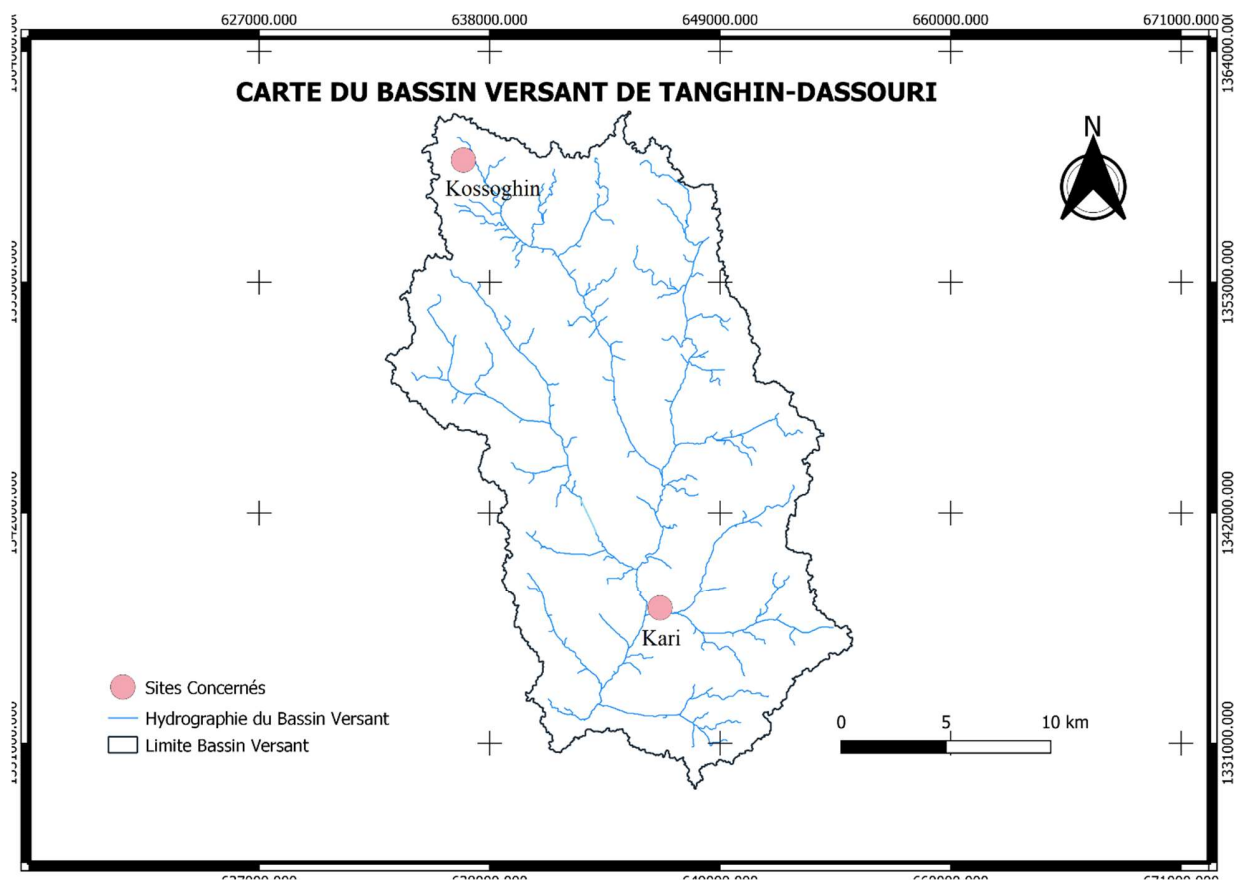


Figure 2: Bassin Versant de Tanghin Dassouri

III.2.6 Contexte géologique et hydrogéologique

La région de Kadiogo présente des potentialités limitées en termes de ressources hydrogéologiques en raison de sa structure géologique (Orban et al. 2011). Cependant, des zones de fractures localisées offrent des potentialités hydrauliques favorables. Les systèmes aquifères présents comprennent l'aquifère des altérites, l'aquifère du socle fracturé et fissuré, ainsi que l'aquifère des latérites. La

pérennité des nappes d'eau souterraine dépend des régimes climatiques, des modes d'alimentation et des caractéristiques hydrogéologiques et géologiques de la région (Cesar, 2012). Les eaux souterraines forment des nappes qui se rechargent de manière saisonnière. La (figure 3) illustre la géologie du Burkina Faso avec le bassin versant de Tanghin-Dassouri précisément situé dans un milieu constitué essentiellement des Granites et des Tonalites.

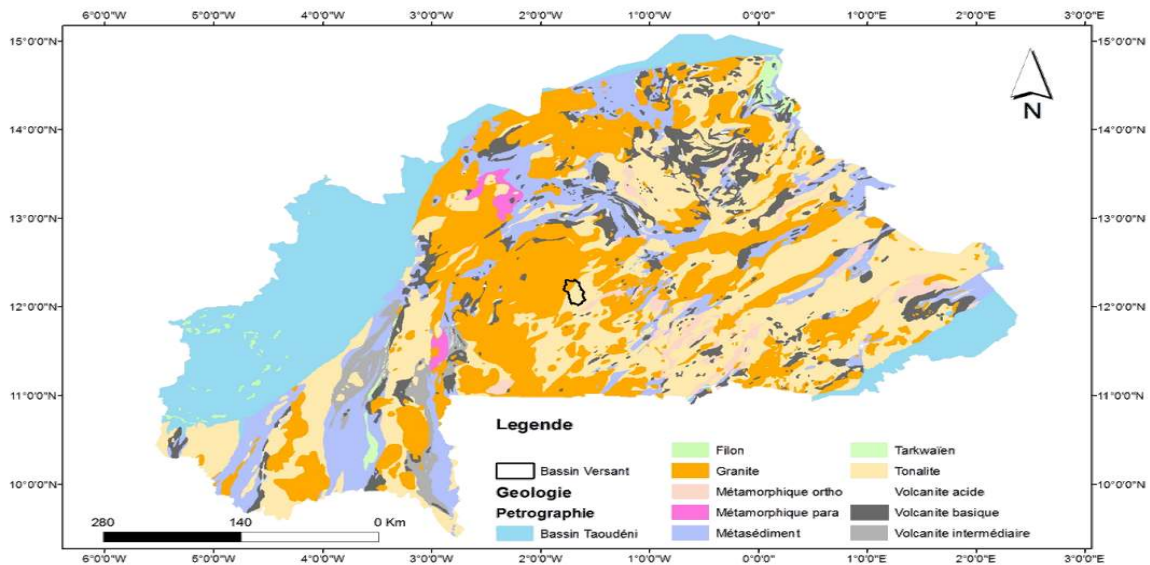


Figure 3: Carte géologique du Burkina Faso (Source BUMIGEB)

ETAT DE L'ART DE LA CARACTERISATION DES AQUIFERES DE SOCLE ET LEUR MODE DE TRANSFERT DE POLLUANTS

IV ETAT DE L'ART DE LA CARACTERISATION DES AQUIFERES DE BAS-FONDS ET GENERALITES EN HYDROGEOLOGIE

L'eau souterraine joue un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau potable et dans le soutien de l'agriculture, de l'industrie et des écosystèmes. Son importance réside dans sa disponibilité, sa qualité et sa fiabilité. L'hydrogéologie, quant à elle, est la branche de la géologie qui étudie la distribution, la circulation et la qualité des eaux souterraines.

L'eau souterraine est une source d'eau précieuse et renouvelable, stockée dans les aquifères souterrains, des formations géologiques poreuses et perméables capables de retenir et de transmettre l'eau. Elle est souvent moins exposée aux perturbations environnementales que les

sources d'eau de surface, ce qui en fait une ressource plus stable et moins vulnérable aux variations climatiques.

L'exploitation durable des eaux souterraines est essentielle pour répondre aux besoins en eau croissants de la population mondiale. Elle offre une source d'eau potable fiable pour les communautés, en particulier dans les régions où les ressources en eau de surface sont limitées ou de qualité insuffisante. Les agriculteurs utilisent également l'eau souterraine pour l'irrigation, ce qui est essentiel pour augmenter la production alimentaire et assurer la sécurité alimentaire.

L'hydrogéologie est une discipline clé pour comprendre la dynamique des eaux souterraines, y compris leur origine, leur mouvement, leur interaction avec d'autres éléments du système hydrologique et leur qualité. Elle permet de localiser et de caractériser les aquifères, d'estimer les quantités d'eau disponibles et de prédire les impacts potentiels de l'exploitation excessive ou de la contamination.



La gestion durable des ressources en eau souterraine nécessite une compréhension approfondie des processus hydrogéologiques, des techniques de surveillance et de modélisation, ainsi que des politiques et des réglementations appropriées. Il est essentiel de prendre en considération les interactions entre les eaux souterraines et de surface dans la gestion des ressources en eau, tout en encourageant la collaboration entre les parties prenantes impliquées, tels que les hydrogéologues, les gestionnaires de l'eau, les décideurs politiques et les parties prenantes locales.

En résumé, l'eau souterraine est une ressource vitale, et l'hydrogéologie joue un rôle essentiel dans la compréhension et la gestion de cette ressource. La connaissance de l'importance de l'eau souterraine et des principes fondamentaux de l'hydrogéologie est cruciale pour assurer une utilisation durable et une gestion efficace de cette ressource précieuse.

V MATERIEL ET METHODE

V.1 Matériel

Le matériel utilisé pour les travaux sur le site pour la prospection géophysique électromagnétique, est le Promus multifréquences et ses équipements (figure4) composé :

-  D'un émetteur en porte à dos et sa boucle
-  D'une ceinture batterie

- ✚ D'un capteur magnétique
- ✚ D'un récepteur
- ✚ Et des bobines



Figure 4: Promis équipement multi-fréquence

Quant à la prospection géophysique par trainé et sondage électrique, le résistivimètre Syscal (figure 5) composé de :

- ✚ Deux bobines émettrices
- ✚ Deux bobines réceptrices
- ✚ Électrodes



Figure 5: Syscal

V.2 Méthodologie de l'étude

V.2.1 Cartographie des Linéaments

V.2.1.1 *Technique de l'analyse en composantes principales (ACP)*

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une technique de traitement qui consiste à décomposer le signal-image en utilisant des fonctions orthogonales entre elles. Cette méthode vise à détecter la variance maximale des bandes Landsat le long de trois axes particuliers (Youan Ta, 2008). La première composante est utilisée le long de l'axe où la variance est maximale, et la deuxième suit la même règle dans l'espace restant, et ainsi de suite. Cette transformation engendre de nouvelles images, composantes ou axes, qui résultent de combinaisons linéaires avec les images d'origine. Dans cette étude, aucune règle de décision spécifique n'a été définie pour la sélection des composantes ; celles-ci seront conservées en fonction de critères propres à la recherche. Toutefois, étant donné les limites de l'ACP, plusieurs auteurs préconisent deux méthodologies distinctes.

La première approche implique la réalisation d'une Analyse en Composantes Principales (ACP) initiale, dans laquelle les trois premières composantes sont sélectionnées en utilisant les bandes OLI 2, 3 et 4 pour anciennement l'ACP1. Les trois composantes obtenues sont notées ACP12, 3,4, ACP22, 3,4 et ACP32, 3,4, selon Jourda (2005). Une deuxième ACP (ACP2) est ensuite effectuée en utilisant les bandes infrarouges, générant également trois composantes, à savoir ACP16,10,7, ACP26,10,7 et ACP36,10,7. Une série de compositions est ensuite élaborée en combinant les différentes composantes des deux ACP, parfois en incluant les rapports de bandes.

La deuxième approche implique la création de composantes principales en utilisant deux bandes. L'objectif est de mettre en évidence le contraste entre les différentes parties du spectre électromagnétique, afin de capturer des informations distinctes plutôt que celles qui sont communes à chaque bande. En utilisant deux bandes, l'accent est mis sur la cartographie des informations dans la première composante, tandis que les informations spécifiques à chaque bande sont regroupées dans la deuxième composante. Les compositions suivantes ont été élaborées en utilisant les paires de bandes suivantes : OLI 2 et OLI 3 ; OLI 3 et OLI 7 ; OLI 5 et OLI 7 ; OLI 6 et OLI 7 ; OLI 6 et OLI 8 ; et OLI8 et OLI7.

V.2.1.2 *Rapport des bandes*

La méthode des rapports de bandes repose sur le concept de réflectance défini comme le rapport mesuré par un radiomètre entre la quantité de radiations réfléchies par un matériau et l'énergie qu'il reçoit pour une longueur d'onde spécifique (Yao, 2009). Cette technique d'amélioration d'images repose sur des calculs appliqués aux différentes bandes de l'image satellite.

Dans notre situation, afin d'améliorer le contraste, nous utilisons trois combinaisons de bandes pour générer une image. Pour ce faire, nous utilisons les rapports (OLI 5/ OLI 6 ; OLI 5/ OLI 4 ; OLI 7/ OLI 4 ; OLI 6/ OLI 5). L'indice de végétation normalisé est accentué en utilisant la méthode ARSIS telle que décrite par Vicinanza et al. (2014) et évalué dans sa forme la plus pratique utilisée :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}}$$

Selon Savadogo (1984), cet indice se révèle extrêmement efficace. La détection d'une biomasse végétale significative, orientée dans une direction particulière pendant la saison sèche, pourrait suggérer la présence de fractures souterraines ouvertes et humides. De plus, des recherches ont démontré que la végétation est fréquemment influencée par des facteurs tels que la minéralisation, la lithologie et la fracturation de la masse rocheuse.

V.2.1.3 Composition colorée

La méthode des compositions colorées vise à améliorer le contraste dans une image en générant de nouvelles images multichromes à partir de trois images monochromes. La technique utilisée est la transformation en rouge, vert et bleu (RVB). Tous les contrastes résultant ainsi d'une combinaison unique des trois couleurs primaires, le contraste blanc étant obtenu par une augmentation optimale des trois couleurs d'origine. Ce processus est connu sous le nom de synthèse trichromique additive. Dans le cadre de cette étude, les compositions colorées sont réalisées en utilisant les bandes OLI 5-6-7 et les canaux du proche infrarouge (PIR), du moyen infrarouge (MIR) et de l'infrarouge lointain (LIR) de l'Image Landsat. Cela permet d'optimiser l'analyse visuelle et d'ajuster les variations de tonalités selon le système visuel humain.

V.2.1.4 Application des filtres Sobel

Les filtres spatiaux représentent une autre méthode de traitement numérique utilisée pour améliorer une image. Il existe plusieurs types de filtres, et le processus de filtrage implique le déplacement d'une matrice d'une dimension de quelques pixels au-dessus de chaque pixel de l'image. Les valeurs des pixels sous la fenêtre sont utilisées, et la valeur du pixel central est remplacée par le résultat obtenu. Cette fenêtre est déplacée le long des lignes de l'image, répétant le calcul pour chaque pixel devenu le pixel central, jusqu'à ce que l'ensemble de l'image soit filtré. Ce processus est communément appelé "filtrage par fenêtre mobile". L'application des filtres Sobel dans les quatre directions sur l'ACP a permis d'améliorer les linéaments associés aux mégastructures et aux grands

couloirs de cisaillements. Une analyse visuelle a été réalisée pour éliminer toute fausse présentation qui pourrait correspondre à des pistes, des routes, un réseau hydrographique, etc. (Kouakou et al. 2014 ; Lghoul et al. 2012 ; Youan Ta et al. 2008).

Les filtres Sobel ont joué un rôle crucial dans l'identification de certains linéaments, mettant en lumière les caractéristiques des images résultant de la texture. Concrètement, les filtres Sobel 7×7 (avec un poids de 6) dans les directions NS, EO, NE-SO et NO-SE ont été employés dans le cadre de cette étude, comme illustré dans la figure 43. Ces filtres ont été appliqués aux images OLI 6, OLI 7, OLI 3, OLI 4/OLI 5, OLI 6/OLI 5, ainsi qu'aux ACPS. Le choix de ces directions s'explique par exemple par le fait que la direction EO permet de mettre en évidence les linéaments NS, et l'image filtrée présente un effet d'ombrage avec la partie Est éclairée, indiquant la provenance de la source de rayonnement.

