UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=======

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

=======

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation réalisé par

MOUSSA-BAA B. Abdel Afiz

Pour l'obtention du diplôme de

Licence Professionnelle en Hydrologie

OPTION : GEOHYDROLOGIE

==========

CONTRIBUTION DE L'ANALYSE DES MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN A L'IMPLANTATION DE FORAGE DANS LA COMMUNE DE DASSA-ZOUME

==========

Maître de Mémoire

Dr LAWSON Fabrice

Hydrogéophysicien à l'INE

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

Année académique : 2019-2020

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=======

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

=======

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation

Pour l'obtention du diplôme de

Licence Professionnelle en Hydrologie

OPTION : GEOHYDROLOGIE

==========

CONTRIBUTION DE L'ANALYSE DES MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN A L'IMPLANTATION DE FORAGE DANS LA COMMUNE DE DASSA-ZOUME

==========

Présenté par :

MOUSSA-BAA B. Abdel Afiz

Mention : Très bien

Jury :

Président : Prof Nicaise YALO

Membre de Jury : Dr LAWSON Fabrice

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

Année académique : 2019-2020

Dédicace

Je dédie ce travail à ma mère HOUNKANRIN Elisabeth épouse MOUSSA-BAA pour tout l'amour dont elle ne cesse de m'entourer et son soutien tout au long de mes études.

In memorium

A la mémoire de Mon Défunt Père, Feu MOUSSA-BAA Idrissou

Que ton âme repose en paix !!!

Remerciements

J'exprime ma profonde gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin, n'ont ménagé aucun effort pour m'assister dans la réalisation de ce travail. Je remercie Dieu Tout Puissant pour sa protection, son amour incommensurable envers ma personne et l'assistance qu'il m'a portée tout le long de la rédaction de ce document.

J'adresse de façon particulière mes sincères remerciements :

- A mon maître de mémoire, le Docteur LAWSON Fabrice pour sa disponibilité, son encadrement et pour toutes ses explications tout le long de ce travail malgré ses multiples occupations ;
- Au Professeur ALASSANE Abdoukarim, le Chef du Département d'Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau (HGRE) pour sa disponibilité malgré ses multiples occupations. Sa rigueur au travail et ses conseils ont été d'une grande utilité pour nous. Que Dieu le Tout-Puissant vous bénisse ;
- A monsieur Martin KPOMASSE, Directeur des Normes, de l'Appui Technique et de la veille Technologique (D/NATT) qui nous a livré sans aucune condition les données existantes pouvant nous servir à atteindre les objectifs fixés pour le présent travail ;
- A mon ainé ABALLO Christian, qui ne ménage aucun effort pour nous aider.
- A tout le personnel administratif, technique et le corps enseignant de l'Institut National de l'Eau et spécialement celui intervenant au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée. Nous vous remercions pour les nombreux efforts que vous faites pour que notre formation soit de qualité et pour vos sages conseils. Puisse Dieu vous accompagner dans chacun de vos projets
- Tous les responsables de la Formation Professionnelle en Hydrologie à l'INE ; professeur Abel AFOUDA, professeur Moussa BOUKARI et professeur Daouda MAMA qui n'ont ménagé aucun effort pour faire de la formation en hydrologie une formation de référence dans le domaine de l'eau au Bénin et en Afrique de l'Ouest
- Tout le corps professoral de l'INE, le personnel spécialement celui du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) pour ses conseils et son encadrement ;
- A ma famille, mes parents, mes frères, mes cousins et cousines pour tout leur soutien de quelque ordre. Que Dieu vous bénisse.
- A tous mes camarades avec lesquels j'ai passé ces trois années de formation ;
- A tous les Honorables membres du Jury qui apprécieront ce modeste travail.

Résume

La commune de Dassa-Zoumé située au centre du Bénin en domaine de socle cristallin est caractérisée par un problème d'approvisionnement en eau potable. En effet, du fait de la complexité de son système aquifère et malgré les études d'implantation préalable, 40 % des forages d'eau sont considérés négatifs. Cette étude vise à améliorer les connaissances pour faciliter l'implantation des forages afin d'améliorer le taux de succès des forages. Pour cela, une identification des linéaments à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et une analyse statistique des forages sont réalisées. L'analyse statistique a consisté à montrer les relations entre la fréquence de réalisation des forages, le taux de succès des forages et la distance aux linéaments puis à évaluer l'intérêt de cibler l'épaisseur d'altération. Les différentes techniques de traitement du MNT ont permis d'identifier 122 linéaments existants dans la zone d'étude. Ces linéaments présentent deux directions préférentielles qui coïncident avec les failles géologiques relevées sur la feuille géologique d'Abomey-Zagnanado. Il s'agit des directions N-S et NE-SW. Les résultats issus des analyses statistiques révèlent que l'implantation des forages est réalisée suite à une étude linéamentaire de manière à ce que les forages soient à proximité des linéaments (181 sur 534 forages sont situés à moins de 500 m des linéaments). De plus, on note une absence de relation entre la distance au linéament et le taux de succès des forages. C'est-à-dire 35 % des forages à moins de 150 m sont négatifs. Nous avons également constaté que plus l'épaisseur d'altération est importante, plus le taux de succès est élevé (plus de 50 % de taux de succès avec des forages ayant une épaisseur d'altération comprise entre 15 et 35 m).

Mots clés : Dassa-Zoumé, Epaisseur d'altération, Linéaments, Modèle Numérique de Terrain (MNT), Taux de succès des forages

Abstract

The township of Dassa-Zoumé situated in the center of Benin in crystalline pedestal domain is characterized by a problem of provision in drinking water. Indeed, because of the complexity of its aquiferous system and in spite of the studies of previous implantation, 40% of the water boreholes are considered negative. This survey aims to improve the knowledge to facilitate the implantation of the boreholes in order to improve the rate of success of the boreholes. For it, an identification of the lineaments from a Numeric Model of Land (MNT) and a statistical analysis of the boreholes is achieved. The statistical analysis consisted in showing the relations then between the frequency of realization of the boreholes, the rate of success of the boreholes and the distance to the lineaments to value the interest to target the thickness of change.

The different techniques of treatment of the MNT permitted to identify 122 existing lineaments in the zone of survey. These lineaments present two preferential directions that coincide with the geological lineaments raised on the geological leaf of Abomey-Zagnanado. It is about the N-S directions and NW-SE. The results descended of the statistical analyses reveal that the implantation of the boreholes is achieved following a linear survey so that the boreholes are close to the lineaments (181 on 534 boreholes are situated unless 500 m of the lineaments). Besides one notes an absence of relation between the distance to the lineament and the rate of success of the boreholes. That is 35% boreholes to less than 150 m are negative. We also noted that more the thickness of change is important, more the rate of success is raised (more of 50% of rate of success with boreholes having an included change thickness between 15 and 35 m).

Key words: Dassa-Zoumé, Thickness of change, lineaments, Numeric Model of Land (MNT), Rate of success boreholes.

Liste des figures

Figure 1: Carte de la localisation de la commune de Dassa-Zoumé 4
Figure 2: Diagramme ombrothermique Moyenne mensuelle (1988-2016) des précipitations (mm) à Dassa-Zoumé, (Source : ASECNA, Station de Savè) **;** Variation des valeurs moyennes mensuelles de la température dans la commune de Dassa-Zoumé de 1998-2016 (Source : ASECNA, Station de Savè) 6
Figure 3: Carte géomorphologique de la commune de Dassa-Zoumé 7
Figure 4: Carte pédologique de la commune de Dassa-Zoumé (Azonwadé, 2013) 8
Figure 5 : Carte hydrographique de la commune de Dassa-Zoumé 9
Figure 6: Carte géologique de la commune de Dassa-Zoumé 10
Figure 7: Modèle conceptuel hydrogéologique de la zone de socle en milieu tropical (Allé 2019) 15
Figure 8: Image MNT traitée sur laquelle les linéaments sont numérisés 28
Figure 9: Carte des linéaments majeurs de la zone d'étude 29
Figure 10: Rosace directionnelle (longueurs) des linéaments issus de MNT (a) et la rosace directionnelle (longueurs) des failles géologiques (b) 30
Figure 11 : Rosace directionnelle (orientations) des linéaments issus de MNT (a) et la rosace directionnelle (orientations) des failles géologiques (b) 31
Figure 12 : Carte des linéaments MNT couplés aux failles géologiques 32
Figure 13: Fréquence de réalisation des forages vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance) 33
Figure 14: Carte des linéaments MNT couplée aux forages 33
Figure 15: Taux de succès vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance) 34
Figure 16: Carte des linéaments MNT couplée aux forages de la zone d'étude 35
Figure 17: Epaisseur d'altération vs taux de succès (forages positifs), (la valeur est le nombre de forage par classe de distance) 36
Figure 18: Transmissivité vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance) 36
Figure 19: Fréquence de réalisation des forages vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance) 37
Figure 20: Carte des failles géologiques couplée aux forages de la zone d'étude 38
Figure 21: Taux de succès vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance) 39
Figure 22: Carte des failles géologiques couplée aux forages 39
Figure 23: Transmissivité vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance) 40

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des ombrages réalisés 21
Tableau 2: Statistiques de base des linéaments MNT et des failles géologiques 30

Définitions des sigles et abréviations

ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne
CIEH	Comité Interafricain d'Etude Hydrauliques
DG-Eau	Direction Générale de l'Eau
EpA	Epaisseur d'altération
GRIBA	Ground Water Ressources In Basement rocks of Africa
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitation
GPS	Global Positioning System
ING	L'Institut Géographique National
LHA	Laboratoire d'Hydrologie Appliquée
MNT	Model Numérique de Terrain
NP	Niveau Piézométrique
NS	Niveau Statique
PDC	Plan de Développement Commune
SONEB	Société Nationale des Eaux du Bénin
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
T	Transmissivité
USGS	United States Geological Survey

Sommaire

Dédicace ii
In memorium iv
Remerciements v
Résume vi
Abstract vii
Liste des figures viii
Liste des tableaux ix
Définitions des sigles et abréviations x
Sommaire xi
Introduction générale 1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE 3
CHAPITRE II : DEMARCHE METHODOLOGIQUE 18
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION 27
Conclusion 43
Perspectives 44
Références bibliographiques 45
Annexes 48
Table des matières 51

Introduction générale

L'eau encore appelée « or bleu » est une ressource vitale aux êtres vivants en général et à l'homme en particulier. La totalité de l'eau sur terre représente un volume d'environ 1.4 milliard de km3, disponible sous forme de liquide, solide, ou de gaz (ORE, 2016). L'eau recouvre 72 % de la surface de la Terre. Mais seulement 2,5 % de la totalité de l'eau sur terre est douce, les 97,5 % restants sont constituées d'eau salée (océans et mers). (Mc Candless, 2014).

En effet, en Afrique, l'alimentation en eau potable de la population rurale provient des eaux souterraines. Les eaux contenues dans le socle en particulier sont exploitées par des milliers de forages et de puits. En réalité, le territoire béninois est constitué à 80 % de socle et on enregistre dans cette zone, un taux élevé d'échec sur les forages (Allé, 2019). Selon les travaux de (Boukari 1982), la région de Dassa-Zoumé, célèbre au Bénin pour ses problèmes en eau ne fait pas exception à cette situation. Malgré la volonté des dirigeants de satisfaire la demande en eau, ces nombreux cas d'échecs ralentissent l'atteinte de leurs objectifs et touchent l'économie.

Dans le but d'améliorer le taux de réussite des forages dans ce milieu, il est important de connaitre les zones les plus productives des aquifères exploités dans le complexe. En effet, la réalisation d'un forage en zone de socle, exige au préalable une étude d'implantation. L'étude d'implantation permettra de définir les sites favorables pour la réalisation des forages. Il est important de réaliser des études avant l'implantation des forages en raison du caractère discontinu des aquifères de socle qui ne garantit pas la réussite d'un forage n'importe où. La recherche en eau souterraine et l'implantation de forages productifs dans les aquifères de socle nécessite la connaissance d'un grand nombre d'informations (géo-scientifiques multidisciplinaires, multi-sources et souvent multi-formats) grâce aux données de modèles numériques terrain (MNT). Cette prospection est basée sur la localisation des fractures notamment sur l'identification des linéaments considérés comme étant la « signature » en surface de ces fractures tectoniques profondes.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail intitulé : « **Contribution de l'analyse des modèles numériques de terrain à l'implantation de forage dans la commune de Dassa-Zoumé** ».

L'objectif général du présent travail est d'évaluer l'apport de l'analyse des modèles numériques de terrain dans la méthodologie d'implantation de forage pour le captage des eaux souterraines dans la commune de Dassa-Zoumé.

Les objectifs spécifiques sont :

- Identifier les linéaments existants dans la commune de Dassa-Zoumé à partir de l'analyse des Modèles Numériques de Terrain ;
- Comparer les paramètres des forages existants dans la commune de Dassa-Zoumé au positionnement des linéaments identifiés ;
- Evaluer l'intérêt de cibler l'épaisseur d'altération pour l'implantation des forages dans la commune de Dassa-Zoumé.

Les hypothèses qui découlent des objectifs spécifiques sont :

- Les linéaments rencontrés dans la commune de Dassa-Zoumé sont des signes de présence de fractures pouvant alimenter les forages.
- Les sites présentant des épaisseurs d'altérations importantes sont plus susceptibles de fournir des forages positifs.

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude ;
- Le second chapitre présente le matériel et les données utilisées ;
- Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et interprétations.

CHAPITRE I : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

1. Présentation du milieu d'étude

1.1. Localisation de la zone d'étude

D'une superficie de 1711 km^2, la commune de Dassa-Zoumé est située au sud du département des Collines et comptée parmi les six (06) communes qui composent ce département. Avec une population de 93967 habitants selon le troisième recensement général de la population de 2002, elle est passée à 112122 habitants en 2013 (RGPH4). La commune de Dassa-Zoumé est limitée au Nord par la commune de Glazoué, au Sud par les communes de Zagnanado et Djidja, à l'Est par les communes de Savè et de Kétou, à l'Ouest par la commune de Savalou (Capo-chichi, 2018). Elle est composée de dix (10) arrondissements que sont : Akoffodjoulé, Dassa I, Dassa II, Gbaffo, Kèrè, Kpingnin, Lèma, Paouignan, Soclogbo et Tré. La ville de Dassa, chef-lieu de la commune, est distante de 203Km de Cotonou et de 210 Km de Parakou. Ces arrondissements sont à leur tour subdivisés en 93 villages administratifs. Le milieu est principalement peuplé par les ethnies Idaatcha et Mahi auxquelles il faut ajouter les Fon, les Peulh, les Yoruba et les Yom-Lokpa. Les religions pratiquées sont : le christianisme (65,2% de la population), les religions traditionnelles (20,5%) et l'islam (5,2%) (PDC Dassa-Zoumè 2018).

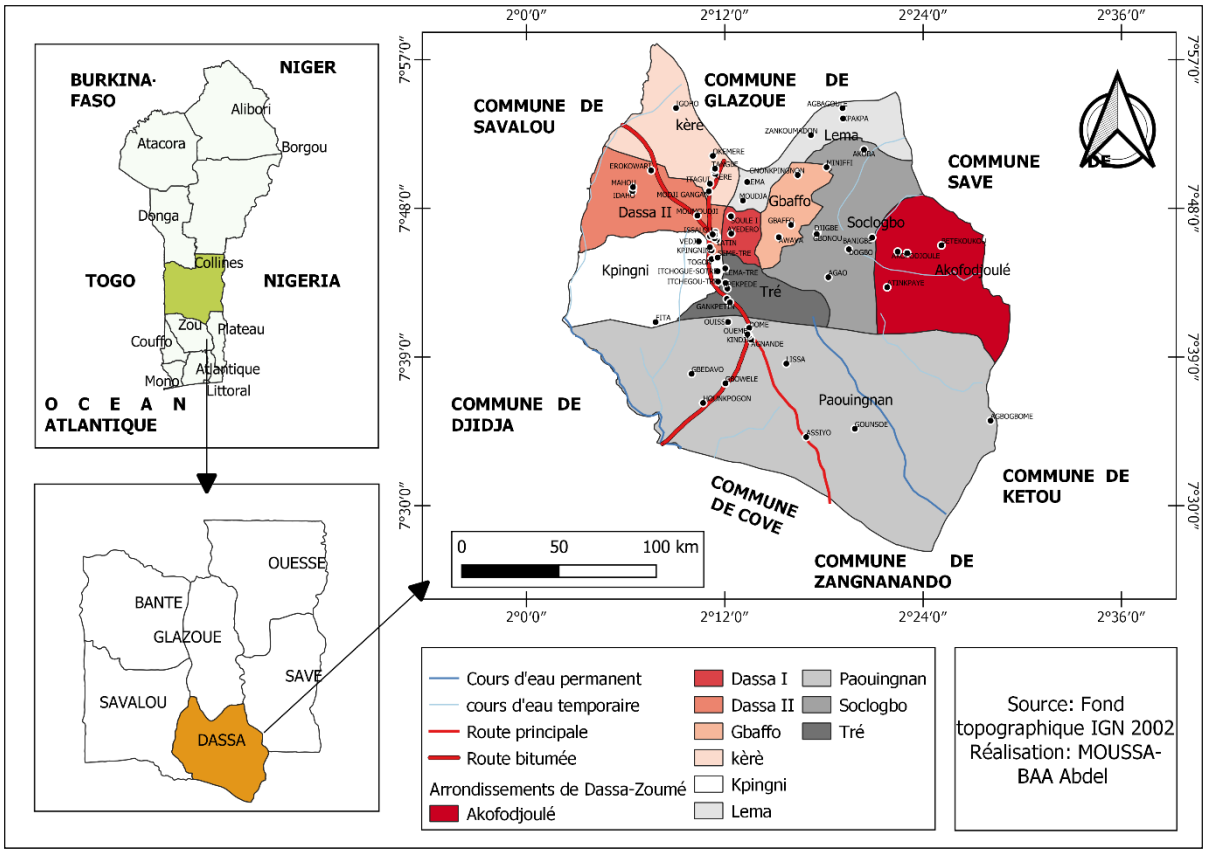


Figure 1: Carte de la localisation de la commune de Dassa-Zoumé

1. Contextes hydro-climatique de la zone

1.2.1. Pluviométrie

Le territoire béninois est assez bien arrosé par les pluies dont l'importance varie d'un secteur à un autre en fonction de la situation géographique et du relief. Les hauteurs annuelles de précipitations oscillent entre 755 et 1500 mm et se répartissent en moyenne sur 80 et 110 jours. Pour cet aperçu climatique, nous avons donc eu recours aux données de la station synoptique de Savè, située à environ 40 km au Nord-Est de la commune et dont le champ d'action couvre toute notre zone d'étude. La figure 2 présente l'évolution des hauteurs moyennes mensuelles de pluie à Dassa-Zoumé de 1988 à 2017.

