CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DU SOCLE PAR SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG) CAS DES LOCALITES DU N'ZI CENTRE EST DE LA CÔTE D'IVOIRE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE MASTER
SPECIALITE : GENIE DE L'EAU, DE L'ASSAINISSEMENT ET DES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRIOLES (GEAAH)

MASTER SPECIALISE EN GENIE DE L'EAU, DE L'ASSAINISSEMENT ET DES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRIOLES (GEAAH)

Présenté et soutenu publiquement le 21/01/2026 par :

Kouakou Donald ALUI (20210793)

Directeur de mémoire : Pr. Mahamadou KOITA, Professeur Titulaire CAMES, (enseignant-chercheur en Hydrogéologie-Géophysique)
Encadrant 2iE : Dr. Moussa Diagne FAYE, Maître-assistant CAMES (enseignant-chercheur en Hydrogéologie-Géophysique)

Maître de stage : M. Patrick Stéphane DENEAN, Hydrogéologue, Chargé de la Mobilisation des Ressources en eau à l'ONEP

Structure d'accueil du stage : Office National de l'Eau Potable (ONEP)/CÔTE D'IVOIRE

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Angelbert Chabi BIAOU, Maitre de Conférences CAMES (enseignant-chercheur en Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives)

Membres et correcteurs :Dr. Elie SAURET expert Hydrogéologue et environnementaliste
Palingba Aimé Marie DOULKOM Ingénieur en Génie Civil et Hydraulique

Promotion 2025/2026

DEDICACES

Ce mémoire est dédié à ma famille, qui m'a soutenu tout au long de mon parcours académique. Leur présence, leurs encouragements et la confiance qu'ils m'ont accordée ont renforcé ma détermination face aux difficultés rencontrées.

Je souhaite adresser une mention particulière à mon père, dont l'accompagnement, la confiance et les valeurs ont profondément marqué mon cheminement. À travers ce travail, j'exprime ma gratitude et ma volonté de lui rendre hommage.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) à travers son Directeur Général, le Professeur El Hadj Bamba DIAW. Je suis reconnaissant pour l'accueil chaleureux et surtout pour la qualité des enseignements reçus durant mon cycle ingénieur.

Je suis également très reconnaissant envers :

- Professeur Mahamadou KOITA, mon directeur de mémoire ;
- Docteur MOUSSA DIAGNE FAYE, mon encadrant à 2IE pour ses orientations précieuses malgré un emploi du temps chargé ;
- Monsieur Ibrahiman BERTE, Directeur Général de l'office national de l'eau Potable pour m'avoir permis d'effectuer mon stage dans un environnement professionnel stimulant ;
- Monsieur DENEAN Patrick Stéphane, mon encadrant à l'ONEP pour ses orientations judicieuses, malgré son emploi du temps chargé ;
- Madame KONE Mabenin pour sa contribution à l'amélioration de ce document ;
- Mes collègues FOFANA Souleymane, KOBLAN Armel, BAMBA Idirssa, COULYBALY Katiana, Diallo ALASSANE, KOUABENAN Aka Maturin et TOURE Ibrahima pour leur contribution constructive visant à l'amélioration de ce document.

Enfin, j'exprime ma gratitude à mes amis et camarades de 2IE pour leur soutien moral et leur solidarité. A toutes celles et ceux qui ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à ce travail et enrichi mon parcours académique, je souhaite témoigner ma reconnaissance la plus sincère.

RESUME

Cette étude vise à caractériser les aquifères du socle dans la région du N'ZI en Côte d'Ivoire à partir de l'analyse hydrodynamique de quatre forages. La caractérisation hydrogéologique révèle une forte variabilité des comportements des aquifères, liée à l'hétérogénéité du socle fissuré. Le forage MEKRO–site B, présentant quatre arrivées d'eau, est le plus performant avec un débit d'exploitation de 20 m³/h, révélant un aquifère fissuré bien développé et transmissif. BENGASSOU–site A, avec trois arrivées d'eau, fournit un débit de 18 m³/h, correspondant à un aquifère modérément productif. DJANGOKRO–site A, malgré trois arrivées d'eau, présente un faible débit (< 7 m³/h) en raison d'une épaisseur productive limitée, tandis que MEKRO–site A, sans aucune arrivée d'eau, est improductif. Ces résultats confirment que la productivité des aquifères de socle dépend principalement de l'ouverture, de la continuité et de la connectivité des fractures. La modélisation de la potentialité hydrogéologique, réalisée à partir de sept critères pondérés selon la méthode du Processus de Hiérarchisation Analytique (AHP), identifie les linéaments (41,36%), la géologie (26,93 %) et la pente (15,71 %) comme les facteurs les plus déterminants. La carte obtenue distingue quatre classes de potentialité : faible (17,94), moyen (38,19 %), favorable (32,48%) et très favorable (11,39 %), reflétant un socle cristallin globalement intermédiaire mais localement influencé par les structures fracturées. La comparaison entre les classes de potentialité et les performances des forages montre une cohérence générale du modèle, bien que la productivité réelle reste contrôlée par des fractures localisées non détectables à l'échelle régionale.

Mots Clés

1 - Aquifère de socle

2 - Caractérisation hydrogéologique

3 - Fracturation

4 –Processus de Hiérarchisation Analytique (AHP)

5 - Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)

ABSTRACT

This study aims to characterize the basement aquifers in the N'ZI region of Côte d'Ivoire based on the hydrodynamic analysis of four boreholes. The hydrogeological characterization reveals a high variability in aquifer behavior, linked to the heterogeneity of the fractured basement. The MEKRO–site B borehole, with four water inflows, is the most productive, with a pumping rate of 20 m³/h, indicating a well-developed and transmissive fractured aquifer. BENGASSOU–site A, with three water inflows, provides a pumping rate of 18 m³/h, corresponding to a moderately productive aquifer. DJANGOKRO–site A, despite three water inflows, shows a low pumping rate (< 7 m³/h) due to a limited productive thickness, while MEKRO–site A, with no water inflows, is unproductive. These results confirm that the productivity of basement aquifers mainly depends on the openness, continuity, and connectivity of fractures. The hydrogeological potential modeling, carried out using seven criteria weighted according to the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, identifies lineaments (41.36%), geology (26.93%), and slope (15.71%) as the most influential factors. The resulting map distinguishes four potential classes: low (17,94%), medium (38.19%), favorable (32.48%), and very favorable (11.39%), reflecting a generally intermediate crystalline basement locally influenced by fractured structures. Comparison between the potential classes and borehole performances shows a general consistency of the model, although actual productivity remains controlled by localized fractures not detectable at the regional scale..

Key words:

1– Analytic Hierarchy Process (AHP)

2 - Basement aquifer

3– Fracturing

4 - Geographic Information Systems (GIS)

5 - Hydrogeological characterization

LISTE DES ABREVIATIONS

2IE	: Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement
AHP :	: Analytical Hierarchy Process
ANADER	: Agence Nationale d'Appui au Développement Rural
CI	: Indice de cohérence
CR	: Ratio de Cohérence
DEP	: La Direction des Etudes et de la Planification
DLACQUE	: La Direction du Laboratoire d'Analyses et du Contrôle de la Qualité de l'Eau
DMPRE	: La Direction de la Mobilisation et de la Protection des Ressources en Eau
DCEP	: La Direction du Contrôle de l'Exploitation et du Patrimoine
DP	: La Direction des Projets
DFC	: La Direction Financière et Comptable
DLAM	: La Direction de la Logistique, des Approvisionnements et des Marchés
DRH	: La Direction des Ressources Humaines
DAQ	: La Direction de l'Audit et de la Qualité
DAJ	: La Direction des Affaires Juridiques
H	: Potentiel hydrogéologique final
K	: Conductivité hydraulique ou perméabilité
Km/Km²	: kilomètre par kilomètre carré
MINHAS	: Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement
MADRPV	: Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Productions Vivrières
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
m/s	: mètre par seconde
m^3/h	: mètre cube heure
NE–SW	: Nord-Est / Sud-Ouest
N–S	: Nord / Sud
NS	: Niveau Statique
ND	: Niveau Dynamique
OHADA	: Organisation pour l'Harmonisation en Afrique du Droit des Affaires
ONEP	: Office National de l'Eau Potable

s	: Rabattement
SIG	: Système d'Information Géographique
SPMRE	: Le Service Prospection et Modélisation des Ressources en Eau
SGERE	: Le Service Gestion et Évaluation des Ressources en Eau
SPRE	: Le Service Protection des Ressources en Eau
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat
PSD	: Plan Stratégique de Développement
Q	: Débit
Q/s	: Débit spécifique
INS	: Institut National de la Statistique
T	: Transmissivité

SOMMAIRE

DEDICACES ..... *i*

REMERCIEMENTS ..... *ii*

RESUME ..... *iii*

ABSTRACT ..... *iv*

LISTE DES ABREVIATIONS ..... *v*

Sommaire ..... *vii*

LISTE DES TABLEAUX ..... *viii*

LISTE DES FIGURES ..... *ix*

I. INTRODUCTION *1*

II. REVUE LITTERAIRE *2*

III. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ..... *Erreur ! Signet non défini.*

IV. PRESENTATION DU PROJET *5*

V. OBJECTIF GENERAL, OBJECTIFS SPECIFIQUES ET HYPOTHESE DU TRAVAIL *6*

VI. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE *7*

VII. LOGICIELS ET METHODES *12*

VIII. RESULTATS ET DISCUSSION *40*

IX. DISCUSSION *53*

X. CONCLUSION *56*

XI. RECOMMANDATIONS *57*

BIBLIOGRAPHIE *59*

ANNEXES *63*

LISTEDES TABLEAUX

Tableau 1 *: matériels de travail* 13
Tableau 2 : grille de débit spécifique 23
Tableau 3 : Classes de transmissivités et interprétation hydrogéologique 24
Tableau 4 : La classification de la conductivité hydraulique K 25
Tableau 5 : synthèse sur les études ayant réalisé un potentiel hydrogéologique 31
Tableau 6 : critères retenus pour le potentiel hydrogéologique et leurs rôles 32
Tableau 7 : reclassifications des carte thématiques des 7 critères selon la méthodologiques de (Malczewski, 1999) 37
Tableau 8 : matrice de comparaison des critères selon l'échelle fondamentale de Saaty (1 à 9) 38
Tableau 9 : les paramètres hydrodynamiques des forages étudiès 41
Tableau 10 : variabilité de production et cause principale 49
Tableau 11 : présente la pondération attribuée à chaque critère utilisé dans l'analyse multicritères pour l'évaluation du potentiel hydrogéologique 50

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : structure des aquifères du socle 3
Figure 2 : Carte de la région du NZI et ces sous-préfectures 8
Figure 3: cartographie du réseau hydrographique de la région du N'Zi 9
Figure 4 : carte géologique de la région du N'Zi 11
Figure 5 : Démarche méthodologie de l'étude 13
Figure 6 : Fiche des trainées électrique réalisés a BENGASSOU 15
Figure 7 : Fiche sondage électrique réalisé a BENGASSOU 16
Figure 8 Fiche des trainées électrique réalisés a MEKRO 17
Figure 9 Fiche des sondages électrique réalisés a BENGASSOU 18
Figure 10 : Fiche des traines électriques DJANGOKRO 19
Figure 11 Fiche des sondages électriques DJANGOKRO 20
Figure 12 : Decsription lithologique des échantillons et coupe du forage Mekro site A 26
Figure 13: Decsription lithologique des échantillon et coupe du forage Mekro site B 27
Figure 14 : Decsription lithologique des échantillon et coupe du forage Bengassou site A 28
Figure 15 : Decsription lithologique des échantillon et coupe du forage Djangokro site A 29
Figure 16: carte des pentes (°C) de la région du N'Zi 33
Figure 17 : carte d'occupation du sol de la région du N'ZI 34
Figure 17: courbe des trainées et sondages réalisés à MEKRO 43
Figure 18 : courbe de trainée de réalisés à BENGASSOU 45
Figure 19 courbe des trainées et sondages réalisés à MEKRO 46
Figure 20 : courbe de trainées et sondages réalisés à DJANGOKRO 48
Figure 21 : carte de potentialité de la région du N'ZI 51
Figure 22 : carte croisée de la potentialité et des forages 53

I. INTRODUCTION

L'accès durable à l'eau potable constitue un enjeu majeur pour le développement socio-économique des zones rurales, en particulier en Afrique subsaharienne où les eaux souterraines représentent la principale source d'approvisionnement en eau potable (Foster et al., 2006 ; MacDonald et al., 2012). En Côte d'Ivoire, une grande partie du territoire repose sur un socle cristallin précambrien, caractérisé par des aquifères discontinus, hétérogènes et faiblement productifs, dont l'exploitation demeure techniquement complexe (Dewandel et al., 2006 ; Lachassagne et al., 2011).

Dans les milieux de socle, la circulation et le stockage des eaux souterraines sont principalement contrôlés par l'épaisseur du manteau d'altération, l'intensité et la connectivité des réseaux de fractures, ainsi que par les conditions locales de recharge (Wyns et al., 2004 ; Courtois et al., 2010). Ces paramètres induisent une forte variabilité spatiale de la productivité des forages, expliquant les taux d'échec élevés et les disparités de débits fréquemment observés dans ces contextes géologiques (Razack & Lasm, 2006 ; Vouillamoz et al., 2015).

Face à la croissance démographique et à l'augmentation continue des besoins en eau potable, l'État ivoirien a initié le programme national « Eaux pour Tous », mis en œuvre par l'Office National de l'Eau Potable (ONEP), avec pour ambition d'atteindre un taux de couverture de 95 % à l'horizon 2030. Ce programme repose essentiellement sur la réalisation de forages en milieu rural. Toutefois, dans les zones de socle cristallin, la performance des ouvrages reste très variable, en raison de l'hétérogénéité intrinsèque des aquifères et de l'insuffisante prise en compte des paramètres hydrogéologiques locaux lors de l'implantation des forages (Lasm et al., 2011 ; Jourda et al., 2014).

Dans le cadre de ce programme, plusieurs forages ont récemment été réalisés dans la région du N'ZI. Bien que ces ouvrages ne soient pas encore mis en exploitation, les essais de pompage préliminaires mettent en évidence des variations significatives de débit, traduisant des contrastes marqués entre les aquifères captés. Ces résultats confirment les observations faites dans d'autres régions de socle ouest-africain et soulignent la nécessité d'une caractérisation hydrogéologique locale approfondie (Soro et al., 2017 ; Koudou et al., 2020).

Contrairement aux études hydrogéologiques menées à grande échelle, souvent limitées par la généralisation des paramètres, la présente étude adopte une approche localisée, fondée sur l'analyse détaillée des forages existants. Elle intègre les données géologiques, topographiques et hydrodynamiques au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG), reconnu comme un outil pertinent pour l'analyse spatiale, la synthèse multicritère et l'aide à la décision en hydrogéologie (Jourda et al., 2006 ; Machiwal et al., 2011).

Ainsi, cette étude vise à améliorer la compréhension du fonctionnement des aquifères de socle dans la région du N'ZI et à fournir des outils d'aide à la décision pour optimiser l'implantation future des forages. Elle contribue, de ce fait, au renforcement de l'efficacité et de la durabilité du programme « Eaux pour Tous » en Côte d'Ivoire.

II. REVUE LITTERAIRE

II.1 Structure des aquifères de socle cristallin

Les aquifères de socle se développent dans des formations cristallines et métamorphiques. Contrairement aux aquifères poreux, ils présentent une porosité primaire très faible, limitant leur capacité naturelle à stocker l'eau. La circulation et le stockage des eaux souterraines dépendent donc principalement de l'altération des roches et de la présence de fractures, qui créent des espaces exploitables.

En milieu tropical, ces aquifères se structurent généralement en deux niveaux (Biémi, 1992 ; Dewandel et al., 2006) :

Zone altérée superficielle : souvent saturée, jouant le rôle de réservoir d'eau.

Zone fissurée sous-jacente : circulation de l'eau principalement via les fractures et discontinuités du socle figure 1.

En Côte d'Ivoire, ces aquifères constituent la principale source d'eau potable en milieu rural. Leur exploitation reste complexe en raison de la forte variabilité spatiale de leur productivité, qui peut changer significativement sur de courtes distances (Razack & Lasm, 2006). Cette hétérogénéité implique la nécessité d'études locales précises pour optimiser l'implantation des

forages et assurer une utilisation durable des ressources.

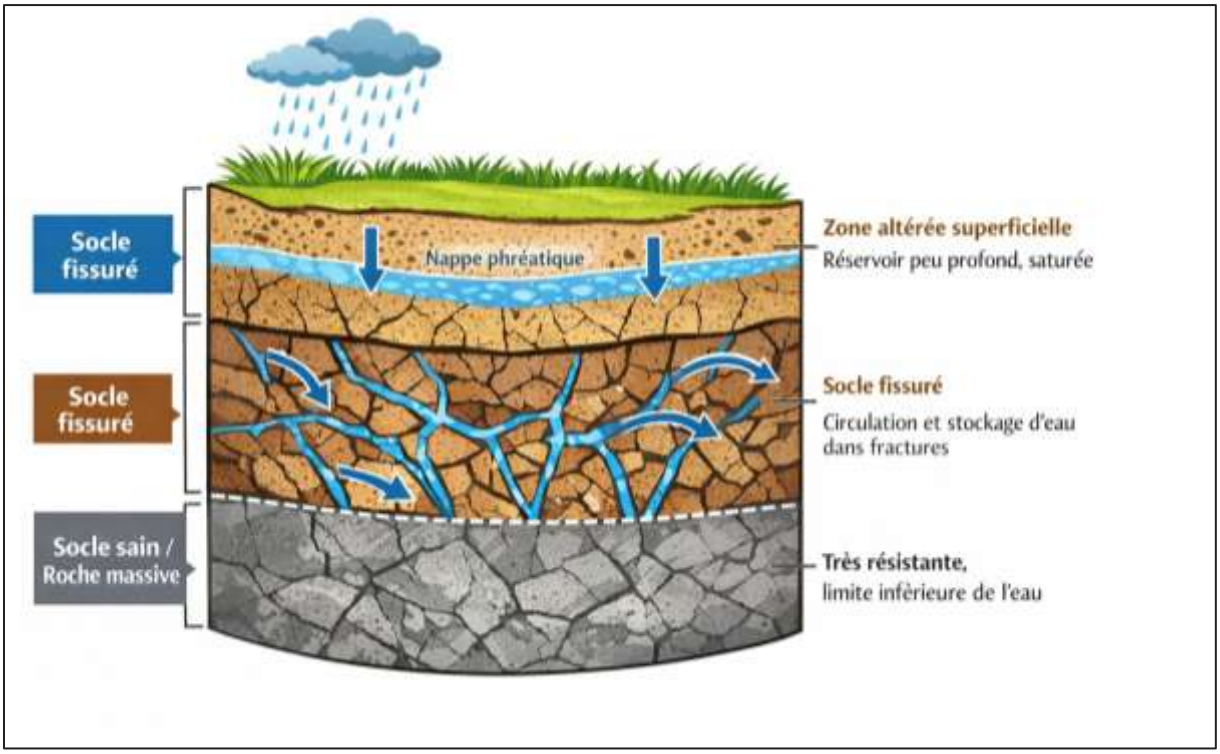


Figure 1 : structure des aquifères du socle

II.2 Apport du SIG et rôle des linéaments

L'intérêt du SIG pour la présente étude réside surtout dans sa capacité à structurer et synthétiser l'information hydrogéologique afin de réduire l'incertitude liée à l'implantation des forages. En effet, dans les contextes de socle, la productivité des ouvrages dépend principalement de paramètres spatialisés tels que la fracturation, l'épaisseur de l'altération et la morphologie du terrain, dont l'analyse isolée reste insuffisante (Dewandel et al., 2006 ; Lachassagne et al., 2011). L'approche SIG permet ainsi de croiser ces facteurs de manière cohérente à travers des méthodes multicritères, afin de mieux hiérarchiser les zones favorables.