1	2	3	4	3	2	1											
2	3	4	5	4	3	2											
3	4	5	6	5	4	3											
0	0	0	0	0	0	0											
-6	-4	-5	-6	-5	-4	-3											
-2	-3	-4	-5	-4	-3	-2											
-1	-2	-3	-4	-3	-2	-1											
a) Filtre Sobel de direction N-S																	
0	1	2	2	3	3	4											
-1	0	3	4	4	5	3											
-2	-3	0	5	6	4	3											
-2	-4	-5	0	5	4	2											
-3	-4	-6	-5	0	3	2											
-3	-5	-4	-4	-3	0	1											
-4	-3	-3	-2	-2	-1	0											
c) Filtre Sobel de direction NE-SO																	
1	2	3	0	-3	-2	-1											
2	3	4	0	-4	-3	-2											
3	4	5	0	-5	-4	-3											
4	5	6	0	-6	-5	-4											
3	4	5	0	-5	-4	-3											
2	3	4	0	-4	-3	-2											
1	2	3	0	-3	-2	-1											
b) Filtre Sobel de direction E-O																	
4	3	3	2	2	1	0											
3	5	4	4	3	0	-1											
3	4	6	5	0	-3	-2											
2	4	5	0	-5	-4	-2											
2	3	0	-5	-6	-4	-3											
1	0	-3	-4	-4	-5	-3											
0	-1	-2	-2	-3	-3	-4											
d) Filtre Sobel de direction NO-SE																	

Figure 6: Filtres directionnels de SOBEL 7x7 a) N-S ; b) E-O ; c) NE-SO et d) : NO-SE

V.2.2 Méthode de prospection géophysique Electromagnétique

La méthode de prospection géophysique électromagnétique utilise des mesures électromagnétiques pour étudier les propriétés électriques du sous-sol. Elle permet de caractériser la conductivité électrique des formations géologiques en mesurant les variations du champ électromagnétique induites par la présence d'eau, de minéraux conducteurs ou d'autres hétérogénéités géologiques.

Cette méthode est utilisée pour localiser les aquifères, cartographier les formations géologiques, détecter les contaminants et évaluer la présence de ressources minérales.

V.2.2.1 Principe de la méthode électromagnétique

Dans les années 1920, Conrad Schlumberger a joué un rôle essentiel dans le développement initial de la méthode géophysique électromagnétique. Avec son frère Marcel Schlumberger, il a introduit la méthode de la résistivité électrique. Leur travail pionnier a permis de mesurer les variations de la résistance électrique du sous-sol en utilisant différentes configurations d'électrodes et en mesurant les différences de potentiel induites. Cette approche a jeté les bases de la méthode électromagnétique en géophysique.

L'émetteur crée un champ électromagnétique alternatif à une fréquence spécifique dans l'environnement. Lorsqu'un objet conducteur est enterré dans un sol avec une résistance différente, le champ magnétique émis induit une force électromotrice et un courant dans le conducteur. Ce courant génère à son tour un champ magnétique secondaire qui est capté par le récepteur et se superpose au champ primaire. Le champ magnétique secondaire est déphasé par rapport au champ primaire, et les deux champs sont mesurés séparément. Alan G. Dobbie (1950)

Les résultats obtenus permettent de mesurer la composante en phase (ou réelle) et la composante en quadrature (ou imaginaire) par rapport au champ primaire. En interprétant ces résultats, il est possible de détecter la présence de corps conducteurs situés au centre du dispositif.

À une distance spécifique de l'émetteur (Tr), le récepteur (Re) mesure les champs magnétiques totaux, comprenant à la fois le champ magnétique primaire (se propageant dans l'air) et le champ magnétique secondaire (se propageant dans le sol).

Les composantes en phase et déphasées du champ magnétique secondaire, par rapport au champ magnétique primaire, sont calculées en pourcentage du champ magnétique primaire. Ces calculs permettent la détection des anomalies ou des variations par rapport aux valeurs attendues.

Les méthodes électromagnétiques basses fréquence permettent de mesurer la conductivité électrique du sous-sol proche sans avoir besoin de le toucher physiquement. Les variations de conductivité électrique révèlent les hétérogénéités présentes dans le sous-sol. Il est important de noter que la conductivité apparente est l'inverse de la résistivité apparente (ρ), exprimée en ohm-mètre. Conrad Schlumberger (1960)

La profondeur d'investigation est influencée par plusieurs facteurs, tels que la distance entre les bobines utilisées, l'orientation des bobines (verticale ou horizontale) et la fréquence du champ magnétique primaire. Les profondeurs d'investigation peuvent varier de moins d'un mètre à plusieurs dizaines de mètres. Toutefois, il est essentiel de souligner que la profondeur d'investigation réelle dépend de la conductivité du terrain. Plus la conductivité est élevée, plus la profondeur d'investigation effective est réduite par rapport aux profondeurs théoriques attendues. Ward et Hohmann (1987).

Dans le cadre de cette étude, plusieurs fréquences ont été mise en confrontation pour l'interprétation des résultats, mais nous nous sommes focalisés sur deux (02) pour l'affichage des résultats. Le câble utilisé avait une longueur de 200m (Emetteur-Récepteur) avec des pats de mesure de 10m. La longueur du câble utilisé nous permet d'atteindre une profondeur d'investigation avoisinant les centaines de mètres. Les données obtenues ont été traitées et interprétées avec le logiciel Excel.

La (figure 6), illustre le principe du dispositif de prospection géophysique électromagnétique.

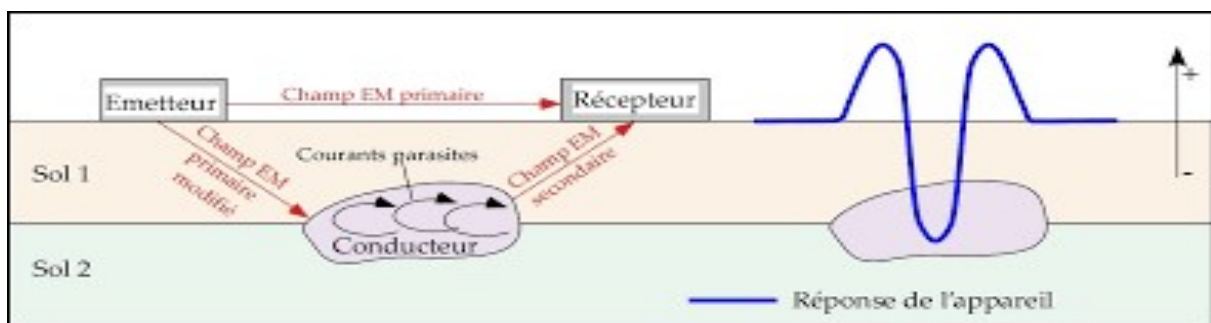


Figure 7: Principe de la méthode Electromagnétique

V.2.3 Méthode de prospection géophysique électrique

Comme la méthode électromagnétique précédemment, lorsqu'on combine la télédétection à la méthode de prospection géophysique électrique, on bénéficie d'une approche synergique et puissante pour l'étude du sous-sol et la caractérisation des ressources naturelles. Ces deux techniques complémentaires permettent de recueillir des informations détaillées sur la composition, la structure et les propriétés physiques du sous-sol. Voici comment elles se complètent et se renforcent mutuellement :

La méthode de prospection géophysique électrique utilise des mesures de résistivité électrique pour étudier les propriétés électriques du sous-sol. Elle implique l'injection de courant électrique dans le sol à l'aide d'électrodes et la mesure des différences de potentiel résultantes. Ces mesures permettent d'obtenir des informations sur la distribution des résistivités électriques dans le sous-sol, ce qui est indicatif de la présence d'eau, de minéraux conducteurs ou d'autres structures géologiques d'intérêt. La prospection électrique est utilisée pour la cartographie des aquifères, la caractérisation des réservoirs d'hydrocarbures, la détection des failles géologiques et la localisation des ressources minérales.

Dans le cadre de cette étude, la méthode électrique employée après celle électromagnétique, nous a permis de confirmer les anomalies (par le trainé électrique) qui ont été repérées par l'électromagnétisme.

Lorsqu'on combine ces deux approches, on obtient une meilleure compréhension du sous-sol et une caractérisation plus complète des ressources naturelles. Les données de télédétection fournissent une vue d'ensemble du contexte environnemental et permettent de localiser des zones potentiellement intéressantes. Ensuite, la prospection géophysique électromagnétique et électrique fournissent des informations détaillées sur la distribution des propriétés électriques du sous-sol, aidant ainsi à définir les structures géologiques, les ressources en eau souterraine et les gisements minéraux.

V.2.3.1 Principe général de la résistivité électrique

La méthode électrique permet de mesurer la grandeur de la résistivité électrique (ρ), exprimée en ohm-mètre ($\Omega.m$). La résistivité est l'inverse de la conductivité (σ), exprimée en ($S.m^{-1}$). Elle représente la capacité d'un matériau, qu'il s'agisse d'une roche ou d'un sol, à s'opposer au flux du courant électrique. La résistivité représente la mesure de la résistance (R) d'un matériau par unité de longueur. Telford, Geldart, Sheriff, et Keys (1976)

Pour illustrer cela, considérons un échantillon homogène de sol, avec une longueur (L) exprimée en mètres et une section (S) exprimée en mètres carrés. Cet échantillon est placé entre deux plaques conductrices reliées à un générateur fournissant un courant électrique d'intensité (I), exprimée en ampères, et une différence de potentiel (ΔV), exprimée en volts. Dans ce cas, la résistivité électrique de l'échantillon (ρ en ohm-mètre) est calculée à l'aide de l'équation suivante :

Equation 1 $\rho = R \frac{S}{L}$

Avec :

Equation 2 $R = \frac{\Delta V}{I}$

D'après la loi d'Ohm

Cela signifie que la résistivité d'un matériau est déterminée par la résistance qu'il offre au courant électrique en fonction de ses dimensions géométriques. En mesurant la résistivité électrique, il est possible d'évaluer les propriétés électriques des roches et des sols, ce qui permet de caractériser leur composition, leur porosité, leur saturation en eau et d'autres paramètres géologiques importants.

La méthode d'investigation employées, à savoir le Schlumberger a été choisies en raison de son efficacité démontrée lors de travaux antérieurs portant sur les aquifères de socle, conduits par

Ce dispositif d'investigation nous permet d'explorer respectivement la structuration horizontale et verticale du sous-sol.

V.2.3.2 Trainé électrique

Après la campagne par la méthode électromagnétique, s'en est suivie la méthode électrique.

En premier lieu, une campagne de trainé électrique a été effectuée à la suite de la campagne électromagnétique pour confirmer les anomalies détectées au niveau des différents profils. Cela nous a permis effectivement de retenir les points favorables au sondage électrique vertical et de procéder à celui-ci.

Nous avons au total réalisé cinq (5) stations de sondage électrique vertical.

Pour mieux analyser et interpréter les résultats de l'inversion, les résistivités vraies sont regroupées en classe de résistivité correspondant à des plages de résistivité des différentes couches géologies retrouvées dans la littérature. Cette équivalence, nous permettra de passer des mesures physiques (résistivité) à la description de la géologie.

Les trainés électriques font partie des méthodes d'investigation 1D utilisées en géophysique. Ils permettent de réaliser des études le long d'un axe horizontal en mesurant la résistivité électrique à

une profondeur fixe. Cette méthode implique de maintenir les espacements AB et MN constants tout en déplaçant l'ensemble du dispositif le long de l'axe étudié.

L'objectif de cette méthode est de détecter des variations latérales qualitatives des résistivités électriques apparentes. Elle permet d'identifier les différences de conductivité électrique entre les différentes zones étudiées.

La profondeur de prospection est estimée par la relation suivante selon la méthode Schlumberger :

$$\text{Prof} = 0.125L \quad (\text{ROY 1971})$$

$$\text{Prof} = 0.125L \quad (\text{BARKER 1989})$$

Ces paramètres ont été définis pour permettre une couverture optimale de la zone étudiée et pour obtenir des données de résistivité électrique à des intervalles réguliers le long de l'axe horizontal. Cette approche permet d'obtenir des informations sur les variations de résistivité électrique dans le sous-sol, ce qui peut être utilisé pour caractériser les différentes formations géologiques, identifier des anomalies ou des structures potentiellement intéressantes.

Cinq (5) profils ont été réalisés. Deux réalisés parallèlement sur le site de Kari et trois autres ont été réalisés sur le site de Kossoghin.

Les deux premiers suivant une orientation AZ N 103°, parallèle et distant de 24m et chacun d'une longueur de 140m.

Pour le compte du site de Kossoghin, deux profils parallèles ont été réalisés suivant l'orientation AZ N 103° et long chacun de 120m, un dernier profil suivant l'orientation AZ N 157° d'une longueur de 60m a été réalisé perpendiculairement aux profils un et deux.

Dans le cadre de cette étude, nous avons optés pour le dispositif **Schlumberger**

V.2.3.3 Le Sondage Electrique Vertical

Le sondage électrique vertical (SEV), également connu sous le nom d'électro sondage, est une technique couramment utilisée dans les domaines de l'exploration des ressources naturelles, de l'hydrogéologie, de l'ingénierie géotechnique et de la géotechnique environnementale.

Le principe fondamental du sondage électrique vertical repose sur la mesure de la résistivité électrique du sous-sol à différentes profondeurs. En déterminant la résistivité à différentes

profondeurs, on peut obtenir des informations sur la distribution des matériaux et des structures géologiques.

Le processus de réalisation d'un sondage électrique vertical implique généralement les étapes suivantes :

Préparation du terrain : Avant de réaliser le sondage, il est nécessaire de préparer le terrain en installant des électrodes de mesure. Ces électrodes sont généralement disposées en ligne verticale et espacées régulièrement.

Injection du courant : Un courant électrique de faible intensité est alimenté dans le sol à l'aide d'une électrode d'injection située en surface. Ce courant se propage dans le sol et se disperse en fonction des caractéristiques électriques des différentes couches géologiques traversées.

Mesure de la tension : Des électrodes de mesure, également appelées électrodes de potentiel, sont utilisées pour mesurer la tension induite par le courant électrique dans le sol. Ces mesures sont effectuées à différentes profondeurs en utilisant des enregistreurs de données.

Analyse des données : Les données de résistivité électrique nécessitant lors du sondage électrique vertical sont ensuite absorbées et analysées. Des techniques d'inversion mathématique sont souvent utilisées pour interpréter les données et reconstituer les profils de résistivité du sous-sol.

V.2.3.4 Réalisation sur site

Le système de mesure est composé de quatre électrodes figure 7 enfoncées dans le sol, disposées de manière symétrique par rapport à un point central O. En éloignant progressivement les électrodes A et B, on augmente la profondeur d'exploration, laquelle dépend du protocole de mesure, de l'écartement entre les électrodes et du contraste des résistivités électriques dans le sol. Une mesure est effectuée pour chaque écartement.

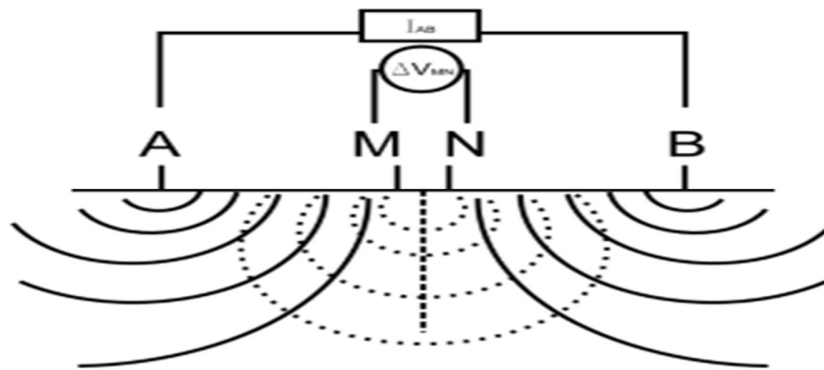


Figure 8: Sondage électrique Schéma de principe d'acquisition

VI RESULTATS ET DISCUSSION

VI.1 Cartographie linéamentaire

La détection potentielle des cours d'eau souterraines a été rendue possible grâce à l'analyse d'images traitées selon la méthodologie mentionnée précédemment. Cette image permet également la cartographie des incidents géologiques associés, pouvant être interprétés comme des voies d'écoulement d'eau.

VI.1.1 Technique de l'analyse en composantes principale (ACP)

Le processus de traitement des images satellites a débuté par l'Analyse en Composantes Principales (ACP), impliquant la sélection du nombre de composantes à conserver pour améliorer l'expressivité et la netteté des images. Les résultats de la mise en évidence de la première composante principale (PC1). L'ACP appliquée aux bandes OLI révèle que les trois premières composantes capturent pratiquement toute la variance totale, présentes dans les sept bandes originales. La PC1 concentre principalement les informations structurales, permettant de différencier les linéaments régionaux et ceux associés au réseau hydrographique, comme souligné par Yao (2009). Dans cette section, on observe clairement l'émergence d'une zone en nuances de gris dans la partie sud-ouest, mettant en évidence les linéaments de direction NE-SO et NS définis par l'accident régional.