Les précipitations suivent un régime à deux saisons dans l'année. La période d'Avril à Octobre enregistre les fortes précipitations (période de grande saison pluvieuse), avec une baisse sensible au mois d'Août marquant le passage d'une petite saison sèche, très peu marquée. La période de Novembre à Mars enregistre les faibles précipitations. La répartition des pluies est assez régulière avec un maximum enregistré généralement en Septembre. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1068 mm dans notre zone d'étude.

1.2.2. Température

Les températures se situent entre 25,5 à 30,6°C avec une moyenne annuelle de 28,1°C (figure 2). Les variations de température sont relativement élevées (environ 5°C). Les températures extrêmes montent parfois jusqu'à 30,6°C. La période froide va de juin à octobre avec un minimal au mois d'août, alors que la période la plus chaude se situe entre les mois de février et Mars. (Odjrado 2017).

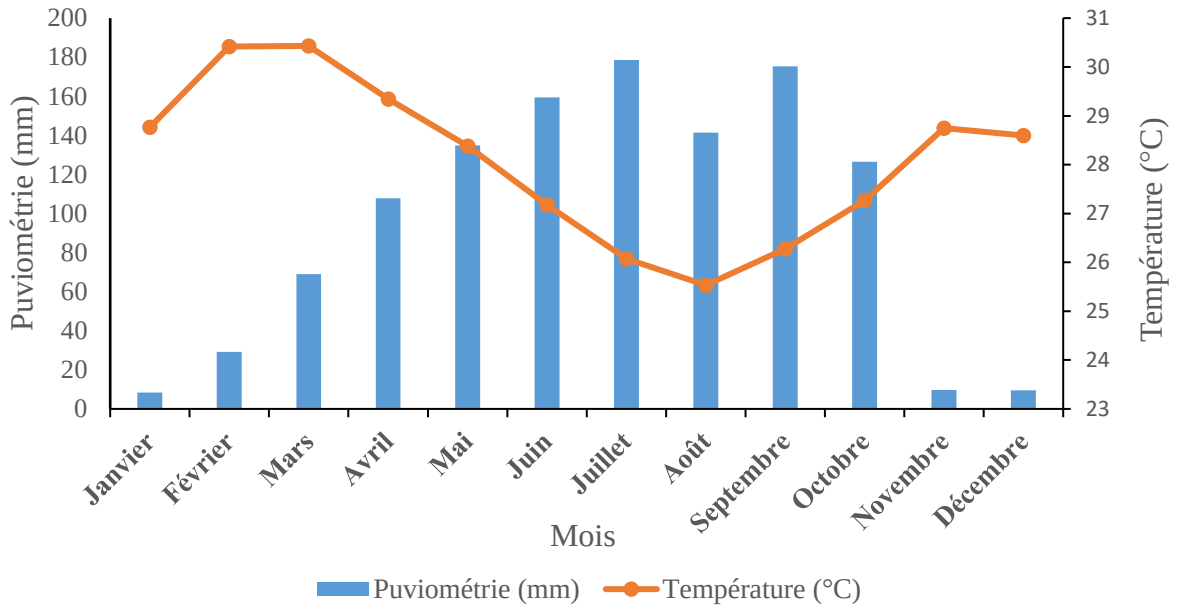


Figure 2: Diagramme ombrothermique Moyenne mensuelle (1988-2016) des précipitations (mm) à Dassa-Zoumé, (Source : ASECNA, Station de Savè) **;** Variation des valeurs moyennes mensuelles de la température dans la commune de Dassa-Zoumé de 1998-2016 (Source : ASECNA, Station de Savè)

1.3. Contextes géomorphologie et pédologique

1.3.1. Contexte géomorphologie

L'action conjuguée de la tectonique, de l'altération et de l'érosion différentielle engendre naturellement des paysages variés qui se traduisent dans la zone d'étude par la présence des plaines d'une part, et les reliefs résiduels (inselbergs) de granites et roches vertes associées aux rhyolites et microgranites d'autre part.

Les plaines tapissées d'un manteau d'altérites d'épaisseur relativement faible (5 à 10 m en moyenne), dépassant rarement les 15 ou 20 m sont occupées par les cours supérieurs de nombreuses rivières non pérennes : Klou, Tran-Tran, Lhoto, Arobobo, Etéoui, etc. (Boukari, 1982).

Le relief très accidenté de la zone d'étude est caractérisé par une série de collines dénudées dont la dénivellation moyenne est de 200 m (Capo-Chichi, 2006). A Miniffi, l'inselberg est massif ses parois sont intactes avec des dénivellations de 100 m. Par contre à Tré, les collines sont plus hétérogènes, composées de boules et de replis. Quelques sommets isolés se dressent sur la surface dont ceux de Loulè, Ouissi, Lèma. Ces morceaux cristallins se présentent parfois sous forme de pic. On en rencontre encore à Igbo Idaasha et dans les villages de Kèrè, Itagui et Itéré. Parfois, ils ont les sommets arrondis ou étalés et sont recouverts de végétation par endroit (Capo-Chichi, 2006)

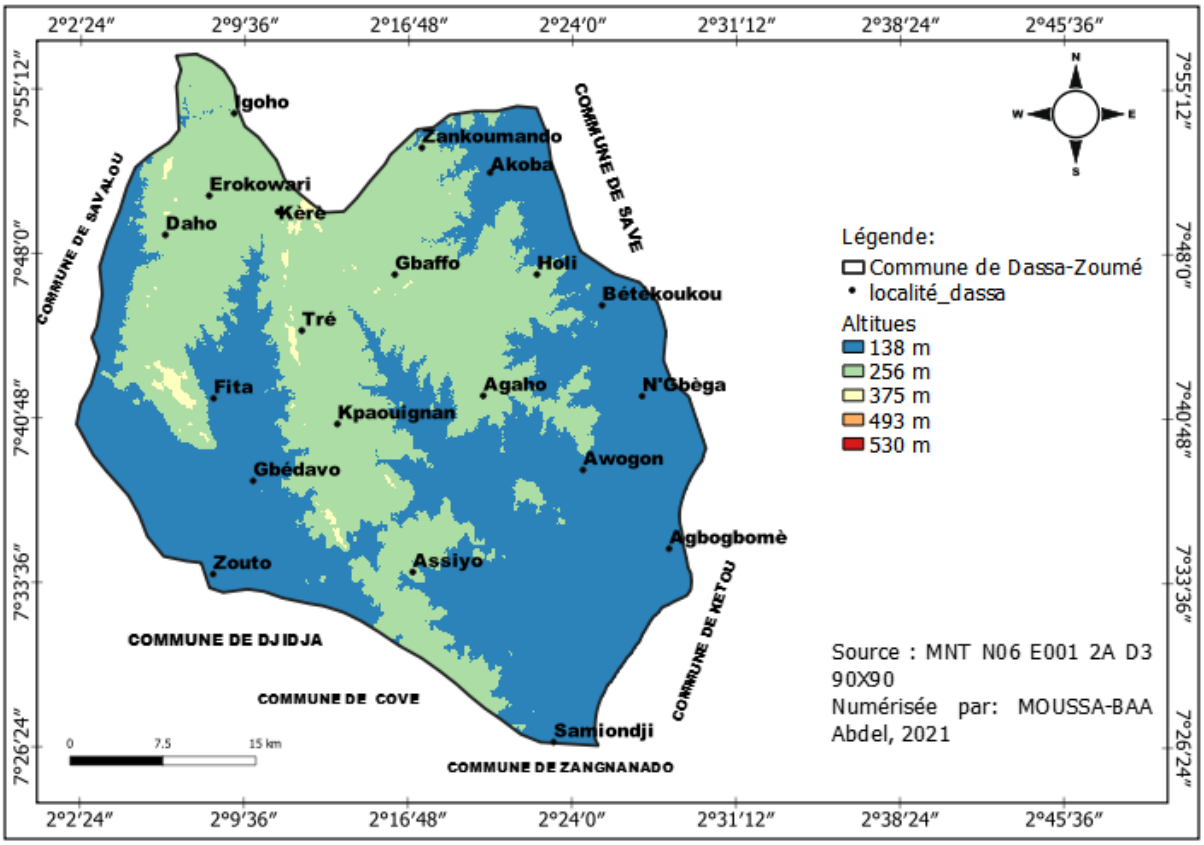


Figure 3: Carte géomorphologique de la commune de Dassa-Zoumé

1.3.2. Contexte pédologique

La commune de Dassa-Zoumé est caractérisée par des sols sur roches affleurantes et dans les plaines. La répartition des différents types de sols est calquée sur celle des formations géologiques de la zone d'étude ainsi que sur sa géomorphologie. Ce sont des sols à sesquioxydes de fer et de manganèse ou sols ferrugineux et hydromorphes (Volkoff, 1970). Il s'agit des :

- Sols minéraux bruts d'origine non climatique sur roches affleurantes ;
- Les sols hydromorphes, minéraux ou peu humifères lessivés sur embréchites basiques et gneiss ;
- Sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions sur granite acide ;
- Sols ferrugineux tropicaux, appauvris sans concrétions sur granite calco-alcalin à biotite ;
- Sols ferrugineux tropicaux, appauvris peu ferruginisés sur embréchites et granites ;
- Sols ferrugineux tropicaux, à concrétions sur embréchites porphyroïde à ferromagnésiens et granite ;
- Sols ferrugineux tropicaux, à concrétions sur embréchites ;
- Sols brunifiés ferruginisés sur roches basiques.

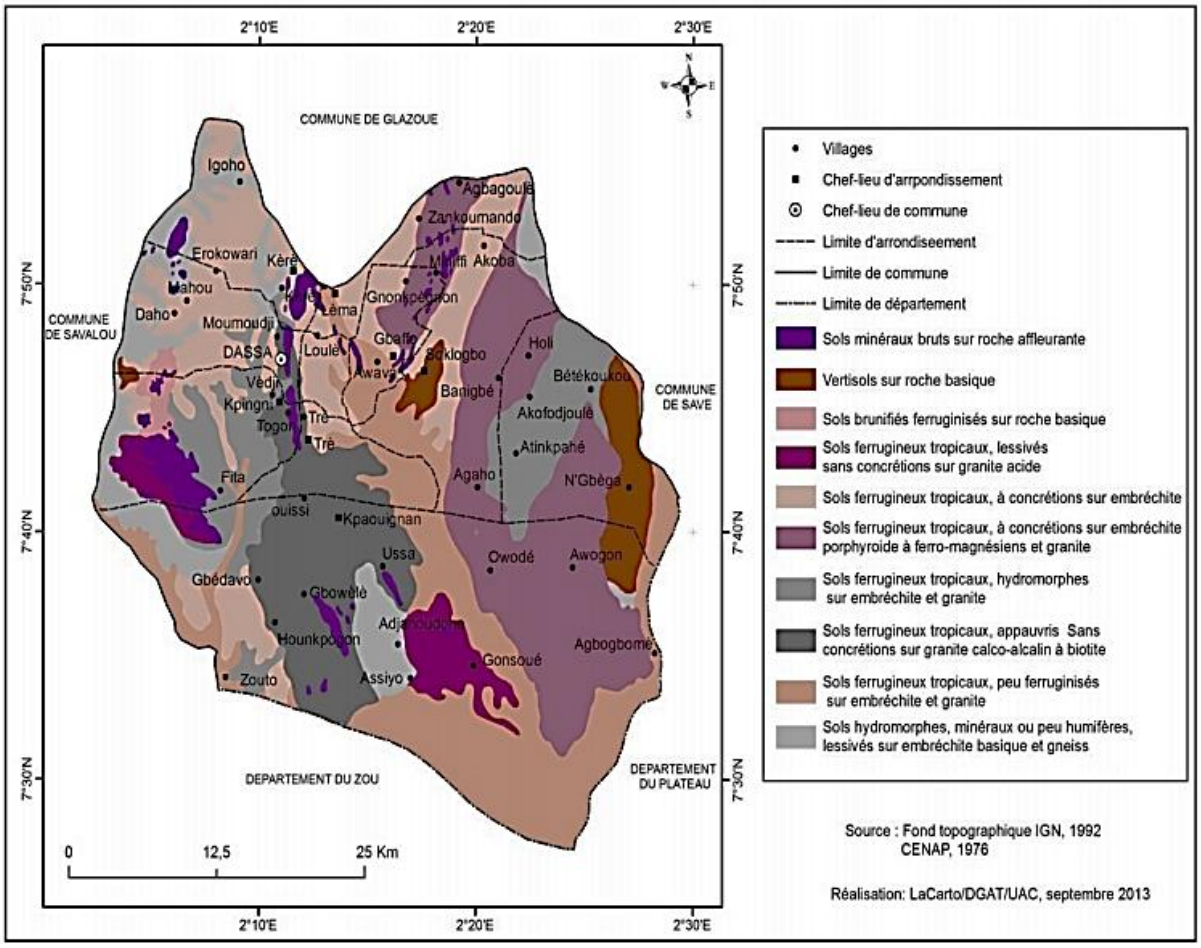


Figure 4: Carte pédologique de la commune de Dassa-Zoumé (Azonwadé, 2013)

1.4. Végétation

En général, la végétation de Dassa-Zoumé est reliée au type de climat en combinaison avec les conditions pédologiques et hydrologiques favorisent la mise en place d'une végétation naturelle. La pénéplaine est couverte par une savane arborée et arbustive dégradée, parfois saxicole, coupée de forêts classées décidues et quelques galeries forestières le long des cours d'eaux. Les principales essences recensées dans le milieu sont : Adansonia digitata (baobab), Parkia biglobosa (néré), Anogneissus leiocarpa, Daniellia oliveri, Prosopus africana (Prosopis) Pterocarpus erinaceus (Santal), Vitex doniana. Les arbustes sont surtout les anacardiers, Nauclea latifolia (pêcher de guinée), Newbouldia laevis (Hysope africaine), Afzelia africana (Haricot acajou), et les graminées comme : Panicum maximum (Herbe de guinée), Pennisetum polystachyon (Herbe à éléphant) de la basse strate très préférée par la faune. Il existe quelques unités végétales qui bénéficient d'une protection législative ou traditionnelle (Forêt classée du chaînon de Dassa-Zoumé) (PDC Dassa-Zoumè2018-2022).

1.5. Contexte Hydrographique

La commune de Dassa-Zoumé a un réseau hydrographique plus ou moins dense composé de petits courants d'eau. Le régime hydrographique est régulier avec des étiages assez prononcés et des crues d'août à octobre. Outre Klou, Zou et Agbado qui sont les cours d'eau permanents de la commune de Dassa-Zoumé, elle est drainée par des cours d'eau à régime saisonnier. Ils sont des affluents ou des sous affluents du fleuve Ouémé et du Zou. On a Loto, Etéwi, Hounsouhoué, Anyaho et Dohon qui arrosent l'intérieur de la commune (figure). Ces cours d'eau sont alimentés par les eaux de pluies et constituent une ressource dans l'économie de la commune tant du point de vue de l'approvisionnement en eau pour divers usages et des ressources halieutiques, que du point de vue agricole. Pendant la saison des pluies, les collines entaillées constituent des sources de captation des eaux de ruissellement (PDC Dassa-Zoumè2018-2020).