Dans le contexte ivoirien, plusieurs travaux ont démontré la pertinence de cette approche. Koïta et al. (2010) ont montré que la densité de linéaments constitue un indicateur fiable du degré de fracturation du socle et qu'elle influence significativement la productivité des forages. De même, Jourda et al. (2006) et Lasm et al. (2011) ont mis en évidence l'apport du SIG et de l'analyse multicritère dans la cartographie des potentialités hydrogéologiques, tout en soulignant la nécessité d'une validation par des données hydrodynamiques de terrain.

Ainsi, le recours au SIG dans cette étude se justifie par la volonté de disposer d'un outil d'aide à la décision capable d'intégrer les paramètres spatiaux déterminants et de les confronter aux performances hydrauliques réelles des forages existants. Cette approche vise non seulement à améliorer la compréhension du fonctionnement des aquifères de socle dans la région du N'ZI, mais également à renforcer la fiabilité des choix d'implantation des futurs forages dans le cadre du programme « Eaux pour Tous ».

II.3 Analyse multicritère et méthode Analytic Hierarchy Process AHP

La cartographie du potentiel hydrogéologique repose généralement sur l'analyse de plusieurs facteurs agissant simultanément. Dans ce contexte, l'analyse multicritère constitue une approche adaptée. La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process), développée par Saaty (1980) permet de hiérarchiser les critères hydrogéologiques en fonction de leur importance relative, à partir de comparaisons par paires, tout en vérifiant la cohérence des jugements.

Plusieurs études ont montré que la combinaison de la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) constitue une approche efficace pour la cartographie des zones à fort potentiel hydrogéologique à l'échelle régionale. Ces travaux soulignent que la fiabilité des cartes produites dépend fortement de la qualité des critères retenus (lithologie, densité de fractures, pente, drainage, occupation du sol, etc.) et surtout de la validation des résultats par les données de terrain, notamment les débits et taux de succès des forages existants (Jourda et al., 2006 ; Machiwal et al., 2011 ; Jha et al., 2010 ; Magesh et al., 2012 ; Yeh et al., 2016).

II.4 Limites des études antérieures et justification de la présente étude

De nombreux travaux, anciens et récents, ont porté sur la caractérisation hydrogéologique des aquifères de socle à l'aide des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et des méthodes d'analyse multicritère, permettant d'identifier les zones potentiellement favorables à la présence d'eaux souterraines (Jourda et al., 2006 ; Dewandel et al., 2006 ; Lachassagne et al., 2011). Des études plus récentes menées en Afrique de l'Ouest ont renforcé la compréhension de l'hétérogénéité hydraulique et hydrochimique des aquifères de socle, notamment au Burkina Faso, au Nigeria et au Togo, en mettant en évidence le rôle déterminant de la fracturation et de

la connectivité des structures dans la productivité des forages (Nakolendousse et al., 2023 ; Hebie et al., 2024 ; Doro et al., 2024).

Cependant, malgré ces avancées, plusieurs limites persistent. La majorité de ces travaux s'appuie sur des données spatiales acquises à des échelles régionales, dont la résolution reste insuffisante pour représenter l'hétérogénéité fine des aquifères de socle, en particulier les fractures localisées qui contrôlent directement la productivité réelle des forages (Dewandel et al., 2006 ; Wyns et al., 2004). Par ailleurs, bien que les approches SIG permettent de produire des cartes de potentialité hydrogéologique, celles-ci demeurent de nature probabiliste et nécessitent une validation rigoureuse par des données hydrogéologiques de terrain, telles que les essais de pompage et les paramètres hydrodynamiques des ouvrages existants (Malczewski, 1999 ; Jourda et al., 2006). Or, cette confrontation directe entre modèles SIG et performances hydrauliques réelles reste encore peu développée, notamment en milieu de socle cristallin en Afrique de l'Ouest.

La présente étude se justifie donc par la volonté de combler ces lacunes à travers une approche intégrée, combinant l'analyse des paramètres hydrodynamiques issus des essais de pompage et une analyse multicritère sous SIG à une échelle locale. Cette démarche vise à améliorer la caractérisation des aquifères de socle, à renforcer la fiabilité des cartes produites et à fournir une aide à la décision plus opérationnelle pour la planification durable des forages d'eau potable.

III. PRESENTATION DU PROJET

III.1 Contexte du travail

Située dans le centre-est de la Côte d'ivoire, la région du N'ZI dépend des ressources en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable. Dans cette zone (socle cristallin), les aquifères sont le plus souvent discontinus, d'extensions limitées et structurés par l'altération du socle et les réseaux de fractures.

Dans le cadre du programme Eau pour Tous, quatre forages ont été récemment réalisés, accompagnés de travaux de reconnaissance incluant des traînés géophysiques et des sondages. Les essais de pompage effectués sur ces ouvrages mettent en évidence des débits fortement contrastés d'un forage à l'autre. Cette variabilité de productivité nécessite une analyse ciblée

afin de caractériser les aquifères captés, d'identifier les facteurs contrôlant leur performance et de déterminer les zones les plus favorables à la durabilité des ouvrages.

Cette étude propose ainsi une caractérisation hydrogéologique locale, basée sur l'analyse des forages neufs et l'intégration des données dans un SIG.

III.2 Pertinence du sujet du travail

L'importance de ce travail se situe à plusieurs niveaux, tant sur le plan scientifique que socio-économique :

- **renforcement de la connaissance hydrogéologique locale** en permettant de comprendre localement les aquifères du socle de la région et de faciliter les futures implantations en améliorant le taux de forage infructueux. En évaluant les performances des ouvrages déjà implantés, le projet contribue à renforcer leur pérennité et à éviter les échecs techniques futurs ;
- **valorisation des forages réalisés dans le cadre de « Eaux pour tous »** en permettant de déterminer les plus productifs et les conditions de leur exploitation ;
- **amélioration de la planification des futurs forages** grâce à la carte de potentiel hydrogéologique, il devient possible d'orienter les futurs travaux vers les zones les plus favorables.

III.3 Identification et formulation du problème d'étude

Les variations observées dans la productivité des forages réalisés dans la région du N'ZI mettent en évidence des disparités hydrogéologiques importantes. Il est donc nécessaire de se poser la question : comment peut-on, à partir des données issues des forages, des trainés et sondagesréaliser une caractérisation hydrogéologique locale permettant d'améliorer ou de garantir la pérennité des forages avant leur mise en exploitation dans la région du N'Zi ?

III.4 OBJECTIF GENERAL, OBJECTIFS SPECIFIQUES ET HYPOTHESES DU TRAVAIL

Face aux disparités constatées dans la productivité des forages et à la complexité des aquifères de socle, cette étude a pour objectif principal : caractériser les aquifères de socle de la région du N'Zi à partir de l'analyse hydrodynamique des aquifères souterrains et d'une analyse multicritère , en vue d'expliquer la variabilité de productivité.

Pour atteindre cet objectif général, l'étude se décline en trois (03) objectifs spécifiques :

1. Identifier les types d'aquifères captés et d'évaluer leur productivité.
2. Développer une carte de potentialité hydrogéologique à l'aide d'une analyse multicritère (AHP).
3. Evaluer les performances réelles de la carte de potentialités.

Sur la base de la problématique identifiée et des objectifs de cette étude, trois (03) hypothèses de travail ont été formulées :

H1 : Les paramètres hydrodynamiques issus des essais de pompage (T, K, Cs) permettent de caractériser les aquifères de socle et d'expliquer la variabilité de productivité observée entre les forages.

H2 : La distribution spatiale des fractures et linéaments, identifiée à partir des données SIG, contrôle la répartition du potentiel hydrogéologique et influence la productivité des aquifères de socle.

H3 : L'intégration multicritère sous SIG, combinant linéaments, géologie, pente, densité de drainage et occupation du sol, permet de délimiter des zones de potentiel hydrogéologique distinctes reflétant les conditions réelles du terrain.

À l'issue de cette étude, les résultats attendus devraient permettre, une caractérisation détaillée des aquifères captés, expliquant la variabilité des productivités mesurées de la ressource en eau , une carte multicritère du potentiel hydrogéologique mettant en évidence des sites de forages potentiels et une carte croisée du potentiel hydrogéologique et des forages

IV. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

IV.1 Situation géographique et administrative

La région du N'ZI est située au Centre-est de la Côte d'Ivoire, dans le District autonome des Lacs. Elle occupe une position stratégique au cœur du pays et constitue une zone de transition entre le Centre, l'Est et le Sud-est. Selon les données administratives issues du **RGPH 2021,** elle est limitée au Nord par la Région de l'IFFOU, au Sud par la Région du MORONOU, et à l'Ouest par la Région des Lacs. Administrativement, la région du N'ZI est subdivisée en trois départements qui sont DIMBOKRO (chef-lieu de région), BOCANDA, et KOUASSI-KOUASSIKRO.

Avec dix sous-préfectures (voir **figure 1**)

Elle couvre une superficie d'environ **4 772 km²** selon le RGPH 2021.

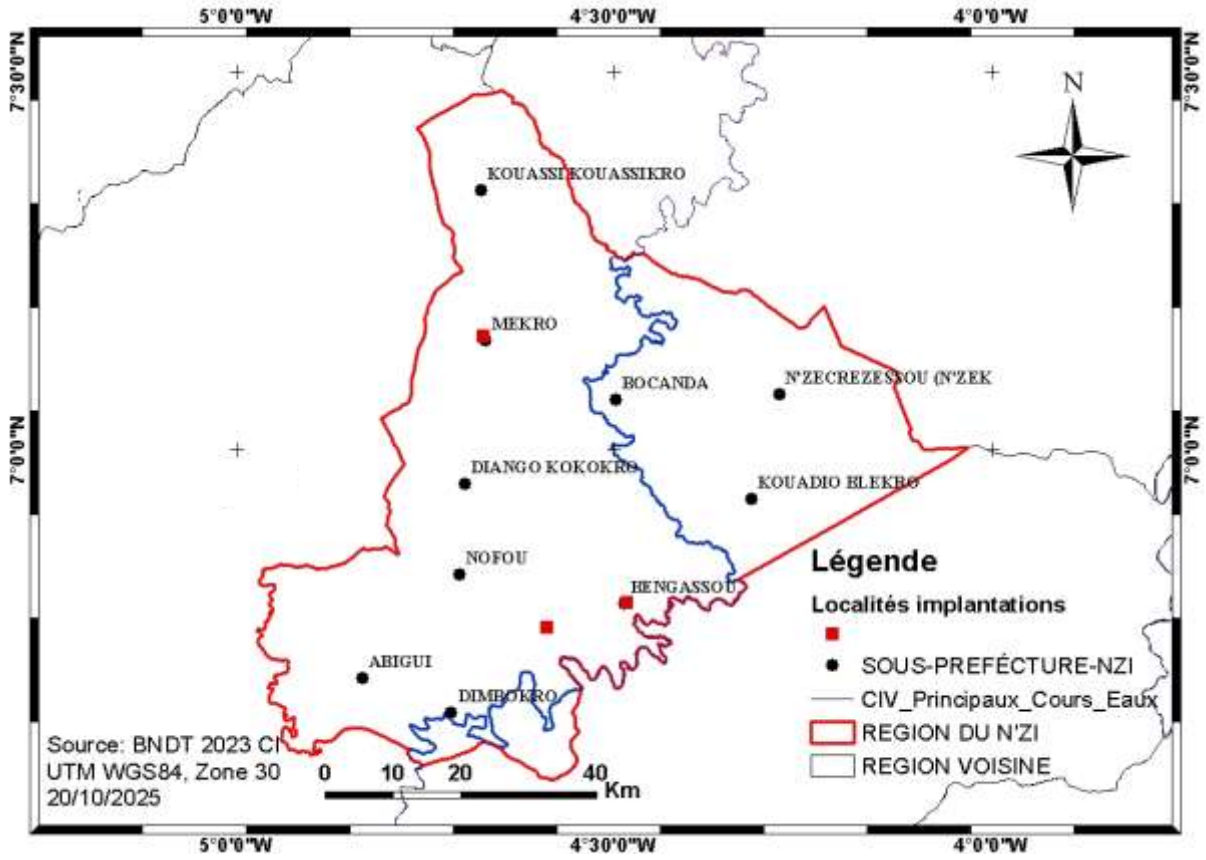


Figure 2 : Carte de la région du NZI et ces sous-préfectures

IV.2 Réseau hydrographique

La Région est bien arrosée et dispose de cours d'eau ainsi que de retenues d'eaux naturelles (lacs) et/ou artificielles (barrages). Le principal cours d'eau qui traverse la Région est le N'ZI **figure 2**. Il part du Nord au Sud avec un tracé très sinueux (BAD, 2024). Ses affluents les plus importants sont le KAN, l'OUROGO et l'OUASSIBI. D'autres cours d'eau moins importants au régime permanent arrosent les Départements de BOCANDA et de KOUASSI-KOUSSIKRO. Les plus importants sont : KASSIE, situé près du village de DIENZOUKRO ; KORO, situé près du village de SOUSSOUYAKRO ; WANDJA, situé près du village de BOMBOKRO ; BAYA, situé près des villages de N'ZECREZESSOU et d'ATTANOU et LOKO situé près du village d'ABEANOU.

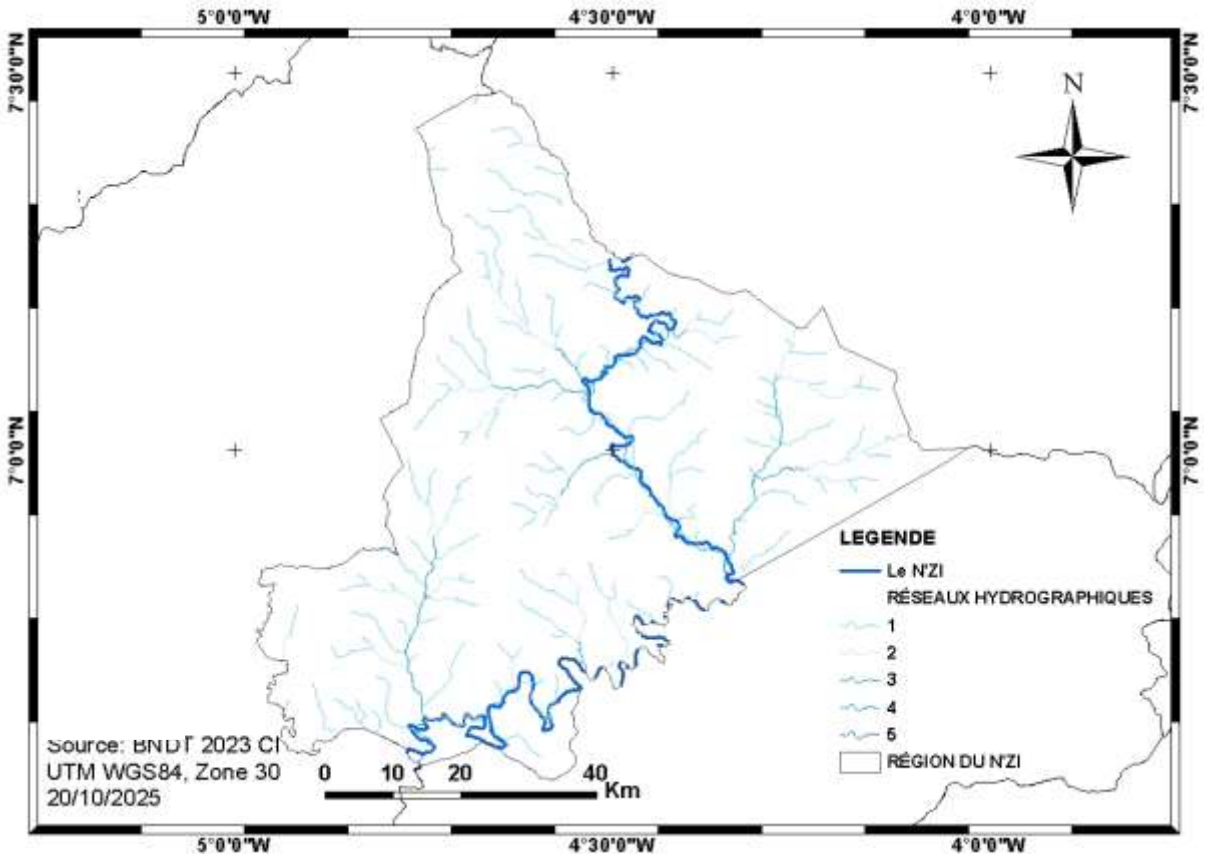


Figure 3: cartographie du réseau hydrographique de la région du N'Zi

IV.3 Cadre géologique

La région du N'Zi, située au centre de la Côte d'Ivoire appartient au socle précambrien du Craton Ouest-Africain, structuré principalement par l'orogenèse éburnéenne. Les travaux de Kouamelan décrivent ce secteur comme l'un des ensembles typiques du socle ivoirien, marqué par l'alternance de terrains métamorphiques birrimiens et d'intrusions granitoïdes éburnéennes **figure 4**. Les roches de la région peuvent ainsi être regroupées en trois ensembles majeurs, caractéristiques du centre ivoirien.

- **Ensemble birrimien métamorphique**

Cet ensemble constitue les roches les plus anciennes de la région. Il est principalement composé de gneiss, de schistes et micaschistes, d'amphibolites ainsi que de roches volcano-sédimentaires métamorphisées. Selon Vidal et al. (2009), ces formations jouent un rôle structural majeur, notamment dans le contrôle de la fracturation du socle, qui conditionne la circulation et le stockage des eaux souterraines.

❖ **Ensemble éburnéen granitoïde**

Dominant dans la région du N'ZI, cet ensemble regroupe les roches issues des intrusions magmatiques mises en place au cours de l'orogenèse éburnéenne. Il est essentiellement constitué de granites, très abondants, de granodiorites, de tonalites, ainsi que de pegmatites et de veines de quartz. D'après Kouamelan (1999), ces formations occupent de vastes portions du territoire et influencent fortement le modelé des plateaux ainsi que la distribution des sols.

❖ **Formations superficielles d'altération tropicale**

L'altération intense du socle sous climat tropical humide a conduit à la formation de profils d'altération épais, comme l'a décrit Nahon (1991). Les principales formations superficielles observées sont les latérites et cuirasses ferrugineuses, largement développées sur les plateaux du N'ZI, les sables argileux rouges issus de la décomposition des granites et des gneiss, ainsi que les alluvions récentes du fleuve N'ZI, constituées de dépôts sableux, limoneux et graveleux dans les plaines inondables. Ces formations influencent fortement l'occupation des sols, la fertilité des terrains et les conditions de recharge des nappes d'eau souterraine.

Par ailleurs, les travaux de Kouamelan (1999) mettent en évidence un réseau de failles principalement orientées NE–SW et N–S, typique des déformations birrimiennes, jouant un rôle

déterminant dans la fracturation du socle et le contrôle des écoulements souterrains.