VI.1.2 Rapport des bandes

La fusion des bandes est utilisée pour générer une image en mode RVB. Diverses combinaisons sont efficaces, telles que (OLI 5/OLI 6 ; OLI 5/OLI 10 ; OLI 7/OLI 10 ; OLI 6/OLI 5 ; OLI 4/OLI 3). L'analyse des images révèle un ton noir présentant une texture rugueuse et grossière, caractérisée

par un réseau dendritique de type treillis. Ce réseau met en évidence le système hydrographique et met en lumière les fractures qui influent sur certains cours d'eau. Cette zone correspond à un ensemble granitique étendu. Les anomalies détectées dans le réseau hydrographique renforcent la fiabilité et la validité des données linéaires, parfois dissimulées par la végétation et les altérités, en tant qu'indicateurs tectoniques.

VI.1.3 Composition colorée

Dans le but d'améliorer l'analyse visuelle et de s'ajuster aux variations perceptuelles du système visuel humain, des compositions colorées sont élaborées à partir des différentes bandes de l'image Landsat. Chacune de ces bandes contient des informations complémentaires, telles que la sensibilité à la densité du couvert végétal et à la teneur en eau du sol. Ces données permettent de mettre en évidence de manière plus prononcée les discontinuités structurales et texturales entre la végétation et les caractéristiques géologiques, facilitant ainsi la discrimination visuelle des linéaments. En outre, elle contribue à l'identification des environnements rocheux, en particulier ceux composés de roches carbonatées. Elle joue un rôle crucial dans la détection des zones présentant une altération ferrugineuse, offrant ainsi des indications précieuses, notamment dans le domaine visible, particulièrement utiles lorsqu'il s'agit de roches extrêmement claires sur le terrain. Par exemple, au nord et à l'est de notre sous-bassin, une teinte turquoise se distingue, caractérisée par un réseau radial, correspondant à un vaste ensemble granitique. De plus, elle permet de mettre en évidence les divers réseaux hydrographiques orientés vers le Nord-Est, ainsi que les formations géologiques distinctes et les linéaments associés à chaque type de réseau. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Jourda (2005), Youan Ta (2008) en Côte d'Ivoire, et Edet et al. (1998) au Nigeria, tous dans des environnements de socle similaires. Ces discontinuités sont particulièrement prises lors des explorations hydrogéologiques visant à localiser des sources d'eau souterraine. Leur taille importante favorise leur interconnexion avec d'autres fractures, facilitant ainsi la formation d'une aquifère de qualité. L'association linéaire entre les fractures, l'eau et la végétation révèle des fractures ouvertes où le stockage contribue à une croissance végétale robuste, offrant des indications précieuses pour la prospection d'eau souterraine. La croissance de la couverture végétale dans les zones sahéliennes est due à l'altération qui se développe principalement dans les zones fortement fracturées.

VI.1.4 Application des filtres Sobel

L'objectif de l'application des filtres est de détecter une méthode permettant d'identifier les linéaments, jusqu'à présent peu connus, correspondant aux discontinuités lithologiques ou structurales dans les images. Les filtres directionnels simplifient la visualisation des linéaments en créant un effet d'ombre portée sur l'image (Laghouag, 2011). Le filtre Sobel orienté Nord-Sud conserve les fissures structurales et met en évidence avec précision les linéaments orientés Est-Ouest, Nord-Ouest-Sud-Est (libérien) et Nord-Est-Sud-Ouest (éburnéen) (Youan Ta et al. 2011). Les filtres utilisés dans le cadre de cette étude ont apporté une contribution significative à la vectorisation. Cette approche a permis de détecter des discontinuités, même les plus subtiles, présentes dans les images. Il est également remarquable que certains linéaments qui influent sur l'orientation des différents bras d'eau de la région correspondant à des failles parallèles ayant probablement une histoire géologique similaire.

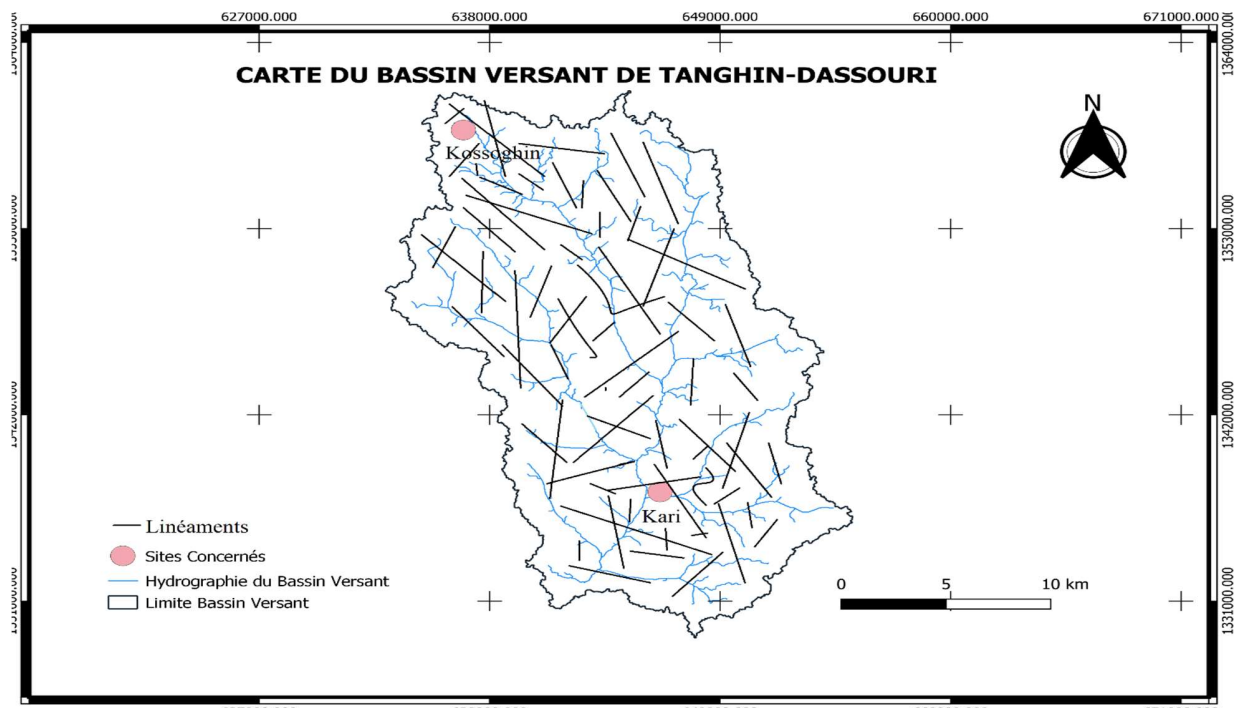


Figure 9: Cartes des linéaments du Bassin Versant de Tanghin-Dassouri

VI.2 Profils électromagnétiques

Au total cinq (5) profils Géophysiques ont été réalisés :

Deux (2) réalisés à Kari parallèlement, espacés de 24m, long de 140m suivant AZN 103°

Et les trois (3) autres ont été réalisés Kossoghin : P1 et P3 parallèlement, distant de 50m, et long respectivement 140 et 110. Un profil P2 a été réalisé perpendiculairement à (P1, P3), long de 60m.

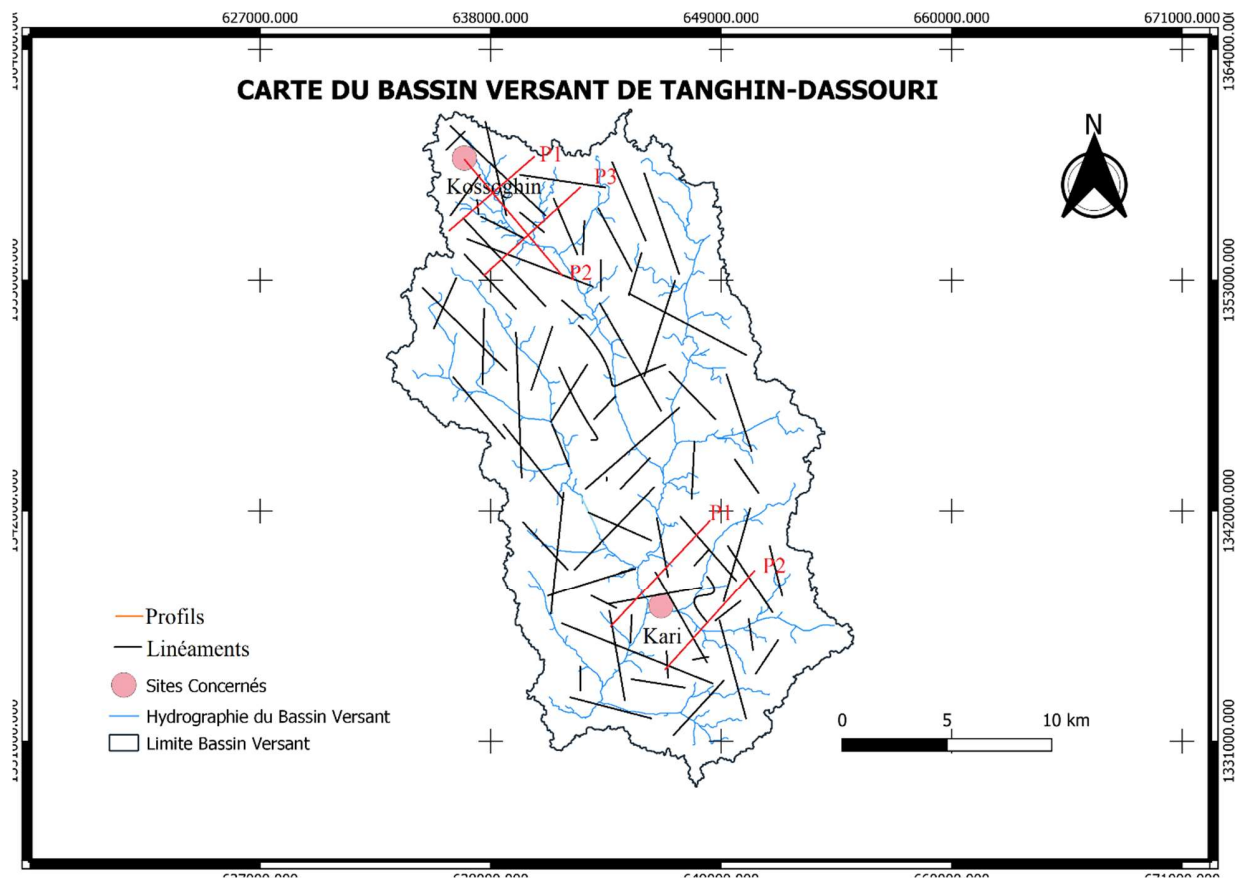


Figure 10: Profils Géophysique

VI.2.1 Kari (Association Songtaba)

Sur le site de Kari deux profils ont été dressés.

Profil P1

L'analyse de l'évolution des courbes des composantes In phase et Out phase de l'électromagnétisme du profil P1 (figure 9), la fréquence 3520 Hz permet d'identifier des anomalies aux stations 70 et 90. Ses anomalies superposées aux contrastes de résistives de l'ectromagnétisme nous fait savoir que nous sommes en présence d'une zone conductrice. Ce même phénomène est observable sur la fréquence 1760 Hz. (Figure 10).

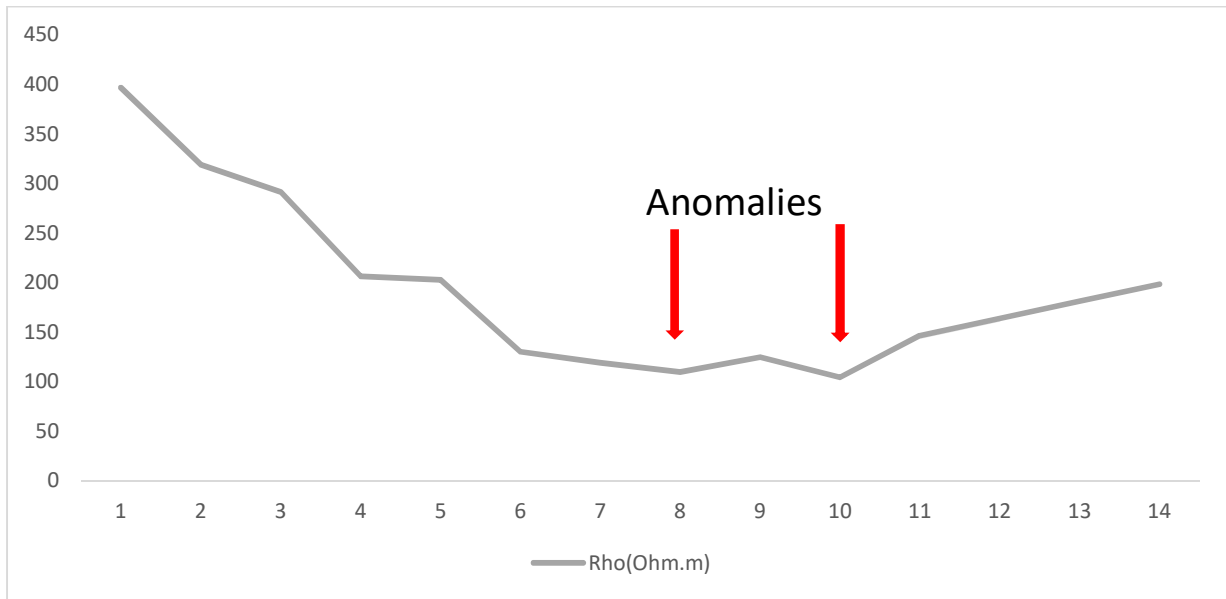


Figure 11: Kari, Profil P1, AZ N 103° Fréquence 3520hz

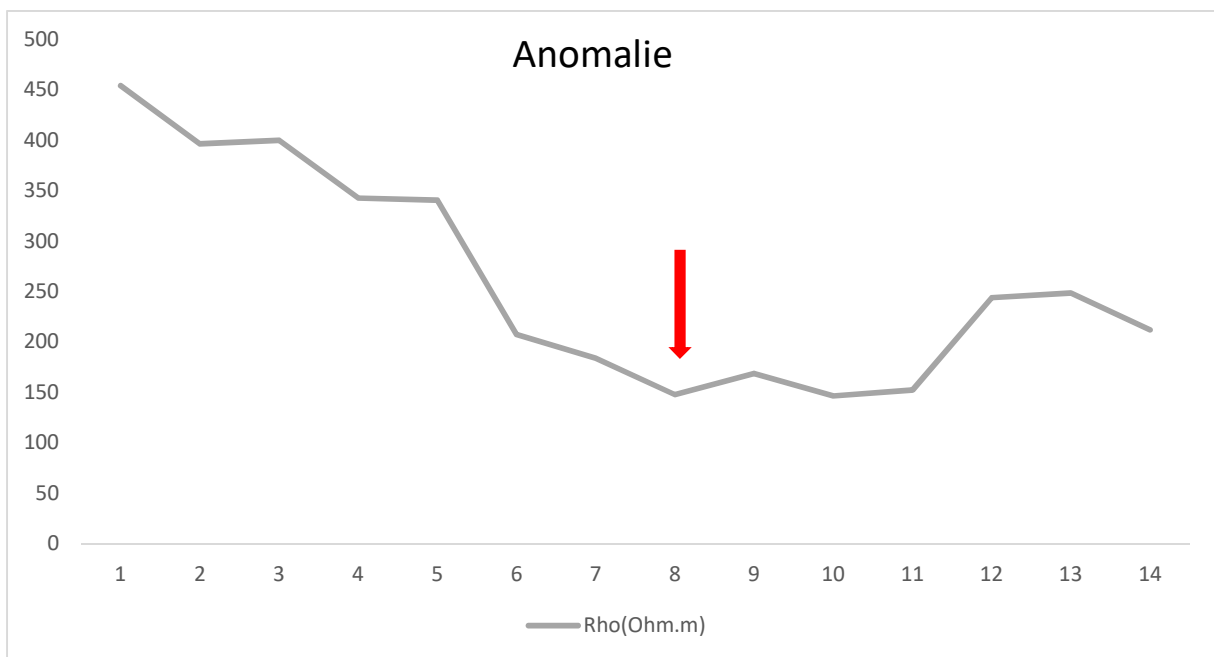


Figure 12: Kari, Profil P1, AZ N 103° Fréquence 1760hz

📍 Profil P2

Le profil P2 réalisé parallèlement au premier a pour objectif de confirmer et d'avoir une idée des anomalies identifiées sur le profil P1. Sur ce profil P2 trois anomalies ont été identifiées sur la

fréquence 3520 Hz aux stations 70 ; 80 ; 90 (figures 11), et deux anomalies ont été identifiées sur la fréquence 1760 Hz aux stations 70 ; 90 (figures 12). Ses anomalies superposées aux contrastes de résistivités de l'ectromagnétisme nous présentent une zone conductrice. Ce profil a permis de recouper les anomalies identifiées sur le profil P1.