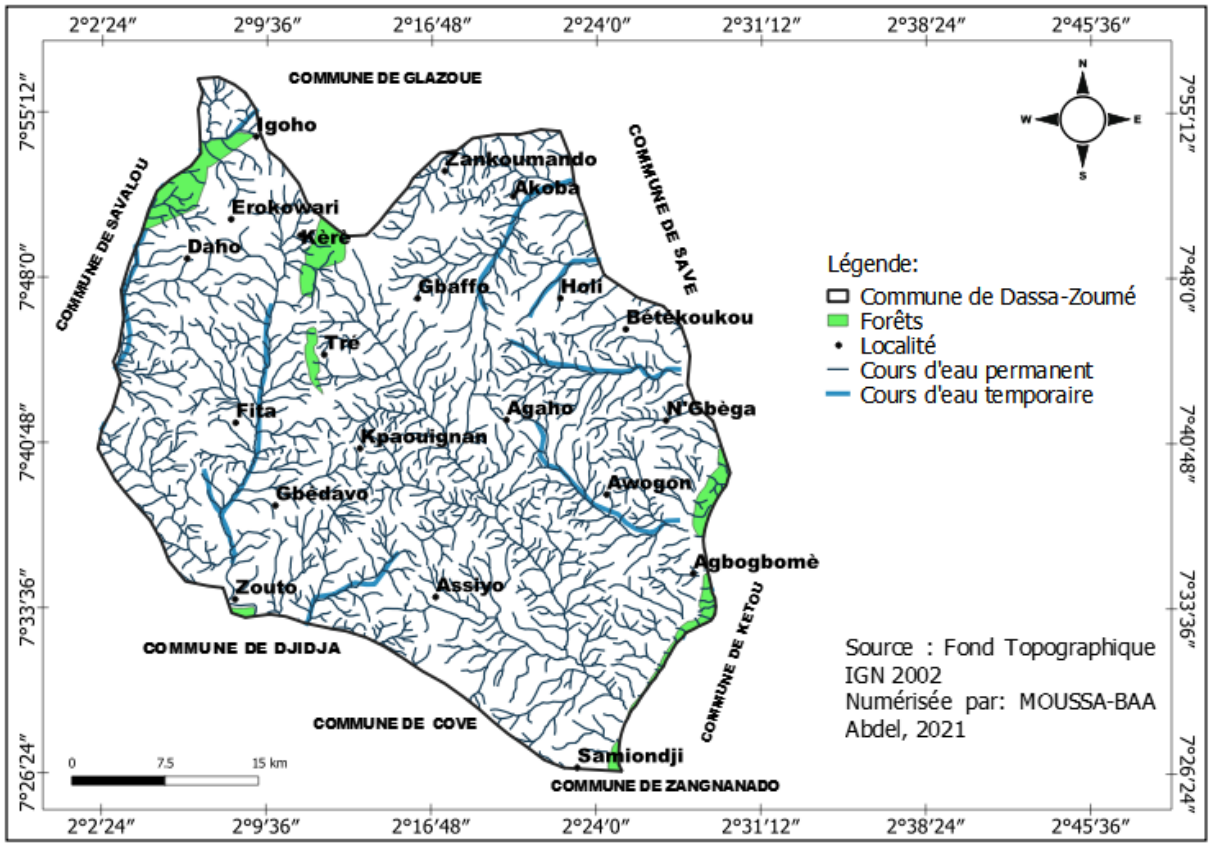


Figure 5 : Carte hydrographique de la commune de Dassa-Zoumé

1.6. Géologie

Située dans le domaine du socle précambrien, la zone d'étude présente deux zones géologiques à savoir : la zone des formations granito-gneissiques et la zone des formations volcano-sédimentaires.

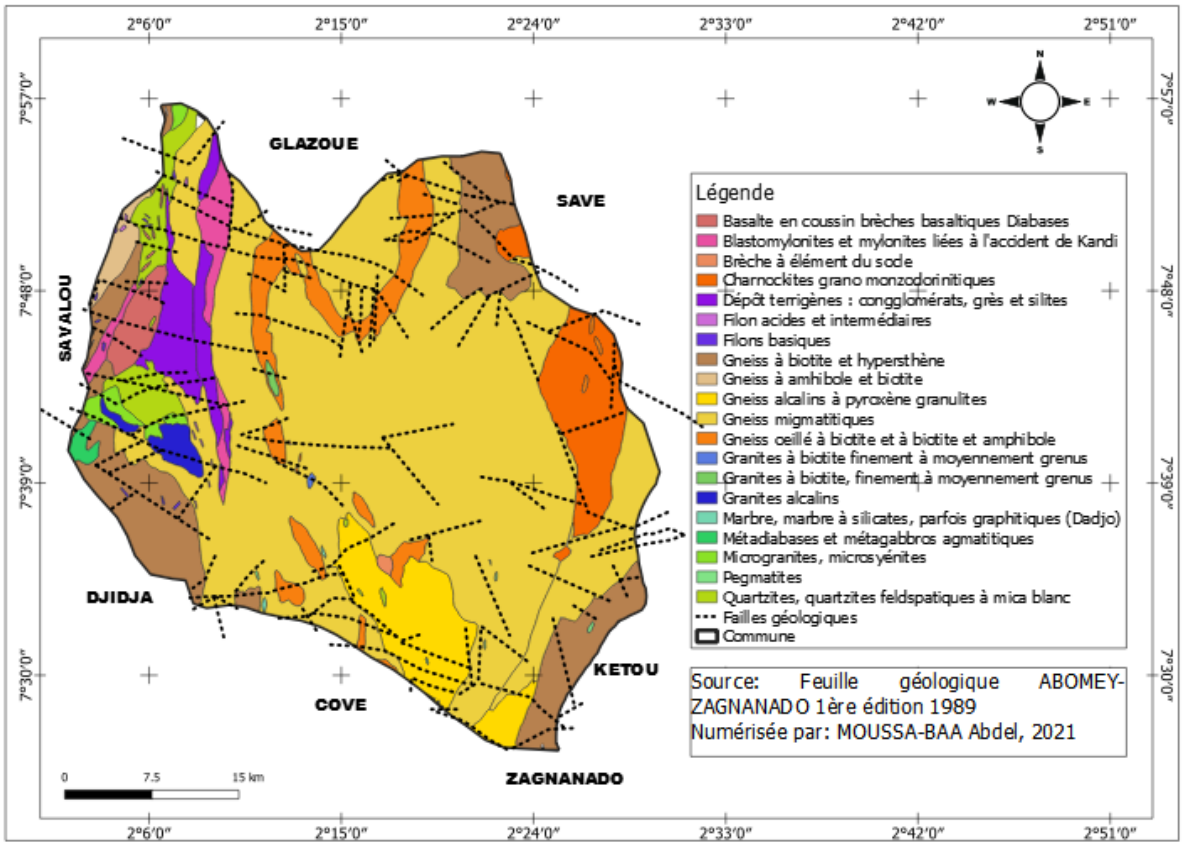


Figure 6: Carte géologique de la commune de Dassa-Zoumé

1.6.1. Zone des formations granito-gneissiques

Elle est constituée essentiellement de roches métamorphiques et plutoniques.

1.6.1.1. Roches métamorphiques

Les gneiss et les migmatites qui apparaissent en bordure du bassin volcano-sédimentaire de Daho-Mahou présentent une foliation mylonitique méridienne subverticale associée au fonctionnement de la zone de cisaillement de Kandi (Adissin Glodji, 2012).

Ces gneiss sont variés du point de vue de leur lithologie et regroupent des gneiss à biotite et hyperstène qui renferment des niveaux de granulite à deux pyroxènes, des gneiss à biotite et grenat, des gneiss alcalins à pyroxènes parfois amphibole et épidote, des gneiss aplitiques à grenat. On observe aussi des gneiss alcalins à biotite qui renferment assez fréquemment en leur sein des quartzites et des marbres, des gneiss à amphibole massif et des gneiss rubanés à amphibole et biotite renfermant des enclaves et de petites masses d'amphibolites et de pyroxénites mais également des corps de dimensions importantes de charnockites (Breda,1989).

L'âge de 1214 ± 117 Ma (Rb-Sr sur roche totale) obtenu sur les gneiss à biotite et grenat correspondrait à l'âge d'un événement métamorphique du faciès des granulites (Breda, 1985).

L'âge de 606 ± 5 Ma est interprété comme datant la déformation mylonitique associée au cisaillement des gneiss à amphiboles et biotite en condition métamorphique de faciès amphibolite.

Les migmatites étudiées présentent une grande variété de morphologies et renferment souvent des masses interstratifiées de marbres et de quartzites (Breda 1985). Les paléosomes sont des gneiss à pyroxènes, des amphibolites, des gneiss à grenats, des gneiss à biotite et des gneiss à amphibole (Breda, 1985). Les néosomes sont des pegmatites et des granites. L'âge de 916 ± 69 Ma (Rb-Sr sur roche totale) des migmatites de la zone de Dassa représenterait l'âge de la fusion partielle (Breda, 1985).

1.6.1.2. Roches intrusives acides et basiques

- **Granite de Dassa**

L'intrusion de Dassa a une forme très allongée et plissée en Z. Elle est située au SE du bassin volcano-sédimentaire de Daho-Mahou **(Figure 7)** et s'étend sur 50 km environ avec une largeur variant de 2 à 5 km (Adissin Glodji, 2012). Elle est formée de granites à biotite et quartz-monzonites à amphibole et biotite à texture porphyroclastique (Adissin Glodji, 2012). De nature calco-alcaline, les granites et quartz-monzonites de Dassa renferment des enclaves mafiques microgrenues et ont été déformées à l'état solide et transformées en métagranitoïdes par le cisaillement dextre. C'est donc une intrusion anté-cinématique. L'âge 633 ± 19 Ma (U-Pb sur zircon) est interprétée comme l'âge de mise en place de l'intrusion de Dassa (Adissin Glodji, 2012).

- **Granite de Tré**

L'intrusion de Tré affleure au Sud de l'intrusion de Dassa **(Figure 7)** et ses injections filoniennes s'observent dans l'intrusion de Dassa (Adissin Glodji, 2012). Elle a une forme allongée N-S et est formée de granites à biotite à faible quantité de muscovite et de monzonites qui renferment des enclaves mafiques microgrenues. (Adissin Glodji, 2012). Une nature calco-alcaline et une origine mixte, crustale et mantellique est proposée pour les granites et monzonites de Tré. L'âge de mise en place du granite de Tré est de 595 ± 12 Ma (Adissin Glodji, 2012). La différence de près de 30 Ma d'écart entre la mise en place de Dassa et de Tré pourrait suggérer des magmas parents différents pour ces deux (2) intrusions.

- **Granite de Gobada**

Il a une forme allongée NNE-SSW. L'intrusion de Gobada affleure au SW du bassin de Daho-Mahou **(Figure 7)** sur une longueur de 10 km et une largeur de 6 km environ (Adissin Glodji, 2012). Elle s'est mise en place au sein des gneiss à amphibole et biotite et est constituée

de roches allant des quartz-monzonites aux granites qui renferment des enclaves mafiques microgrenues. C'est un magma calco-alcalin de source mixte crustale et mantellique. L'intrusion de Gobada s'est mise en place sous un champ de contraintes externes. Elle est donc syn-cinématique. L'âge U- Pb de 603 ± 10 Ma obtenu sur le granite de Gobada correspondrait à la mise en place du granite (Adissin Glodji, 2012).

- **Granite de Fita**

L'intrusion de Fita **(Figure 7)** n'a pas une forme géométrique bien définie car elle est partiellement recouverte au Nord par la partie méridionale du bassin volcano-sédimentaire de Daho-Mahou (Adissin Glodji, 2012). Elle est formée de granite à feldspaths alcalins perthitique et à biotite. C'est un granite localement déformé à l'état solide après sa complète solidification qui montre une fluidalité magmatique (Kouévi, 2013). La déformation post-solidification a été accompagnée de la cristallisation de la chlorite, muscovite et épidote dans les micro-fractures en relation avec une circulation de fluides hydrothermaux (Kouévi, 2013). Les filons de microgranite et de rhyolite qui recoupent le granite de Fita présentent une similitude de composition minéralogique avec les microgranites et la rhyolite alcaline du Sud du bassin volcano-sédimentaire de Daho-Mahou décrits par Boussari (1975) et Breda (1985). L'âge U-Pb de 594 ± 39 Ma du granite de Fita Adissin Glodji, (2012) est interprété comme l'âge de mise en place du granite.

- **Roches intrusives basiques**

Les intrusions basiques affleurent dans deux petits secteurs, aux extrémités Nord et Sud de la série volcano-sédimentaire de Daho-Mahou **(Figure 7).** La masse située au Nord est composée de métadiabases et de métagabbros de structure agmatitique et des injections de mobilisats acides (Breda, 1985). De dimensions plus réduites, la masse située au Sud est composée de brèches à éléments parfois métriques, de métabasaltes et de métadiabases injectés de métagabbros à grain fin. Le métamorphisme a affecté l'unité dans les deux zones ; dans la zone Nord, il s'agit d'un métamorphisme régional, en accord avec celui du socle encaissant ; dans la zone Sud, on ne peut avancer d'hypothèse valable à ce sujet, en raison de l'extension limitée des affleurements (Breda, 1985). Mais dans les deux cas, il s'agit de roches métavolcaniques basiques qui pourraient avoir une origine différente (Breda, 1985).

1.6.1.3. Bandes de tectonites de basse température

Les bandes de tectonites de basse température formée de mylonites et ultramylonites ainsi que des cataclasites **(Figure 7)** s'observent à l'Est et à l'Ouest de la série volcano-sédimentaire de Daho-Mahou (Breda, 1985). La déformation a affecté les migmatites et les

granites ainsi que les métasédiments des marges occidentales et orientales du bassin. Ceci suggère que le jeu tectonique final le long des bandes est postérieur à la sédimentation et au volcanisme du bassin (Adissin Glodji, 2012).

1.6.2. Zone des formations volcano-sédimentaires

Le bassin volcano-sédimentaire de Daho-Mahou est allongé suivant une direction NNE-SSW (Breda, 1989). L'ensemble des unités pétrographiques était considéré comme un énorme dyke de microgranite alcalin formant une série de collines allongées et étroites, décrochées les unes par rapport aux autres grâce à deux failles parallèles de direction NE- SW (Pougnet, 1955). Ce bassin renferme des métaandésites ou métadacites imprégnées de quartz, des rhyolites et des brèches volcaniques (Dion et Alters, 1967). Selon ces auteurs, les rhyolites seraient postérieures aux métasédiments. Les travaux de Boussari (1975), ont montrés que les roches naguères appelées métaandésites par Dion et Alters (1967) sont en fait des coulées de laves et des laves disposées en coussins (pillow-lavas). Trois termes pétrographiques sont reconnus dans le bassin : il s'agit des roches vertes, des roches volcaniques et hypovolcaniques acides et des conglomérats (Boussari, 1975 ; Breda 1989). Pour Affaton *et al.*, (1991) cette série volcano-sédimentaire était une ceinture très étroite, formée de grès, de conglomérats polygéniques, de basaltes, de rhyolites et de rhyodacites. C'est une molasse panafricaine qui s'était déposée dans un graben associé au soulèvement post-tectonique.

Les récents travaux de Adissin Glodji (2012) viennent compléter ceux de Boussari (1975) et de Breda (1989). Selon l'auteur, il existe dans ce bassin des volcanites sub-alcalines basiques et acides et des volcanites alcalines acides. Le volcanisme sub-alcalin basique (basalte, andésite) et acide (trachyte, rhyolite) aurait précédé le volcanisme alcalin acide (rhyolite alcaline) dans le bassin volcano-sédimentaire de Daho-Mahou. La mise en place de ces rhyolites alcalines du bassin volcano-sédimentaire de Daho-Mahou daté 583 ± 9 Ma, est également contemporaine de la tectonique cisaillante parce qu'elles sont associées au bassin ouvert par un jeu de décrochement. La sédimentation quant à elle se serait poursuivie au cours des activités volcaniques. Concernant le contexte tectonique d'ouverture du bassin, Daho-Mahou serait post-tectonique (Affaton *et al.*, 1991). Mais pour Adissin Glodji (2012), ce bassin serait syn-tectonique et ouvert par le jeu de cisaillement dans la zone de cisaillement de Kandi.

En synthèse, le bassin volcano-sédimentaire de Daho-Mahou est formé de volcanites et hypo-volcanites acides tels que des rhyolites, des rhyolites alcalines, des trachytes, des dacites, des microgranites et microsyénites et des roches volcaniques et subvolcaniques basiques représentées par des basaltes en coussins et en coulées, de brèches volcaniques, de filons et

masses de diabases. Ces formations sont associées à des sédiments clastiques essentiellement formés de conglomérats polygéniques, de grès, et de grès conglomératiques.
Il convient quand-même de souligner que ce bassin s'étend au-delà de la zone d'étude.

1.7. Hydrogéologie

Les connaissances hydrogéologiques existantes renseignent sur le fait que les formations géologiques de notre zone d'étude sont très indurées et sont donc dépourvues ou ont une faible porosité interstitielle. En milieu de socle cristallin et cristallophyllien, les aquifères doivent leur perméabilité aux fissures et aux fractures (Lachassagne et al, 2005).