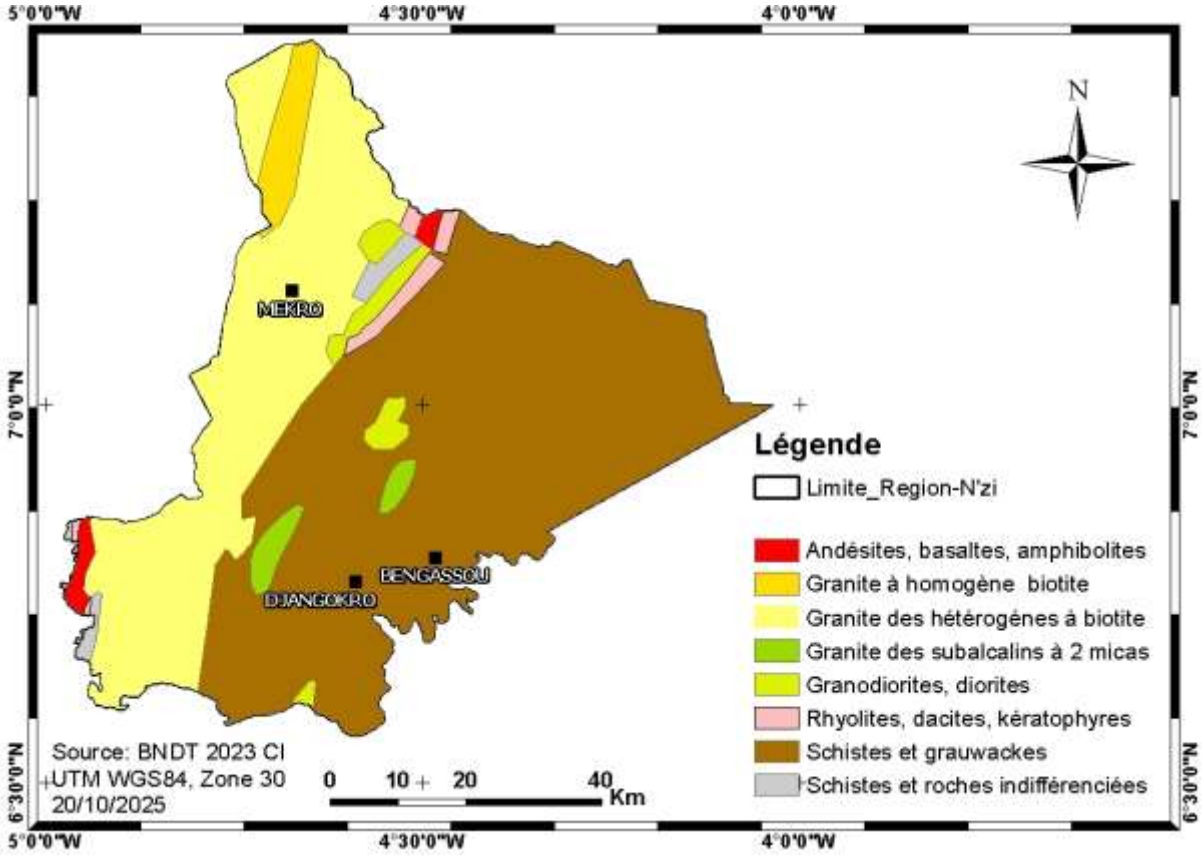


Figure 4 : carte géologique de la région du N'Zi

IV.4 Climat, pluviométrie et température

La Région bénéficie d'un climat équatorial de transition de type Baouléen à quatre (04) saisons (BAD, 2024) :

- Une grande saison de pluies de mars à juin ;
- Une petite saison sèche de juillet à août ;
- Une petite saison des pluies de septembre à octobre ;
- Une grande saison sèche de novembre à février.

. La région du N'ZI est la zone de Côte d'Ivoire qui présente les températures les plus élevées du Pays. Selon le rapport de la Banque Africaine de Développement (BAD, 2024) sur la région du N'Zi, basé sur les données de l'ANADER (2018), la pluviométrie annuelle moyenne est passée de 1 254,5 mm en 2014 à 870,9 mm en 2016, soit une diminution de 383,6 mm en l'espace de trois ans. Cette baisse significative des précipitations est principalement attribuée à

la dégradation de l'environnement, notamment la perte du couvert forestier, ainsi qu'aux effets du réchauffement climatique. **Relief et végétation**

- **Relief**

Le relief de la Région du N'ZI est peu accidenté et correspond aux plateaux de la zone de savane arborée avec une altitude moyenne variant entre 100 m et 200 m. Au Centre de la Région, le long du cours d'eau principal N'ZI se sont formées des plaines fluviales de 0 à 100 m d'altitude. La ville de Dimbokro située en bordure du N'ZI est à 94 m d'altitude (BAD, 2024)

- **Végétation**

La Région appartient au secteur mésophile du domaine guinéen. Il se caractérise essentiellement par :

- Une zone de forêt humide semi dénudée dans sa partie orientale ;
- Une zone pré forestière dans sa partie occidentale.

La zone de forêt semi dénudée couvre la plus grande partie de la Région. Cette forêt est largement perturbée par les exploitations forestières et les activités agricoles. La zone pré forestière se caractérise par des savanes arborées et arbustives avec une dominance de rôniers. Du fait des feux de brousse et de la sécheresse de plus en plus marqués, on assiste à une avancée de la savane. Cette savanisation caractéristique de la zone de transition est beaucoup plus accentuée lorsque des cultures épuisantes se succèdent trop longtemps sur un même terrain. La Région du N'ZI compte trois (03) forêts classées d'une superficie totale estimée à douze mille huit cents (12 800) hectares. Les essences forestières rencontrées dans la Région sont le SAMBA, l'AKO, le KAPOKIER, le KOTIBÉ, le FRAKÉ et l'IROKO (BAD, 2024).

V. MATERIELS ET METHODES

Après avoir présenté l'objectif général ainsi que les objectifs spécifiques de l'étude, il convient désormais d'identifier les matériels, la méthodologie et les formules requises pour mener à bien cette recherche.

V.1Outils de l'étude

Les équipements nécessaires pour la réalisation de l'étude sont des logiciels consignés dans le tableau 1 :

- **Pack Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint)**

Ces outils sont utilisés pour la sauvegarde et le traitement des données, la rédaction du mémoire, ainsi que la conception des supports de présentation.

- **Logiciel ArcGIS**

Ce logiciel a permis de produire des cartes thématiques des critères retenus, représentations cartographiques de la zone l'étude et à l'analyse multicritère**.**

Tableau 1 *: matériels de travail*

Spécifications	Descriptions
Pack Microsoft office (Word, Excel, PowerPoint)	Outils de rédaction, de calcul, et de présentation
ArcGIS	Outil de réalisation cartographique

V.2 Méthodologie de l'étude

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur une démarche intégrée combinant l'analyse des données de forages, l'interprétation géophysique et la modélisation spatiale sous SIG. Elle comporte quatre grandes étapes voir figure 5.

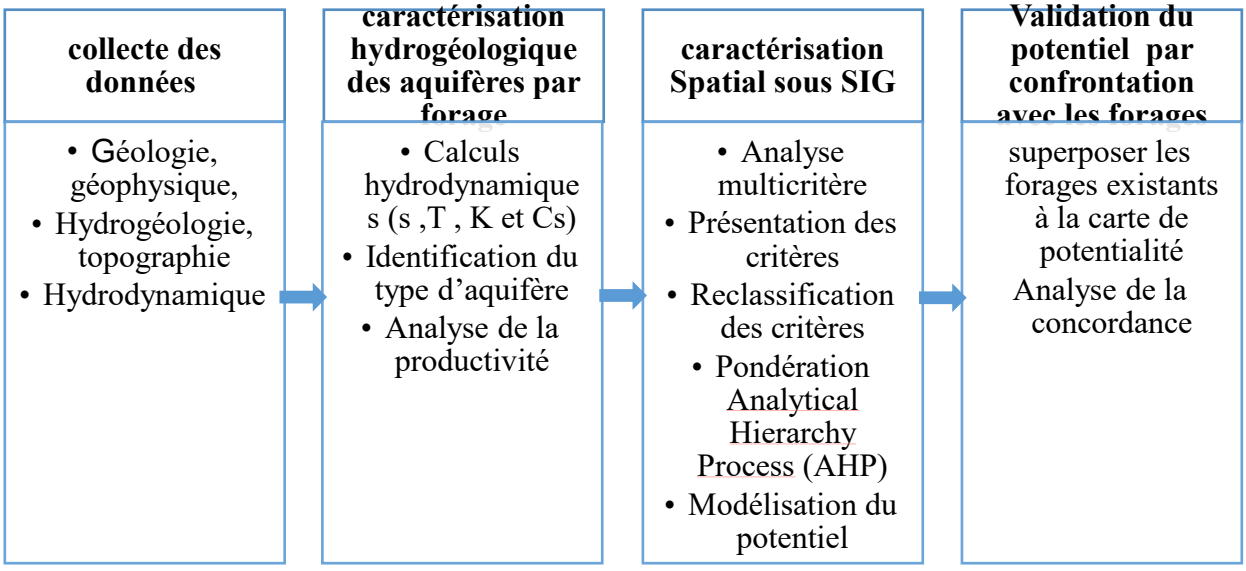


Figure 5 : Démarche méthodologie de l'étude

V.3 Données utilisées

Cette étude s'appuie sur trois types de données principales : géologiques, topographiques et hydrodynamiques. Les données géologiques et géophysiques (cartes du socle, coupes de forages, trainées et sondages électriques permettent d'identifier la structure du sous-sol et les

niveaux aquifères. Les données hydrodynamiques issues des essais de pompage de 4 forages (Niveau Statique (NS), Niveau Dynamique (ND), Débit (Q), Transmissivité (T), Rabattement (s), Perméabilité (K) et débit spécifique (Cs) permettent d'évaluer la productivité réelle des ouvrages et de faire la caractérisation. Enfin, les données topographiques, hydrographiques (MNT, drainage, occupation du sol, pédologie) servent à la réalisation du potentiel hydrologique.

Les quatre forages analysés (MEKRO-site A, MEKRO-site B, BENGASSOU-site A et DJANGOKRO-site A) ont été sélectionnés de manière à représenter les deux principaux faciès géologiques de la région, à savoir le granite et le schiste. Ce choix permet de réaliser une caractérisation locale précise des comportements hydrogéologiques des aquifères de socle, . Compte tenu du nombre limité de forages mis à disposition pour l'étude, nous avons intégré également les données issues de sondages, bien que ces sondages ne soient pas situés exactement dans la même zone que les forages (deux sondages à MEKRO, deux sondages à BENGASSOU et trois sondages à DJANGOKRO).

V.3.1 Données géologiques et géophysiques

Les données géologiques proviennent des matériaux obtenus lors de la réalisation des forages sur MEKRO - sites A et B, BENGASSOU – site A et DJANGOKRO -site A.

Les données géophysiques ont été acquises sur les forages MEKRO-site A et B, BENGASSOU-site A et DJANGOKRO-site A, et comprennent notamment des mesures de résistivité électrique et sondages électriques (figure 6 à 11), permettant d'évaluer la fracturation du socle, l'épaisseur des altérites et l'existence de zones saturées en eau.

Station de mesure(m)	ρ (Ω.m)				
	L1-0+00	L2-0+00	L3-0+00	L4-0+00	L5-0+00
0	123	191	204	280	110
10	111	230	182	267	62
20	103	236	152	276	87
30	105	240	172	301	95
40	119	234	183	338	79
50	135	232	210	335	66
60	139	288	216	279	77
70	135	193	208	287	76
80	135	218	219	322	83
90	132	213	209	316	77
100	135	257	212	332	67
110	139	248	208	313	75
120	137	235	220	268	134
130	131	227	212	300	64
140	119	236	227	400	56
150	122	212	196	461	55
160	128	213	169	379	67
170	145	200	229	302	71
180	149	202	249	358	71
190		182	176	318	61
200		192	146	282	
210		242	155	301	
220		242	195	350	
230		221	214	374	
240		261	211	295	
250		245		197	
260		252		193	
270				249	
280				255	
290				272	
300				259	
Direction	N 150°	N 220°	N 110°	N 80°	N 260°

Figure 6 : Fiche des trainées électrique réalisés a BENGASSOU

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω.m)			
		SE 1	SE 2	SE 3	SE 4
1	0.4	29	425	93	4180
2		59	728	97	1526
3		55	870	112	1419
4		47	907	125	1253
3	1	60	997	117	1763
4		51	1098	131	1454
5		43	1349	138	993
6		36	852	150	640
8		30	679	178	319
10		24	621	207	176
12		22	575	239	101
14		22	522	270	71
16		23	468	296	74
18		25	446	312	81
20		26	429	317	113
24		28	421	311	98
20	5	27	543	306	60
24		29	519	302	64
28		33	538	273	73
32		33	544	247	91
36		29	580	233	112
40		30	521	229	136
45		31	549	237	96
50		34	545	222	94
55		36	526	201	114
60		38	430	181	135
55	10	38	492	179	101
60		40	399	160	115
70		44	329	146	121
80		46	271	150	136
90		51	230	145	161
100		56	212	146	171
PRIORITES		A	C	B	D
COORDONNEES UTM WGS 84 30N		338569	337320	334898	336379
		751686	751621	751073	750803
		135 m	148 m	162 m	138 m

Figure 7 : Fiche sondage électrique réalisé a BENGASSOU

Station de mesure(m)	ρ (Ω.m)				
	L1-0+00	L2-0+00	L3-0+00	L4-0+00	L5-0+00
0	717	588	473	385	361
10	713	618	411	369	386
20	728	621	350	395	410
30	580	612	300	366	440
40	538	625	250	320	478
50	510	581	223	335	483
60	490	510	254	345	485
70	483	488	251	352	498
80	557	455	268	391	458
90	621	414	360	408	430
100	623	373	335	460	499
110	756	315	349	455	510
120	656	355	376	312	454
130	739	382	309	273	427
140	934	403	315	285	449
150	849	419	385	260	510
160		419	467	264	454
170		457	478	250	427
180		495		231	449
190		469		229	437
200		440		253	433
210		536		277	458
220		460		293	435
230		464		313	374
240		455		294	368
250		495			334
260		565			252
270		612			236
280					272
290					331
300					355
310					369
Direction	N 240°	N 290°	N 25°	N 130°	N 125°

Figure 8 Fiche des trainées électrique réalisés a MEKRO

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω.m)			
		SE 1	SE 2	SE 3	SE 4
1	0.4	47	83	115	548
2		66	82	123	593
3		57	62	126	449
4		46	42	111	303
3	1	56	67	114	560
4		46	45	105	375
5		38	31	91	272
6		32	24	77	185
8		25	20	62	105
10		24	22	52	80
12		26	26	46	74
14		30	29	43	68
16		34	33	42	72
18		39	37	43	79
20		43	41	44	87
24		52	49	49	94
20	5	44	41	47	95
24		53	49	51	113
28		63	58	57	110
32		72	67	64	125
36		83	76	72	147
40		93	86	80	183
45		108	98	90	208
50		120	110	99	234
55		132	121	112	254
60		144	133	122	276
55	10	126	120	119	264
60		137	132	130	288
70		160	161	149	342
80		184	186	172	386
90		208	205	199	422
100		234	227	227	473
PRIORITES		**C**	**D**	**B**	**A**
COORDONNEES UTM WGS 84 30N		315214	314728	314835	316501
		791149	790676	789082	789575
		168 m	205 m	156 m	137 m

Figure 9 Fiche des sondages électrique réalisés a BENGASSOU

Station de mesure(m)	ρ (Ω.m)				
	L1-0+00	L1-1+00	L2-0+00	L2-1+00	L3-0+00
0	163	96	86	91	76
10	177	107	85	97	90
20	183	127	90	100	87
30	177	121	94	93	75
40	160	110	91	92	91
50	147	126	82	90	106
60	133	114	87	82	89
70	111	84	100	80	79
80	132	76	100	94	85
90	176	74	102	124	88
100	197	73	103	166	88
110	203	77	102	146	93
120	213	92	100		98
130	193	108	100		89
140	169	106			90
150	149				117
160	143				119
170	148				
180	127				
190	131				
200	133				
210	115				
220	102				
230	89				
240	81				
250	75				
260	59				
270	65				
280	67				
290	64				
300	92				
310	87				
Direction	N 270°	N 210°	N 120°	N 50°	N 170°

Figure 10 : Fiche des traines électriques DJANGOKRO

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ω.m)		
		SE 1	SE 2	SE 3
1	0.4	32	66	488
2		49	84	408
3		60	71	264
4		58	59	173
3	1	68	76	305
4		66	64	198
5		55	51	137
6		46	32	97
8		31	22	73
10		25	18	66
12		21	20	65
14		21		67
16		22		68
18		24		63
20		25		59
24		30		56
20	5	25		57
24		29		54
28		33	25	52
32		37	28	50
36		40	31	45
40		45	34	42
45		49	39	48
50		54	41	49
55		58	42	48
60		62	44	52
55	10	64	44	51
60		69	46	52
70		79	54	56
80		89	60	62
90		99	67	71
100		111	75	81
PRIORITES		C	B	A
COORDONNEES UTM WGS 84 30N		324160	324132	324931
		747581	747263	748673
		138 m	139 m	136 m

Figure 11 Fiche des sondages électriques DJANGOKRO

V.3.2 Données hydrodynamiques

Les données hydrodynamiques proviennent des essais de pompage effectués sur les forages de MEKRO-site A et B, BENGASSOU-site A, DIANGOKRO-site A notamment :

- le niveau statique (NS)
- le niveau dynamique (ND)
- le débit pompé (Q)
- la perméabilité(k)
- la transmissivité(T)
- le débit spécifique (Cs)

V.3.3 Données topographiques et hydrographiques

À partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la région du N'Zi, plusieurs informations ont été extraites afin de caractériser la dynamique superficielle de l'eau, notamment la pente, la géomorphologie, la densité de drainage et le réseau hydrographique. Ces données permettent d'analyser les écoulements superficiels, d'identifier les zones de concentration ou de dispersion des eaux et de mieux comprendre les interactions entre relief, drainage et infiltration. Ces données ont été complétées par l'occupation du sol et la pédologie qui influencent fortement les processus d'infiltration, de ruissellement et de recharge. L'ensemble de ces éléments constitue une base indispensable pour l'élaboration de la carte du potentiel hydrogéologique et pour comprendre la variabilité de productivité observée entre les forages.

V.4 CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE BASEE SUR LES FORAGES

La caractérisation hydrogéologique par forage consiste à analyser les données des quatre (4) ouvrages (MEKRO-site A et B, BENGASSOU-site A et DJANGOKRO-site A) afin d'identifier le type d'aquifère capté, son épaisseur et sa capacité à produire de l'eau. Elle se base sur les coupes de forage et les essais de pompage.

V.4.1 Calcul des paramètres hydrodynamiques

Les paramètres hydrodynamiques utilisés pour évaluer la productivité d'un forage ont été définis et largement décrits dans les travaux classiques de (Cooper & Jacob, 1946; Theis, 1935) et repris par plusieurs auteurs en hydrogéologie moderne. Ces paramètres ont été déterminés à partir des résultats des essais de pompage réalisés sur les forages étudiés:

❖ **Rabattement**

Il est calculé comme la différence entre le niveau dynamique (ND) mesuré pendant le pompage et le niveau statique (NS) mesuré avant le pompage donné par l'équation 1 :

$$s = ND - NS$$ **Équation 1**

Avec :

NS= niveau statique en mètre (m)

ND= niveau dynamique en (m)

s= rabattement en (m)

❖ **Capacité spécifique**

La **débit spécifique (Cs)** est indicateur direct de la capacité d'un ouvrage à être durable. Il représente la quantité d'eau produite par mètre de rabattement donnée par l'équation 2.

$$\text{cs} = \frac{Q}{s}$$ **Équation 2**

Avec :

Q : débit pompé (m^3/h ou L/s)

S : rabattement (m)

$\text{Cs} = \text{débit spécifique } m^3/h/m \text{ ou } L/s/m$

Le débit spécifique (Cs) a été classée en cinq niveaux (tableau 2) selon une synthèse des seuils couramment utilisés dans la littérature hydrogéologique (Driscoll, 1995; Razack & Lasm, 2006; Todd & Mays, 2005). Ces valeurs permettent d'évaluer rapidement la productivité intrinsèque du forage et la qualité de l'aquifère capté. Les faibles valeurs (Cs < 0,5 $m^3/h/m$) traduisent une faible productivité tandis que les valeurs supérieures à 4 $m^3/h/m$ indiquent des aquifères très productifs.