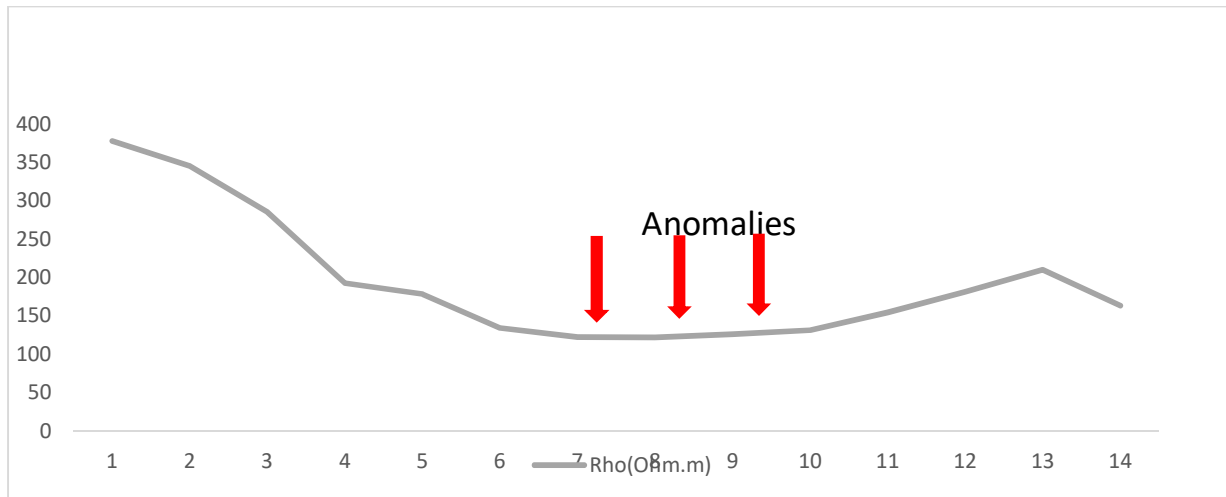


Figure 13: Kari, Profil P2 (P2//P1), AZ N 103° Fréquence 3520hz

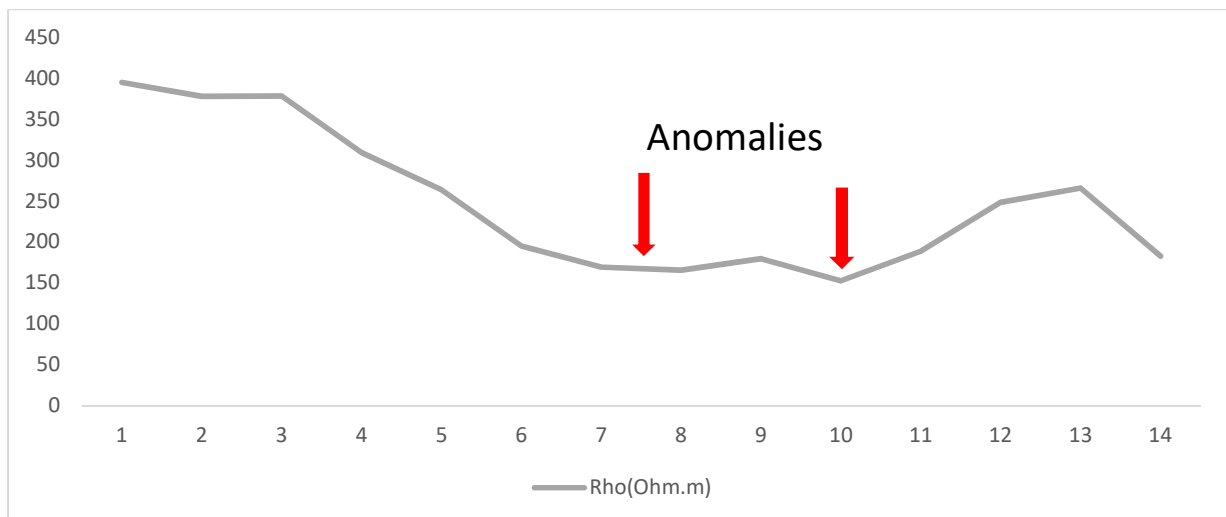


Figure 14: Kari, Profil P2 (P2//P1), AZ N 103° Fréquence 1760hz

VI.2.2 Kossoghin

Pour le compte du site de Kossoghin, trois (03) profils ont été effectués :

✚ Profil P1

Sur le profil P1, deux (02) anomalies ont été identifiées aux stations 30 et 70 (figure 13), sur les courbes des composantes In phases et Out phase de l'électromagnétisme sur les fréquences 110 Hz et 880 Hz (figure 14). Ses anomalies superposées aux contrastes de résistivités de l'ectromagnétisme nous fait savoir que nous sommes en présence d'une zone conductrice.

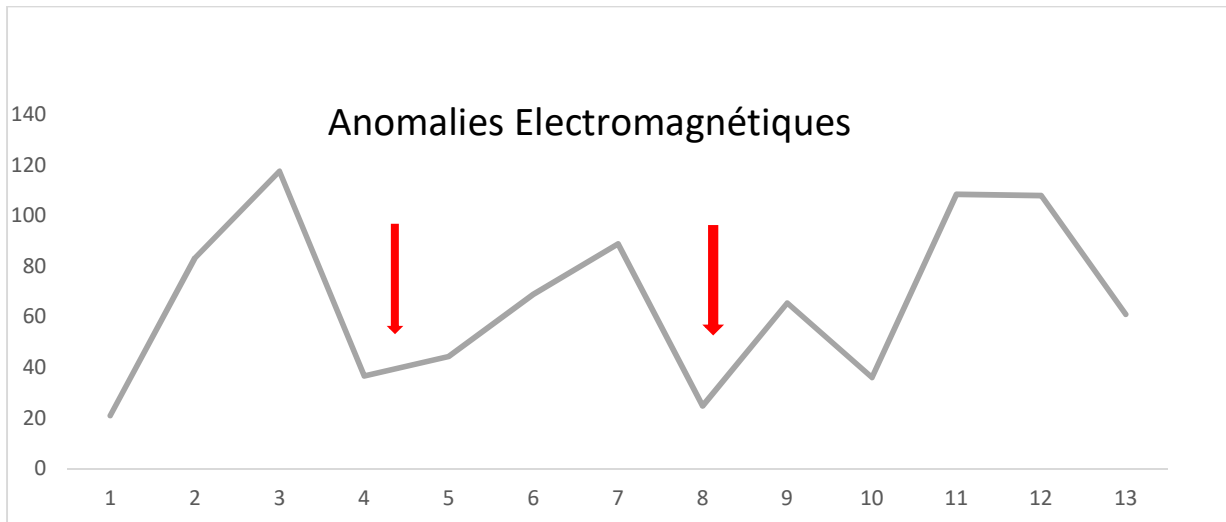


Figure 15: Kossoghin, Profil P1, AZ N 103° Fréquence 110hz

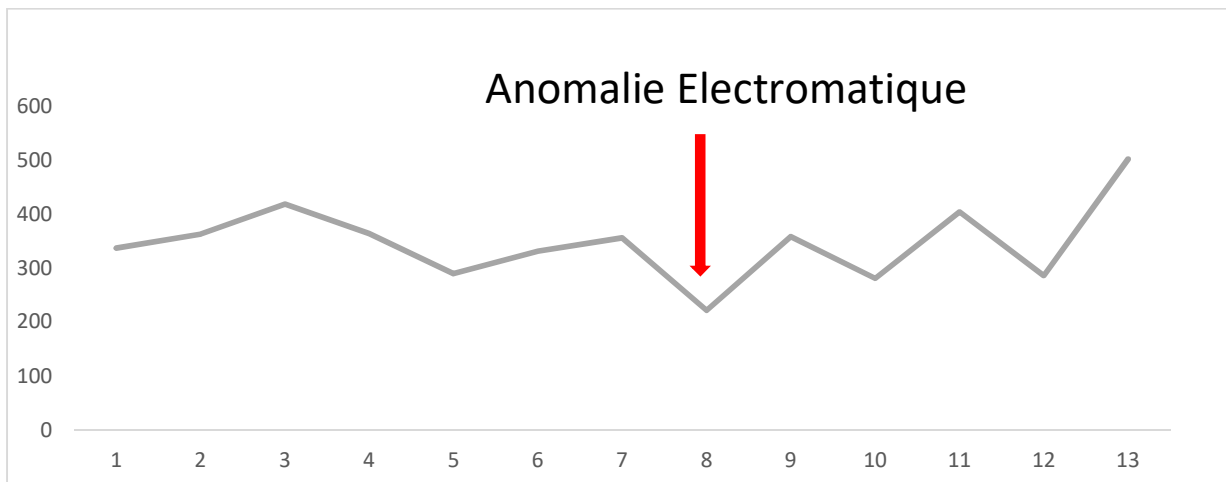


Figure 16: Kossoghin, Profil P1, AZ N 103° Fréquence 880hz

✚ Profil P2

Un deuxième profil P2 long de 60 m, recoupant le profil P1 nous a permis de détecter une anomalie à la station 60 (figure 15), à travers les valeurs des composantes In phase, Out phase de l'électromagnétisme à la fréquence 110 Hz avec des faibles valeurs de résistivité.

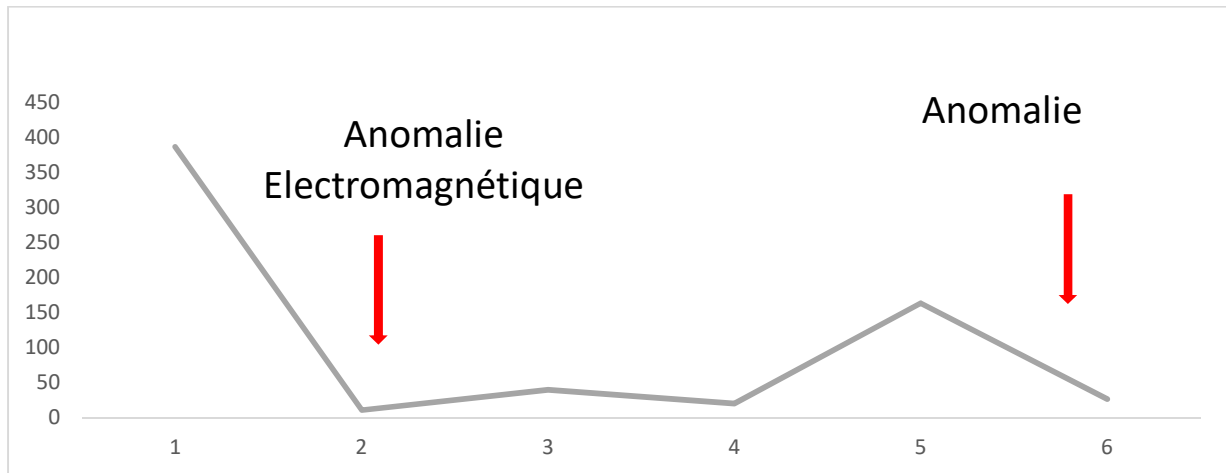


Figure 17: Kossoghin, Profil P2, AZ N 157° Fréquence 110hz

✚ Profil P3

En vue de confirmer les anomalies identifiées sur le profil P1, un troisième a été réalisé. A ce niveau deux anomalies ont été détectées aux stations 20 et 60 (figures 16), sur la fréquence 110hz, ce qui confirme les anomalies identifiées sur le profil P1. Sur ce profil deux (02) SE5 et SE6 bornes ont été marquées sur ce profil.

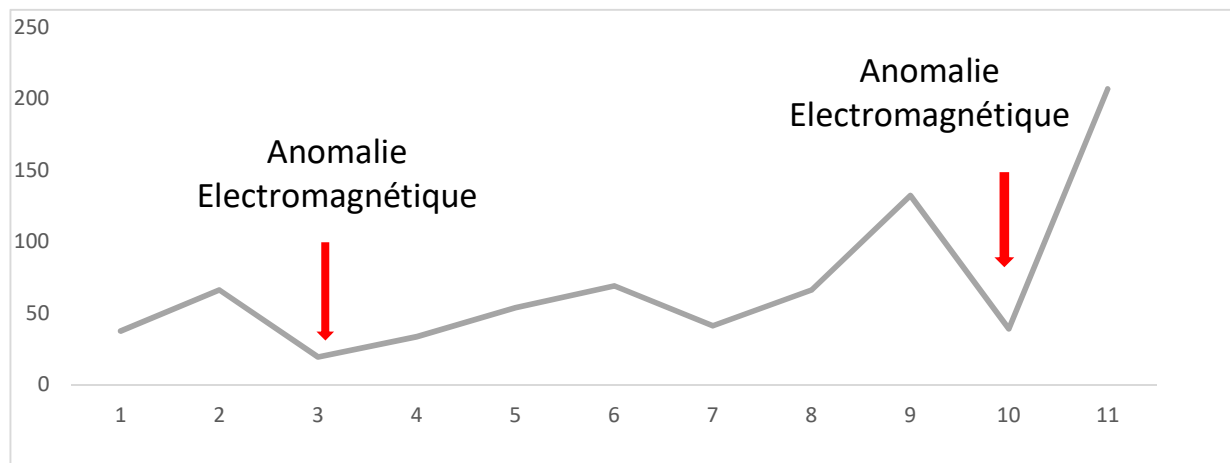


Figure 18: Kossoghin, Profil P3, AZ N 103° Fréquence 110hz

Le contrôle au sol par la méthode électromagnétique nous a permis d'identifier des anomalies au niveau des sites de Kari et de Kossoghin. En effet ses anomalies sont ensuite contrôlées par la méthode électrique en vue de confirmer celles identifiées par la méthode électromagnétique.

Tableau des coordonnées des profils électromagnétiques exécutés

Site	Profils	Directions	Coordonnées UTM, WGS84 30N				Longueur(m)
			Début		Fin		
			X	Y	X	Y	
Kari	P1	N 103°	634312	1366778	634437	1366746	140
	P2	N 103°	634321	1366796	634459	1366770	140
Kossoghin	P1	N 103°	636290	1359078	636333	1359138	140
	P2	N 157°	636338	1359130	636357	1359084	60
	P3	N 103°	636299	1359124	636397	1359104	110

VI.3 Méthode électrique

Les aquifères du milieu de socle peuvent être classés selon leur valeur de résistivité en fonction de leur conductivité électrique, qui est inversement liée à la résistivité.

VI.3.1 Trainé Electrique

Une série d'investigations latérales (trainés électriques) a été réalisée autour de points identifiés par l'électromagnétisme précédemment. L'objectif est de confirmer les zones supposées de fractures des aquifères.

Nous avons au total réalisé cinq (5) trainés. Les profils sont illustrés par les figures ci-dessous. Ces campagnes nous ont permis de confirmer les anomalies détectées précédemment par le biais de l'électromagnétique.

VI.3.1.1 Kari (Association Songtaba)

Au regard des courbes de trainé dans la zone de Kari, Nous avons des anomalies de la forme "U" avec des petites perturbations provoquant une oscillation de la courbe.

Deux points (figure 17 et 18) ont été retenus pour mener le sondage.