La connectivité de ce réseau de fissures est généralement assurée par des joints sub-verticaux. Au niveau du substratum rocheux sain, les fractures majeures d'origine tectonique confèrent à ce bloc rocheux une perméabilité élevée et les forages réalisés au niveau de ces fractures enregistrent généralement des débits plus importants qu'ailleurs (Saleye, 2003 et Jourda et al, 2005). Les études d'implantation et de contrôle des travaux de réalisation des forages et de puits montrent que les formations géologiques de Dassa-Zoumé sont fracturées et altérées. Les ensembles géologiques généralement différenciés sont les granites, le gneiss, les migmatites ; les schistes, les gabbros et les grès quartzites. Ces formations géologiques n'offrent de possibilités d'aquifères que lorsqu'elles sont altérées et fissurées indépendamment des grandes provinces hydrogéologiques liées aux types pétrographiques (Boukari, 1982). On y distingue trois types d'aquifères que sont : L'aquifère d'altérites constitué d'un réservoir supérieur. Il s'agit d'un manteau d'altération (couche argilo-sableuse) quasi-continu. Toutes les études ont mis en évidence la faible productivité de ce type d'aquifère en fonction de l'épaisseur des altérites dans toute la région de Dassa-Zoumé (Boukari, 1982). La puissance de l'aquifère n'est donc généralement pas suffisante pour une exploitation durable des eaux en particulier pendant la saison sèche, les puits tarissent très tôt. Seule une partie de cet aquifère est saturée en eau essentiellement pendant la saison pluvieuse. Sous la tranche d'altérite on a l'aquifère fissuré. Ces aquifères sont localisés au niveau des roches cachées sous la couverture d'altération qui sont beaucoup plus productifs. Ces fissures sont souvent remplies par des produits d'altération. Les nappes de fissures, sous couvertures altérées sont plus importantes car elles offrent les meilleures conditions de captage en raison du manteau sus-jacent qui joue le rôle de protection et de recharge de la nappe. D'après le rapport final des travaux de Global Consulting Center 2012, les fractures ouvertes produisant de forts débits sont recoupées entre 35 et 55 mètres de profondeur. Sous les réservoirs fissurés, on retrouve les aquifères fracturés. Les aquifères de fractures se comportent comme des milieux d'une grande perméabilité. La

communication entre les différents réservoirs est assez aisée et l'on considère que l'eau souterraine qu'ils renferment correspond à un système aquifère unique, au sein duquel les altérites jouent une fonction de stockage et les zones fissurées ou fracturées une fonction de conduction. Les aquifères productifs exploités sont en liaison avec la fracturation et la couche d'altération : ce sont des aquifères dits « discontinus ». La réserve en eau dans ces zones est fonction de la densité du réseau de fracturations, de l'ouverture des fractures et de la communication entre ces fractures.

La recherche des ressources en eaux souterraines dans les zones de socle revient donc à la recherche des factures et fissures ouvertes capables d'emmagasiner et de conduire l'eau.

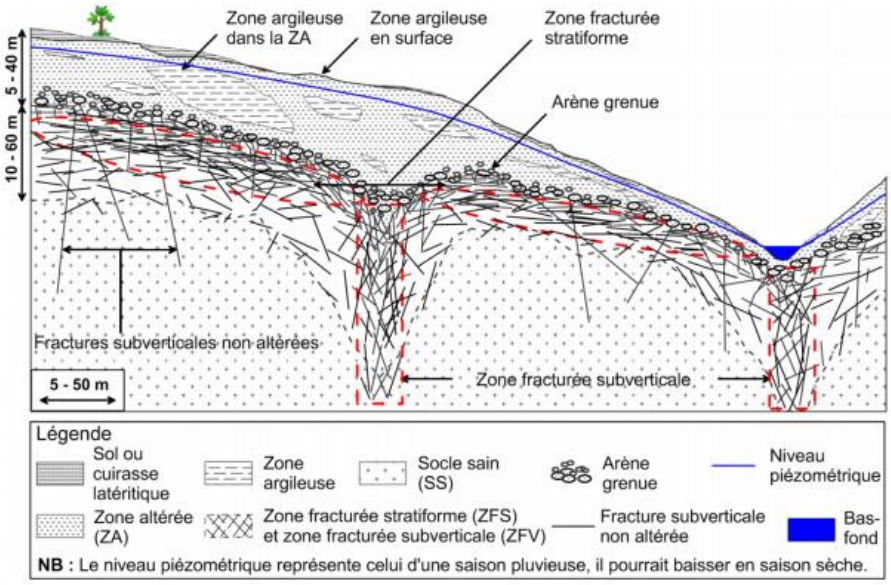


Figure 7: Modèle conceptuel hydrogéologique de la zone de socle en milieu tropical (Allé 2019)

1.8. Les milieux fissurés

Les milieux fracturés englobent un certain nombre de types d'aquifères qui diffèrent par l'intensité de la fracturation, leur mode de formation et la dynamique fragmentée par l'érosion et parfois redéposés. Le compartiment fissuré peut présenter des densités de fractures importantes qui lui confèrent des propriétés hydrodynamiques plus intéressantes que le compartiment altéré sus-jacent. La partie sommitale du compartiment, directement au contact des altérites, présente une zone densément fracturée. La répartition des fractures confère à ces réservoirs des propriétés hydrodynamiques très hétérogènes et anisotropes. La capacité de stockage est majoritairement assurée par la porosité matricielle des blocs bordant les fractures (Roques, 2014).

L'état de contrainte tectonique régionale ainsi que la contrainte verticale exercée par la roche sus-jacente sont les conditions prépondérantes qui gouvernent les propriétés hydrodynamiques des roches cristallines en profondeur : Les paléo-contraintes sont responsables de l'évolution du réseau de fracture pendant les temps géologiques et les contraintes actuelles peuvent réactiver le réseau de fracture existant et influencer la forme et l'ouverture des fractures (Roques, 2014). Une pléthore d'études statistiques a mis en évidence la bonne corrélation entre la productivité des forages et les fractures et fissures détectées par les linéaments. L'approche classique d'exploration de la ressource en eau consiste donc à repérer ces accidents affleurant en surface, issus majoritairement de zones sub-verticales (Leray, 2013). En effet, dans la zone fracturée, la roche est affectée par plusieurs réseaux de joints (fissures, diaclases, fentes), de fractures ou cassures d'origines tectoniques. Chaque réseau possède une porosité et une perméabilité de fissures qui dépendent de la largeur de celles-ci et de la profondeur (Djegui, 2017). L'eau souterraine circule donc dans les discontinuités de la roche qui sont multiples et très variées en nature et en volume. Les fractures ont un caractère essentiellement transmissif (UNICEF, 1996). Les zones fracturées peuvent constituer des zones d'altérations préférentielles en ce sens qu'elles peuvent faciliter l'infiltration de l'eau en profondeur, même si la zone altérée reste assez peu profonde.

1.9. Indices de productivité liés à l'infiltration

L'infiltration est la capacité qu'a un sol de se laisser pénétrer par l'eau. Elle est conditionnée par les facteurs principaux ci-dessous :

- Le type de sol est caractérisé par sa structure ; sa texture et sa porosité. Toutes ces caractéristiques du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles- mêmes régissent en partie de l'infiltration.
- La couverture du sol : La végétation augmente l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface. D'autre part, l'infiltration est aussi favorisée par le système radicalaire qui améliore la perméabilité du sol.
- La topographie et la morphologie : La pente par exemple agit en opposition à la végétation. Par conséquent, une forte pente favorise les écoulements dépendant de l'infiltration.
- Le débit d'alimentation lié à l'intensité de la pluie et au débit d'irrigation.
- La teneur en eau initiale du sol : Elle est due à l'humidité du sol qui est un facteur essentiel du régime d'infiltration. Le régime d'infiltration évolue différemment au cours du temps selon que le sol soit initialement sec ou humide. Ainsi, l'humidité d'un sol est

souvent appréhendée en étudiant les précipitations tombées au cours d'une période précédant un évènement pluvieux dans le milieu d'étude (Tossou, 2009).

CHAPITRE II : DEMARCHE METHODOLOGIQUE

2. Données, Matériels et Méthodologie

2.1. Données hydrogéologiques

Les données hydrogéologiques utilisées dans cette étude prennent en compte les données des résumées techniques de forages, les données lithologiques de forages, et les données d'essais de pompages de forages réalisés dans la commune de Dassa-Zoumé. Les informations recueillies sont : l'épaisseur d'altération (EpA), le taux de succès, la transmissivité (T), l'état des forages, les coordonnées géographiques des forages. Pour cette étude, les données concernant 534 forages réalisés dans la commune Dassa-Zoumé ont été utilisées. Ces 534 forages ont été obtenus après un travail de contrôle de qualité pour la constitution d'une base unique dans le but de faire des statistiques plus tard. La base de données a été constituée à partir de deux différentes sources de données qui sont la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau) et la base du projet GRIBA. Les forages utilisés au cours de l'étude sont présentés sur la figure 6

2.2. Les données SRTM (Shuttle Radar Topogrphy Mission)

Les données SRTM sont des données altimétriques de la surface du terrain selon un maillage régulier. Ces données sont également des modèles numériques de terrain qui représentent explicitement les éléments physiques tels que le réseau hydrographique, les crêtes montagneuses, les ruptures de pentes, les accidents structuraux et leurs rejets apparents ou réels. La qualité ces images dépend de leur résolution et du type de correction qu'elles ont subi. Parmi les images SRTM disponibles en téléchargement libre sur le site de l'USGS (http://earthexplorer.usgs.gov), nous avons utilisé l'image SRTM-3 version 2. Leur résolution est de 90 mètres en longitude et latitude soit 3 arc seconde, couvrant toute la zone d'étude. En outre les images SRTM ont l'avantage d'être assez clair avec moins d'interférence atmosphérique possible. Les cartes qui résultent des images SRTM sont de bonne qualité et représentent assez fidèlement la réalité.

Autres données

Pour la réalisation des graphes et cartes présentés dans le document, nous nous sommes servi de la feuille géologique d'Abomey-Zagnanado 1/200000ème. Cette carte a été obtenue auprès de l'Institut Géographique National (IGN).

2.3. Matériel utilisé

Le matériel utilisé pour atteindre les objectifs fixés pour notre étude se présente comme suit :

- **Pour l'identification des linéaments existant nous avons utilisé :**
  - Le logiciel Qgis 3.16 pour le traitement de l'image SRTM, l'extraction (tracé) manuel des linéaments et pour calculer les différents paramètres.

- **Pour la réalisation des graphes et cartes présentés dans le document, nous nous sommes servi :**
  - Du programme Microsoft Excel (2016) pour le traitement des données ;
  - Du logiciel Grapher 12 pour l'établissement des graphes et histogrammes ;
  - Du logiciel Qgis 3.16 pour la réalisation des cartes.

Outre ce matériel précédemment cité, un ordinateur portable de marque DELL a été utilisé pour la rédaction du mémoire avec le programme Microsoft Word 2016.

2.4. Méthodologie

Pour le bon déroulement de ce travail, la méthodologie a été scindée en trois parties :

- La recherche documentaire ;
- La collecte des données ;
- Le traitement des données.

2.4.1. Recherche documentaire

Pour cette phase, la recherche documentaire a consisté à faire une collecte d'informations au travers des travaux antérieurs ayant un rapport avec notre thème ou des travaux de thèmes similaires. Pour ce faire, les mémoires de fin de formation professionnelle de Licence, Master, Doctorat, des publications et articles divers ont été exploités. Nous avons aussi consulté des travaux de recherches similaires à notre étude se trouvant en ligne dans la sous-région.

2.4.2. Collecte des données

Les données recensées et exploitées durant cette phase proviennent essentiellement de la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau), des services de l'eau (du Département de Collines), de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB), du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), des sites web. Ces données sont les SRTM et les données hydrologiques.

2.4.3. Traitement des données

2.4.3.1. Identification des linéaments

Les linéaments représentent des objets géologiques linéaires ou des alignements d'objets géologiques suffisamment proches, des discontinuités topographiques ou des structures géomorphologiques héritées d'anciennes topographies. (YAO et *al.*, 2019). Ils sont également considérés comme étant la « signature » en surface de ces fractures tectoniques profondes. L'identification des linéaments est réalisée à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) plus précisément le SRTM.

➢ Technique de traitement du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Un MNT correspond à une représentation sous forme numérique du relief d'une zone géographique. Le traitement d'un MNT est la mise en œuvre d'un ensemble de technique permettant d'améliorer la lisibilité du MNT afin d'en extraire des informations. Dans cette étude, nous avons utilisé le logiciel Qgis pour le traitement du MNT. Le processus du traitement du MNT dans cette étude se présente en quatre (04) étapes qui sont :

1- Ombrages d'un Modèle Numérique de terrain (MNT)
2- Fusion des images rasters
3- Amélioration du contraste de l'image raster
4- Extraction des linéaments

• Ombrages d'un Modèle Numérique de terrain (MNT)

La production d'un d'ombrage pour visualiser un MNT est l'une des techniques les plus communément utilisées. Elle est en effet simple à paramétrer et très rapidement exécutée par les ordinateurs. Le principe consiste à « éclairer » une scène à l'aide d'une source lumineuse virtuelle dont on contrôle la position dans le ciel (azimut et angle au-dessus de l'horizon). Des valeurs d'azimut 315° et d'angle de 45° au-dessus de l'horizon sont couramment employées en cartographie pour souligner le relief, contribuant ainsi à une compréhension rapide de l'image (Coutelier 2019).

Dans le cadre de l'étude, nous avions réalisé trois (03) différents ombrages afin de mettre en évidence plusieurs orientations de linéaments. Les caractéristiques de ces ombrages sont consignées dans le tableau 1. Après réalisation de ces ombrages on obtient des couches rasters (images rasters) qui sont affichées avec un dégrader de couleur gris par défaut.

Tableau 1: Caractéristiques des ombrages réalisés

Ombrages	**Caractéristiques**	
	Orientations de l'éclairage	**Altitudes de l'éclairage**
Ombrage 0_30	0°	30°
Ombrage 60_30	60°	30°
Ombrage 120_30	120°	30°

• Fusion des images rasters

La fusion des rasters d'ombrages consiste à fusionner automatique une série d'images qui après avoir été réalisé conduit soit à une mosaïque d'image contiguë géographiquement soit à

une image composite où chaque image initiale constitue une bande spectrale. Dans cette étude, trois (03) différents images rasters obtenues respectivement après réalisation des ombrages sont utilisées pour réaliser la fusion. Après réalisation de la fusion, on obtient une couche raster (image raster) dont la représentation est un dégradé de couleur gris.

- **Amélioration du contraste de l'image raster**

L'amélioration du contraste de l'image raster est une technique qui rend plus lisible les images rasters afin de bien les visualisés. Cette technique a permis de rendre plus lisible l'image raster (obtenue après réalisation de la fusion des images) ayant une représentation dégradée de couleur gris. Pour se faire, nous avons augmenté le contraste (comme sur une photo) en agissant sur des commandes histogrammes, luminosités, contrastes et gamma jusqu'à obtention d'une image raster lisible. Ces différentes commandes se retrouvent dans le logiciel Qgis.

- **Extraction manuelle des linéaments**

Cette étape est la dernière partie du traitement du MNT en vue de l'identification des linéaments. Après l'application de différentes méthodes techniques citées ci-dessus nous passons à l'élaboration de l'extraction des linéaments. Pour l'extraction des linéaments structuraux, deux approches méthodologiques sont à considérer selon Kouamé et *al.,* 1999. La première consiste à extraire de façon automatique les linéaments par morphologie mathématique et la seconde consiste à une extraction manuelle des linéaments par photo-interprétation. (Biémi et *al.,* 1992 ; Savané, 1997 ; Kouamé *et al.*, 1999 ; Saley, 2003). L'approche méthodologique utilisée pour l'étude est l'extraction manuelle par photo-interprétation. La photo-interprétation est l'identification visuelle de tous les linéaments visibles sur la fusion des rasters d'ombrages. L'extraction manuelle consiste à tracer les segments correspondant aux discontinuités et aux variations brusques de tonalités observées sur l'image traitée.

2.4.3.2. Comparaison des linéaments extraits à partir du MNT aux failles géologiques

Les linéaments extraits sont analysés statistiquement afin de déterminer leur longueur ainsi que leur orientation. L'analyse statistique des linéaments extraits est comparée à celle des failles géologiques dans le but de valider les linéaments identifiés. Les failles géologiques ont été relevées sur la feuille géologique Abomey- Zagnanado.

2.4.3.3. Constitution d'une base unique pour des analyses statistiques

Nous disposons de quatre (04) différentes sources de données de forage pour la constitution de la base de données. Il s'agit des données de la base :

- RT_ données techniques_ résumés ;
- GRIBA ;
- RT_ technique lithologie
- RT_ données_ essais de pompages par palier.

Dans le but de faire plus tard des statistiques justes et correctes, un contrôle de qualité est fait sur ces différentes données.

- **RT_ données techniques_ résumés**

  Après une observation visuelle poussée, nous remarquons qu'il y a des lignes qui semblent se répéter. Cette répétition de lignes va fausser nos statistiques plus tard. Le premier travail consiste à vérifier s'il s'agit des sites qui ont été répétés auquel cas, il faudra les identifier et les enlever de la liste ou s'il s'agit des sites qui se répètent sur un certain nombre de critères et qui diffèrent sur d'autres critères. Dans le cas où il s'agit des sites qui se répètent sur un certain nombre de critères et diffèrent sur d'autres critères, il faudra les garder puisqu'il s'agit d'autres forages. Pour ce faire, nous avons prioritairement considéré l'indice IRH (nom du forage) qui est une information qui ne doit pas être répétée dans les données de forages donc nous avons regardé prioritairement ce critère. Afin de vérifier si l'indice se répète, nous avons appliqué en premier temps dans Excel la fonction NB.SI (Nombre Si) dans la colonne identifiée. La fonction NB.SI (Nombre Si) est une fonction statistique qui permet de compter le nombre de cellules qui correspondent à un critère dans une plage de données. La formule de fonction se présente comme suit :

NB.SI (Plage_critère, critère)

avec plage _critères = plage dans laquelle évaluer les critères associés ; critère : correspondant aux critères que la valeur de la cellule doit remplir pour être comptabiliser.