Tableau 2 : grille de débit spécifique

Débit **spécifique (Cs)**	Classe	Interprétation hydrogéologique
Cs < 0,5	Très faible	Aquifère très peu productif, forage vulnérable
0,5 ≤ Cs < 1	Faible	Productivité limitée, usage modéré
1 ≤ Cs < 2	Moyen	Aquifère exploitable mais sans grande marge
2 ≤ Cs < 4	Bon	Bonne capacité de production, forage durable
Cs ≥ 4	Très bon	Aquifère très productif, recharge efficace

- **Épaisseur de la zone productrice capturée (B)**

L'épaisseur productive capté B correspond à la portion du forage qui capte réellement l'eau souterraine. Elle est définie comme l'intervalle compris entre la première et la dernière fracture productrice interceptée par le forage. Elle reflète l'épaisseur saturée fissurée réellement exploitée. Elle est donnée par l'équation 3

$$B = profondeur\ dernière\ arrivée\ -\ profondeur\ première\ arrivée$$ **Équation 3**

- **Transmissivité**

La transmissivité de l'aquifère est estimée à partir de la méthode de (Cooper & Jacob, 1946) en utilisant la pente Δs de la droite obtenue sur le graphique s=f(log t) donnée par l'équation 4 :

$$T = \frac{2{,}3 * Q}{4\pi * \Delta s}$$ **Équation 4**

Avec :

Q : débit pompé (m^3/h ou L/s)

Δs : Différence de rabattement mesurée entre deux points sur une droite semi-logarithmique

2,3 : Constante issue de l'approximation de Theis

4π : Facteur provenant de la solution mathématique du puits infini (Theis, 1935)

T : transmissivité en m^2/s ou m^2/j

La classification de transmissivité utilisée dans cette étude (tableau 3) est issue des travaux hydrogéologiques réalisés sur les aquifères fissurés du socle en Afrique de l'Ouest (Razack & Lasm, 2006; Yao, J. 2021).

Tableau 3 : Classes de transmissivités et interprétation hydrogéologique

Transmissivité T (m^2/s)	Classe internationale	Interprétation hydrogéologique
$T < 1 \times 10^{-6}$ m^2/s	Très faible	Aquifère très peu productif, quasi imperméable
$1 \times 10^{-6} \leq T < 1 \times 10^{-5}$	Faible	Faible productivité, fractures peu connectées
$1 \times 10^{-5} \leq T < 1 \times 10^{-4}$	Moyen	Aquifère exploitable, productivité modérée
$1 \times 10^{-4} \leq T < 1 \times 10^{-3}$	Élevée	Bonne productivité, fractures bien développées
$T \geq 1 \times 10^{-3}$ m^2/s	Très élevée	Aquifère très productif, circulation rapide

❖ Conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique K est une grandeur qui exprime l'aptitude d'un milieu saturé à transmettre de l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique (conductivité hydraulique selon la loi de Darcy) et est généralement utilisée pour qualifier la facilité d'écoulement de l'eau dans les milieux poreux ou fracturés. Dans cette étude, la conductivité hydraulique est ensuite déduite de la transmissivité en la rapportant à l'épaisseur saturée de l'aquifère selon l'équation 5, car la transmissivité est définie comme le produit de la conductivité hydraulique

par l'épaisseur saturée de l'aquifère ($T = K \times b$), la transmissivité représentant la capacité globale d'un aquifère à transmettre de l'eau sur toute sa hauteur saturée:

$$K = \frac{T}{b}$$ **Équation 5**

Avec :

T : Transmissivité de l'aquifère en m²/s ou m²/j

b : épaisseur saturée de l'aquifère (m) **(profondeur dernière fracture - première venue)**

K : perméabilité ou conductivité hydraulique (m/s)

La classification de la conductivité hydraulique K (tableau 4) a été établie à partir des plages caractéristiques proposées par (Freeze & Cherry, 1979; Todd & Mays, 2005) . Ces auteurs décrivent les milieux quasi imperméables avec $K < 10^{-8}$ m/s et les milieux très perméables avec $K > 10^{-5}$ m/s ; ce qui correspond aux classes utilisées dans cette étude.

Tableau 4 : La classification de la conductivité hydraulique K

K (m/s)	Classe	Interprétation hydrogéologique
$K < 1 \times 10^{-8}$ m/s	Très faible	Milieu quasi imperméable, circulation négligeable
$1 \times 10^{-8} \leq K < 1 \times 10^{-7}$	Faible	Milieu peu perméable, faible recharge / faible débit
$1 \times 10^{-7} \leq K < 1 \times 10^{-6}$	Moyen	Perméabilité modérée, aquifère exploitable mais limité
$1 \times 10^{-6} \leq K < 1 \times 10^{-5}$	Bonne	Bonne perméabilité, aquifère productif
$K \geq 1 \times 10^{-5}$ m/s	Très bonne	Très forte perméabilité, circulation rapide, bon aquifère

V.4.2 Identification du type d'aquifère capté

L'identification du type d'aquifère capté consiste à déterminer dans quelle couche du sous-sol le forage prélève l'eau. Pour cela, on analyse les fiches techniques du forage et la coupe lithologique (figure 12 à 15) afin de voir si l'aquifère se situe dans l'altérite, le socle fracturé, ou un niveau alluvial. Cette étape permet de connaître la nature réelle de l'aquifère exploité par chaque forage.

Tableau II : Description lithologique des échantillons de sols du forage **MEKRO - site A**

De (m)	A (m)	Libellé
0,00	1,00	Terre végétale
1,00	3,00	Latérite
3,00	7,00	Argile
7,00	8,06	Arènes
8,06	117,95	Granite

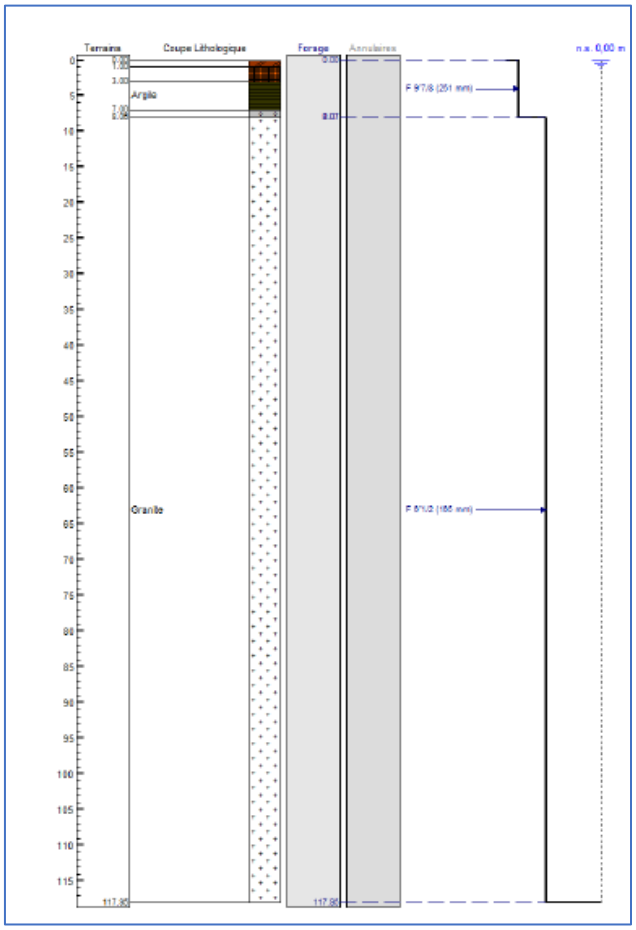


Figure 12 : Decsription lithologique des échantillons et coupe du forage Mekro site A

Tableau II : Description lithologique des échantillons de sols du forage **MEKRO - Site B**

De (m)	A (m)	Libellé
0,00	1,00	Terre végétale
1,00	6,00	Latérite
6,00	20,00	Argile
20,00	21,90	Arènes
21,90	90,95	Granite

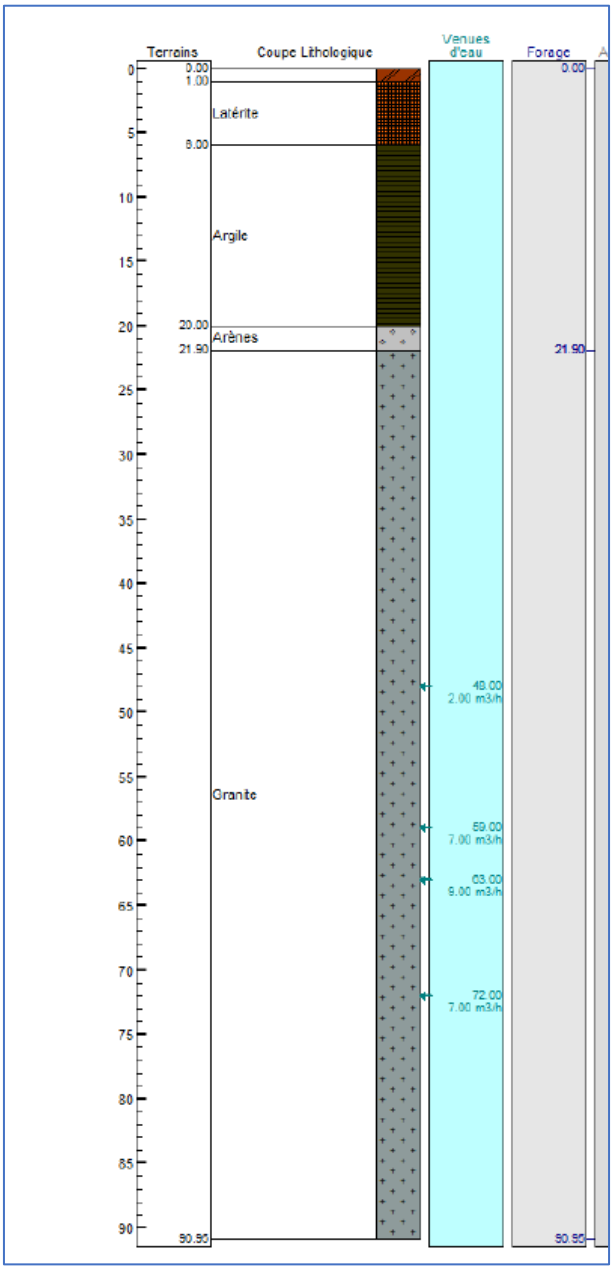


Figure 13: Decsription lithologique des échantillon et coupe du forage Mekro site B

Tableau II : Description lithologique des échantillons de sols du forage **BENGASSOU - Site A**

De (m)	A (m)	Libellé
0,00	1,00	Terre végétale
1,00	3,00	Latérite
3,00	33,00	Argile
33,00	66,63	Arène
66,63	113,30	Granite

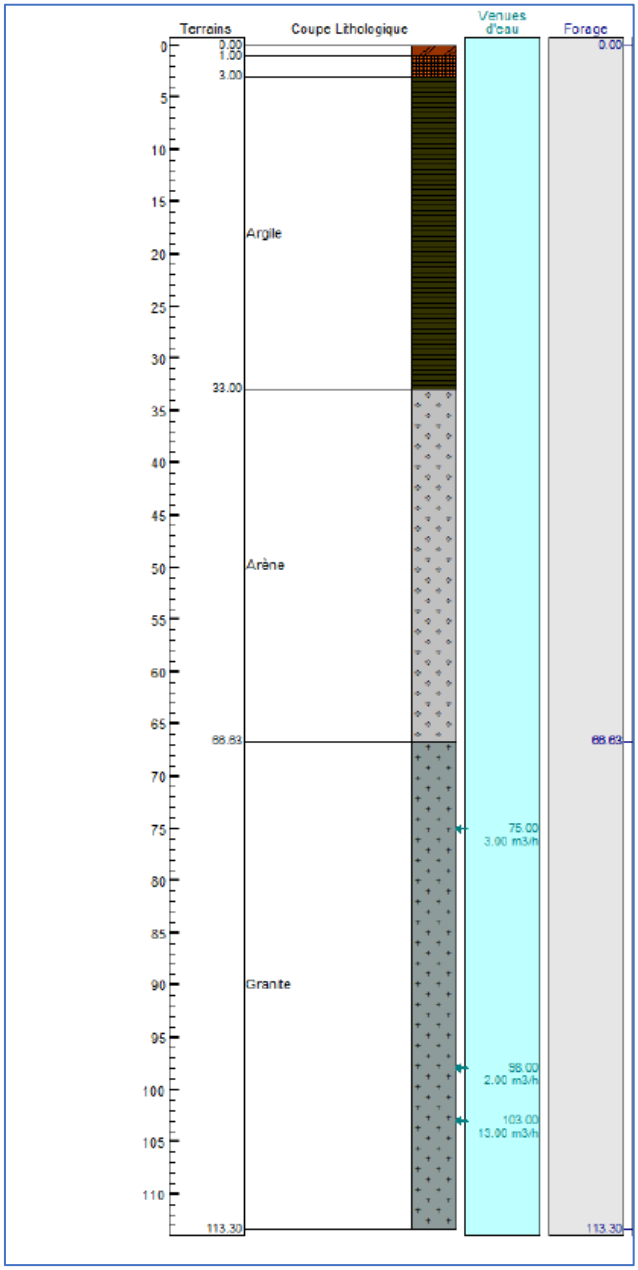


Figure 14 : Decsription lithologique des échantillon et coupe du forage Bengassou site A

Tableau II : Description lithologique des échantillons de sols du forage **DJANGOKRO - Site A**

De (m)	A (m)	Libellé
0,00	1,00	Terre végétale
1,00	18,00	Argile
18,00	29,00	Argile
29,00	46,00	Argile
46,00	46,67	Arènes
46,67	51,00	Schistes
51,00	55,00	Schiste altéré
55,00	90,90	Schiste

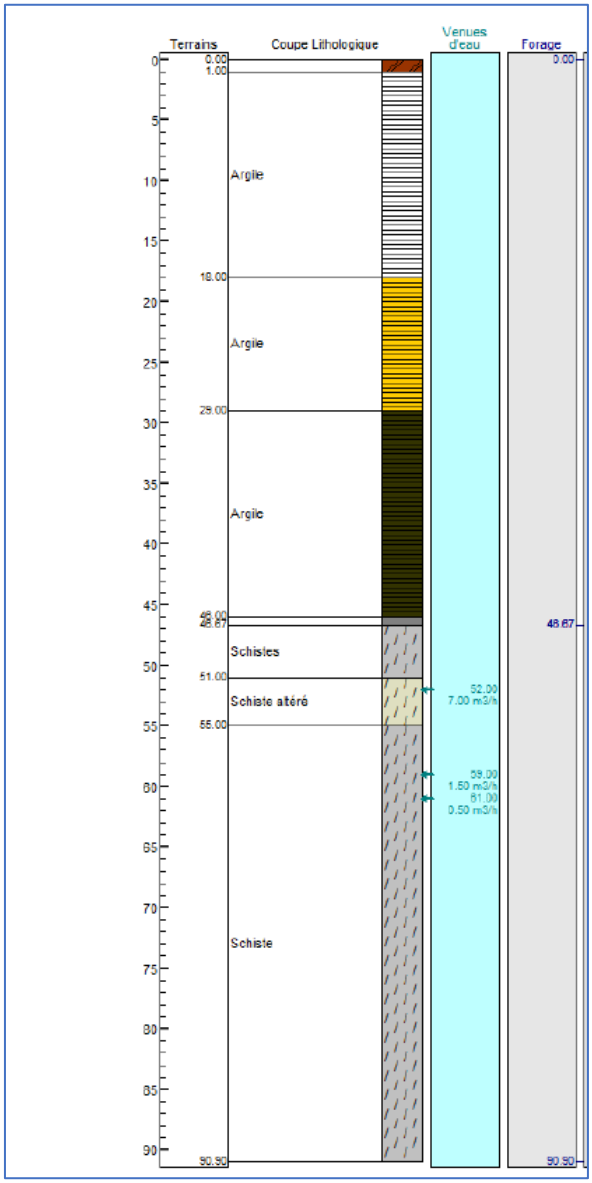


Figure 15 : Decsription lithologique des échantillon et coupe du forage Djangokro site A

V.4.3 Analyse de la variabilité de productivité

La comparaison de la productivité des forages est basée sur l'analyse des paramètres hydrodynamiques calculés, du type d'aquifère capté (altérite, socle fracturé, alluvial) et du contexte géologique et topographique de chaque site. Ces éléments expliquent les différences de productivité observées entre les forages et permettent d'identifier les aquifères les plus favorables.

V.5 Caractérisation spatiale du potentiel hydrogéologique sous SIG

V.5.1 Analyse multicritère

L'analyse multicritère intégrée dans le SIG s'appuie sur un ensemble de paramètre physiques et environnementaux reconnus pour leur influence sur la présence et la productivité des aquifères en zone de socle. Elle est basée sur la Analytical Hierarchy Process (AHP) de (Saaty, 1988) qui se déroule en plusieurs étapes essentielles combinant différents critères pour produire une carte du potentiel hydrogéologique.

V.5.2 Présentation des critères retenus

- **Synthèse des études ayant utilisé des critères pour l'évaluation du potentiel hydrogéologique**

Plusieurs études ont utilisé l'approche SIG combinée à l'analyse multicritère pour identifier les zones favorables à la recharge ou au potentiel des aquifères (talbeau5) . Ki et al. (2023) dans le bassin de Tamassari (Burkina Faso) ont intégré lithologie, couverture du sol, pente, drainage et linéaments, validés par des données hydrochimiques et isotopiques. Leur limite principale réside dans la dispersion des indicateurs chimiques, montrant que les seules données géospatiales ne suffisent pas toujours à prédire précisément les zones de recharge. Dans le bassin de Makutupora (Tanzanie), Mkupora et al. (2023) ont pondéré les critères via AHP avec des valeurs allant de 4 % (pluie) à 35 % (lithologie). Les auteurs signalent que ces pondérations dépendent fortement du contexte semi-aride et que le faible poids de la pluie pourrait limiter l'analyse. Des études au Gambie Basin et au Mono-Couffo (Bénin) ont montré que la pondération par jugement expert sans validation terrain peut introduire des incertitudes importantes (Sandougou Basin, 2020 ; Koudjega et al., 2020). Enfin, Razack & Lasm (2006)

ont souligné que l'efficacité de l'approche SIG dépend de la confrontation des résultats avec des données de forages pour confirmer la productivité réelle des aquifères.