Premier Profil

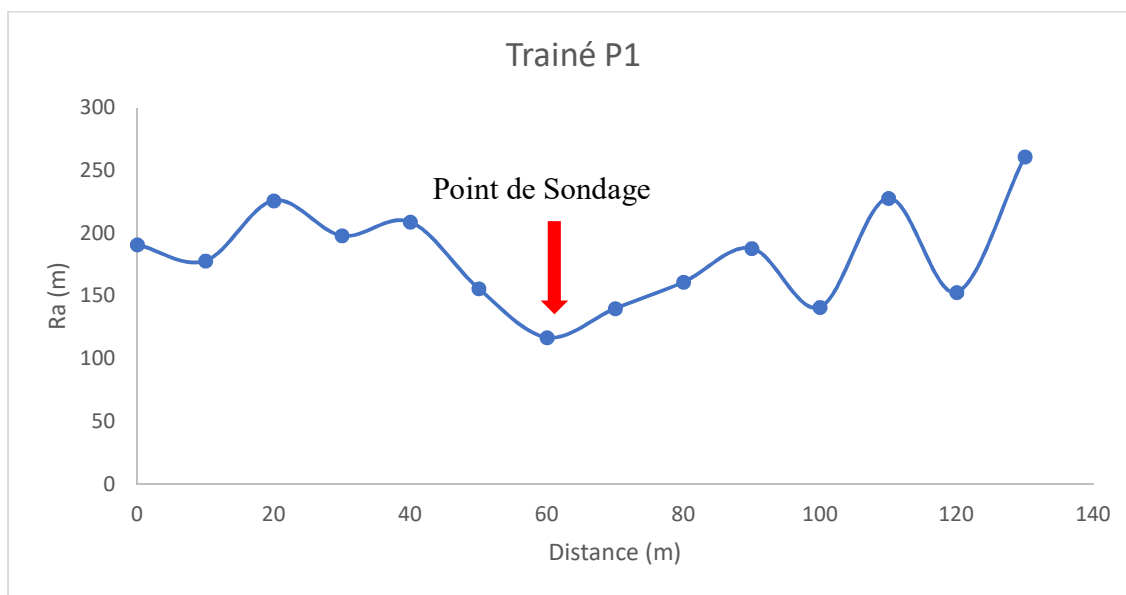


Figure 19: Trainé Electrique du Premier Profil

Deuxième Profil

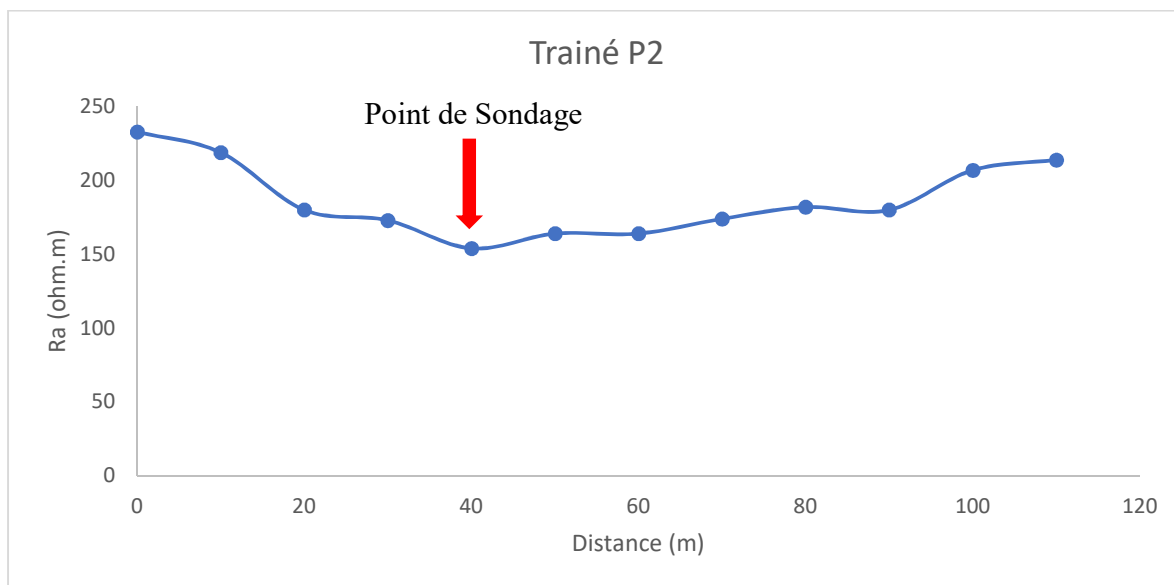


Figure 20: Trainé Electrique du Deuxième Profil

VI.3.1.2 Kossoghin

En analysant les courbes de trainé dans la zone de Kossoghin, nous avons constaté des anomalies sous la forme de "V" (figures 19, 20 et 21) inversés avec de légères perturbations entraînant une oscillation de la courbe.

Premier Profil

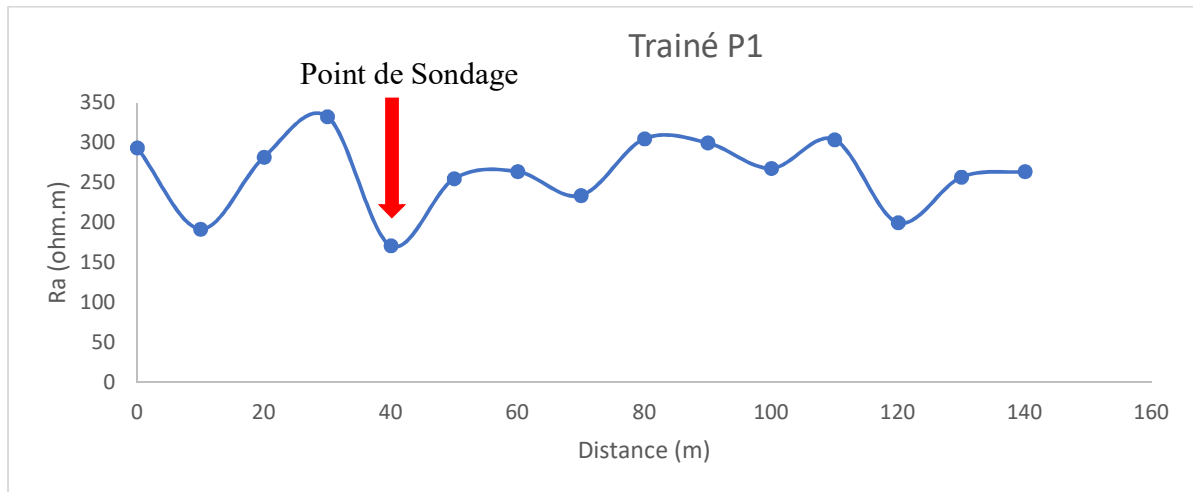


Figure 21: Trainé Electrique du Premier Profil

Deuxième Profil

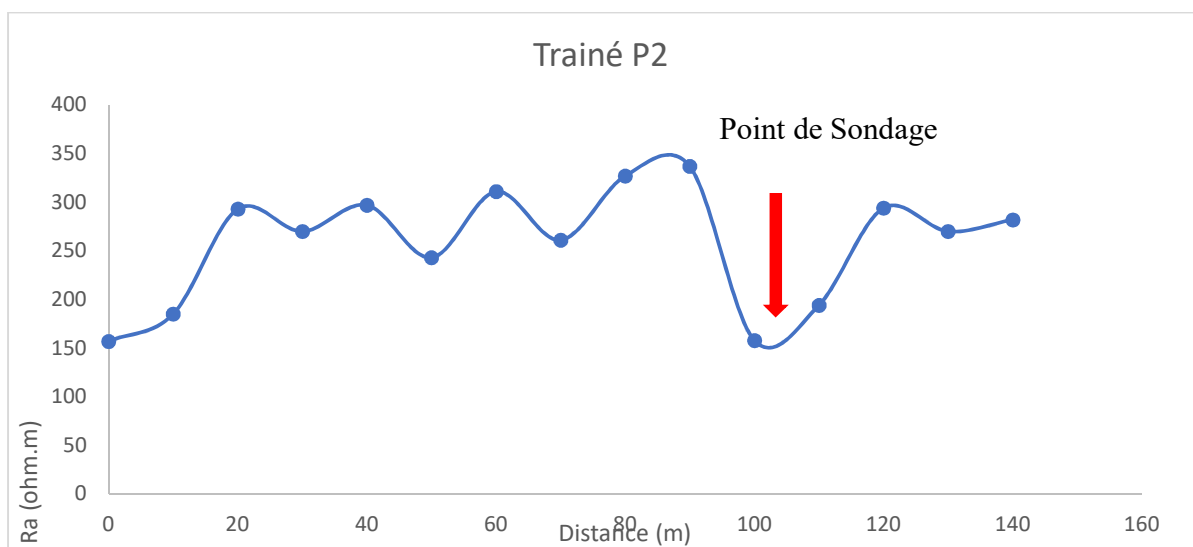


Figure 22: Trainé Electrique du Deuxième Profil

✚ Troisième Profil

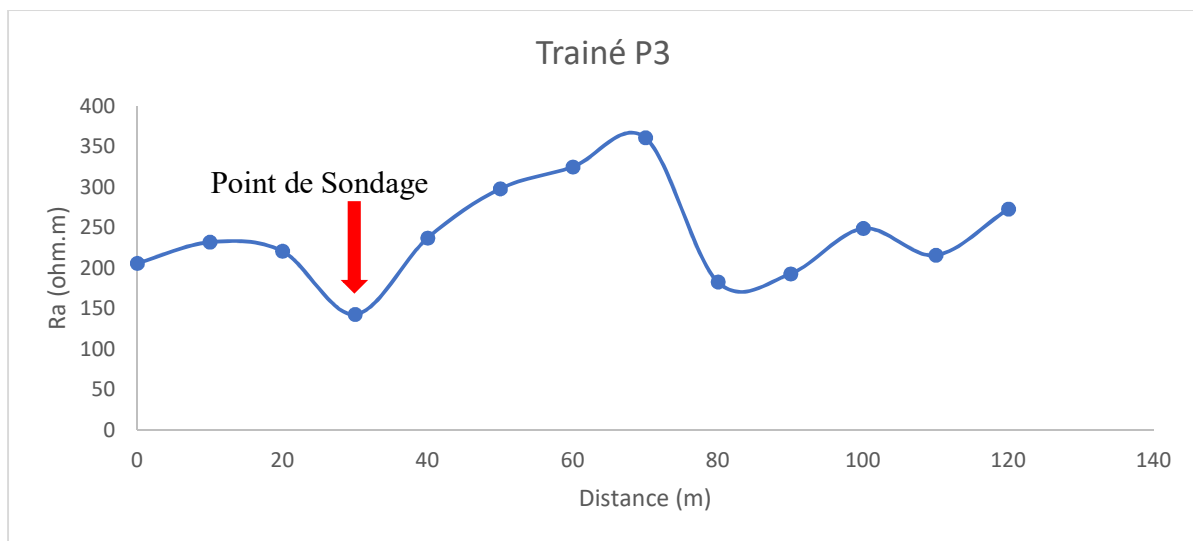


Figure 23: Trainé Electrique du Troisième Profil

VI.3.2 Sondage Electrique

Les modélisations des données de sondage, effectuées selon le dispositif Schlumberger, au droit des anomalies de résistivité apparente confirmées par trainé électrique, sont réalisées à l'aide du logiciel Ipi2win. Il s'agit d'un processus d'interprétation itérative qui utilise un modèle géoélectrique 1D pour générer des modèles comprenant plusieurs couches, avec leurs résistivités et épaisseurs respectives déterminées.

Lorsqu'on observe les cinq courbes de sondage électrique dans la zone de Kari (Figures 25 et 26) et la zone Kossoghin (Figures 27, 28 et 29), nous remarquons qu'elles ont une allure en cloche suivie d'un fond de bateau de type KH, cela peut indiquer la présence de différentes couches géologiques avec des caractéristiques de résistivité spécifiques.

L'allure en cloche est généralement associée aux couches géologiques avec une résistivité relativement élevée, encadrée par des couches supérieures et inférieures ayant des résistivités plus faibles. Cela pourrait suggérer la présence d'une formation géologique telle qu'une couche de roche imperméable, qui présente une résistivité plus élevée en raison de sa faible conductivité électrique.

Le fond de bateau de type KH est caractérisé par une résistivité apparente fortement diminuée par rapport à la résistivité des couches environnantes. Cela peut indiquer la présence d'une couche

géologique très conductrice, telle qu'une couche aquifère saturée en eau ou une formation géologique contenant des minéraux très conducteurs.

Dans cette configuration de courbes, nous pourrions envisager l'existence d'une séquence géologique composée de quatre couches :

La couche supérieure : elle pourrait être constituée de matériaux plus résistifs, tels que des sols, des graviers ou des sables secs. Cela expliquerait l'allure en cloche, où la résistivité est plus élevée que dans les couches adjacentes.

La couche intermédiaire : cette couche du milieu pourrait être une formation constituée de roches cristallines peu perméables, telles que le granite, le gneiss ou le schiste qui présente une résistivité plus élevée que les autres couches, formant ainsi le sommet de la cloche Leur capacité à stocker et à transporter l'eau demeure limitée.

La couche inférieure : en fond de bateau de type KH, cette couche pourrait indiquer la présence d'une couche aquifère saturée en eau ou d'un substrat géologique riche en minéraux conducteurs.

Le socle résistant correspond à la partie remontante de la courbe de sondage. A partir de ce point, les résistivités commencent à être élevées. Leur capacité à stocker et à transmettre l'eau reste limitée (Savadogo, 1984).

Il est important de noter que cette interprétation est une hypothèse générale et qu'elle nécessite une connaissance approfondie du contexte géologique local pour être confirmée. Des études géologiques supplémentaires, telles que des forages, des tomographies électriques ou des mesures géophysiques complémentaires, sont nécessaires pour valider et affiner l'interprétation des courbes de sondage électrique.

VI.3.2.1 Kari (Association Songtaba)