Une fois cette fonction appliquée, nous avons décidé d'enlever les indices IRH qui se répètent. La fonction NB. Si. Ens (Nombre Si Ensemble) a été donc appliquée**.** La fonction NB. Si. Ens (Nombre Si Ensemble) applique des critères aux cellules de plusieurs plages et compte le nombre de fois où tous les critères sont remplis. La formule de cette fonction se présente comme suit :

NB.SI.ENS (plage_critères1 ; critères1 ; [plage_critères2 ; critères2] …)

avec plage _critères = plage dans laquelle évaluer les critères associés ; critère : correspondant aux critères que la valeur de la cellule doit remplir pour être comptabiliser.

La formule incrémente en fonction du nombre de fois que tous les critères sont remplis. A partir de cela, nous avons appliqué un filtre et supprimé toutes les fois où le nombre est supérieur à un (01). Ce dernier nous permet de garder uniquement les sites ou l'indice IRH est unique dans la liste. Ceci étant, il est possible que faire ainsi peut nous faire perdre un certain nombre de données puisque, en supposant que les sites soient différents alors que l'indice IRH se répété cela veut dire que nous avons supprimé des sites qui existent et qui sont vrais. Pour pallier cela, nous avons décidé de combiner un certain nombre de critères qui sont : indice IRH, coordonnées X et Y). Avant le choix des critères, nous avons vérifié s'il y a des lignes qui se répètent, en appliquant la fonction NB. Si (Nombre Si) dans toutes les colonnes de critères choisis. Dans le cas où nous combinons un certain nombre de critères et ces sites se répètent alors ces sites sont vraiment à supprimer. Par exemple si l'indice IRH est le même et les coordonnées sont les mêmes, alors là il s'agit du même site encore une fois et nous devons le supprimer. Une fois cette démarche adoptée, nous avons supprimé 34 forages sur 476 forages et nous avons retenu 442 forages.

- **GRIBA**

Dans cette base nous avons remarqué visuellement qu'il y a des quelques sites de forage qui se répètent sur un certain nombre de critères (X coordonnée, Y coordonnée) et différents sur d'autres critères (état de forage, profondeur, épaisseur d'altération ; rabattement, transmissivité, débit essais etc.). Cette remarque est vérifiée en appliquant la formule NB.SI (Nombre Si) sur les colonnes où il semble avoir de répétitions. Le résultat obtenu après l'application de la formule confirme qu'il y a bien des sites qui se répètent sur un certain nombre de critères. Pour vérifier si ces sites sont différents sur des critères nous avons utilisé la formule NB.Si.Ens (Nombre Si Ensemble) en définissant quatre (4) critères qui sont : coordonnées X, Y, état de forage et la profondeur. Le résultat obtenu nous montre qu'il s'agit des sites qui se répètent sur un certain nombre de critères et différent sur d'autres critères. Alors aucun site n'a été supprimé. La base comporte 92 forages.

- **RT_ données_ essais de pompages par palier**

Cette base contient des données d'essai de pompages de forages ayant plusieurs paliers (1^{er}, $2^{ème}$, $3^{ème}$) ainsi que le rabattement des paliers. Nous constaté qu'il y a des sites forage pour lesquels n'y a pas plusieurs paliers. Le débit spécifique du premier palier est l'information à obtenir de cette base. Vu que nous avons très peu de forages remplissant ce critère (42 forages)

nous allons donc utiliser des forages ayant des valeurs de transmissivité. Nous avons retenu 141 forages ayant de transmission sur 249 forages.

- **RT_ technique lithologie**

L'épaisseur d'altération est l'information importante qui nous intéresse dans cette base or elle n'est pas renseignée. Par contre, nous avons l'information description lithologique des forages. Nous avons regardé cette information afin de définir à quelle profondeur l'épaisseur d'altération s'arrête selon moi. Nous avons tiré alors de cette base 72 forages ayant d'épaisseur d'altération.

Après les traitements sur les quatre (04) bases, nous les avons combinés pour avoir une base unique qui comporte 534 forages.

2.4.3.4. Comparaison des paramètres des forages au positionnement des linéaments identifiés et évaluation de cibler l'épaisseur d'altération pour l'implantation des forages dans la commune de Dassa-Zoumé.

Le but de cette comparaison est de montrer la relation entre le taux de succès des forages et les linéaments tracés. Pour ce fait, nous avons réalisé une analyse statistique entre la fréquence de réalisation des forages et la distance aux linéaments et entre le taux de succès des forages et la distance aux linéaments.

Avant la réalisation des analyses, nous avons calculé la distance minimale entre forages et linéaments. Ce calcul est effectué avec l'outil « Matrice des distances » dans Qgis. La « Matrice des distances » est réalisée avec 534 forages de notre nouvelle base.

- **Analyse statistique entre la fréquence de réalisation des forages et la distance aux linéaments**

Les 534 forages de notre ont été retenus pour l'analyse entre la fréquence de réalisation des forages et la distance aux linéaments. Elle consiste à montrer la répartition des forages vis avis au positionnement des linéaments.

- **Analyse statistique entre le taux de succès des forages et la distance aux linéaments**

Sur les 534 forages de notre base, 88 forages ont servi à faire cette analyse entre le taux de succès des forages et la distance aux linéaments. L'analyse permettra de montrer les liens ou absence de liens entre le taux de succès des forages et les linéaments.

- **Analyse statistique entre l'épaisseur d'altération et le taux de succès**

Afin d'évaluer l'intérêt de cibler l'épaisseur d'altération nous avons réalisé une analyse statistique entre l'épaisseur d'altération et le taux de succès. Cette analyse a été réalisée dans le but de montrer le lien entre l'épaisseur d'altération et le taux de succès.

- **Analyse statistique entre la transmissivité et la distance aux linéaments**

Cette analyse est réalisée suite aux autres analyses pour pouvoir connaître relation entre la transmissivité et la distance aux linéaments. Nous avons utilisé 70 forages pour réaliser cette analyse. Ici, nous avons retenu 70 forages sur 534 pour réaliser l'analyse.

Dans le but de comparer les paramètres des forages aux linéaments, nous avons réalisé une analyse entre les forages et les failles géologiques. Pour ce faire, toutes les analyses réalisées avec les linéaments identifiés ont été réalisées avec les failles géologiques. Il s'agit de l'analyse statistique entre la fréquence de réalisation des forages, le taux de succès des forages et la distance aux linéaments géologiques.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3. Résultats

Les résultats se présentent en deux étapes. La première présente l'identification des linéaments, ensuite la seconde le lien entre le taux de succès des forages et les linéaments identifiés ensuite l'intérêt de cibler l'épaisseur d'altération.

3.1. Identification des linéaments

Identifier les linéaments est d'une grande importance dans la recherche en eau souterraine en zone de socle. En ce qui concerne cette étude, l'identification des linéaments représente l'objectif principal afin de montrer de façon globale la fracturation de zone d'étude.

➢ Technique de traitement du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Les différentes techniques de traitements appliquées au MNT (Ombrages d'un MNT, fusion des images rasters, amélioration du contraste de l'image raster) ont permis de mettre en évidence plusieurs orientations des linéaments puis de rendre plus lisible le MNT afin d'en extraire les linéaments.

Fusion des images rasters

La fusion des images raster est obtenue à l'issue de la réalisation des ombrages (Ombrage 0_30 Ombrage 60_30 Ombrage 120_30) suivie de l'amélioration du contraste afin de rendre plus lisible et nette l'image raster. Cela a permis de mettre en évidence toutes les zones de l'image à visualiser. La figure 10 montre les linéaments tracés (en lignes rouges) sur l'image raster.

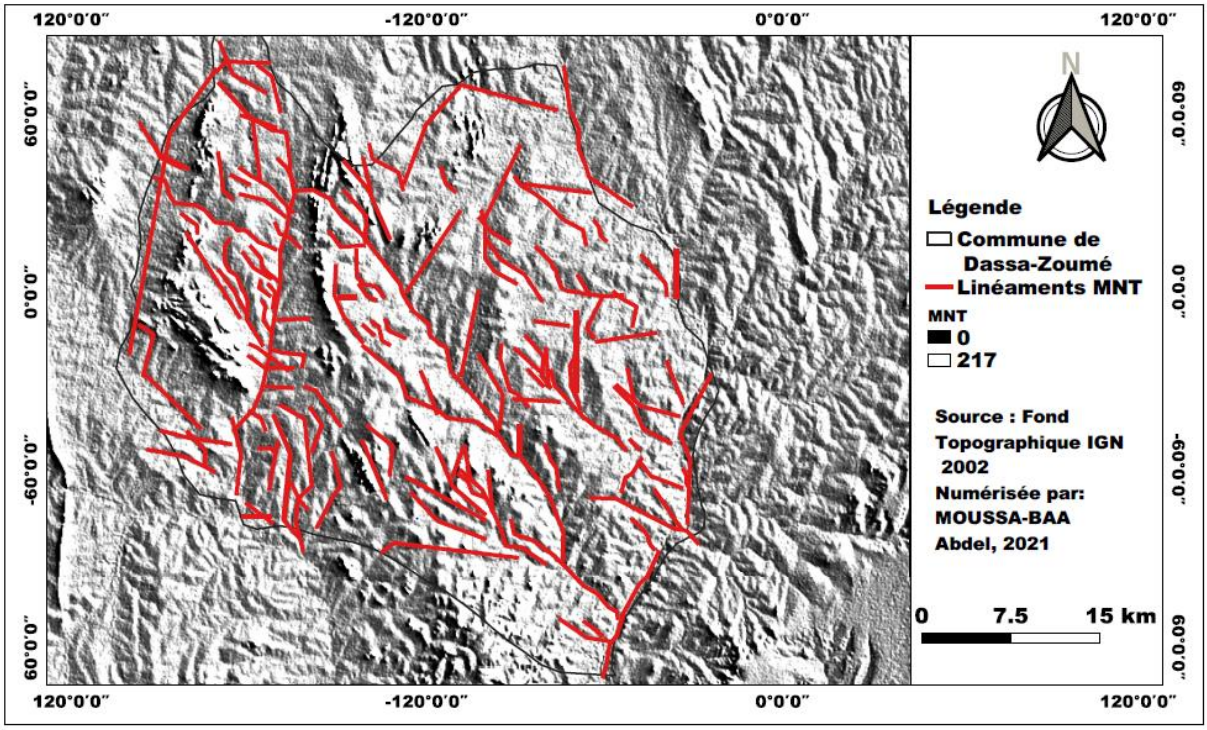


Figure 8: Image MNT traitée sur laquelle les linéaments sont numérisés

3.2. Carte des linéaments

La carte des linéaments présente à la figure 10 montre les linéaments identifiés de la zone d'étude. Elle comporte 122 linéaments de longueurs variables allant de 0,9 à 37,2 Kilomètres.

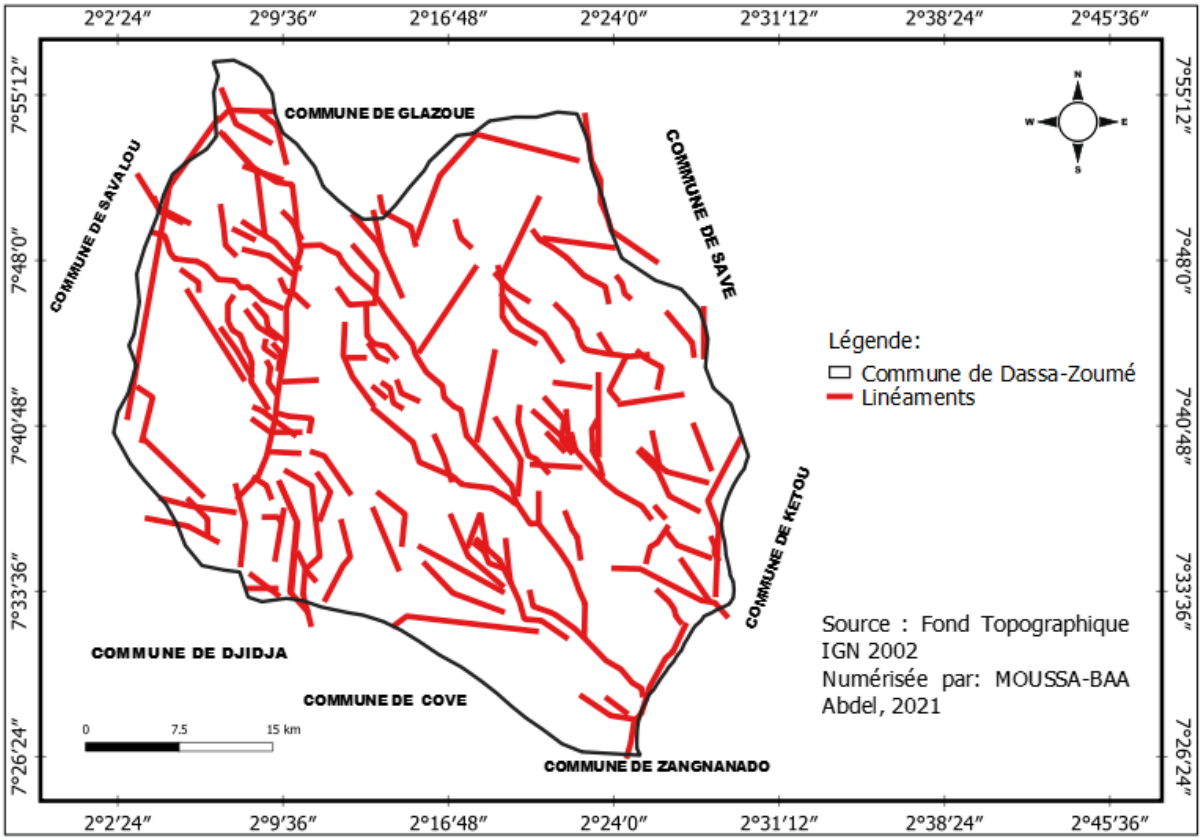


Figure 9: Carte des linéaments majeurs de la zone d'étude

3.2.1. Validation géologique de la carte linéamentaire : couplage des linéaments issus du MNT et des failles géologiques

Les failles géologiques relevées sur la feuille géologique de la zone d'étude ont été utilisé pour la validation des linéaments identifiés. Pour ce faire, une comparaison est réalisée entre les linéaments identifiés et les failles géologiques et une analyse statistique. Cette analyse statistique a consisté à comparer les longueurs et l'orientation des linéaments.

- **Analyse statistique des longueurs des linéaments**

La longueur des linéaments est considérée comme l'une des caractéristiques les plus importantes pour l'interprétation de la carte linéaments. Une analyse de longueur a été appliquée sur les linéaments identifiés manuellement à partir du MNT et les failles géologiques relevés sur la feuille géologique. La zone d'étude contient des linéaments d'une longueur variable allant de 0,9 à 37,2 kilomètres pour les linéaments tandis que les failles géologiques

ont une longueur variable allant de 0,8 à 25,1 km (tableau 2). La longueur totale des linéaments identifiés est de 385.9 kilomètres contre 654.2 kilomètres pour les failles géologiques comme l'indique le tableau 2. Les longueurs des linéaments ont été calculées numériquement à l'aide de Qgis.