Tableau 5 : synthèse sur les études ayant réalisé un potentiel hydrogéologique

Étude / Référence	Région	Critères utilisés	Poids attribués	Limites
Ki et al., 2023 – *MDPI Water*	Tamassari Basin, Burkina Faso	Lithologie, couverture du sol, pente, drainage, linéaments, hydrochimie/isotopie	AHP : comparaisons par paires (poids non spécifiés)	Dispersion des indicateurs hydrochimiques → certains critères SIG seuls peuvent être insuffisants
Mkupora Basin, Tanzanie – *PMC*	Makutupora Basin, Tanzanie	Lithologie, couverture du sol, pluie, pente, drainage, linéaments	Lithologie 35%, couverture sol 23%, pente 16%, linéaments 12%, drainage 7%, pluie 4%	Pondération dépend du contexte semi-aride → faible poids de pluie peut limiter l'analyse
Sandougou Basin, Gambie – *Rivieres du Sud*	Gambie	Lithologie, pédologie, pente, réseau hydrographique, couverture du sol, densité de drainage, densité de linéaments, MNT/précipitations	Pondération basée sur jugement expert et normalisation	Jugement expert → incertitude si pas validée par terrain ou statistique
Mono-Couffo, Bénin – Koudjega et al., 2020	Mono-Couffo, Bénin	Lithologie, fracturation, réseau hydrographique, pente, couverture du sol	Pondération intégrée dans SIG-MCDA (non précisée)	Absence de validation terrain → nécessite comparaison avec débits ou essais de pompage
Razack & Lasm, 2006	Afrique de l'Ouest (socle)	Lithologie, linéaments, pente, sols	Pondération AHP / expert	Nécessite validation terrain (forages, transmissivité)

Dans cette étude sur la région du N'Zi, les critères retenus pente,(tableau 6) occupation du sol, densité de drainage, densité de linéaments, et la lithologie, ont été choisis pour leur influence directe sur la recharge et la productivité des aquifères de socle et leur disponibilité locale. La pente contrôle le ruissellement et l'infiltration, la densité de drainage permet d'identifier les zones de concentration ou de dispersion des eaux, et la densité de linéaments et la lithologie renseignent sur la fracturation et la transmissivité des aquifères. L'occupation du sol influence

la perméabilité des terrains et la capacité d'infiltration. Contrairement aux études précédentes, les pondérations attribuées à ces critères sont validées par les données de terrain, notamment les tests de pompage et la transmissivité mesurée des forages existants, ce qui renforce la fiabilité du potentiel. Il est important de noter que le critère pluviométrique, qui joue un rôle majeur dans l'évaluation du potentiel hydrogéologique, n'a pas pu être intégré en raison du manque de données .

Tableau 6 : critères retenus pour le potentiel hydrogéologique et leurs rôles

Critères	Rôles
Pente	Influence l'infiltration et le ruissellement de l'eau
Occupation du sol	Permet de mieux comprendre les impacts anthropiques sur la recharge des aquifères et de distinguer les secteurs à forte infiltration
Densité de drainage	Reflète la structure du réseau hydrographique sur Km/Km² à ? ?
Densité de linéaments	Montre les zones fracturées sur une surface Km/Km²
Lithologie (Géologie)	Conditionne le comportement hydrologique du milieu

1. Pente

La pente influe sur l'infiltration et le ruissellement. Les faibles pentes favorisent la recharge des aquifères en permettant à l'eau de s'infiltrer plus facilement tandis que les fortes pentes augmentent le ruissellement et réduisent l'infiltration. Selon (Magesh et al., 2013), la pente constitue un critère essentiel dans l'évaluation du potentiel hydrogéologique, particulièrement dans les zones de socle où les conditions de recharge sont limitées. La **figure 16** montre la répartition des pentes observées dans la région du N'ZI.

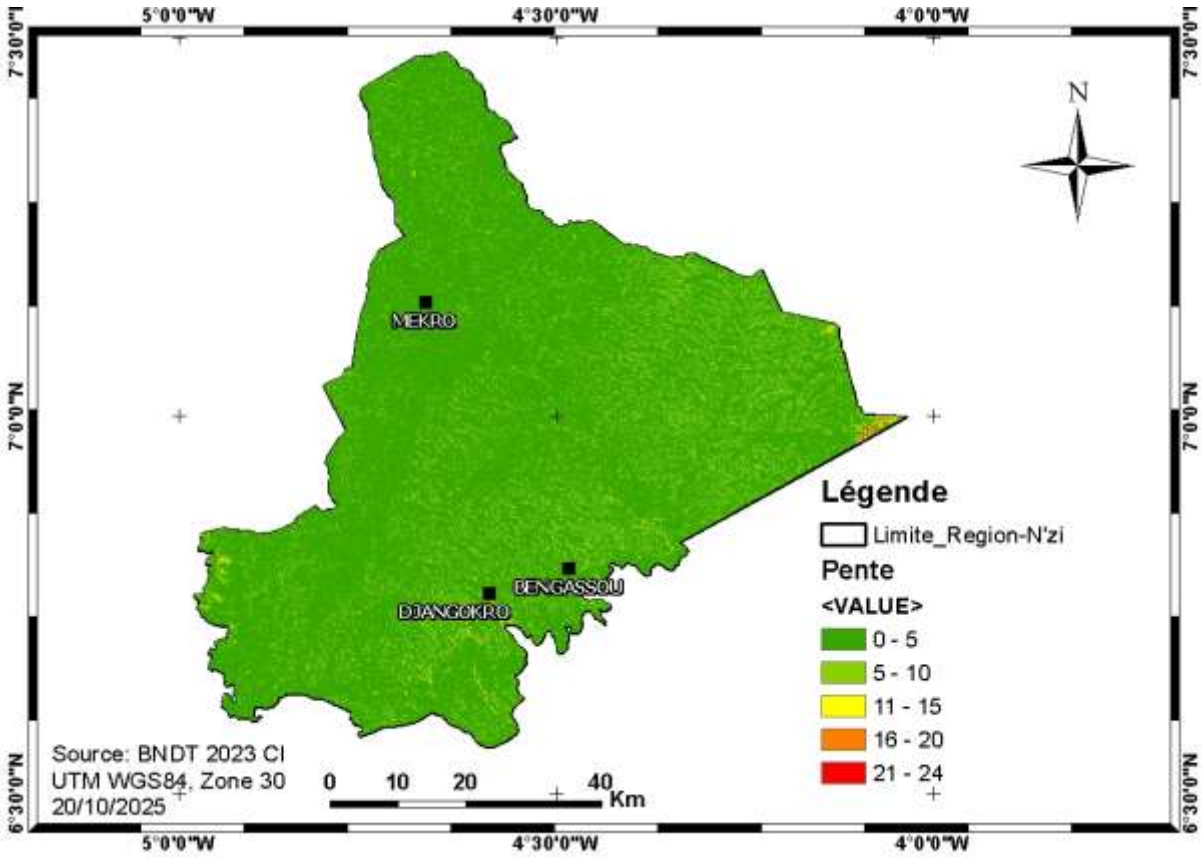


Figure 16: carte des pentes **(°C)** de la région du N'Zi

2. Occupation du sol

L'occupation du sol impact la quantité d'eau qui atteint le sous-sol. Les zones forestières et les savanes optimisent davantage l'infiltration alors que les surfaces agricoles intensives ou urbanisées favorisent le ruissellement. La **figure 17** illustre l'occupation du sol de la région du N'ZI. D'après (Chowdhury et al., 2009), ce critère permet de mieux comprendre les influences anthropiques sur la recharge des aquifères

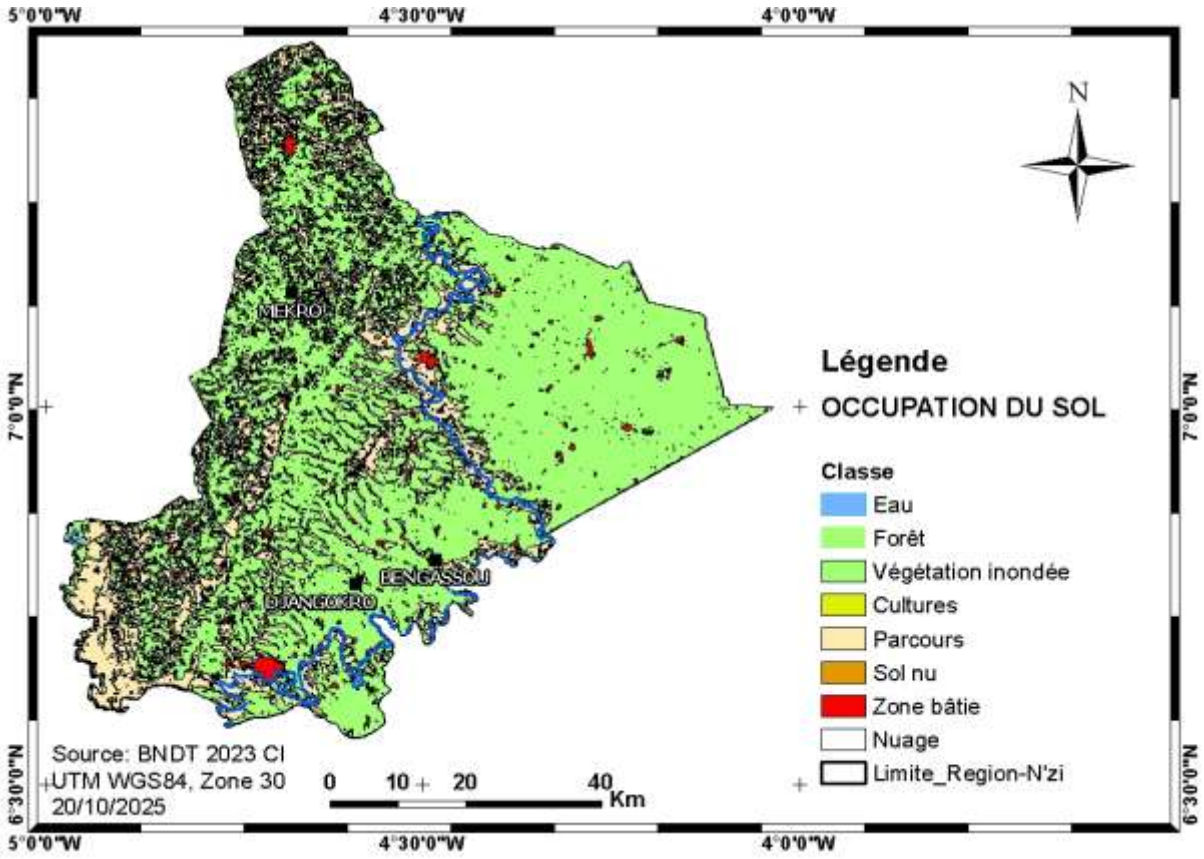


Figure 17 : carte d'occupation du sol de la région du N'ZI

3. Densité de drainage

La densité de drainage reflète la structure du réseau hydrographique. La **figure 18** donne la tendance de la densité de drainage dans la région du N'ZI. Une forte densité implique un ruissellement dominant et donc une faible infiltration tandis qu'une faible densité de drainage traduit une meilleure perméabilité du terrain et un potentiel de recharge plus élevé. (Nag, 1998) évoque que la densité de drainage est un bon indicateur pour évaluer les conditions de recharge dans les zones cristallines.

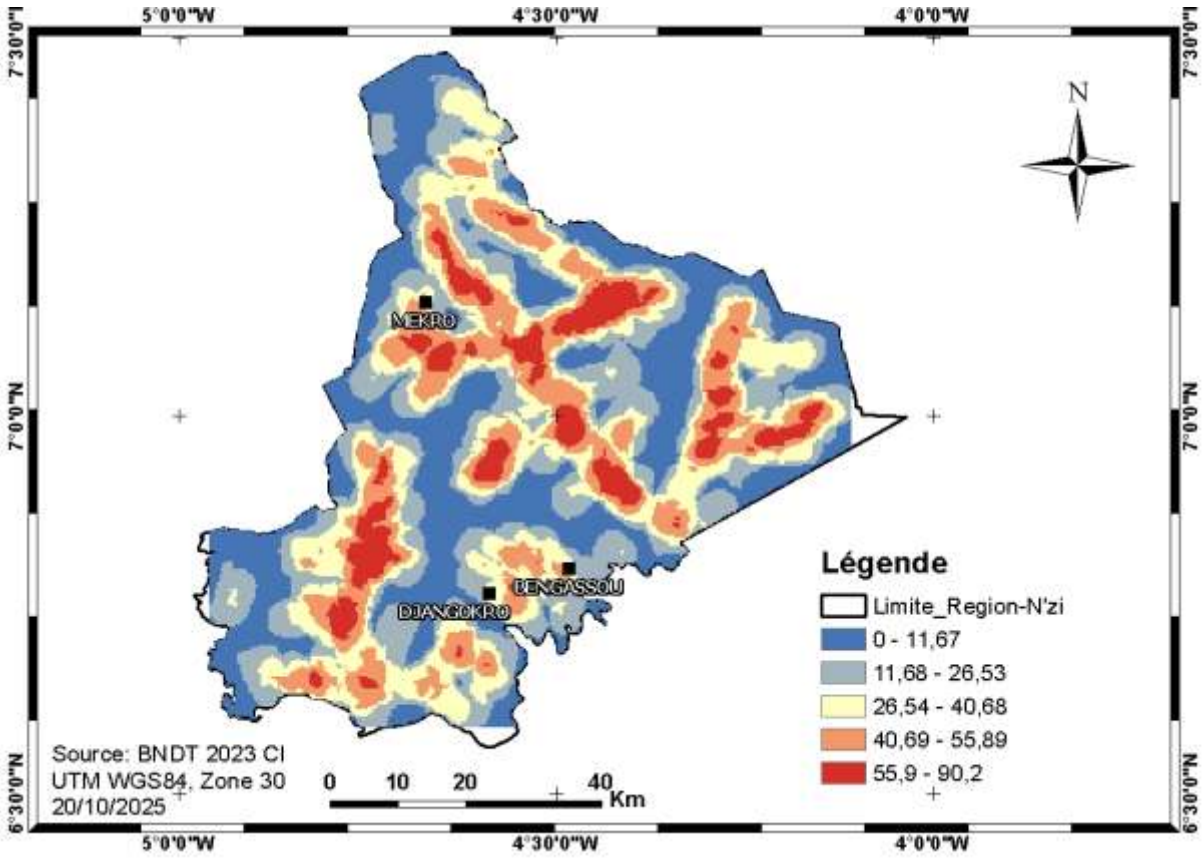


Figure : carte de la densité de drainage (Km/Km²**)** de la région du N'ZI

4. Densité de linéaments

Les linéaments correspondant aux fractures et failles du socle, jouent un rôle essentiel dans la circulation de l'eau souterraine. La **figure 19** montre la densité de linéaments dans la région du N'ZI. Une forte densité de linéaments indique une perméabilité secondaire élevée, ce qui améliore la productivité des aquifères. (*Dewandel, B., Lachassagne, P., Wyns, R., 2006. Functioning and development of hard-rock aquifers in tropical regions. Journal of Hydrology. - Recherche Google*, s. d.) montre que les zones fracturées constituent les principaux réservoirs en milieu de socle et leur densité est un critère déterminant dans la localisation des forages productifs.

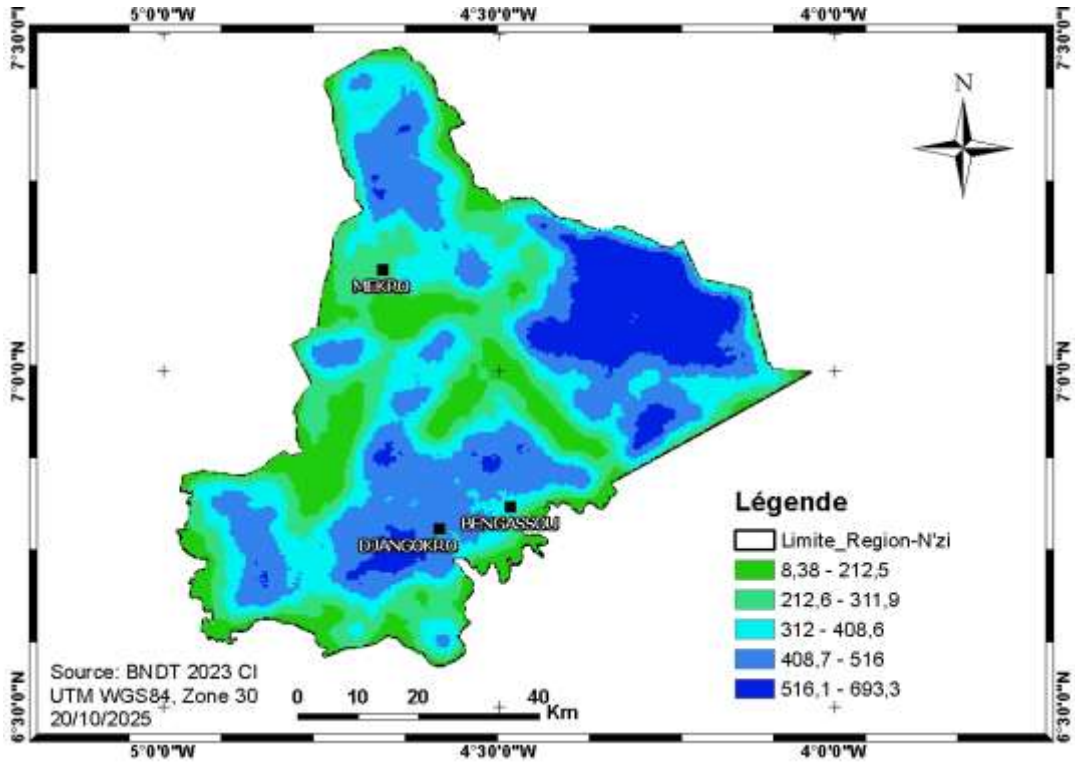


Figure : carte de la densité de linéament (Km/Km²) dans la région du N'ZI

5. Lithologie (géologie)

La lithologie détermine la nature et le comportement des roches face aux processus d'altération et de fracturation (voir **figure 4)**. Les roches altérées ou fracturées (granites altérés, gneiss fracturés) présentent généralement de meilleures capacités de stockage et transfert d'eau que les roches massives et compactes. Selon (*Dewandel et al., 2006.*), la lithologie est un des critères les plus importants pour évaluer le potentiel hydrogéologique en zone de socle.

V.5.3 Reclassification des critères

La reclassification des critères consiste à convertir les données brutes issues des différentes couches thématiques en valeurs comparables sur une même échelle numérique. Cette étape est importante car les critères utilisés présentent des unités, des amplitudes et des natures différentes (pente en pourcentage, densité de drainage en Km/Km², classes géologiques, types de sols, etc.). Pour unifier ces variables, les critères sont reclassés en cinq classes allant de **1 à 5**, où **1 représente un potentiel hydrogéologique faible** et **5 un potentiel** élevé**.** Cette harmonisation se fait selon les méthodologiques de (Malczewski, 1999) utilisées dans les analyses multicritères intégrées au SIG. Les classes les plus favorables à la recharge ou à la

présence d'aquifères productifs reçoivent les valeurs les plus élevées tandis que les zones défavorables se voient attribuer des valeurs plus faibles. Cette étape permet de rendre l'ensemble des critères compatibles pour la pondération AHP voir tableau 7.