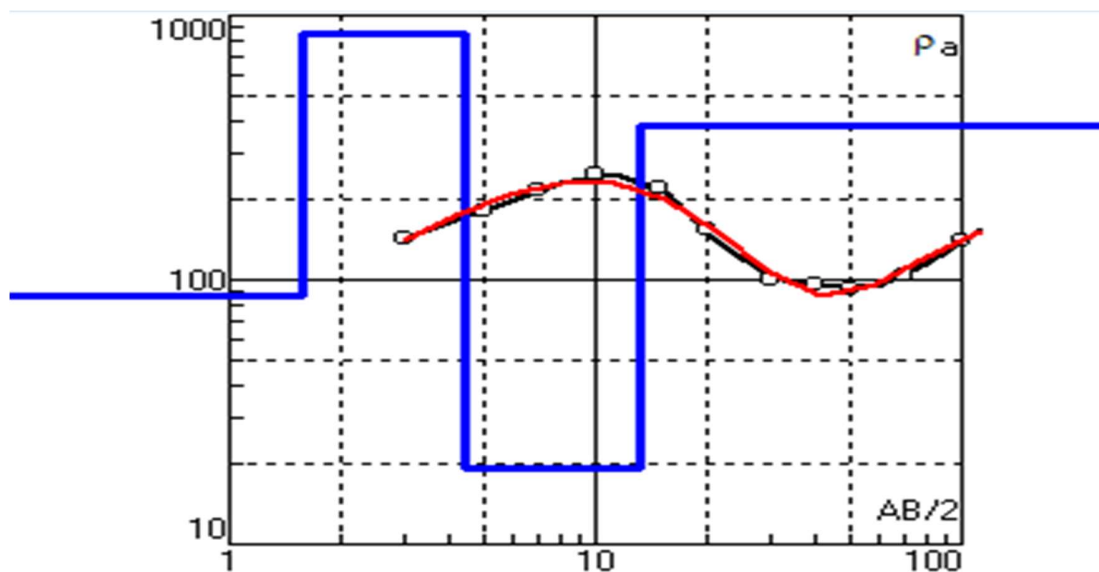


Figure 24: Sondage à la Station 2

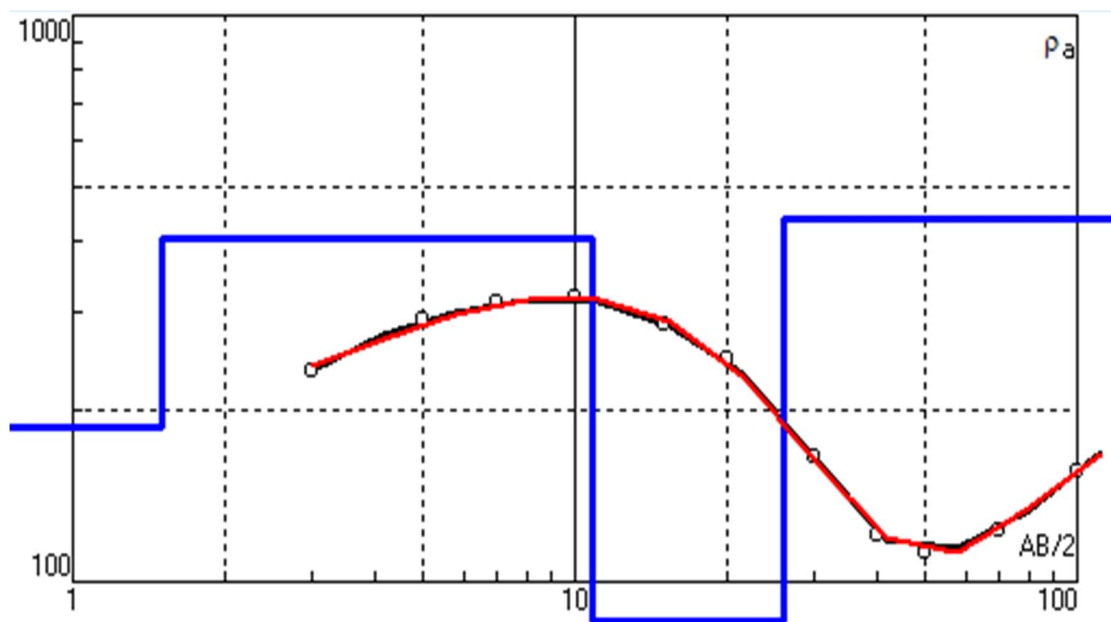


Figure 25: Sondage à la Station 4

VI.3.2.2 Kossoghin

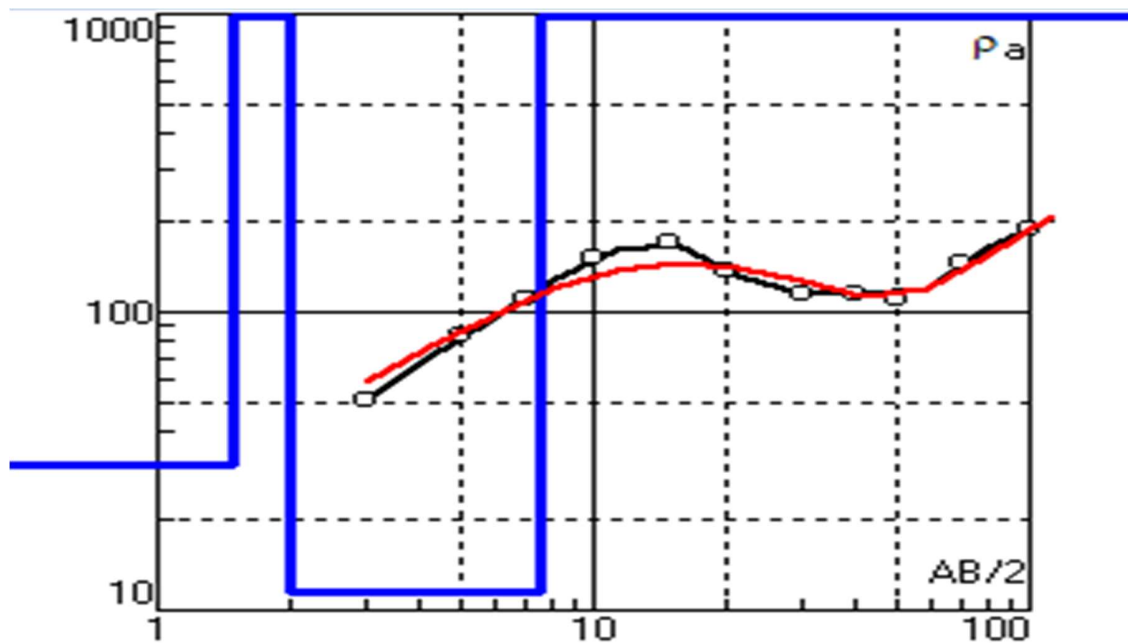


Figure 26: Sondage à la Station 7

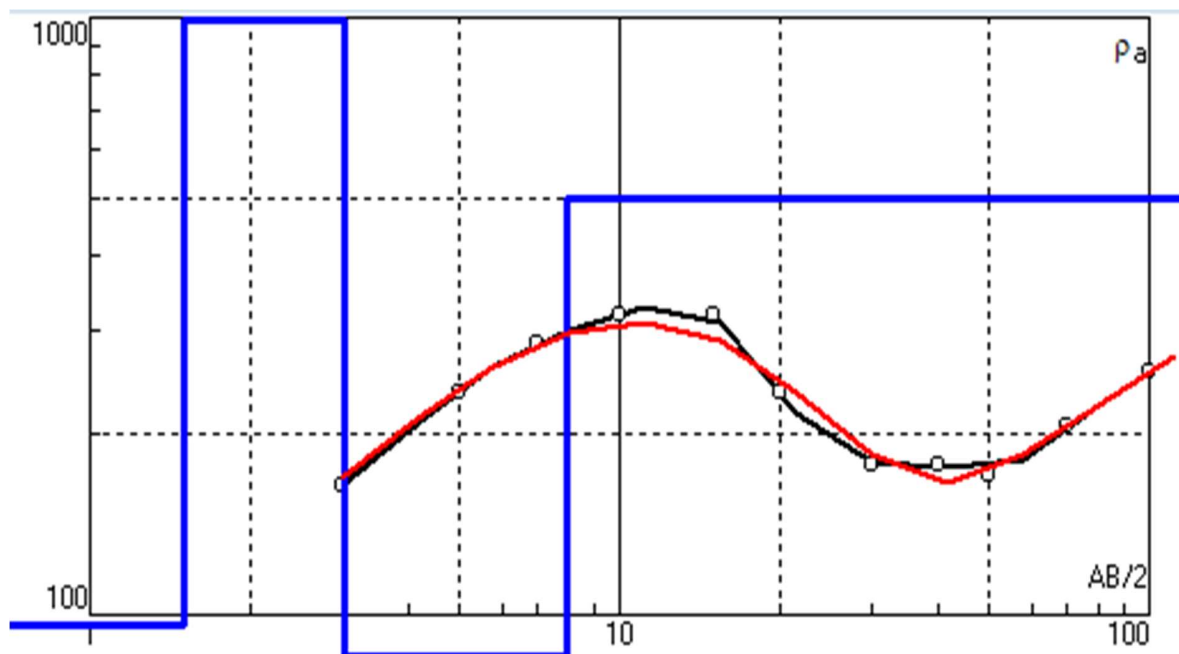


Figure 27: Sondage à la Station 8

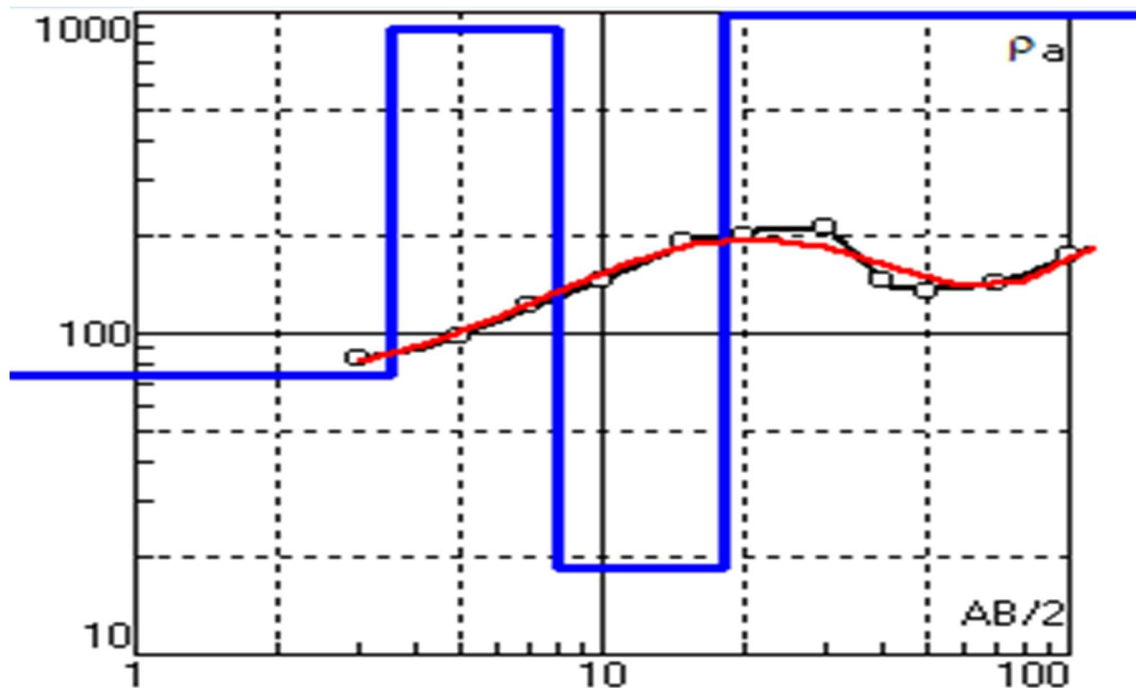


Figure 28: Sondage à la Station 9

Partant de la carte des linéaments qui a fourni une première indication des zones de fractures ou de discontinuités dans le sous-sol, il a été utilisé simultanément des méthodes géophysiques telles que l'électromagnétisme, le trainé électrique et le sondage électrique afin d'approfondir notre compréhension de la structure géologique et hydrogéologique de la région. En croisant les données recueillies à partir de la carte des linéaments avec les informations géophysiques mesurées, nous avons pu obtenir une compréhension plus précise de la structure et de l'hydrogéologie de la zone étudiée. Cette approche a été cruciale pour mieux appréhender les ressources en eau souterraine et les processus géologiques qui y sont associés.

Il faut noter que la valeur de résistivité des aquifères peut varier en fonction de la composition géologique de la région et des propriétés hydrogéologiques locales. Par conséquent, cette classification est une généralisation et peut varier d'une région à l'autre.

Il est important de souligner que les forages prévus initialement après l'étude géophysique n'ont malheureusement pas été réalisés en raison d'un conflit foncier entre les bénéficiaires. Cette non-

réalisation limite notre connaissance de la composition réelle du terrain. Contrairement aux forages, qui permettent une observation directe, le sondage électrique repose sur une reconnaissance indirecte basée sur l'analyse des réponses géoélectriques du sous-sol, traduites sous forme de courbes de sondage. En l'absence de données de forage, nos interprétations demeurent principalement théoriques et sont donc limitées

VII CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente étude démontre l'apport précieux de la télédétection, des méthodes géophysiques électriques et électromagnétiques, ainsi que des méthodes hydrogéologiques dans l'identification et la caractérisation des aquifères de bas-fonds. L'utilisation de la télédétection a permis d'obtenir des informations spatiales détaillées sur les zones de bas-fonds propices à la présence d'aquifères. Les méthodes géophysiques électriques et électromagnétiques ont été essentielles pour évaluer les propriétés hydrogéologiques des aquifères, telles que leur conductivité électrique et leur résistivité.

La télédétection offre une vision globale et spatialement étendue des zones d'étude, permettant une évaluation initiale des caractéristiques des bas-fonds. Les méthodes géophysiques électriques et électromagnétiques fournissent des données détaillées sur le sous-sol, permettant de cartographier la distribution des matériaux aquifères et d'identifier les zones d'accumulation d'eau. Les méthodes hydrogéologiques classiques, quant à elles, permettent une validation directe des résultats obtenus par les approches précédentes et donnent des informations complémentaires sur les propriétés physico-chimiques de l'eau souterraine.

Cependant, malgré les progrès réalisés, des défis subsistent dans l'utilisation et l'intégration efficace de ces différentes méthodes. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer les techniques de traitement et d'analyse des données, ainsi que pour affiner les modèles d'interprétation. De plus, la disponibilité des données de haute résolution et la collaboration entre les experts en télédétection, géophysique et hydrogéologie sont essentielles pour une caractérisation précise des aquifères de bas-fonds.

Dans les perspectives futures, il est essentiel de poursuivre le développement et l'application de ces approches intégrées pour une meilleure compréhension des systèmes aquifères de bas-fonds. Cela permettra de répondre aux défis croissants de gestion des ressources en eau dans les régions concernées, notamment en termes de disponibilité, d'accès et de durabilité. De plus, l'utilisation de technologies émergentes telles que l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle peut ouvrir de nouvelles possibilités pour l'analyse et l'interprétation acquises des données par ces méthodes.

En somme, l'application conjointe de la télédétection, des méthodes géophysiques électriques et électromagnétiques, ainsi que des méthodes hydrogéologiques classiques présente un potentiel

significatif dans l'identification et la caractérisation des aquifères de bas-fonds. Ces approches complémentaires, soutenues par des avancées technologiques continues, ouvrent la voie à une meilleure gestion et utilisation des ressources en eau souterraine, contribuant ainsi à la durabilité des systèmes hydrologiques dans les régions concernées.

VIII REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- DIABATE A.L. 2013.** Caractérisation des paramètres géophysiques en relation avec la productivité de la cible hydrogéologique dans la boucle du Mouhoun au Burkina Faso. Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement option : infrastructures et réseaux hydrauliques, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 81 pages.
- Elie Serge Gaëtan SAURET E.S.G. 2013.** Etude des potentialités hydrogéologiques d'une plaine alluviale en relation avec les eaux souterraines et de surface dans un contexte d'agriculture irriguée (Burkina Faso). Thèse de doctorat en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences de l'Ingénieur, université de Liège (ULG), 198 pages.
- KOUSSOUBÉ Y. 1996.** Hydrogéologie en milieu de socle cristallin du Burkina Faso : Cas du bassin versant du bas-fond de Bidi (province du Yatenga). Thèse pour obtenir le grade de docteur de 3^{ème} Cycle en géologie Mention HYDROGÉOLOGIE, UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, 210 pages.
- Moussa Diagne FAYE. 2022.** caractérisation et modélisation du transfert de polluants dans un aquifère fracture en milieu de socle (sous bassin versant de la Sissili – Burkina)
- KUTANGILA M.C. 2019.** Caractérisation hydrogéologique des aquifères du bassin sédimentaire de Taoudeni (bordure sud-est, Burkina Faso). *Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur avec grade de Master, spécialité : génie civil et hydraulique*, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 77 pages.
- LOUGUE S., ZAN L. M. 2009.** *MONOGRAPHIE DE LA REGION DE LA BOUCLE DU MOUHOUN*, 174 pages. https://ireda.ceped.org/inventaire/ressources/bfa-2006-rec-o3_region_mouhoun.pdf
- Koita, M., Jourde, H., Ruelland, D., Koffi, K., Pistre, S., Savane, I., 2010.** Cartographie des accidents régionaux et identification de leur rôle dans l'hydrodynamique souterraine en zone de socle. Cas de la région de Dimbokro-Bongouanou (Côte d'Ivoire. Hydrological Sciences Journal 55, 805–820. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.489749>

LOYE A. S., TINGUERI R. K., ZIDA Y., ZOMA L. 2009. *MONOGRAPHIE DE LA REGION DES CASCADES*, 180 pages. https://ireda.ceped.org/inventaire/ressources/bfa-2006-rec-o5_region_cascades.pdf

Savado, N., 1984. Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta : étude régionale du bassin versant de la Sissili (Doctoral dissertation, Université scientifique et médicale de Grenoble).

Savado, N., 1975. Hydrogéologie du bassin versant de la Haute-Sissili (Haute-Volta) (Doctoral dissertation, Université scientifique et médicale de Grenoble).

Ta, M.Y., Lasm, T., Jourda, J.P., Kouamé, K.F., Razack, M., 2008. Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (nord-est de la Côte d'Ivoire). *Télédétection*, 8(2), 119-135

METSEYE V.N. 2012. Caractérisation hydrogéologique d'un aquifère en milieu de socle fracture cas de la province du Bazèga. Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement option : EAU, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 57 pages.

N'go A.Y., Lasm T., Koita M. & Savane I. 2009. Extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle précambrien de la région de Dimbroko (Centre-Est de la Côte d'Ivoire), *Revue Télédétection*, 2010, Vol.9.n°1, pages .33-44.

Yameogo, S., 2008. Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso, qualité et vulnérabilité. Université Avignon et pays de Vaucluse, (Doctoral dissertation, Université d'Avignon). p245.

OUEDRAOGO B.A.C. 2021. Caractérisation hydrogéologique d'un aquifère en zone de socle altéré : cas du bassin versant de Wedbila dans les régions du centre et du centre sud au Burkina Faso. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur avec grade de Master, spécialité : génie civil et hydraulique, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 68 pages.