Tableau 2: Statistiques de base des linéaments MNT et des failles géologiques

Variables	Linéaments MNT	Failles géologiques
Nombre de linéaments	122	97
Longueur min (km)	0,9	0,8
Longueur max (km)	37,2	25,1
Longueur moyenne (km)	5,91	6,7
Longueur totale (km)	721,7	654,2

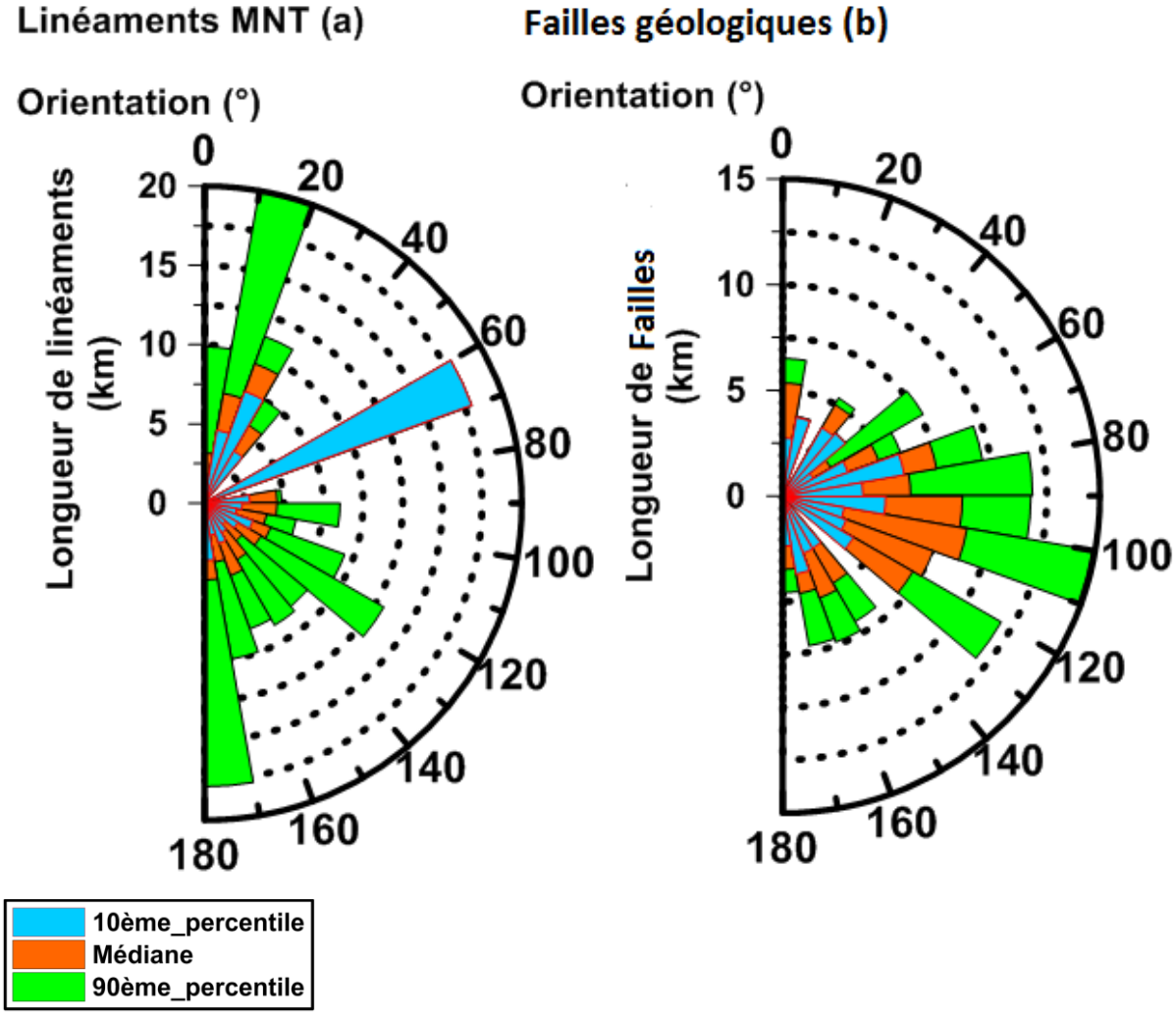


Figure 10: Rosace directionnelle (longueurs) des linéaments issus de MNT (a) et la rosace directionnelle (longueurs) des failles géologiques (b)

- **Orientations des linéaments**

L'orientation des linéaments et des failles géologiques est le deuxième critère que nous avons utilisé pour valider nos linéaments identifiés (linéaments géologiques). Les directions identifiées après extraction des linéaments et relevées sur la feuille géologique ont été calculées sous Qgis à partir de la formule suivante : « (*atan ((xat (-1) -xat (0)) / (yat (-1) -yat (0)))) *180/3.14159 + (180 *(((yat (-1) -yat (0)) < 0) + (((xat (-1) –xat (0)) < 0 AND (yat (-1) – yat (0)) >0) *2))* ».

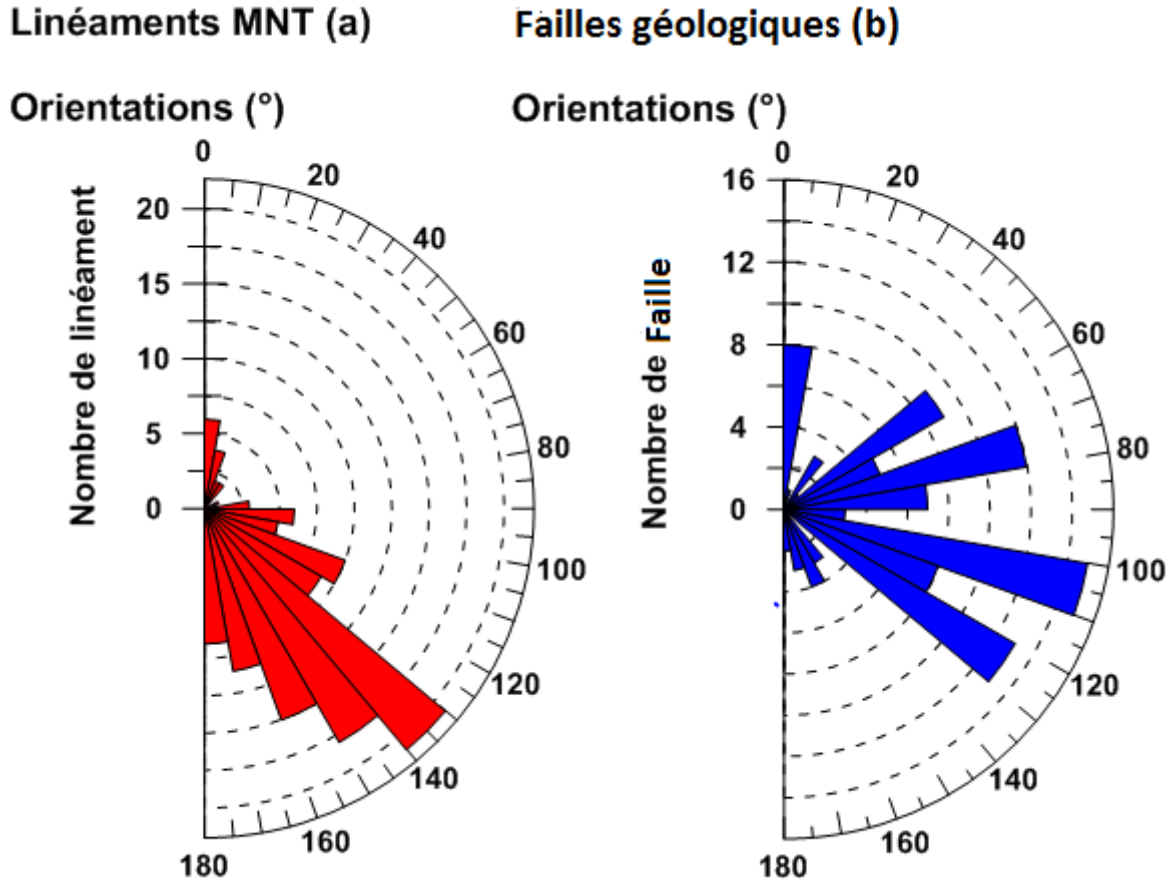


Figure 11 : Rosace directionnelle (orientations) des linéaments issus de MNT (a) et la rosace directionnelle (orientations) des failles géologiques (b)

L'analyse de la rosace directionnelle des linéaments identifiés à partir du MNT montre trois directions préférentielles à savoir : les directions NW-SE, N-S, E-W. Quant à la rosace des linéaments géologiques, elle montre trois directions préférentielles à savoir : les directions NE-SW, N-S, NW-SE.

Deux directions principales se dégagent des rosaces directionnelles (figure 12) il s'agit des directions N-S et NW-SE. On en déduit alors qu'il y a adéquation entre les linéaments identifiés sur le MNT et les linéaments géologiques. Ceci permet de valider la méthodologie d'identification des linéaments partir de l'analyse des Modèles Numériques de Terrain (MNT).

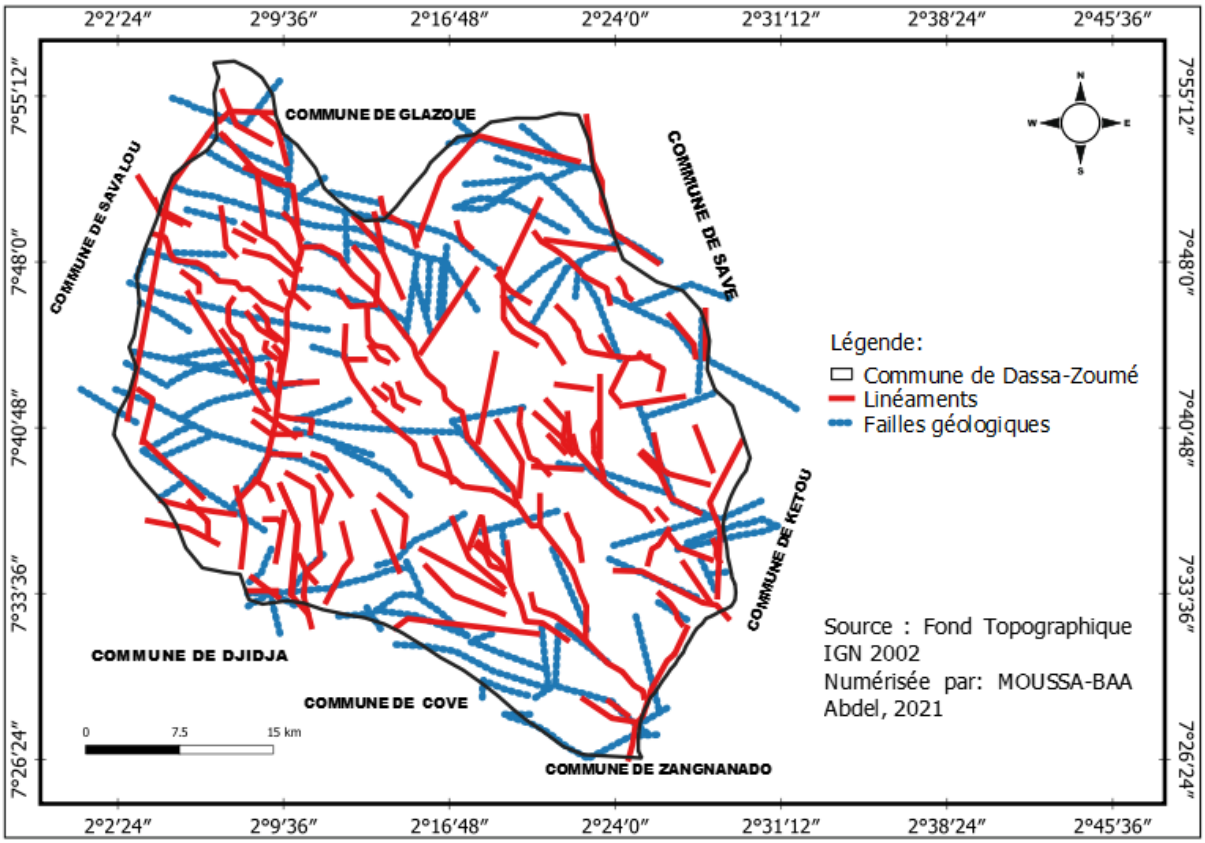


Figure 12 : Carte des linéaments MNT couplés aux failles géologiques

3.3. Comparaison des paramètres des forages au positionnement des linéaments identifiés

➢ Analyse statistique entre la fréquence de réalisation des forages et la distance aux linéaments

La carte des linéaments couplée aux forages de la zone d'étude (figure 15) présente le positionnement de 534 forages par rapport aux linéaments identifiés.

La figure 14 présente la relation entre la fréquence de réalisation des forages et la distance aux linéaments. De son, nous remarquons que beaucoup de forages sont réalisés à proximité des linéaments (181 sur 534 forages sont situés à moins de 500 m des linéaments). On en déduit que l'implantation des forages est réalisée suite à une étude linéamentaire.

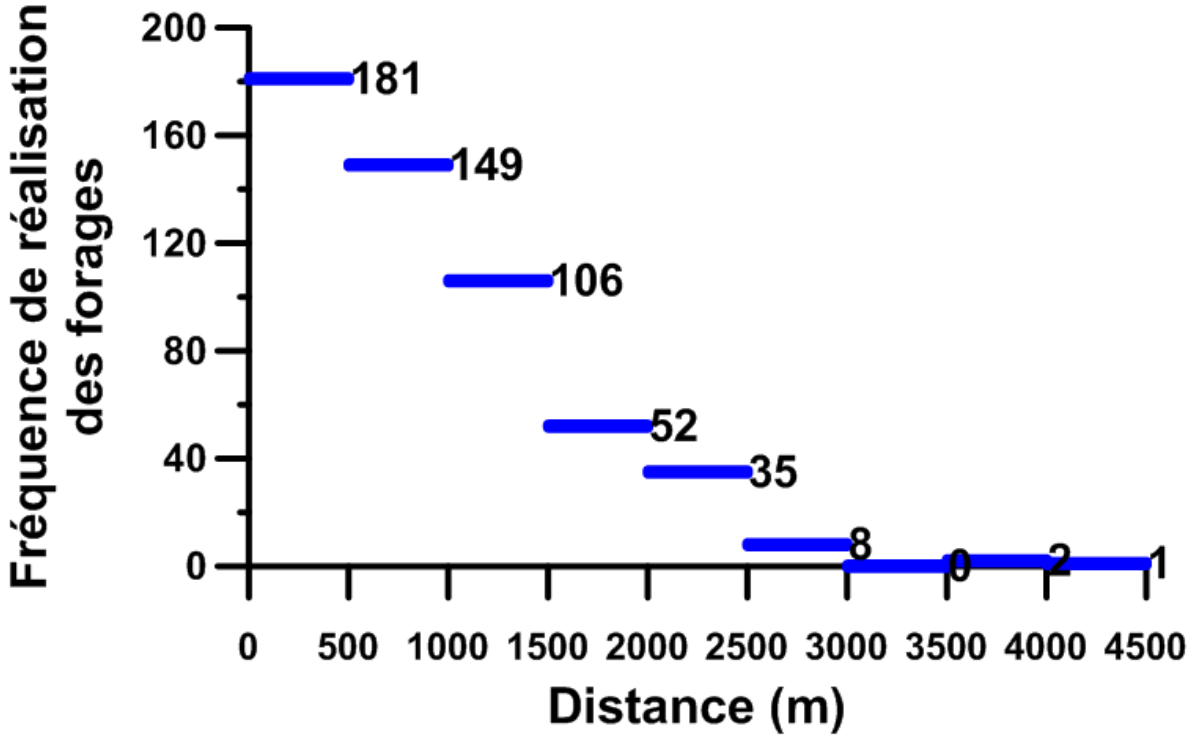


Figure 13: Fréquence de réalisation des forages vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance)

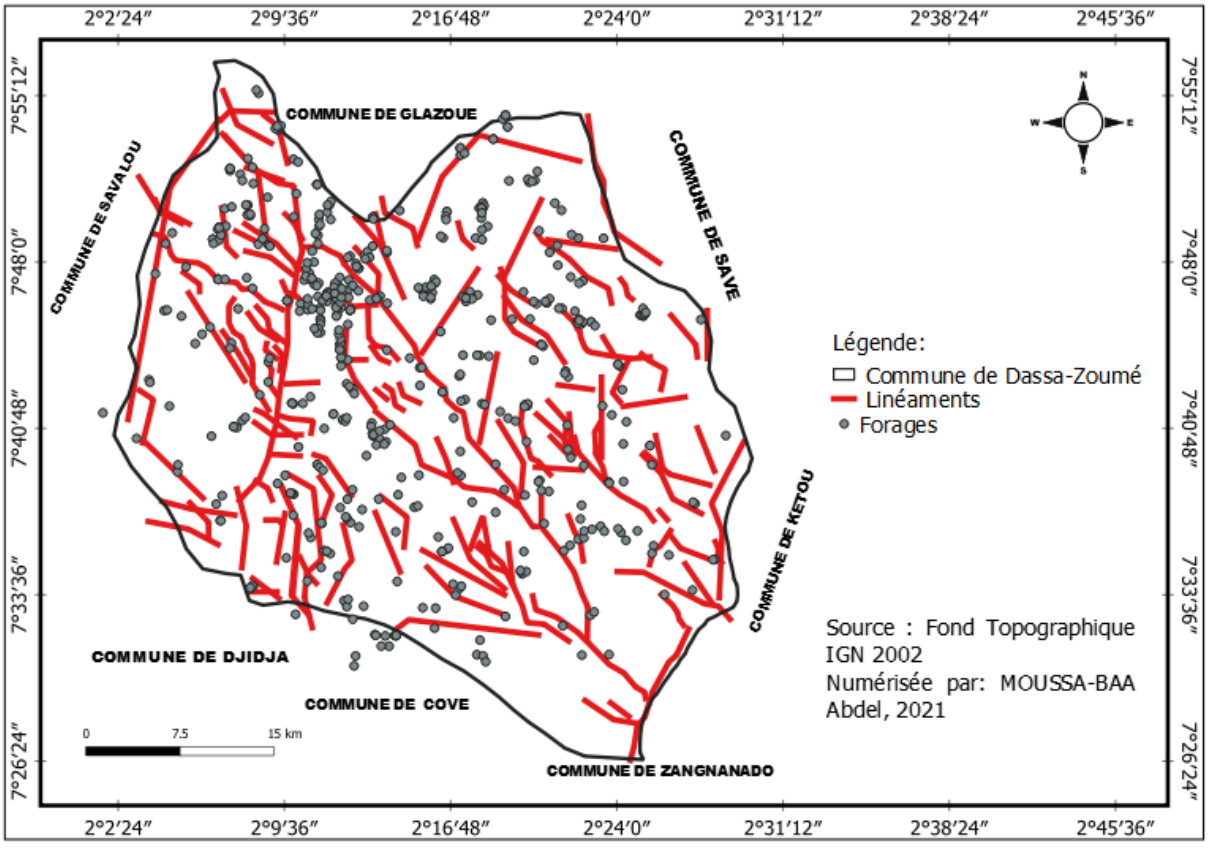


Figure 14: Carte des linéaments MNT couplée aux forages

➢ Analyse statistique entre le taux de succès des forages et la distance aux linéaments

L'analyse a été faite seulement sur une distance de 200 et 400 mètres bien que nous disposions de plus de données. Nous avons procédé ainsi parce que nous en sommes zone de socle et une fracture ne peut pas influencer dans un rayon de plus 500 mètres.