Tableau 7 : reclassifications des carte thématiques des 7 critères selon la méthodologiques de (Malczewski, 1999)

Carte thématiques	Classes	Capacité potentielle de stockage des eaux souterraines	Interprétation
1. Densité de linéaments (Km/Km²)	8 – 212	1	Très faible potentiel
	212 – 312	2	Faible
	312 – 408	3	Moyen
	408 – 516	4	Élevé
	516 – 693	5	Très élevé
Densité de drainage (Km/Km²)	55 – 90	1	Très faible infiltration
	40 – 55	2	Faible
	26 – 40	3	Moyenne
	11 – 26	4	Bonne
	0 – 11	5	Très bonne infiltration
Pente (°C)	20 – 24	1	Très faible potentiel
	15 – 20	2	Faible
	10 – 15	3	Moyen
	5 – 10	4	Élevé
	0 – 5	5	Très élevé
Occupation du sol	Zones bâties	1	Très faible
	Sol nu	2	Faible
	Cultures	3	Moyen
	Savanes / parcours	4	Élevé
	Forêt	4	Très élevé
	Eau	5	Non pertinent
Géologie (lithologie)	Schistes, grauwackes	1	Très faible
	Rhyolites, dacites	2	Faible
	Granites hétérogènes	3	Moyen
	Granite à biotite	4	Élevé
	Granodiorites, roches à 2 micas	5	Très élevé

V.5.4 Ponderation analytical hierarchy process (AHP)

La pondération des critères a été effectuée à l'aide de la méthode AHP développée par (Saaty, 1988). Cette méthode se base sur des comparaisons par paires permettant de déterminer l'importance relative de chaque critère dans l'explication du potentiel hydrogéologique. Chaque critère est comparé aux autres selon l'échelle fondamentale de Saaty (1 à 9) voir annexe1. Cette comparaison va permettre d'obtenir une matrice (tableau 8) qui par la suite va permettre de calculer un vecteur propre (Eigenvector Method) représentant le poids de chaque critère. Ces poids traduisent l'influence relative des critères tels que la lithologie, la densité de linéaments, la géomorphologie ou la pente. La cohérence des jugements est vérifiée à travers le Calcul du Ratio de Cohérence (CR) dans l'équation 7. Un CR inférieur à 0,1 indique une cohérence acceptable selon les recommandations de Saaty.

Tableau 8 : matrice de comparaison des critères selon l'échelle fondamentale de Saaty (1 à 9)

Matrice		Géologie	Occupation du sol	Pente	Densité de drainage	Densité de linéament
		2	**3**	**5**	**6**	**7**
Géologie	**2**	**1**	**4**	**2**	**5**	**1/3**
Occupation du sol	**3**	**1/4**	**1**	**1/3**	**3**	**1/5**
Pente	**5**	**1/2**	**3**	**1**	**3**	**1/4**
Densité de drainage	**6**	**1/5**	**1/3**	**1/3**	**1**	**1/6**
Densité de linéament	**7**	**3**	**5**	**4**	**6**	**1**

$$CR = \frac{CI}{RI}$$ **Équation 6**

Avec :

CR= (Ratio de Cohérence) indicateur permettant de vérifier la cohérence des jugements dans la matrice de comparaison par paires

RI= valeur de référence dépendant du nombre de critères considérés ; le cas présent, **RI = 1,32**.

CI= (Indice de cohérence) mesure le degré d'incohérence de la matrice de comparaison

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$ **Équation 7**

Avec :

λmax = valeur propre maximale (eigenvalue) de la matrice

n = nombre de critères

CR= Indice de cohérence

V.5.5 Elaboration du potential hydrogéologique

La modélisation du potentiel hydrogéologique a été réalisée dans le logiciel ArcGIS en combinant les critères normalisés et pondérés. Chaque critère thématique (pente, géomorphologie, drainage, linéaments, lithologie, pédologie et occupation du sol) a d'abord été transformé en couche raster reclassée à l'aide de la fonction « Reclassify » afin d'obtenir une échelle homogène de 1 à 5. Ensuite, les poids issus de l'analyse AHP ont été appliqués à chaque couche dans l'outil Weighted Sum, permettant de générer un raster synthétique selon l'équation 8 dans ArcGIS :

$$H = \sum_{i=1}^{7} w_i * C_i$$

Où

H : Potentiel hydrogéologique final Ci : - Valeur normalisée du critère i

Wi : - Poids associé au critère i, déterminé par la méthode AHP.

Le résultat est une carte continue du potentiel hydrogéologique qui a finalement été reclassée en classes de potentiel pour faciliter l'interprétation.

V.6 VALIDATION CROISÉE

La validation croisée consiste à superposer les forages existants à la carte de potentialité et à analyser la concordance entre les classes obtenues (faible, modérée, favorable, très favorable) et les paramètres hydrodynamiques mesurés : débit pompé (Q), capacité spécifique (Cs),

transmissivité (T), conductivité hydraulique (K), profondeur des arrivées d'eau, et nature des fractures rencontrées. Les variations de productivité observées renseignent directement sur la qualité des aquifères du socle et permettent de confirmer ou d'infirmer les prédictions issues du modèle spatial.

VI. RESULTATS ET DISCUSSION

VI.1 Résultats des paramètres hydrodynamiques

Le tableau 5 présente les résultats des paramètres hydrodynamiques des quatre forages étudiés (MEKRO-site A, MEKRO-site B, BENGASSOU-site A et DJANGOKRO-site A) implantés dans la région du N'ZI. Les résultats montrent que les forages étudiés captent des aquifères profonds avec une profondeur comprise entre 90,95 m et 113,30 m, et que les eaux souterraines de la région du N'Zi sont captées dans des aquifères de socle fissuré, plus ou moins développés selon les sites. Ces observations mettent en évidence l'existence de liens étroits entre les paramètres géologiques et hydrodynamiques : l'épaisseur des altérites qui varient entre 8,06 m et 21,90 m conditionne le stockage et la recharge, l'épaisseur et la connectivité de la zone fissurée contrôlent la transmissivité, et la profondeur des ouvrages détermine l'efficacité avec laquelle ces aquifères fissurés sont interceptés. En conséquence, la productivité des forages est maximale lorsque la profondeur permet d'atteindre une zone fissurée bien développée et alimentée par une altération suffisante, expliquant ainsi les variations observées entre les différents sites.

- **MEKRO-site A**

Le forage MEKRO-site A, bien qu'ayant atteint une profondeur de 117,95 m, n'a présenté aucune arrivée d'eau et n'a intercepté aucune fracture ouverte. L'épaisseur altérée est de 8,06 m, tandis que le socle granitique sous-jacent apparaît massif et faiblement fissuré. Ces observations géophysiques et hydrodynamiques indiquent qu'aucun aquifère exploitable n'a été rencontré à cette profondeur. Ce type de situation est caractéristique des zones où la fracturation du socle est peu développée, limitant ainsi la circulation de l'eau. En conséquence, le type d'aquifère peut être qualifié d'absent à cette profondeur

- **MEKRO-site B**

La zone altérée, d'une épaisseur de 21,90 m, repose sur un socle granitique de 69,05 m fortement fracturé, ce qui explique la présence de quatre arrivées d'eau réparties sur une épaisseur productive de 24 m. Ces observations indiquent que le forage capte un aquifère de socle fissuré productif à une profondeur de 90,95 m. Les valeurs élevées de transmissivité ($T = 2{,}63 \times 10^{-4}$ m²/s) et de débit spécifique ($Cs = 1{,}04$ m³/h/m) témoignent d'une bonne circulation de l'eau et d'une réponse favorable au pompage.

- **BENGASSOU-site A**

La zone altérée, d'une épaisseur de 66,63 m, repose sur un socle granitique de 46,67 m bien fracturé, présentant trois arrivées d'eau réparties sur une épaisseur productive de 28 m. Le forage atteint une profondeur de 113,30 m. La transmissivité ($T = 1{,}39 \times 10^{-4}$ m²/s) est relativement élevée, tandis que la capacité spécifique ($Cs = 0{,}89$ m³/h/m) reste inférieure à celle du MEKRO-site B, indiquant que l'aquifère est productif mais avec une réponse au pompage moins favorable. Ces caractéristiques permettent de qualifier l'aquifère comme un aquifère de socle fissuré profond à productivité moyenne.

- **DJANGOKRO-site A**

La zone altérée, d'une épaisseur de 46,67 m, repose sur un socle schisteux de 44,23 m. Le forage présente trois arrivées d'eau concentrées sur une faible épaisseur productive de 9 m, et atteint une profondeur de 90,90 m. Les faibles valeurs de transmissivité ($T = 3{,}92 \times 10^{-5}$ m²/s) et de capacité spécifique ($Cs = 0{,}19$ m³/h/m) indiquent que l'aquifère fissuré est peu transmissif et présente une capacité de renouvellement limitée, caractérisant ainsi un aquifère fissuré mince et peu productif.

Tableau 9 : les paramètres hydrodynamiques des forages étudiés

Paramètres	MEKRO-site A	MEKRO_site B	BENGASSOU - site A	DJANGOKRO-site A
Statut du forage	Négatif	Productif	Productif	Productif
Profondeur totale (m)	117,95	90,95	113,30	90,90
Type roches	Granite	Granite	Granite	Schistes
Zone altérée (m)	8,06	21,90	66,63	46,67
Zone Socle forée (m)	109,89	69,05	46,67	44,23

Nombres arrivés d'eau (m)	—	4	3	3
1re arrivée (m)	—	48	75	52
Dernière arrivée (m)	—	72	103	61
Débit d'exploitation Qexp (m^3/h)	0	<20	<18	<7
Ns (m)	—	11,68	17,69	28,07
Nd (m)	—	31,54	40,42	68,67
Rabattement S (m)	—	19,88	22,73	40,60
Débit pompage Qp (m^3/h)	—	20,70	20,14	7,71
Capacité spécifique Cs ($m^3/h/m$)	—	1,04	0,89	0,19
b_saturé (m)	—	60,32	85,31	32,93
Epaisseur productrice captée (m)	—	24	28	9
Transmissivité T (m^2/s)	—	$2,63 \times 10^{-4}$	$01,39 \times 10^{-4}$	$03,92 \times 10^{-5}$
Perméabilité K (m/s)	—	$4,36 \times 10^{-6}$	$1, 39 \times 10^{-6}$	$1, 19 \times 10^{-6}$

VI.2 Résultats des sondages

Les résultats des sondages effectués dans les zones voisines aux différents forages, sont illustrés par les courbes de sondage, permettent d'estimer les épaisseurs des formations , offrant ainsi une base pour l'identification des niveaux potentiellement productifs.

- **MEKRO**

Les sondages réalisés à MEKRO mettent en évidence deux grands ensembles. Le premier correspond à une zone d'altération superficielle, de faible épaisseur (environ 2 à 7 m), située entre 3 et 7 m de profondeur et saturée en eau (faible résistance 4,46 à 14,6 Ω·m). Malgré la présence d'eau, cette zone reste très sensible aux pollutions de surface et aux variations saisonnières, ce qui limite son intérêt pour une exploitation durable des ressources en eau souterraine.

Le second ensemble est constitué d'un socle sain (granite), rencontré à partir de 3 à 7 m de profondeur, caractérisé par une très forte résistance électrique (ρ > 22 127 à 45 050 Ω·m),

indiquant une faible capacité à stocker et à laisser circuler l'eau. Cette configuration est similaire à celle observée sur le site MEKRO-A.

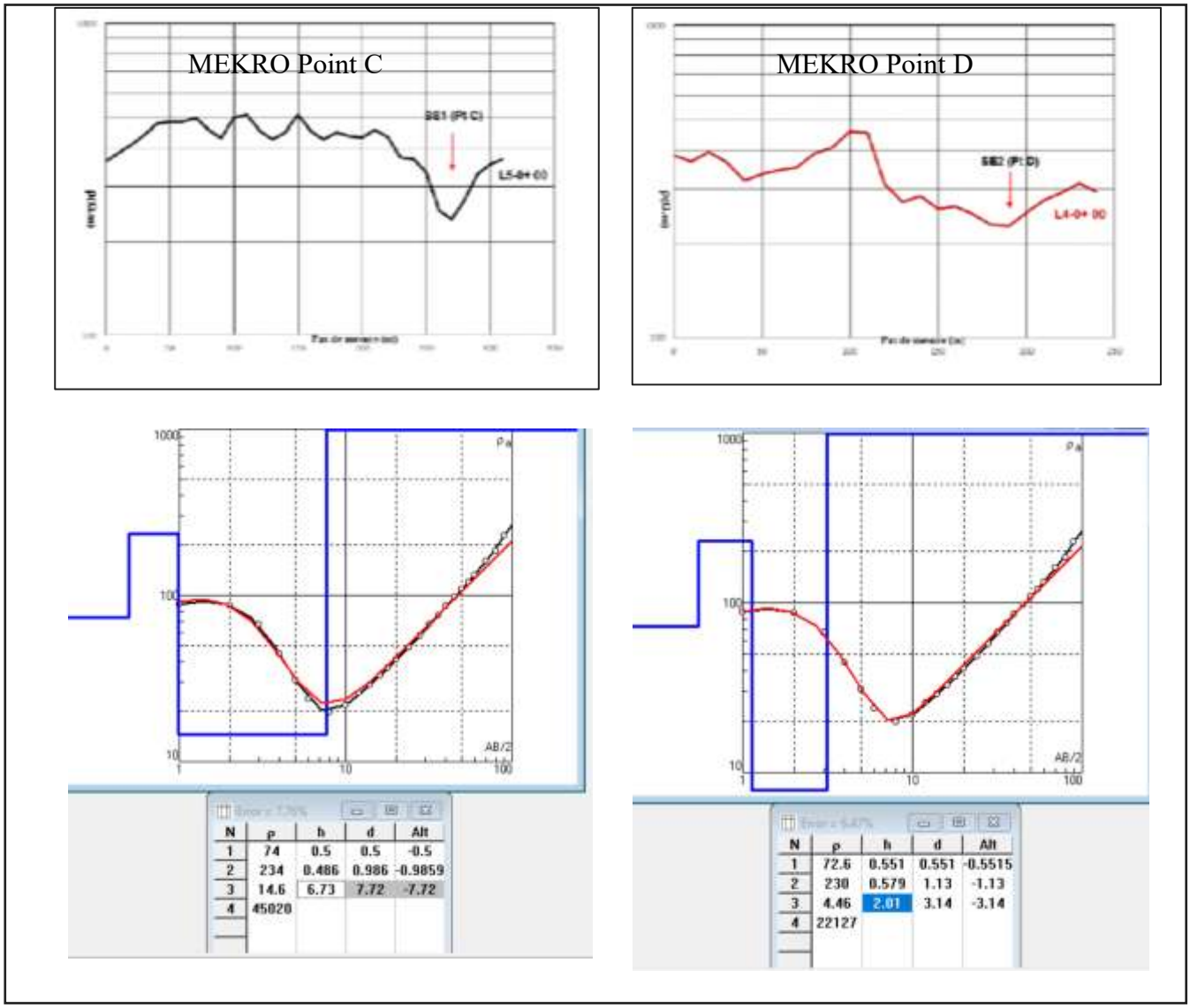


Figure 18: courbe des trainées et sondages réalisés à MEKRO

❖ BENGASSOU

Les sondages réalisés à BENGASSOUS mettent en évidence trois grands ensembles.

Le premier correspond à une zone d'altération superficielle, de faible épaisseur (environ 1 à 3 m), caractérisée par une résistivité moyenne à faible (65 à 76 Ω·m) et généralement saturée en eau. Bien que cette zone puisse contenir de l'eau, elle demeure très vulnérable aux pollutions

de surface et aux variations saisonnières, ce qui limite fortement son intérêt pour une exploitation durable. Elle joue ainsi le rôle d'un aquifère superficiel peu productif.

Le second ensemble est constitué d'une zone de roche saine très résistante, présentant des valeurs de résistivité élevées (898 à 12 600 Ω·m) et une épaisseur parfois importante, pouvant atteindre 20 m. Cette formation se comporte comme une barrière imperméable, limitant la circulation de l'eau souterraine et séparant les horizons conducteurs.

Le troisième ensemble correspond à une zone de socle fracturé, localisée en profondeur et caractérisée par une résistivité modérée à faible (65 à 106 Ω·m). L'eau y est stockée et circule principalement dans les fissures et discontinuités du socle. Cette zone constitue l'aquifère le plus intéressant, car elle est mieux protégée des pollutions de surface et offre un potentiel plus durable que la zone d'altération. Cette configuration est clairement observée à BENGASSOU, où l'on distingue trois arrivées d'eau situées à des profondeurs différentes.

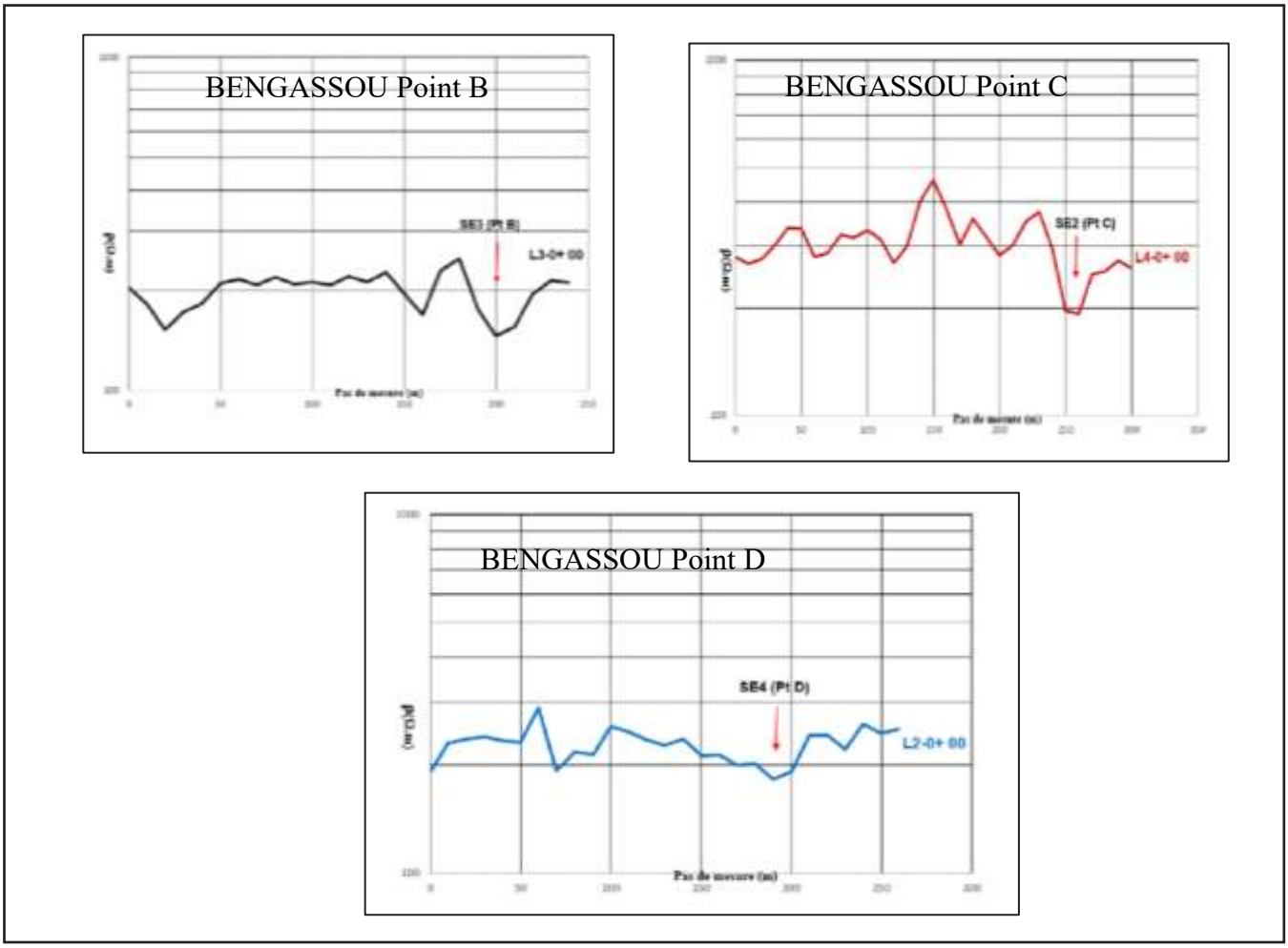
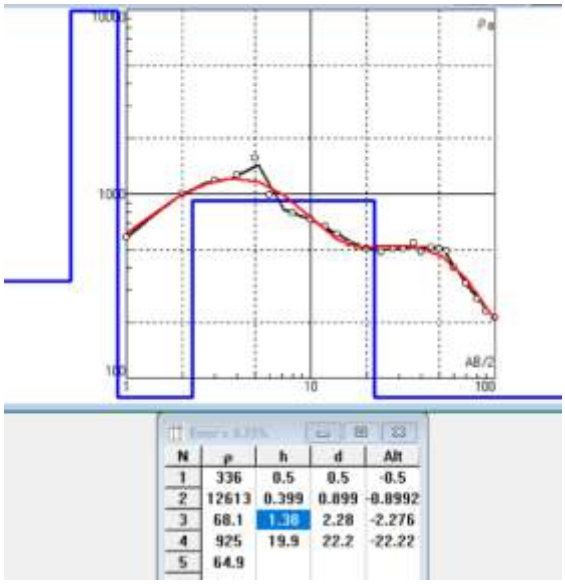