Petit V., Vaubourg P., Brossier G. 1982. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des milieux aquifères peu perméables Slug Test et Pulse Test. Rapport du Bureau de Recherche Géologiques et Minières (BRGM), 34 pages

SORO D.D. 2017. Caractérisation et modélisation hydrogéologique d'un aquifère en milieu de socle fracturé : cas du site expérimental de Sanon, région du plateau central au Burkina Faso. Thèse en cotutelle Spécialités : Géophysique appliquée, Université Pierre et Marie Curie–Paris (UPMC) et Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), 237 pages.

Toé G. 2004. Apport de nouvelles techniques géophysiques à la connaissance des aquifères de socle : Tomographie électrique, électromagnétisme fréquentiel, résonance magnétique protonique. Application au Burkina Faso. Thèse de doctorat, spécialité : sciences de la terre, géophysique appliquée, Université Pierre et Marie Curie–Paris, 259 pages.

TOSSOU S.A.G. 2008. Contribution à l'amélioration du taux de succès des forages en zones difficiles : cas du département des collines au Benin. Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en eau, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 59 pages.

Yameogo O. S. 2008. Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso : qualité et vulnérabilité, THESE présentée pour obtenir le grade de Docteur en Sciences SPECIALITE : HYDROGEOLOGIE, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 215 pages.

IX SITE INTERNET

- ❖ <https://fr.scribd.com/doc/290212867/Principe-Des-Methodes-Electromagnetiques>
- ❖ [https://www.ageophysics.com/fr/blogue/qu-est-ce-que-la-prospection-geophysique-par-electromagnetisme/2/8#:~:text=La%20TDEM%20\(m%C3%A9thode%20%C3%A9lectromagn%C3%A9tique%20%C3%A0,pour%20localiser%20les%20corps%20conducteurs](https://www.ageophysics.com/fr/blogue/qu-est-ce-que-la-prospection-geophysique-par-electromagnetisme/2/8#:~:text=La%20TDEM%20(m%C3%A9thode%20%C3%A9lectromagn%C3%A9tique%20%C3%A0,pour%20localiser%20les%20corps%20conducteurs)
- ❖ [http://www.wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/fichier Principe_de_la_prospection_electrique_par_courant_continu_jpg](http://www.wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/fichier_Principe_de_la_prospection_electrique_par_courant_continu_jpg) :
- ❖ https://www.researchgate.net/figure/Carte-geologique-et-structurale-simplifiee-du-Burkina-Faso-4-et-distribution-des_fig2_323369315

X ANNEXES

Annexe 1 : Kari (groupement songtaba) P1

X	Freq. (Hz)	HZIp (%)	HZO _p (%)	Rho (Ohm.m)
0	110	-13,62	-4,62	115,97
0	220	-0,78	0,32	189,68
0	440	-1,18	-2,59	1107,73
0	880	3,91	-9,25	529,54
0	1760	3,97	-20,66	454
0	3520	-8,37	-46,41	396,9
0	7040	-51,71	-63,48	276,3
0	14080	-105,74	-44,79	197,54
0	28160	-100,44	4,63	6,32
0	56320	-105,86	-2,58	10,15
10	110	18,32	-3,94	95,82
10	220	9,64	0,73	452,55
10	440	11,8	-11,15	610,76
10	880	3,43	-14,63	637,82
10	1760	1,4	-28,66	396,44
10	3520	-16,41	-53,76	318,94
10	7040	-62,43	-64,49	209,46
10	14080	-110,05	-38,59	133,84
10	28160	-103,13	-4,65	5,32
10	56320	-126,33	-4,67	39,9
20	110	1,78	1,37	75,6
20	220	-6,84	4,62	36,43
20	440	17,03	-16,85	487,63
20	880	3,63	-18,04	3239,73
20	1760	2,52	-34,55	399,63
20	3520	-18,55	-54,33	291,6
20	7040	-66,07	-64,47	195,44
20	14080	-106,58	-39,35	101,04
20	28160	-98,16	-10,48	5,07
20	56320	-92,82	2,69	0,4
30	110	2,92	7,31	62,37
30	220	-3,01	-5,35	308,3
30	440	5,17	-15,62	255,44
30	880	5,44	-12,8	354,34
30	1760	3,76	-33,8	342,68

30	3520	-15,84	-53,14	206,16
30	7040	-63,91	-63,87	158,15
30	14080	-100,66	-37,57	77,9
30	28160	-101,05	-6,63	3,12
30	56320	-95,32	-11,29	4,8
40	110	-2,75	9,09	98,06
40	220	-2,88	11,11	700,37
40	440	-7,35	-0,77	250,28
40	880	1,69	-10,22	349,03
40	1760	-1,74	-27,39	340,36
40	3520	-19,06	-50,87	202,72
40	7040	-64,42	-60,74	120,81
40	14080	-101,4	-33,45	50,82
40	28160	-98,83	-5,51	6,11
40	56320	-62,2	-10,19	346,68
50	110	8,65	-10,42	242,6
50	220	-2,87	-5,44	297,39
50	440	0,44	-7,56	562,77
50	880	2,92	-10,8	241,3
50	1760	1,39	-23,87	207,12
50	3520	-14,61	-49,51	130,16
50	7040	-59,08	-60,82	75,41
50	14080	-101,14	-36,02	38,29
50	28160	-97,71	-2,94	0,99
50	56320	-101,19	-10,6	4,06
60	110	0,91	14,57	150,68
60	220	-1,36	-2,7	204,13
60	440	3,5	-6,39	145,09
60	880	4,49	-10,99	228,78
60	1760	-0,06	-26,84	183,74
60	3520	-15,3	-49,96	119,18
60	7040	-59,04	-63,83	82,14
60	14080	-94,67	-40,01	46,37
60	28160	-72,6	-10,23	47,53
60	56320	-18,96	-33,96	270,79
70	110	-33,72	14,96	83,11
70	220	-7,9	-8,92	144,77
70	440	-7,31	-13,48	573,6
70	880	2,79	-11,37	172,82
70	1760	-11,43	-16,57	147,49
70	3520	-9,89	-46,85	109,73

70	7040	-54,19	-62,62	77,56
70	14080	-95,46	-39,79	50,26
70	28160	-79,2	-7,6	34,48
70	56320	-20,94	-35,47	347,45
80	110	-16,05	-2,44	169,38
80	220	-33,2	-5,96	51,34
80	440	-1,57	-2,51	376,16
80	880	6,7	-5,52	354,09
80	1760	4,01	-19,9	168,76
80	3520	-4,34	-42,74	124,65
80	7040	-41,72	-63,51	80,1
80	14080	-98,98	-39,42	41,58
80	28160	-101,04	-1,89	0,4
80	56320	-105,82	-1,46	4,08
90	110	-7,89	7,33	136,24
90	220	-9,26	3,22	162,38
90	440	3,54	-1,54	198,59
90	880	8,47	-5,25	180,41
90	1760	7,17	-15,91	146,44
90	3520	-2,37	-40,81	104,49
90	7040	-44,6	-65,47	99,51
90	14080	-96,49	-43,77	61,43
90	28160	-95,27	-3,16	2,07
90	56320	-97,96	-18,77	59,27
100	110	-15,2	32,05	60,06
100	220	-2,78	-5,29	101,74
100	440	0,17	-9,45	141,42
100	880	5,32	-9,52	190,35
100	1760	2,95	-19,94	152,31
100	3520	-9,36	-44,91	146,47
100	7040	-53,49	-63	118,41
100	14080	-91,3	-40,89	56,74
100	28160	-100,49	-7,74	5,09
100	56320	-100,45	-10,59	18,75
110	110	-24,04	-6,52	141,54
110	220	2,14	-6,9	225,21
110	440	2,63	-7,47	187,23
110	880	3,07	-11,33	240,06
110	1760	0,46	-24,54	243,84
110	3520	-10,91	-44,44	163,84
110	7040	-49,95	-59,87	98,87

110	14080	-94,61	-36,17	41,89
110	28160	-89,41	-2,2	5,75
110	56320	-65,07	-19,76	92,5
120	110	4,91	11,22	113,21
120	220	-2,45	1,86	264,94
120	440	1,72	-4,42	159,26
120	880	0,17	-11,2	264,78
120	1760	-1,83	-28,36	248,21
120	3520	-22,4	-51,03	181,47
120	7040	-64,8	-57,98	127,48
120	14080	-98,36	-36,39	54,92
120	28160	-99,53	-7,98	10,04
120	56320	-89,11	0,98	21,25
130	110	-18,14	5,34	93,79
130	220	5,28	-8,45	398,01
130	440	4,82	-6,15	221,2
130	880	0,4	-13,25	257,64
130	1760	-2,64	-30,09	211,96
130	3520	-22,45	-50,77	198,35
130	7040	-69,09	-57,99	171,6
130	14080	-104,55	-34,61	94,72
130	28160	-94,59	-1,56	6,19
130	56320	-93,6	-3,81	12,98

Annex 2 : Kari (groupement songtaba) P2

Rx(m)	Freq. (Hz)	HZIp (%)	HZOp (%)	Rho (Ohm.m)
0	110	21,51	0,56	58,84
0	220	-11,25	-5,07	156,99
0	440	2,28	1,31	508,5
0	880	3,16	-11,69	358,09
0	1760	0,7	-24,37	395,41
0	3520	-15,59	-49,2	377,71
0	7040	-58,33	-62,92	225,42
0	14080	-97,53	-42,96	147,28
0	28160	-100,85	7,24	14,32
0	56320	-99,34	3,44	3,75
10	110	-14,13	11,58	24,46
10	220	-2,25	-5,81	131,44
10	440	2,11	-11,4	836,4

10	880	7,69	-17,15	446,46
10	1760	-1,21	-27,02	378,1
10	3520	-17,28	-53,57	345,14
10	7040	-65,49	-62,05	244,21
10	14080	-100,63	-35,62	108,04
10	28160	-98,87	-8,6	25,38
10	56320	-58,68	-4,69	1080,32
20	110	-9,85	7,1	36,37
20	220	4,17	-0,62	336,94
20	440	-1,55	-5,7	492,23
20	880	0,12	-14,57	464,7
20	1760	-2,32	-29,99	378,43
20	3520	-22,61	-53,2	285,05
20	7040	-66,39	-61,26	186,4
20	14080	-105,05	-30,97	97,34
20	28160	-100,5	0,55	0,2
20	56320	-82,41	-14,74	669,43
30	110	-7,24	9,02	124,22
30	220	-3,98	7,38	539,57
30	440	6,7	-7,62	1114,55
30	880	3,88	-13,92	293,88
30	1760	-1,81	-27,26	309,17
30	3520	-19,68	-49,49	192,69
30	7040	-64,33	-61,3	135,61
30	14080	-103,03	-33,39	63,52
30	28160	-89,58	-7,84	30,5
30	56320	-85,15	-11,43	145,5
40	110	4,57	0,5	120,45
40	220	2,38	-10,48	548,41
40	440	1	-7,84	685,48
40	880	2,58	-12,42	327,59
40	1760	-0,92	-25,53	264,06
40	3520	-17,68	-51,74	178,48
40	7040	-63,05	-62,79	116,07
40	14080	-101,6	-35,1	72,7
40	28160	-100,78	-1,67	0,57
40	56320	-80,35	-21,79	262,55
50	110	-8,87	-5,68	77,53
50	220	4,97	-5,47	182,72
50	440	2,13	-6,37	287,54
50	880	1,96	-9,17	261,69

50	1760	-1,27	-27,46	195,26
50	3520	-18,67	-51,14	134,32
50	7040	-64,86	-62,37	90,58
50	14080	-101,72	-35,57	51,45
50	28160	-98,88	0,58	0,18
50	56320	-87,82	-17,48	88,1
60	110	14,96	-20,88	61,78
60	220	-98,16	-24,56	6,64
60	440	3,53	-9,06	370,28
60	880	2,38	-9,9	186,23
60	1760	0,87	-20,99	169,32
60	3520	-11,34	-48,1	122,46
60	7040	-54,15	-63,02	92,22
60	14080	-95,64	-36,58	46,45
60	28160	-95	13,52	20,23
60	56320	-41,87	-8,15	328,58
70	110	-6,94	19,55	52,22
70	220	-0,75	6,87	150,11
70	440	6,86	0,22	508,69
70	880	2	-12,54	210,34
70	1760	0,77	-19,96	165,65
70	3520	-7,16	-48,19	121,96
70	7040	-57,15	-62,26	69,82
70	14080	-95,55	-39,32	60,76
70	28160	-47,05	-2,43	142,85
70	56320	-18,18	-37,89	584,39
80	110	10,62	18,06	36,66
80	220	-4,57	-41,2	46,19
80	440	-8,76	-5,74	108,89
80	880	8,67	-4,37	286,92
80	1760	1,31	-20,23	179,62
80	3520	-8,76	-49,93	126,32
80	7040	-58,98	-61,89	85,63
80	14080	-103,17	-36,82	41,57
80	28160	-106,3	-23,25	95,26
80	56320	-114,17	-24,96	487,11
90	110	-0,73	6,78	141,16
90	220	-100	0	0
90	440	-11,55	-12,17	166,27
90	880	4	-13,39	262,16
90	1760	-2,48	-17,04	152,49

90	3520	-10,18	-47,53	131,21
90	7040	-56,96	-61,52	87,71
90	14080	-100,92	-40,13	68,26
90	28160	-75,98	-13,66	136,71
90	56320	-106,57	-3,4	7,96
100	110	4,98	-0,44	85,06
100	220	-0,04	-1	80,86
100	440	-1,33	-5,81	257,69
100	880	5,64	-8,04	273,78
100	1760	0,94	-23,95	188,72
100	3520	-14,16	-46,25	154,53
100	7040	-57,15	-59,09	114,33
100	14080	-97,03	-34,37	45,86
100	28160	-99,55	-5,3	3,82
100	56320	-94,08	-14,57	56,29
110	110	10,35	1,31	179,12
110	220	-0,46	-9,25	154,46
110	440	-6,37	-5,43	143,69
110	880	0,94	-12,09	382,84
110	1760	0,65	-26,37	248,48
110	3520	-18,11	-47,85	181,42
110	7040	-58,97	-55,24	127,49
110	14080	-97,28	-35,03	60,58
110	28160	-100,07	-2,35	0,59
110	56320	-100,08	-4,73	12,83
120	110	-14	-3,13	79,51
120	220	-17,65	7,44	197,22
120	440	10,53	-11,83	232,7
120	880	3,75	-17,2	268,71
120	1760	-4,35	-29,31	266,07
120	3520	-26,85	-53,05	210,18
120	7040	-71,85	-57,56	155,18
120	14080	-107,31	-34,96	115,24
120	28160	-104,4	-6,73	16,99
120	56320	-122,33	-17,06	144,77
130	110	-36,77	26,57	71,4
130	220	2,53	-2,08	165,4
130	440	0,25	-1,74	283,68
130	880	-0,43	-12,55	298,69
130	1760	-5,18	-33,27	182,59
130	3520	-26,22	-53,05	163,52

130	7040	-68,92	-58,32	152,4
130	14080	-99,69	-32,76	77,33
130	28160	-102,96	1,49	1,39
130	56320	-105,96	-4,07	3,05

Annex 3 : Kouzoughin P1

Rx(m)	Freq. (Hz)	HZIp (%)	HZO _p (%)	Rho (Ohm.m)
0	110	-2,52	4,6	20,94
0	220	-2,89	-9,09	504,43
0	440	0,43	0,82	964,58
0	880	7,23	4,05	337,35
0	1760	14,69	0,69	400,58
0	3520	23,95	-20,57	309,7
0	7040	7,24	-65,85	281,99
0	14080	-75,85	-89,85	223,87
0	28160	-130,26	-25,92	104,27
0	56320	-188,19	-5,94	949
10	110	-10,19	0,58	83,34
10	220	3,37	-2,75	233,74
10	440	2,17	3,17	371,23
10	880	7,36	5,53	363,16
10	1760	15,99	0,76	360,18
10	3520	26,55	-18	335,22
10	7040	12,84	-63,61	284,2
10	14080	-66,4	-97,63	257,5
10	28160	-119,18	-8,36	31,55
10	56320	-106,14	-11,55	14,2
20	110	-3,96	-14,77	117,56
20	220	3,76	0,38	431,1
20	440	-0,8	9,44	822,63
20	880	5,79	7,65	418,85
20	1760	17,23	2,44	372,22
20	3520	26,52	-18,5	381,64
20	7040	12,06	-63,1	323,03
20	14080	-66,73	-96,88	286,4
20	28160	-120,59	-23,24	83,63
20	56320	-95,78	-5,6	5,23
30	110	-20,64	16,56	36,64
30	220	-0,39	6,04	196,74