A une distance de moins 400 mètres (de 150 à 300 mètres) nous avons un taux de succès inférieur à 50% (figure 16). De plus nous constatons que même à une distance de 100 mètres le taux de succès est nul. A partir de la même figure nous remarquons à 200 mètres le taux de succès est toujours faible inférieur à 40%. Le taux de succès n'est donc pas corrélé à la distance aux linéaments.

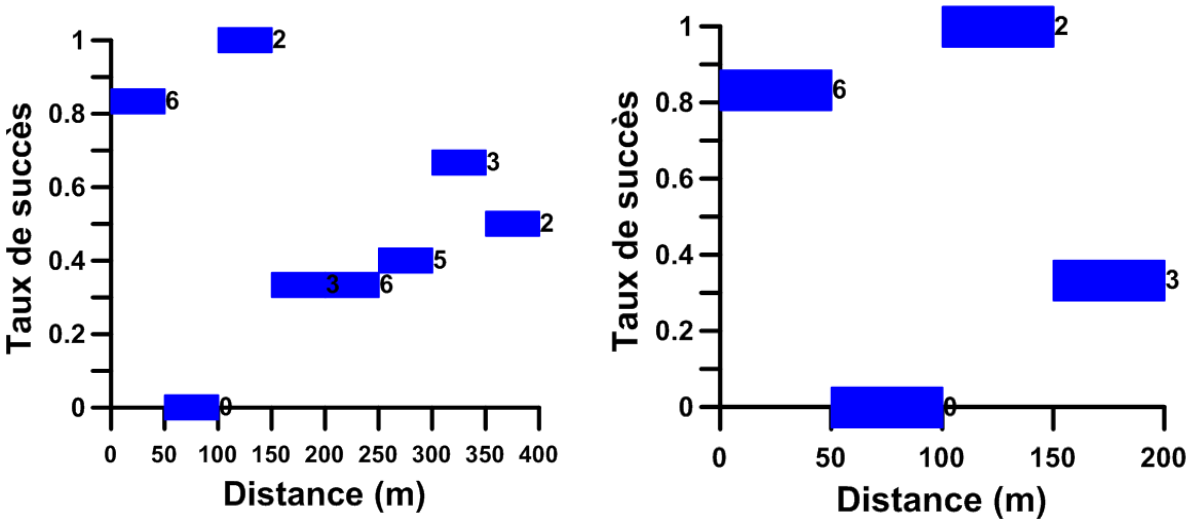


Figure 15: Taux de succès vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance)

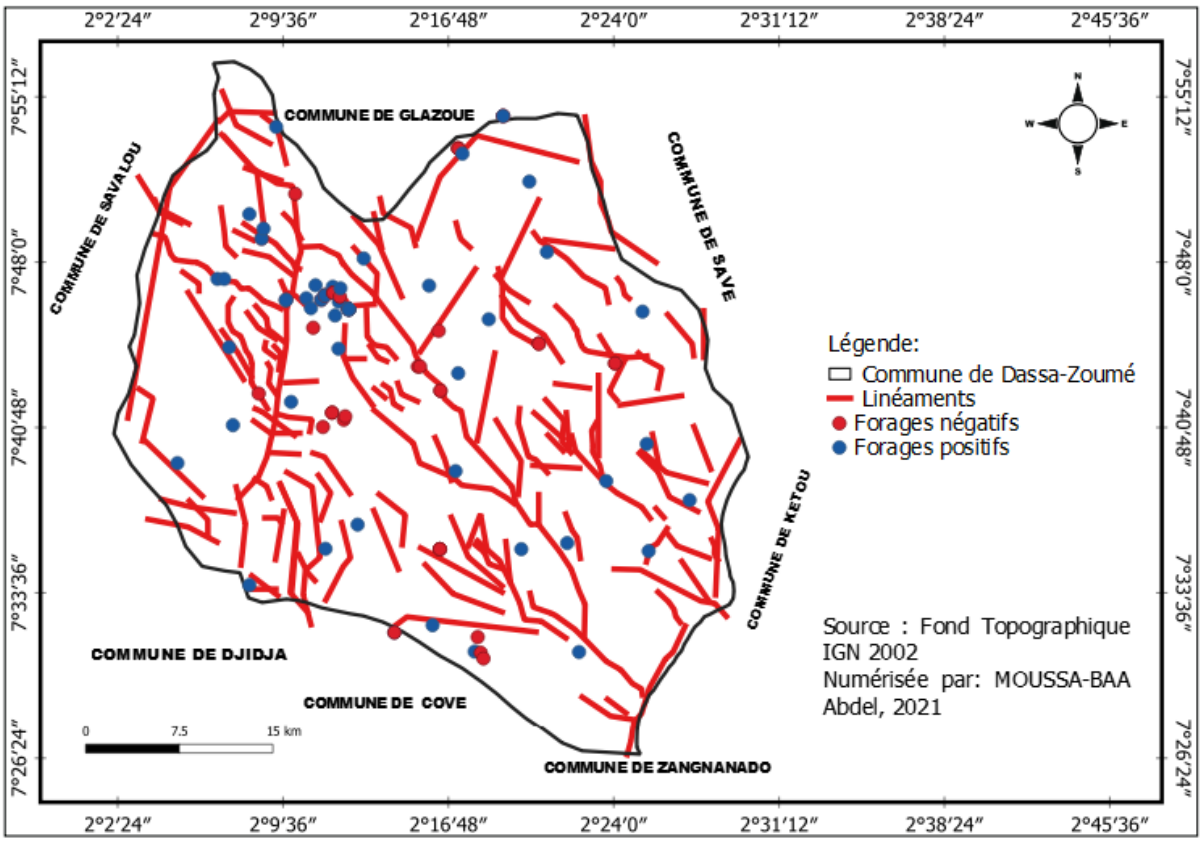


Figure 16: Carte des linéaments MNT couplée aux forages de la zone d'étude

➢ Analyse statistique entre l'épaisseur d'altération et le taux de succès

Dans notre base, 88 forages ont les deux (02) informations dont nous avons besoin ici. Il s'agit de l'état de forage (positif ou négatif) et de l'épaisseur d'altération. Nous avons utilisé ces 88 forages pour faire notre analyse.

A partir de la figure 17 qui présente la relation entre épaisseur d'altération et taux de succès, on remarque que plus l'épaisseur d'altération est importante plus le taux de succès est élevé (plus de 50 % de taux de succès avec des forages ayant une épaisseur d'altération comprise entre 15 et 35 mètre). On conclut que l'épaisseur d'altération joue un rôle primordial dans la productivité des forages.

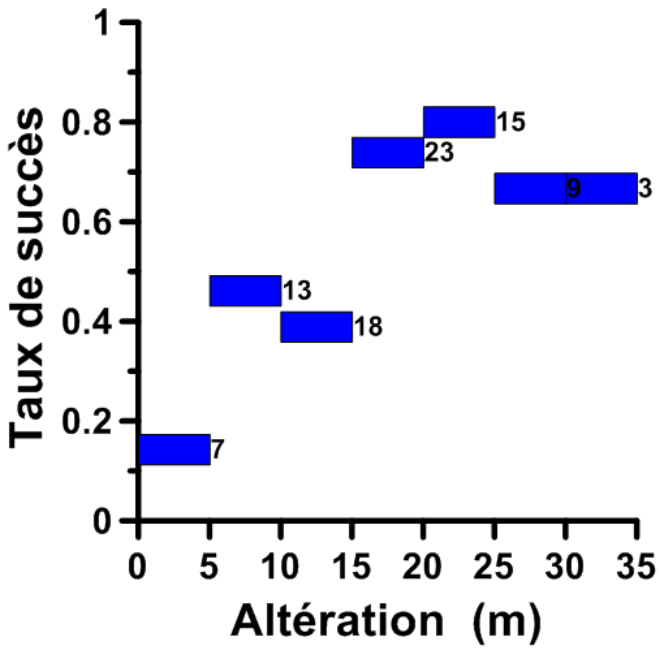


Figure 17: Epaisseur d'altération vs taux de succès (forages positifs), (la valeur est le nombre de forage par classe de distance)

➢ Analyse statistique entre la transmissivité et la distance aux linéaments

L'analyse est réalisée seulement sur une distance 1000 mètres bien que nous disposions de plus de données. D'après la figure 18 qui présente la relation entre la transmissivité et la distance aux linéaments nous constatons que même en étant proche des linéaments, la transmissivité est faible (moins de 0,0005 à 200 mètres). Les tramsmissivité les plus fortes se retrouvent à une distance supérieure à 600 mètres. Ce constat est contraire à nos hypothèses.

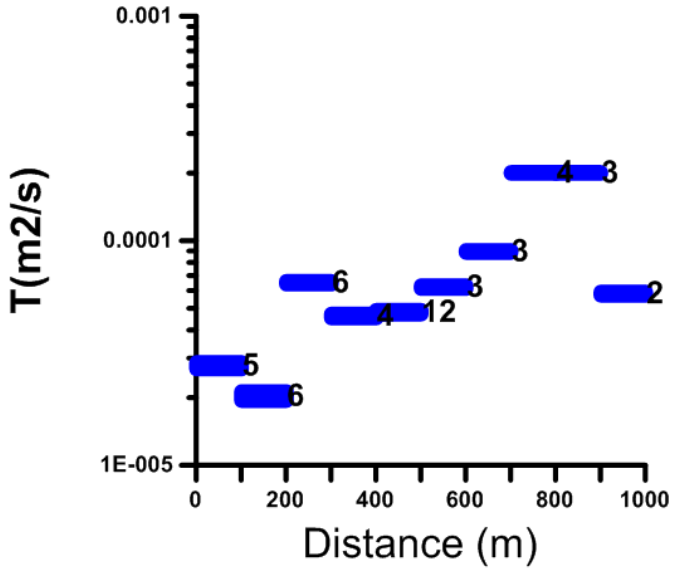


Figure 18: Transmissivité vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance)

➢ Analyse statistique entre la fréquence de réalisation des forages et la distance aux failles géologiques

La carte de failles géologiques couplée aux forages de la zone d'étude (figure 20) présente le positionnement de 534 forages par rapport aux linéaments géologiques.

Plusieurs forages sont positionnés à proximité des failles géologiques (197 forages entre 0 et 500 mètres) figure 15. Nous déduisons alors que les forages sont implantés après une étude linéamentaire. Ces mêmes résultats ont été obtenus avec les linéaments identifiés à partir du MNT.

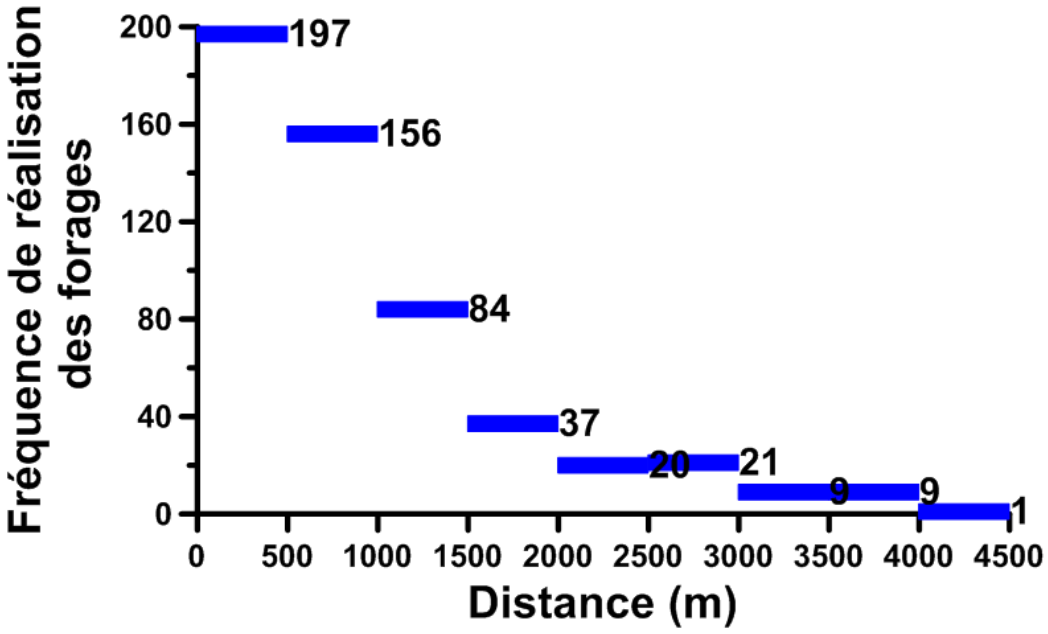


Figure 19: Fréquence de réalisation des forages vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance)

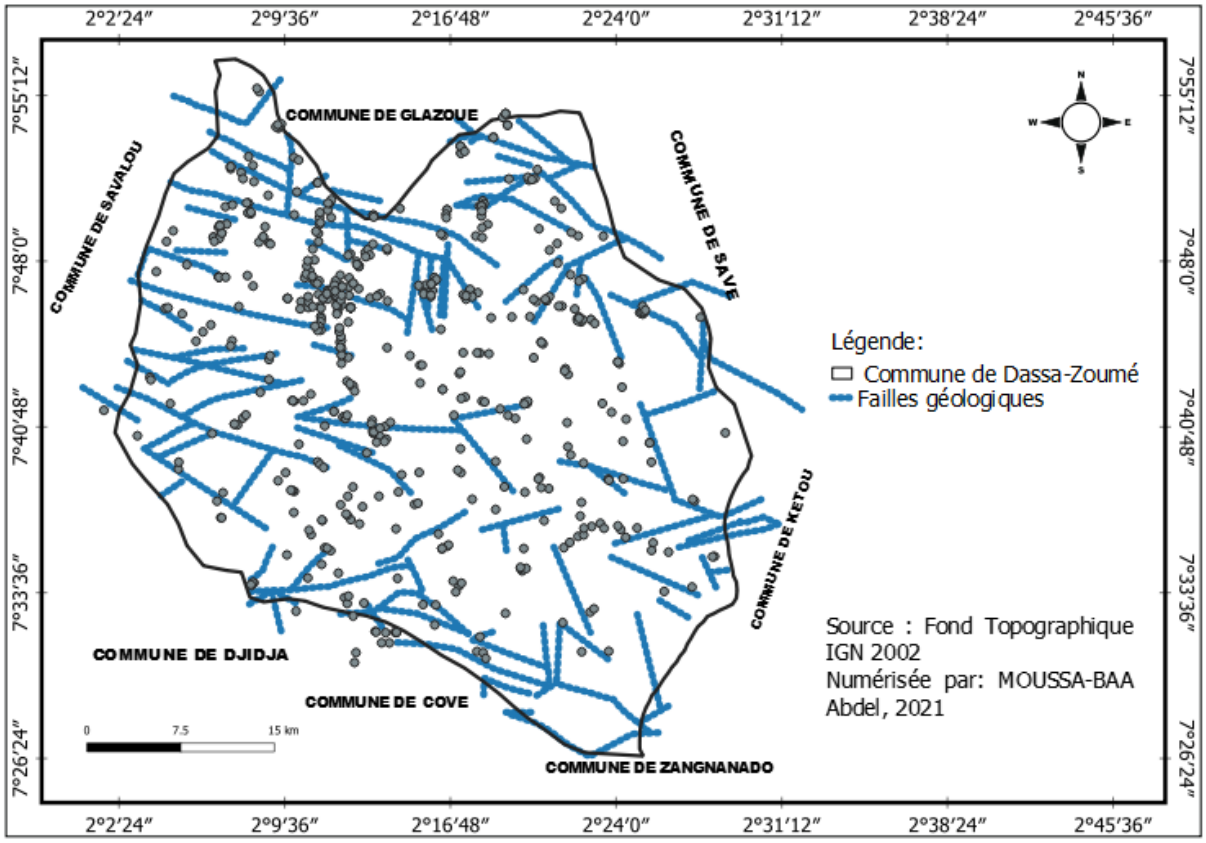


Figure 20: Carte des failles géologiques couplée aux forages de la zone d'étude

➢ Analyse statistique entre le taux de succès des forages et la distance aux linéaments géologiques

Nous avons réalisé notre analyse sur une distance de 200 et 400 mètres bien que nous disposions de plus de données. Nous avons procédé ainsi parce que nous considérons qu'en zone de socle et une fracture ne peut pas influencer à plus de 500 mètres.

A 50 et 250 mètres le taux de succès est nul (Graphe 1). En étant également à 200 mètres le taux de succès est toujours faible voir nul (Graphe 2). On note une absence de relation entre le taux de succès et la distance aux linéaments géologiques.