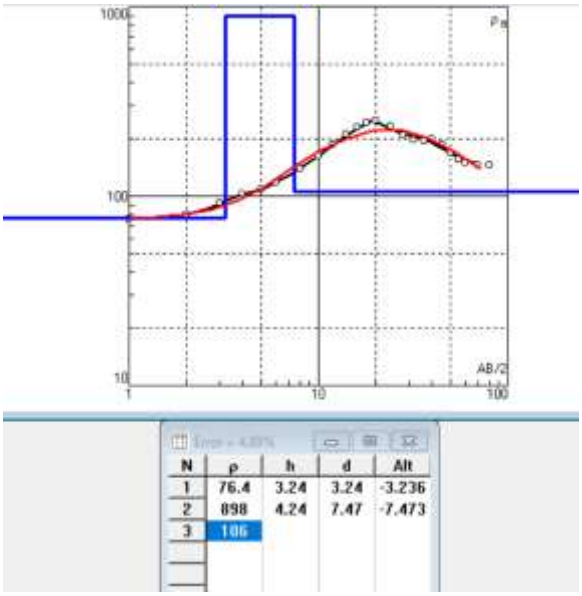
Figure 19 : courbe de trainée de réalisés à BENGASSOU

BENGASSOU Point C



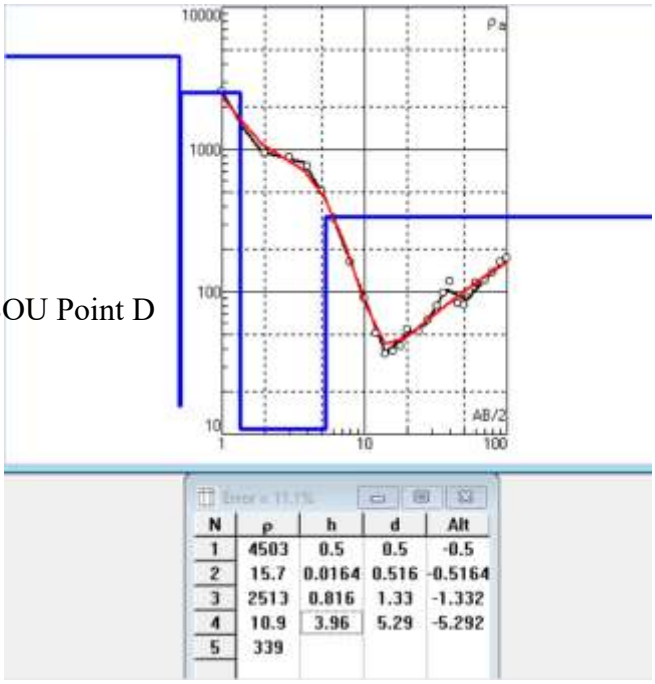
N	ρ	h	d	Alt
1	336	0.5	0.5	-0.5
2	12613	0.399	0.899	-0.8992
3	68.1	1.38	2.28	-2.276
4	925	19.9	22.2	-22.22
5	64.9			

BENGASSOU Point B



N	ρ	h	d	Alt
1	76.4	3.24	3.24	-3.236
2	898	4.24	7.47	-7.473
3	106			

BENGASSOU Point D



N	ρ	h	d	Alt
1	4503	0.5	0.5	-0.5
2	15.7	0.0164	0.516	-0.5164
3	2513	0.816	1.33	-1.332
4	10.9	3.96	5.29	-5.292
5	339			

Figure 20 courbe des trainées et sondages réalisés à MEKRO

- **DJANGOKRO**

Les sondages réalisés à DJANGOKRO mettent en évidence trois grands ensembles.

Le premier correspond à une zone d'altération superficielle, de faible à moyenne épaisseur (environ 3 à 5 m), caractérisée par une très faible résistivité (≈ 4,7 à 10 Ω·m), traduisant une forte saturation en eau. Cette zone constitue un aquifère superficiel, capable de stocker de l'eau, mais restant vulnérable aux pollutions de surface et aux variations saisonnières, ce qui limite son exploitation durable.

Le second ensemble est constitué d'un socle fracturé, rencontré en profondeur et présentant une résistivité faible à modérée (42 à 232 Ω·m), avec une épaisseur importante pouvant atteindre 33 à 55 m. L'eau y circule et s'accumule principalement dans les fissures et discontinuités de la roche. Ce niveau représente le principal réservoir aquifère de la zone, offrant un potentiel plus intéressant et mieux protégé que l'aquifère superficiel.

Le troisième ensemble correspond à un socle sain, caractérisé par une résistivité élevée (541 à 2 456 Ω·m) à une profondeur de 38 à 58 m.

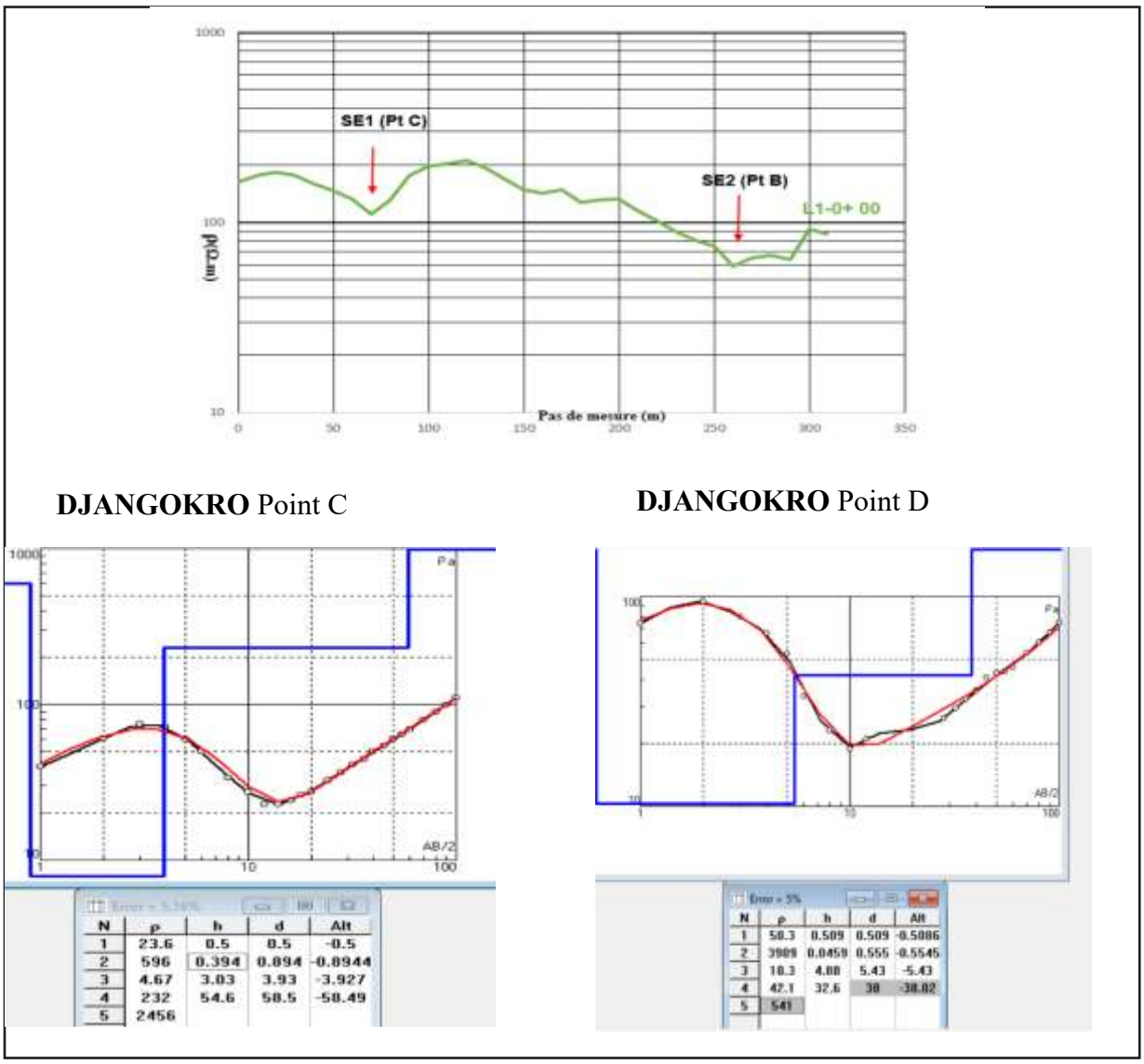


Figure 21 : courbe de trainées et sondages réalisés à DJANGOKRO

VI.3 Variabilité de la production entre les sites

La comparaison des quatre forages montre une forte variabilité de production (tableau 9) :

- **MEKRO-site B** montre le cas d'un aquifère fissuré bien développé, avec plusieurs fractures productives, une forte transmissivité et une épaisseur productive importante. La production y est élevée et l'ouvrage apparaît **pérenne**.
- **BENGASSOU-site_A** illustre un aquifère fissuré profond, avec une bonne épaisseur productive et une transmissivité élevée. La production reste correcte, mais la capacité

de l'aquifère à supporter des pompages intensifs ou prolongés est moins bonne que celle de MEKRO-site B.

- **DJANGOKRO-site A** présente un aquifère fissuré mince, peu transmissif et fragile. La production est faible et la pérennité est instable surtout en période de déficit pluviométrique ou de surpompage.
- **MEKRO-site A** ne développe aucun aquifère exploitable. ce qui confirme que toutes les zones de socle ne sont pas favorables, même si elles se situent dans le même secteur géographique.

Tableau 10 : variabilité de production et cause principale

Site	Productivité (Q, Cs, T)	Cause principale /Pérennité
MEKRO-site B	Élevée (Qexp <20m³/h ; Cs=1,04 m³/h/m ; T=2,63 × 10^{-4} m²/s)	Plusieurs fractures, forte transmissivité, roche granite/ Haute
BENGASSOU-site A	Moyenne (Q <18 m³/h ; Cs=0,89 m³/h/m ; T=01,39 × 10^{-4} m²/s)	Fractures présentes mais moins ouvertes/ Moyenne à bonne
DJANGOKRO-site A	Faible (Q <7 m³/h ; Cs=0,19 m³/h/m ; T=3,92. 10^{5} m²/s)	Aquifère fissuré mince + schiste/ Faible
MEKRO-site A	Nulle (aucune arrivée d'eau, T=0)	Absence de fractures productives, socle massif/ Nulle

VI.4 Résultats de la pondération AHP

L'analyse de la matrice de comparaison par paires a permis de mettre en évidence la cohérence interne des jugements émis lors de l'application de la méthode AHP (tableau 10). Le calcul de l'indice de cohérence (CI=0,37) montre une valeur faible, traduisant une bonne logique interne dans les comparaisons réalisées. Sur la base du CI, le rapport de cohérence (**CR = 2,7 %**) reste largement inférieur au seuil critique de 10 %, ce qui confirme que la matrice est cohérente et que les pondérations obtenues sont fiables.

Les résultats montrent que la **densité de linéaments** constitue le critère le plus dominant avec 41,36%, suivie de la **géologie avec 26 ,93%**, et de la **pente 15,71%**, tandis que l'**occupation**

du sol 10,56% et la **densité de drainage 5,44%** exercent une faible influence. Ces pondérations montrent la contribution respective de chaque facteur au fonctionnement hydrogéologique du socle et serviront de base dans le SIG pour produire la carte de potentiel

Tableau 11 : présente la pondération attribuée à chaque critère utilisé dans l'analyse multicritères pour l'évaluation du potentiel hydrogéologique

Critères	Normalized Principal Eigenvector			Indice de cohérence CI	Rapport de cohérence CR
Géologie			**21,49%**	**0,37**	**2,7%**
Occupation du sol			**7,18%**		
Pente			**14,41%**		
Densité de drainage			**3,64%**		
Densité de linéament			**39,91%**		

VI.5 Résultats de la modélisation

La carte de potentialité hydrogéologique de la région du N'Zi (**figure 21**) met en évidence **quatre niveaux de potentiel**, dont la répartition spatiale montre bien le fonctionnement des aquifères en milieu de socle cristallin qui sont :

- **une zone à potentialité faible couvrant 17,94 % du territoire**

Ces zones sont réparties de façon non continue. Elles correspondent à des secteurs à **fort ruissellement** et **peu fracturés**.

La faible infiltration et l'absence de structures favorables expliquent leur très faible potentiel hydrogéologique. Ces secteurs ne sont pas recommandés pour l'implantation de forages.

- **une zones à potentialité modérée couvrant 38,19 % de la région**

Cette classe dominante regroupe des zones d'altération moyenne, avec des pentes faibles à modérées et des fractures peu nombreuses à nombreuses, parfois ouvertes. Les sols permettent une infiltration partielle. Ces conditions produisent des aquifères typiques du socle cristallin, avec des débits moyens à faibles et une productivité très hétérogène. Les forages sont possibles, mais les résultats peuvent varier.

- **une zones à potentialité favorable couvrant 32,48 % de la région**

Ces secteurs se situent généralement le long des **linéaments majeurs**, dans les **bas-fonds** à proximité des **vallées**, dans des roches modérément à fortement altérées.

La présence de structures fracturées, combinée à une bonne infiltration crée des conditions propices au développement d'aquifères productifs. Ces zones sont prioritaires pour l'implantation de forages.

- **une zones à potentialité très favorable couvrant 11,39 % de la région**

Ces zones restreintes correspondent aux intersections de fractures et aux secteurs fortement déformés, avec une altération épaisse et bien drainée. Elles représentent les cibles hydrogéologiques les plus prometteuses, offrant un fort potentiel de débits élevés, et constituent des sites d'intérêt majeur pour les ouvrages stratégiques.

L'analyse globale montre que la région est dominée par des potentiels m odérés (38,19 %) et favorables(32,48 %) , suivis par les zones faibles (17,94) et très favorables (11,39 % c).

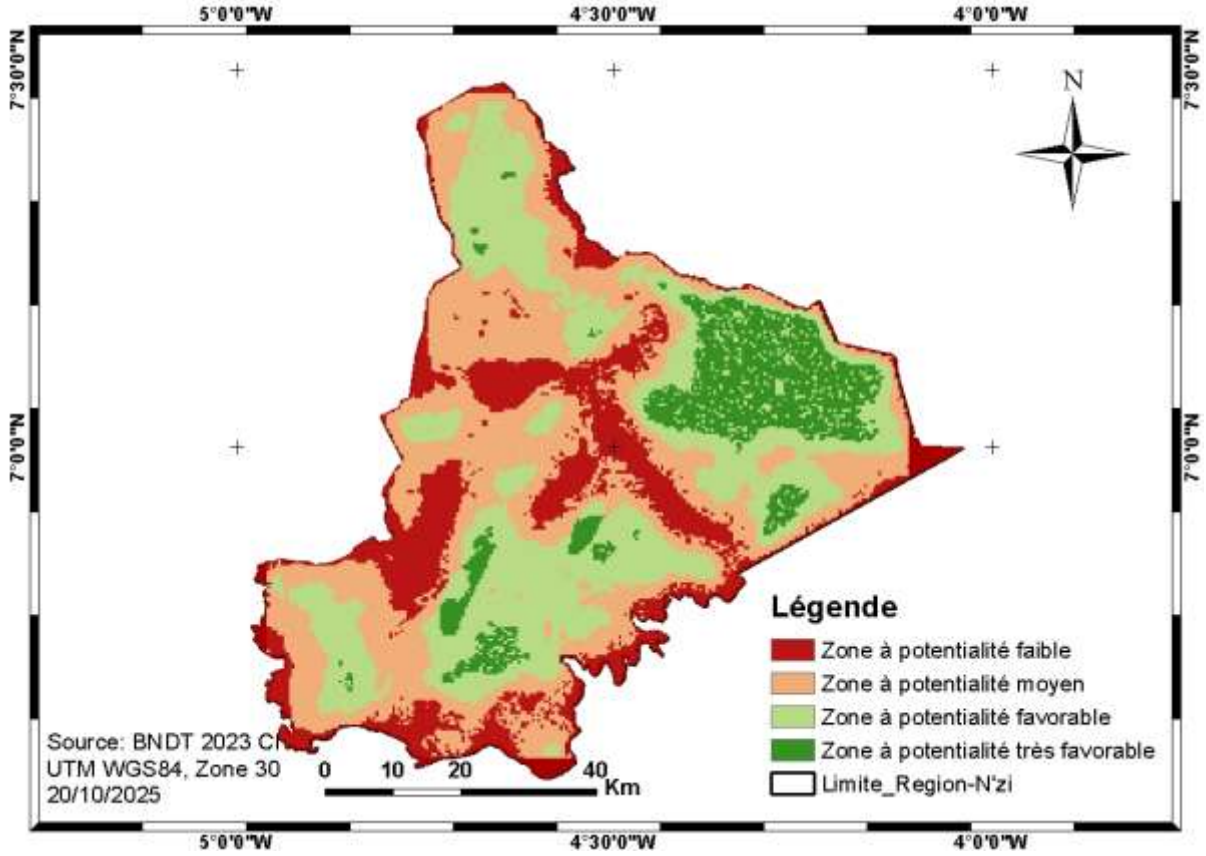


Figure 22 : carte de potentialité de la région du N'ZI

VI.6 Résultats de la validation du potentiel hydrogéologique

La superposition des forages à la carte de potentialité hydrogéologique (figure 22) indique une cohérence générale à l'échelle régionale mais met en évidence des écarts importants entre la classe de potentiel attribuée par le modèle SIG et la productivité réelle des ouvrages.

Les forages de MEKRO-site A, MEKRO-site B et BENGASSOU-site A se situent tous dans des zones classées à potentialité modérée, ce qui correspond à un contexte de socle où l'altération et la fracturation sont présentes mais variables dans leur développement.

Toutefois, la productivité observée diffère fortement d'un forage à l'autre :

- EKRO–site B présente une très bonne productivité, avec un débit d'exploitation de 20 m^3/h et une transmissivité élevée ($T = 2{,}63 \times 10^{-4}$ m^2/s ;
- BENGASSOU–site A présente un débit d'exploitation de 18 m^3/h et une transmissivité élevée ($T = 1{,}39 \times 10^{-4}$ m^2/s)
- .MEKRO A est totalement improductif.