30	440	-10,73	5,17	1005,08
30	880	9,44	5,96	364,45
30	1760	14,87	2,36	361
30	3520	25,72	-16,49	364,97
30	7040	10,75	-64,74	322,46
30	14080	-64,89	-92,96	248,94
30	28160	-111,36	-32,77	66,32
30	56320	-105,2	-13,15	17,12
40	110	-5,68	2,64	44,34
40	220	-9,04	-5,08	104,88
40	440	-3,18	6,01	267,14
40	880	4,3	13,56	289,59
40	1760	14,64	2,18	375,63
40	3520	25,17	-18,4	365,85
40	7040	10,45	-65,18	315,22
40	14080	-66,28	-93,57	265,21
40	28160	-115,21	-24,41	78,39
40	56320	-91,65	-7,93	49,7
50	110	-7,12	5,13	68,9
50	220	8,21	-6,56	283,1
50	440	8,1	8,52	760,23
50	880	1,23	17,37	331,47
50	1760	12,6	-0,32	384,58
50	3520	22,34	-21,44	379,7
50	7040	5,5	-66,92	310,86
50	14080	-69,28	-95,32	232,37
50	28160	-124,27	-32,49	98,19
50	56320	-131,78	-12,22	76,13
60	110	-25,07	-0,87	88,86
60	220	11,03	0,07	750,05
60	440	0,34	-0,29	1689,39
60	880	7,52	0,81	356,07
60	1760	11,89	-1,66	387,67
60	3520	20,85	-22,41	332,91
60	7040	6,22	-66,23	273,71
60	14080	-72,61	-93,95	230,94
60	28160	-117,6	-24,2	58,2
60	56320	-145,63	-24,5	255,21
70	110	-38,85	-5,06	24,83
70	220	7,7	1,33	408,4
70	440	-2,74	9,62	173,32

70	880	-0,89	-1,76	221,5
70	1760	9,49	-5,5	355,59
70	3520	20,69	-22,76	329,5
70	7040	4,15	-64,76	256,53
70	14080	-69,73	-92,45	195,82
70	28160	-116,52	-23,74	44,3
70	56320	-93,93	1,73	2,56
80	110	-31,35	24,46	65,43
80	220	-1	5,82	649,9
80	440	2,06	0,78	724,15
80	880	3,5	2,7	358,33
80	1760	14,83	3,02	344,99
80	3520	27,6	-16,37	265,15
80	7040	9,87	-62,16	234,76
80	14080	-59,89	-91,73	171,45
80	28160	-109,23	-19,99	23,37
80	56320	-128,18	-4,68	28,63
90	110	-19,52	12,12	35,99
90	220	-7,38	10,51	336,26
90	440	9,26	-14,55	441,75
90	880	2,49	5,05	281,3
90	1760	16,02	5,29	333,58
90	3520	28,33	-12,15	301,08
90	7040	17,63	-56,96	253,48
90	14080	-50,4	-93,64	170,77
90	28160	-105,23	-18,66	17,37
90	56320	-91,32	-15,46	14,72
100	110	-3,7	5,73	108,35
100	220	0,27	9,58	340,26
100	440	-6,21	6,31	218,78
100	880	-7,92	-7,24	404,29
100	1760	15,03	-0,51	369,12
100	3520	24,41	-15,87	348,72
100	7040	12,41	-60,42	283,01
100	14080	-57,51	-90,12	186,41
100	28160	-104,01	-17,85	15,03
100	56320	-107,61	-10,21	10,4
110	110	-5,75	-3,6	107,95
110	220	3,12	-3,12	288,8
110	440	-3,8	5,96	268,6
110	880	2,65	4,14	286,41

110	1760	14,62	-0,39	411,1
110	3520	24,09	-18,62	400,82
110	7040	7,5	-63,84	273,97
110	14080	-67,32	-93,88	242,79
110	28160	-116,04	-26,15	93,01
110	56320	-95,57	-17,05	36,1
120	110	-15,48	20,33	60,97
120	220	-2,86	-3,68	198,13
120	440	-3,34	7,98	437,33
120	880	2,58	3,56	502,16
120	1760	999,99	1,23	410,37
120	3520	20,44	-21,04	387,54
120	7040	3,7	-63,1	314,97
120	14080	-64,95	-91,99	235,6
120	28160	-110,28	-21,36	31,85
120	56320	-107,18	8,61	8,91

Annex 4 : Kouzoughin P2

Rx(m)	Freq. (Hz)	HZIp (%)	HZO _p (%)	Rho (Ohm.m)
0	110	4,86	2,59	387,01
0	220	3,35	-0,79	1145,94
0	440	4,38	2,63	142,1
0	880	6,16	3,96	230,56
0	1760	7,99	6,15	222,64
0	3520	14,89	6,96	248,71
0	7040	27,81	-1,94	296,97
0	14080	32,63	-29,1	234,23
0	28160	4,93	-63,3	196,88
0	56320	-50,83	-79,78	131,81
10	110	4,55	-1,95	10,37
10	220	4,59	1,67	132,33
10	440	5,38	1,98	189,98
10	880	7,52	5,15	194,17
10	1760	8,91	7,31	222,74
10	3520	16,31	8,8	240,64
10	7040	30,32	2,38	291,85
10	14080	39,21	-22,73	246,79
10	28160	16,43	-60,72	222,63
10	56320	-16,13	-75,5	175,66

20	110	7,76	2,17	39,34
20	220	5,58	0,11	88,34
20	440	6,81	2,31	146,67
20	880	8	4,61	217,48
20	1760	9,71	7,41	208,72
20	3520	17,26	9,06	237,65
20	7040	30,59	2,35	273,95
20	14080	40,68	-22,98	226,09
20	28160	18,13	-60,07	207,44
20	56320	-17,88	-79,62	207,99
30	110	5,65	-0,47	19,96
30	220	2,59	0,76	65,27
30	440	4,47	1,66	139,51
30	880	5,3	3,67	196,56
30	1760	6,96	5,91	200,92
30	3520	13,88	6,7	221,41
30	7040	25,87	0	243,1
30	14080	33,59	-24,61	206,47
30	28160	14,87	-60,28	194,45
30	56320	-28,95	-80,28	190,38
40	110	2,58	1,05	163,53
40	220	5,09	0,19	125,88
40	440	2,86	2,21	245,76
40	880	4,92	3,3	190,51
40	1760	6,36	5,72	206,66
40	3520	12,56	7,06	225,47
40	7040	24,81	0,31	231,4
40	14080	30,31	-25,07	190,99
40	28160	12,12	-62,5	175,72
40	56320	-35,39	-80,04	156,43
50	110	-1,4	-3,15	26,26
50	220	0,5	1,21	70,03
50	440	0,53	0,89	162,32
50	880	2,59	3,79	201,42
50	1760	3,69	5,6	183,55
50	3520	9,66	7,19	201,51
50	7040	20,69	0,22	207,8
50	14080	25,39	-23,81	168,1
50	28160	-1,89	-59,79	123,86
50	56320	-93,06	-76,38	45,91

Annex 5 : Kouzoughin P3

Rx(m)	Freq. (Hz)	HZIp (%)	HZOp (%)	Rho (Ohm.m)
0	110	-7,04	-14,67	37,82
0	220	9,85	10,53	141,89
0	440	5,86	3,8	287,25
0	880	9,19	9,56	267,86
0	1760	17,51	6,15	332,87
0	3520	33,3	-11,81	307,13
0	7040	25,07	-60,32	276,22
0	14080	-49,06	-98,51	244,01
0	28160	-124,27	-28,73	114,28
0	56320	-118,15	-4,39	57,18
10	110	-30,43	19,27	66,4
10	220	8,25	-1,85	215,25
10	440	-0,1	5,33	1010,85
10	880	5,21	5,35	251,94
10	1760	17,19	5,63	353,96
10	3520	29,18	-12,93	318,53
10	7040	16,12	-60,91	303,09
10	14080	-55,26	-97,96	270,01
10	28160	-114,11	-24,16	81,99
10	56320	-137,83	-14,01	597,03
20	110	-33,19	-9,6	19,68
20	220	-7,02	2,77	2079,58
20	440	5,92	3,79	1400,86
20	880	2,61	4,26	329,25
20	1760	16,39	3,34	332,36
20	3520	27,74	-16,69	324,39
20	7040	13,07	-64,24	298,78
20	14080	-67,81	-93,81	262,91
20	28160	-139,12	-37,88	273,21
20	56320	-106,02	-26,66	320,84
30	110	-18,58	-2,26	33,88
30	220	10,16	-8,58	461,22
30	440	8,95	7	763,51
30	880	6	4,43	367,5
30	1760	16,1	2,91	347,12

30	3520	29,48	-15,49	317,4
30	7040	13,54	-63,88	308,21
30	14080	-60,47	-95,49	262,45
30	28160	-111,79	-22,3	58,67
30	56320	-92,14	-9,91	51,49
40	110	-35,74	22,15	53,99
40	220	11,47	-1,21	348,05
40	440	-0,69	10,28	1043,69
40	880	7,34	6,97	309,04
40	1760	16,03	3,85	357,13
40	3520	29,5	-17,47	356,52
40	7040	11,09	-64,04	315,58
40	14080	-63,35	-95,39	255,3
40	28160	-121,77	-22,94	111,12
40	56320	-96,03	-11,8	29,99
50	110	-5,26	14,87	69,31
50	220	14,8	4,01	569,93
50	440	4,68	2,54	278,5
50	880	6,28	6,29	276,85
50	1760	18,47	4,05	351,39
50	3520	32,36	-12,85	300,38
50	7040	21,3	-61,22	290,52
50	14080	-56,83	-95,38	255,4
50	28160	-126,53	-41,97	190,41
50	56320	-161,17	-17,43	510,45
60	110	17,02	7,91	41,54
60	220	-12,74	-6	123,81
60	440	-3,26	0,19	263,21
60	880	8,56	4,3	293,68
60	1760	19,71	7,93	351,59
60	3520	35,2	-14	311,71
60	7040	24,27	-60,73	263,01
60	14080	-56,52	-100,98	270,8
60	28160	-114,48	-34,94	107,13
60	56320	-92,05	-6,01	25,31
70	110	-40,19	25,99	66,55
70	220	8,26	5,36	419,82
70	440	-1,71	0,51	728,79
70	880	5,7	8,95	304,76
70	1760	17,24	7,63	342,01
70	3520	33,4	-9,58	301,44

70	7040	23,53	-58,09	260,24
70	14080	-46,34	-95,1	180,22
70	28160	-139,04	-33,41	135,57
70	56320	-198,01	-6,2	759,08
80	110	3,67	14,35	132,4
80	220	12,25	-9,15	199,51
80	440	0,39	-0,48	317,88
80	880	5,09	3,34	347,75
80	1760	15,91	1,62	375,23
80	3520	25,58	-21,87	418,18
80	7040	9,4	-67,98	297,97
80	14080	-72,47	-97,42	308,62
80	28160	-109,64	-20,25	42,02
80	56320	-88,32	-6,78	36,96
90	110	22,04	23,33	39,16
90	220	6,5	12,77	368,89
90	440	-1,74	8,58	349
90	880	4,38	3,29	387,63
90	1760	-15,63	-29,63	595,53
90	3520	27,7	-21,43	377,57
90	7040	6,73	-72,08	312,97
90	14080	-77,74	-97,55	276,47
90	28160	-132,39	-21,5	132,3
90	56320	-190,91	-19,77	1645,72
100	110	28,88	2,58	206,83
100	220	10,74	6,42	153,79
100	440	2,85	0,87	335,82
100	880	4,54	6,93	323,5
100	1760	19,12	3,97	367,73
100	3520	32,94	-16,99	297,84
100	7040	18,9	-66,8	294,3
100	14080	-67,24	-101,31	257
100	28160	-133,91	-32,33	177,65
100	56320	-150,28	-6,14	601,17

Annex 6 : Trainé électrique Kari P1

Trainé électrique		
Projet	IRRINN	AB/2=90
Province	Kadiogo	MN=10
Site	Kari	

Date	09/01/2023	
N° Point	Distance	Ra (Ohm.m)
1	0	191
2	10	178
3	20	226
4	30	198
5	40	209
6	50	156
7	60	117
8	70	140
9	80	161
10	90	188
11	100	141
12	110	228
13	120	153
14	130	261

Annex 7 : Trainé électrique Kari P2

Trainé électrique		
Projet	IRRINN	AB/2=90
Province	Kadiogo	MN=10
Site	Kari	
Date	09/01/2023	
N° Point	Distance	Ra (Ohm.m)
1	0	233
2	10	219
3	20	180
4	30	173
5	40	154
6	50	164
7	60	164
8	70	174
9	80	182
10	90	180
11	100	207
12	110	214

Annex 8 : Sondage électrique Kari P1

Province	Kadiogo
----------	---------

Site	Kari	
Date	09/01/2023	
Observation	Sondage du point 154 Ω .m correspondant à SE4 sur le profil P1	
AB/2	MN	SE4
3	2	236
5	2	290
7	2	310
10	2	317
15	2	283
10	6	318
15	6	289
20	6	247
30	6	166
40	6	118
50	6	112
40	20	124
50	20	114
70	20	123
100	20	156

Annex 9 : Sondage électrique Kari P2

Province	Kadiogo	
Site	Kari	
Date	09/01/2023	
Observation	Sondage du point 117 Ω .m correspondant à SE2 sur le profil P1	
AB/2	MN	SE2
3	2	143
5	2	184
7	2	220
10	2	241
15	2	224
10	6	258
15	6	224
20	6	156
30	6	101
40	6	91
50	6	89

40	20	101
50	20	96
70	20	104
100	20	141

Annex 10 : Trainé électrique Kossoghin P1

Trainé électrique		
Projet	IRRINN	AB/2=90
Province	Kadiogo	MN=10
Site	Kossoghin	
Date	10/01/2023	
N° Point	Distance	Ra (Ohm.m)
1	0	294
2	10	192
3	20	282
4	30	333
5	40	171
6	50	255
7	60	264
8	70	234
9	80	305
10	90	300
11	100	268
12	110	304
13	120	200
14	130	257
15	140	264

Annex 11 : Trainé électrique Kossoghin P2

Trainé électrique		
Projet	IRRINN	AB/2=90
Province	Kadiogo	MN=10
Site	Kossoghin	
Date	10/01/2023	
N° Point	Distance	Ra (Ohm.m)
1	0	157

2	10	185
3	20	293
4	30	270
5	40	297
6	50	243
7	60	311
8	70	261
9	80	327
10	90	337
11	100	158
12	110	194
13	120	294
14	130	270
15	140	282

Annex 12 : Trainé électrique Kossoghin P3

Trainé électrique		
Projet	IRRINN	AB/2=90
Province	Kadiogo	MN=10
Site	Kossoghin	
Date	10/01/2023	
N° Point	Distance	Ra (Ohm.m)
1	0	206
2	10	232
3	20	221
4	30	143
5	40	237
6	50	298
7	60	325
8	70	361
9	80	183
10	90	193
11	100	249
12	110	216
13	120	273

Annex 13 : Sondage électrique Kossoghin SEV7

Projet	IRRINN
Province	Kadiogo

Site	Kossoghin	
Date	10/01/2023	
Observation	SE7 est à 20m du puits de 12m	
AB/2	MN	SE7
3	2	51
5	2	83
7	2	111
10	2	146
15	2	163
10	6	157
15	6	180
20	6	139
30	6	114
40	6	104
50	6	98
40	20	129
50	20	123
70	20	146
100	20	190

Annex 14 : Sondage électrique Kossoghin SEV8

Province	Kadiogo	
Site	Kari	
Date	09/01/2023	
Observation	SE8 est à 12m de SE4 sur une ancienne termitière	
AB/2	MN	SE8
3	2	165
5	2	236
7	2	286
10	2	305
15	2	312
10	6	331
15	6	322
20	6	236
30	6	179
40	6	155
50	6	147

40	20	206
50	20	200
70	20	206
100	20	254

Annex 15 : Sondage électrique Kossoghin SEV9

Province	Kadiogo	
Site	Kari	
Date	09/01/2023	
Observation	SE7 et SE9 sont sur le profil EM passant par SE1 et SE2	
AB/2	MN	SE9
3	2	84
5	2	98
7	2	123
10	2	150
15	2	199
10	6	140
15	6	189
20	6	201
30	6	216
40	6	141
50	6	134
40	20	149
50	20	136
70	20	144
100	20	174