Le forage de DJANGOKRO–site A, bien que situé dans une zone classée favorable, présente une faible productivité ($Q < 7$ m^3/h). Cette performance limitée s'explique par la faible épaisseur productive captée, estimée à environ 9 m, au sein d'une formation schisteuse.

Cela confirme que le passage d'une classe à l'autre dans la carte ne garantit pas nécessairement une amélioration significative de la productivité réelle.

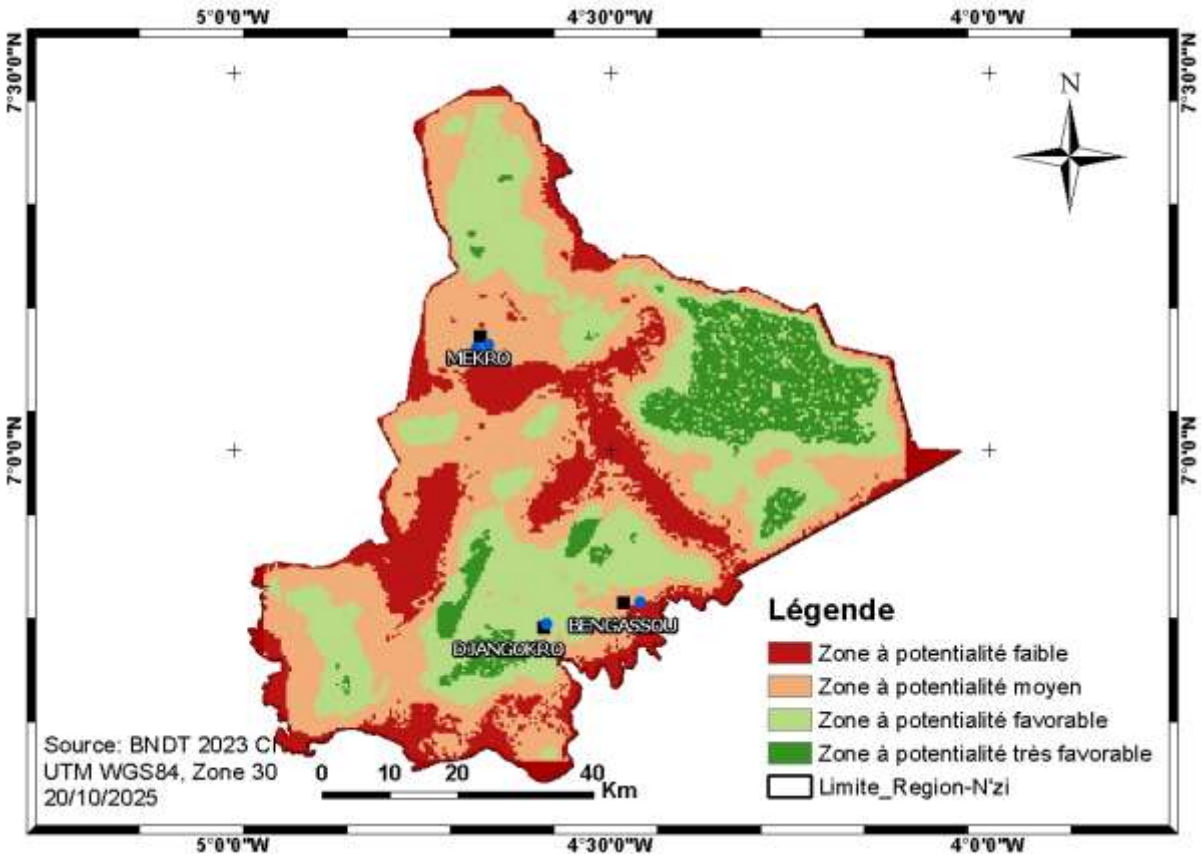


Figure 23 : carte croisée de la potentialité et des forages

VII. DISCUSSION

Les résultats présentés ci-dessus permettent de dégager les principales caractéristiques hydrodynamiques et spatiales des aquifères de la région du N'ZI.

La caractérisation hydrogéologique réalisée dans la région du N'ZI a permis de mettre en évidence le comportement des aquifères de socle aussi bien à travers l'analyse hydrodynamique des forages que par la modélisation spatiale du potentiel via les outils SIG. Les résultats hydrodynamiques de MEKRO-site A, MEKRO-site B, BENGASSOU-site A et DJANGOKRO-site A révèlent une hétérogénéité de productivité.

Cette variabilité reflète la structure des aquifères fissurés du socle, où la productivité dépend de la présence, de l'ouverture et de l'interconnexion des fractures, comme l'ont montré Biémi (1992) en Côte d'Ivoire et Kabré (2012) au Burkina Faso.Les résultats montrent en effet que **MEKRO-site B** constitue l'ouvrage le plus productif grâce à la présence de plusieurs fractures

ouvertes et une forte transmissivité ($T=2{,}63 \times 10^{-4}$ m²/s), confirmant les observations de (Koita et al., 2010) selon lesquelles les zones où les fractures sont multiples et connectées sont les plus susceptibles de produire des débits élevés. À l'inverse, le forage **MEKRO-site A**, implanté dans un granite massif ne recoupe aucune fracture productive, ce qui corrobore l'idée avancée par (Jourda, 1987) que certaines portions du socle demeurent totalement imperméables en l'absence de fissuration exploitable et rejoint les conclusion de **Kabré (2012)** au Burkina Faso, qui souligne que les granites massifs non fracturés présentent une transmissivité quasi nulle et peuvent être considérés comme des aquifères productifs.

Les forages de **BENGASSOU-site A** et **DJANGOKRO-site A** quant à eux, présentent des productivités intermédiaires à faibles. Bengassou capte un aquifère fissuré profond et relativement altéré tandis que DJANGOKRO-site A intercepte un aquifère fissuré mince au sein de roches schisteuses peu transmissives.

Ces résultats confirment les conclusions de (Vouillamoz et al., 2014) sur la forte variabilité verticale et latérale des aquifères du socle où l'épaisseur altérée, la lithologie et l'intensité de la fracturation jouent un rôle déterminant dans la productivité.

La modélisation multicritère AHP réalisée à partir de la densité de linéaments, de la géologie, de la pente, de la géomorphologie, de la pédologie, de l'occupation du sol et de la densité de drainage a produit une carte de potentialité hydrogéologique distinguant quatre classes : faible, modérée, favorable et très favorable. Les pondérations obtenues, dominées par les linéaments (41,36%), la géologie (26,93%) et la pente (15,71 %), confirment les résultats de (Razack & Lasm, 2006), qui identifient les structures fracturées comme les principaux contrôles hydrogéologiques en milieu de socle.

L'analyse croisant les résultats du modèle SIG et les paramètres hydrodynamiques des forages montre une concordance seulement partielle entre les classes de potentialité cartographiées et la productivité réelle des ouvrages. En effet, si les quatre sites se situent globalement dans un contexte modéré caractéristique des aquifères de socle du N'Zi (Koïta, 2010), leurs comportements hydrodynamiques restent fortement contrastés.

Cette variabilité est typique des aquifères fissurés où la productivité dépend principalement de la présence, de l'ouverture et de la connectivité de fractures très localisées (Vouillamoz et al.,

2014). Ces structures, souvent millimétriques à métriques ne peuvent pas être correctement représentées à l'échelle des données spatiales utilisées dans le SIG (résolution 30 à 90 m).
Ainsi, **MEKRO-site B**, classé en zone modérée, présente pourtant une transmissivité élevée, traduisant l'interception d'une fracture ouverte très transmissive. À l'inverse, **MEKRO-site A**, implanté dans une zone similaire est totalement improductif en raison de l'absence de fractures actives. **BENGASSOU-site A** présente une productivité intermédiaire cohérente avec son classement, tandis que **DJANGOKRO-site A**, situé en zone favorable, montre néanmoins une transmissivité faible, conséquence d'une fracturation peu ouverte et d'une épaisseur productrice capté faible.

En définitive, cette étude confirme que les aquifères de socle de la région du N'Zi sont caractérisés par une forte hétérogénéité, contrôlée principalement par la dynamique de fracturation et le degré d'altération. La carte de potentialité reflète correctement les grandes tendances structurantes du territoire, tandis que les résultats hydrodynamiques apportent des informations fines indispensables à l'évaluation de la productivité réelle des ouvrages. L'intégration de ces deux approches constitue un cadre méthodologique robuste pour appuyer le programme « Eaux pour tous » et optimiser la localisation future des forages dans la région. Cependant le modèle doit donc être interprété comme un outil d'aide à la décision à l'échelle régionale, et non comme un outil de prédiction directe des performances des forages.

VIII. CONCLUSION

Cette étude met en évidence les enjeux majeurs liés à l'accès durable à l'eau souterraine dans un contexte marqué par de fortes disparités entre les aquifères. L'approche méthodologique adoptée, fondée sur une caractérisation hydrogéologique et spatiale, combinée à une validation croisée, a permis une analyse intégrée et cohérente du fonctionnement des systèmes aquifères.

Les résultats obtenus révèlent l'existence de quatre types d'aquifères et de quatre zones de potentialité hydrogéologique, traduisant une hétérogénéité notable des conditions de stockage et de circulation des eaux souterraines. Toutefois, la validation croisée n'a pas mis en évidence de correspondance systématique entre les types d'aquifères et les zones de potentialité, soulignant ainsi la complexité des systèmes hydrogéologiques et l'influence conjointe de facteurs structuraux, lithologiques et hydrodynamiques.

Dans ce contexte, le modèle développé doit être interprété comme un outil d'aide à la décision à l'échelle régionale, permettant d'orienter les choix d'implantation des forages, plutôt que comme un outil de prédiction directe et ponctuelle des performances des ouvrages.

IX. RECOMMANDATIONS

Au regard des résultats obtenus et des limites mises en évidence, les recommandations suivantes sont formulées afin d'optimiser la gestion des ressources en eau souterraine dans la région du N'Zi.

- Augmenter le nombre de forages de référence et multiplier les points d'observation permettrait de mieux couvrir la variabilité spatiale et d'obtenir une cartographie plus représentative ;
- Améliorer la précision des données SIG, recourir à des images satellitaires à haute résolution et à des levés géophysiques locales pour affiner la détection des linéaments et des zones d'altération.
- Développer des modèles prédictifs, utiliser des approches statistiques pour anticiper la productivité des forages en fonction des critères géologiques et géomorphologiques.
- Faire les analyses chimiques des eaux des différents forages pour établir les caractérisations chimiques.
- Regrouper dans un SIG unique les données géophysiques, forages existants, essais de pompage, géologie et topographie pour améliorer et faciliter la caractérisation des aquifères captés lors des forages.

X. PERSPECTIVES

Les résultats obtenus ouvrent la voie à de nouvelles recherches et actions visant à approfondir la connaissance des aquifères de socle et optimiser la planification des forages :

- Suivre l'évolution des débits et niveaux piézométriques sur plusieurs saisons pour intégrer la recharge et la variabilité climatique ;
- Compléter la caractérisation par des analyses chimiques et isotopiques pour mieux comprendre les circulations souterraines et le renouvellement des eaux ;
- Analyser comment la variabilité des précipitations affecte la recharge et la durabilité des aquifères ;
- Appliquer la même méthodologie dans d'autres régions de socle en Côte d'Ivoire pour établir une typologie nationale des aquifères.

BIBLIOGRAPHIE

BAD, A. D. (2024, décembre 10). PPM - Côte d'Ivoire—Projet de Renforcement des Moyens de subsistance des Petits Exploitants et des Femmes dans la Région du N'Zi (simplifié)—PREMOPEF [Text]. African Development Bank Group. Banque africaine de développement. https://www.afdb.org/fr/documents/ppm-cote-divoire-projet-de-renforcement-des-moyens-de-subsistance-des-petits-exploitants-et-des-femmes-dans-la-region-du-nzi-simplifie-premopef

Chowdhury, A., Jha, M. K., Chowdary, V. M., & Mal, B. C. (2009). Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India. International Journal of Remote Sensing, 30(1), 231-250. https://doi.org/10.1080/01431160802270131

Cooper, H. H., & Jacob, C. E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. Eos, Transactions American Geophysical Union, 27(4), 526-534. https://doi.org/10.1029/TR027i004p00526

Dewandel, B., Lachassagne, P., Wyns, R., 2006. Functioning and development of hard-rock aquifers in tropical regions. Journal of Hydrology. - Recherche Google. (s. d.). Consulté 7 décembre 2025, à l'adresse https://www.google.com/search?q=Dewandel%2C+B.%2C+Lachassagne%2C+P.%2C+Wyns%2C+R.%2C+2006.+Functioning+and+development+of+hard-rock+aquifers+in+tropical+regions.+Journal+of+Hydrology.&

Driscoll, F. G. (1995). Groundwater and wells : A comprehensive study of groundwater and the technologies used to locate, extract, treat, and protect this resource (2. ed., 6. print). Johnson Screens.

Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). Groundwater. Prentice-Hall.

Jourda, J. P. (1987). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région du grand Abidjan (Côte d'Ivoire) [Theses, Université Scientifique et Médicale de Grenoble]. https://theses.hal.science/tel-00785527

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(5), 805-820. https://doi.org/10.1080/02626667.2010.489749

KOUAMELAN, A.-N. (s. d.). Kouamelan (1996),—Recherche Google.

Krishnamurthy, J., & Srinivas, G. (1995). Role of geological and geomorphological factors in ground water exploration : A study using IRS LISS data. International Journal of Remote Sensing, 16(14), 2595-2618. https://doi.org/10.1080/01431169508954579

Magesh, N. S., Jitheshlal, K. V., Chandrasekar, N., & Jini, K. V. (2013). Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha river basin, Kerala, India. Applied Water Science, 3(2), 467-477. https://doi.org/10.1007/s13201-013-0095-0

Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. Wiley.

Nag, S. (1998). Morphometric analysis using remote sensing techniques in the chaka sub-basin, purulia district, West Bengal. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 26(1), 69-76. https://doi.org/10.1007/BF03007341

Nahon, D. (avec Internet Archive). (1991). Introduction to the petrology of soils and chemical weathering. New York : Wiley. http://archive.org/details/introductiontope0000naho

Razack, M., & Lasm, T. (2006). Geostatistical estimation of the transmissivity in a highly

fractured metamorphic and crystalline aquifer (Man-Danane Region, Western Ivory Coast). Journal of Hydrology, 325(1-4), 164-178. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.10.014

RGPH-2021. (s. d.). RGPH-2021. Consulté 7 décembre 2025, à l'adresse https://www.google.com/search?q=RGPH-2021&oq=RGPH-202

Saaty, T. L. (1988). Multicriteria decision making : The analytic hierarchy process ; planning, priority setting, resource allocation (2. ed., with new material added). McGraw-Hill.

Saha, S., Moorthi, S., Pan, H.-L., Wu, X., Wang, Jiande, Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, Jun, Hou, Y.-T., Chuang, H., Juang, H.-M. H., Sela, J., … Goldberg, M. (2010). The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 91(8), 1015-1058. https://doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1

Theis, C. V. (1935). The relation between the lowering of the Piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. Eos, Transactions American Geophysical Union, 16(2), 519-524. https://doi.org/10.1029/TR016i002p00519

Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). Groundwater hydrology (3. ed., international ed). Wiley.

Vidal, M., Gumiaux, C., Cagnard, F., Pouclet, A., Ouattara, G., & Pichon, M. (2009). Evolution of a Paleoproterozoic "weak type" orogeny in the West African Craton (Ivory Coast). Tectonophysics, 477(3-4), 145-159. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.010

Vouillamoz, J. M., Lawson, F. M. A., Yalo, N., & Descloitres, M. (2014). The use of magnetic resonance sounding for quantifying specific yield and transmissivity in hard rock aquifers : The example of Benin. Journal of Applied Geophysics, 107, 16-24.

https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.05.012

Yao, J. (2021) Fonctionnement hydrodynamique des aquifères fissuré du département de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Mémoire Daloa, Côte d'Ivoire Maître de l'Uni-versit Jean Lorougnon Guede. - Références—Publication de recherche scientifique. (s. d.). Consulté 9 décembre 2025, à l'adresse https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=4032824

ANNEXES

Annexe 1 : Tableau de valeur de Saaty pour établir la matrice de comparaison des critère

Valeur de Saaty	*Interprétation*	*Description*
1	Importance égale	Les deux critères contribuent de manière identique à l'objectif.
2	Importance faible à modérée	L'expérience favorise légèrement un critère par rapport à l'autre.
3	Importance modérée	L'un des critères est modérément plus important.
4	Importance modérée à forte	Importance intermédiaire entre 3 et 5.
5	Importance forte	L'un des critères est nettement plus important.
6	Importance forte à très forte	Importance intermédiaire entre 5 et 7.
7	Importance très forte	L'un des critères domine très fortement l'autre.
8	Importance très forte à extrême	Importance intermédiaire entre 7 et 9.
9	Importance extrême	L'un des critères est absolument plus important que l'autre.
1/2, 1/3, 1/5, etc.	Importance inverse	Utilisé lorsque le critère de la colonne est plus important que celui de la ligne.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES ..... ***i***

REMERCIEMENTS ..... ***ii***

RESUME ..... ***iii***

ABSTRACT ..... ***iv***

LISTE DES ABREVIATIONS ..... ***v***

Sommaire ..... ***vii***

LISTE DES TABLEAUX ..... ***viii***

LISTE DES FIGURES ..... ***ix***

I. INTRODUCTION ***1***

II. REVUE LITTERAIRE ***2***

II.1 Contexte des aquifères de socle **2**

II.2 Paramètres hydrodynamiques et essais de pompage ..... Erreur ! Signet non défini.

II.3 Apport du SIG et rôle des linéaments **3**

II.4 Analyse multicritère et méthode Analytic Hierarchy Process AHP **4**

II.5 Limites des études antérieures et justification de la présente étude **4**

III. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ..... *Erreur ! Signet non défini.*

IV. PRESENTATION DU PROJET ***5***

IV.1 Contexte du travail 5

IV.2 Pertinence du sujet du travail 6

IV.3 Identification et formulation du problème d'étude 6

V. OBJECTIF GENERAL, OBJECTIFS SPECIFIQUES ET HYPOTHESE DU TRAVAIL ***6***

VI. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ***7***

V.I.1 Situation géographique et administrative 7

V.I.2 Situation demographique ..... **Erreur ! Signet non défini.**

V.I.3 Activités humaines ..... **Erreur ! Signet non défini.**

V.I.4 Réseau hydrographique 8

V.I.5 Cadre géologique 9

V.I.6 Climat, pluviométrie et température 11
V.I.7 Relief et végétation 12

VII. LOGICIELS ET METHODES ***12***

V.II.1 Logiciels de l'étude **12**
V.II.2 Méthodologie de l'étude **13**
V.II.3 Recherche documentaire..... Erreur ! Signet non défini.
V.II.4 Données utilisées **13**
V.II.5 CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE BASEE SUR LES FORAGES .. **21**
V.II.6 Caractérisation spatiale du potentiel hydrogéologique sous SIG..... **30**

VIII. RESULTATS ET DISCUSSION ***40***

VIII.1 . RESULTAT DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES **40**
VIII.2 Résultats des sondages..... **42**
VIII.3 . VARIABILITE DE LA PRODUCTION ENTRE LES SITES **48**
VIII.4 . RESULTAT PONDERATION AHP **49**
VIII.5 Résultat de la modélisation **50**
VIII.6 . Résultats de la validation **52**

IX. DISCUSSION..... ***53***

X. CONCLUSION..... ***56***

XI. RECOMMANDATIONS..... ***57***

BIBLIOGRAPHIE ***59***

ANNEXES ***63***