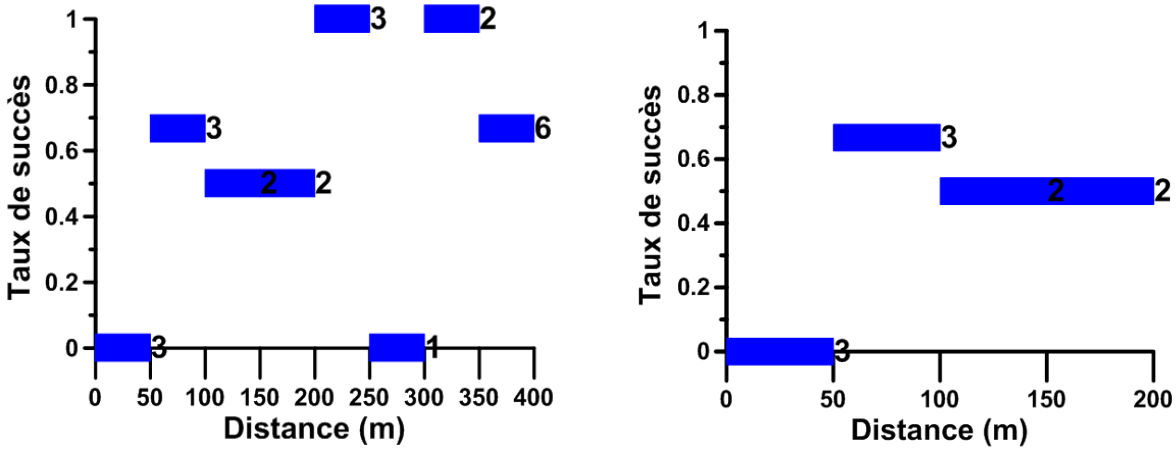


Figure 21: Taux de succès vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance)

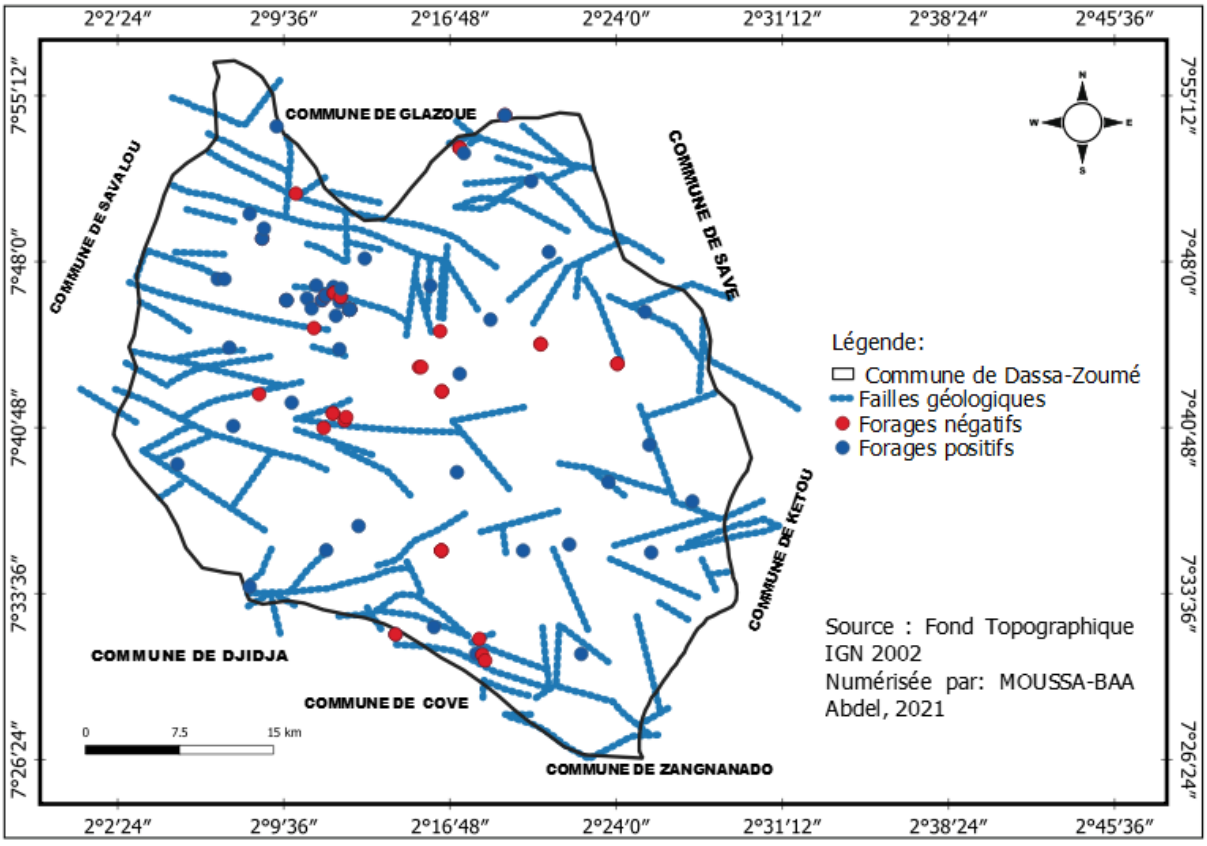


Figure 22: Carte des failles géologiques couplée aux forages

- **Analyse statistique entre la transmissivité et la distance aux failles géologiques**

L'analyse est réalisée seulement sur une distance 1000 mètres bien que nous disposions de plus de données. On constate en étant proche des linéaments, la transmissivité est faible (moins de 0,0005 à 200 mètres). Les tramsmissivité les plus fortes se retrouvent à une distance supérieure

à 600 mètres. Ce constat est contraire à nos hypothèses. Ces mêmes résultats ont été obtenus avec les linéaments identifiés à partir du MNT.

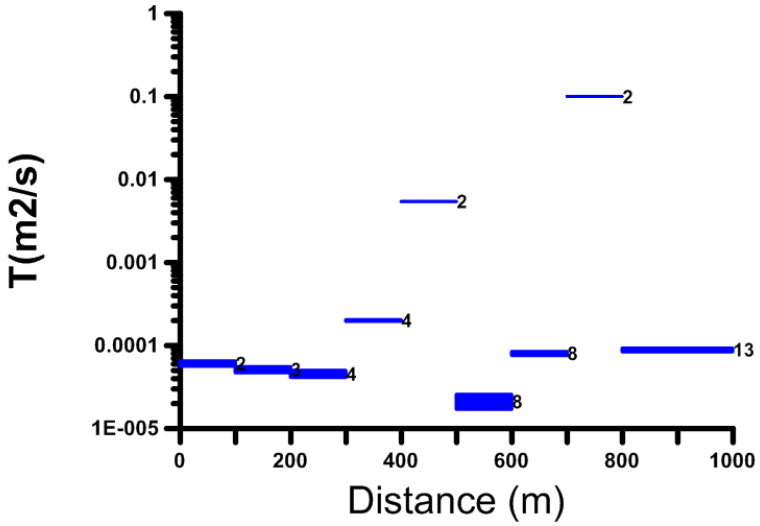


Figure 23: Transmissivité vs distance (la valeur est le nombre de forage par classe de distance)

4. Discussion

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'apport de l'analyse des modèles numériques de terrain dans la méthodologie d'implantation de forage pour le captage des eaux souterraines dans la commune de Dassa-Zoumé.

L'utilisation des différentes techniques de prétraitement et de traitement a permis l'amélioration de la lisibilité du MNT de type SRTM. Ceci nous a permis d'identifier les linéaments de notre zone d'étude. Les images SRTM offrent une représentation explicite des éléments physiques tels que le réseau hydrographique, les crêtes montagneuses, les ruptures de pentes, les accidents structuraux et leurs rejets apparents ou réels. De plus, elles ont l'avantage d'être assez clair avec moins d'interférence atmosphérique possible. Les travaux de Coulibaly et *al* (2016), de Akamé (2013) ont montré le rôle majeur des images SRTM dans la cartographie des linéaments.

L'extraction (tracé) manuelle des linéaments utilisée dans nos travaux s'avère compliquée en raison du temps mis pour tracer les linéaments après photo-interprétation. La carte des linéaments produite automatiquement est jugée très efficace puisqu'elle permet d'économiser du temps. Néanmoins, la carte des linéaments obtenue pour cette étude par la méthode manuelle est très satisfaisante du point de vue précision et la fiabilité des informations fournies puisque notre zone d'étude est petite. Cette méthode est alors recommandée pour les extractions sur une petite zone d'étude. Les linéaments identifiés présentent deux directions préférentielles qui coïncident avec les failles géologiques relevés sur la feuille géologique d'Abomey-Zagnanado. Il s'agit des directions N-S et NE-SW. Les failles géologiques relevées sur la feuille géologique d'Abomey-Zagnanado ont permis de valider les linéaments identifiés.

Les résultats obtenus après les analyses statistiques ont montré que les forages dans la commune de Dassa-Zoumé beaucoup de forages sont implantés à proximité des linéaments. Mais nous avons une absence de relation entre le taux de succès des forages et la distance au linéament. Ces mêmes résultats ont été obtenus par Wright *and* Burgess, 1992 qui ont révélé qu'au Zimbabwé la majorité des 163 forages implantés en se basant sur les linéaments ont montré qu'il n'y a pas une absence de relation entre le succès des forages et la proximité.

Plusieurs études telles que celle réalisées par Berger *et al.*, 1980 ; Dibi *et al.*, 2004 ; Olayinka, 1992 ont montré des relations entre l'épaisseur d'altération et le taux de succès des

forages en zone de socle. De plus Allé, 2019 a montré dans ses travaux en zone de socle que la cible hydrogéologique est l'épaisseur d'altération tout en tenant compte de sa nature.

Conclusion

Notre étude a pour objectif d'évaluer l'apport de l'analyse des modèles numériques de terrain dans la méthodologie d'implantation de forage pour le captage des eaux souterraines dans la commune de Dassa-Zoumé.

Les différentes techniques de prétraitement et de traitement ont permis d'améliorer la lisibilité du MNT. Suite au traitement, 122 linéaments ont été identifiés manuellement. Les linéaments identifiés présentent deux directions préférentielles qui coïncident avec les failles géologiques relevés sur la feuille géologique d'Abomey-Zagnanado. Il s'agit des directions N-S et NE-SW. La comparaison des linéaments extraits manuellement aux failles géologiques a permis de valider la méthodologie d'extraction des linéaments ainsi que les linéaments extraits.

Les analyses statistiques ont montré que dans la commune de Dassa-Zoumé, beaucoup de forages sont implantés à proximité des linéaments (181 sur 534 forages sont situés à moins de 500 m des linéaments). Nous avons constaté une absence de relation entre la distance au linéament identifié et le taux de succès des forages. C'est-à-dire 35 % des forages à moins de 150 m sont négatifs. Concernant l'intérêt d'évaluer l'épaisseur d'altération, nous remarquons que plus l'épaisseur d'altération est importante, plus le taux de succès est élevé (plus de 50 % de taux de succès avec des forages ayant une épaisseur d'altération comprise entre 15 et 35 m). Alors les sites présentant des épaisseurs d'altération importantes sont plus susceptibles de fournir des forages positifs.

Perspectives

Bien que nous soyons conscients d'avoir juste apporté une réponse aux nombreux problèmes qui se posent dans le socle au sein de notre zone d'étude, nous suggérons dans l'optique d'apporter plus de précision à la connaissance des implantations des forages dans notre zone d'étude de :

- Faire une étude plus approfondie sur la validation des linéaments dans la commune de Dassa-Zoumé ;
- Réactualiser les différentes bases de données de la direction générale de l'eau (DG-Eau) afin de faciliter les recherches des travaux à venir dans le domaine ;

Références bibliographiques

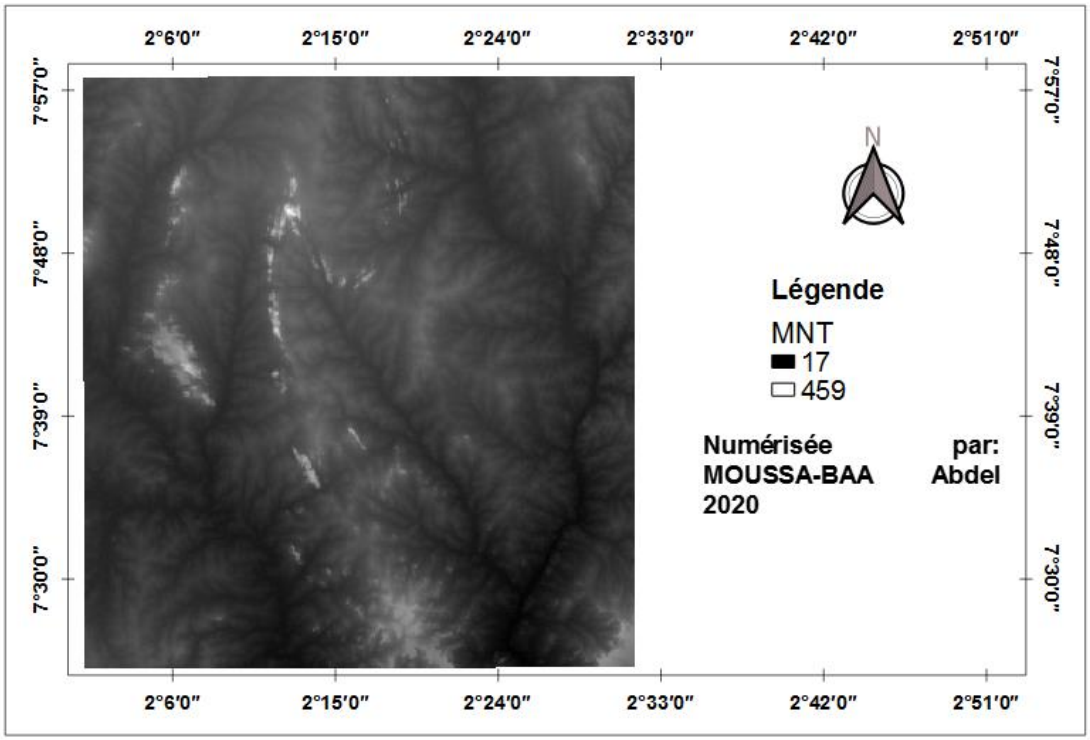
1. **ADISSIN GLODJI C. L. (2012).** La zone de cisaillement de Kandi et le magmatisme associé dans la région de Savalou-Dassa (Bénin) : Etude structurale, pétrographique et géochronologique, Thèse de doctorat, Université Jean Monnet Saint Etienne et Université d'Abomey-Calavi, 277 pages.
2. **AFFATON, P., RAHAMAN, M.A., TROMPETTE, R., SOUGY, J., 1991.** The Dahomeyide Orogen: Tectonothermal Evolution and Relationships with the Volta Basin. In: R.D. Dallmeyer and J.P. Lécorché (eds) The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives, Springer-Verlag, Berlin, pp. 107-122.
3. **AKAME J.M., MVONDO O.J., OLINGA J.B., ESSONO J., & MBIH P. K.** Utilisation des modèles numériques de terrain (MNT) SRTM pour la cartographie des linéaments structuraux : Application à l'Archéen de Mezesse à l'est de Sangamélima (Sud-Cameroun)
4. **AKOKPONHOUE Y.N. (2020)** Apport de la Télédétection Et De La Géophysique Dans La Cartographie Des Factures Hydrauliquement Actives En Zone de Socle Au Centre-Ouest Du Bénin, thèse de doctorat, Université Abomey-Calavi, 200pages.
5. **ALSHASEF M.S. MOHAMMED A.M. JAVED A.& ALBAROOT M.A.** Manuel and Automatic Extracrtion of Lineaments From Multispectral Image in Part of Al-Rawdah, Shabwah Yeman by Using Remote Sensing and GIS Technology, International Journal of New Technology and Research (IJNTR), ISSN 2454-411, Volume-3, Issue-February 2017 Pages 67-74.
6. **ALLE C. (2019)** Évaluation de l'implantation géophysique des forages d'eau en zone de socle en milieu tropical (Bénin, Afrique de l'Ouest) : apport de la tomographie de résistivité électrique pour la caractérisation de la cible hydrogéologique, 242 pages.
7. **AZONWADE E. F. (2012)** Caractérisation hydrodynamique et évaluation de la vulnérabilité à la pollution du système aquifère discontinue de la commune de Dassa-Zoumé (centre Bénin), mémoire de master, 133pages.
8. **BERGER, J., CAMERLO, J., FAHY, C., HAUBERT, M**., 1980. Etudes des ressources en eaux souterraines dans une région de socle cristallin : la boucle du cacao, Côte d'Ivoire (Groundwater resources studies in a crystalline basement rock : the cocoa loop, Ivory Coast). Groun Bull 2è série n°4, (1980-81) p.273-291.
9. **BREDA,** 1989**.** Notice explicative de la carte géologique à 1/200000. Feuilles Pira-Savè, Abomey-Zagnanado, Lokossa-Porto-Novo, 77p.

10. **BREDA, 1985.** Etude de la cartographie géologique et prospection minière de reconnaissance au Sud du 9ème parallèle. Première phase, 111p.
11. **Boukari M**. **(1982)** Contribution l'étude hydrogéologique des régions de socle de l'Afrique intertropical : hydrogéologie de la région de Dassa-Zoumé (bénin), thèse de doctorat de 3ème cycle Université de Dakar, 141 pages.
12. **Boukari M**. **(2007)** hydrogéologie de la république du Bénin (Afrique de l'Ouest), Africa géoscience review, vol 14, No3, pp 3O3-328, 2007.
13. **CAPO-CHICHI Y.J. (2006)** MONOGRAPHIE de la commune de Dassa-Zoumé, 35p.
14. **CIEH**, 1984. Utilisation des méthodes géophysiques pour la recherche d'eau dans le saquifères discontinus, Rapport BURGEAP R. 543/E. 1219. ed. CIEH (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques), Paris.
15. **DC-EAU, (2010)** Fiches techniques de collecte de données techniques d'hydraulique villageoise. Livre, DG-EAU, Cotonou, Bénin, 46p.
16. **Dibi, B., Inza, D., Goula, B.A., Savané, I., Biemi, J., 2004.** Analyse statistique des paramètres influençant la productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région d'Aboisso (Sud-Est de la Côte D'Ivoire). Sud Sci. Technol. 13, 22–31.
17. **GLOBAL CONSULTING CENTER, (2002).** Etude d'implantation et contrôle des travaux de réalisation de quarante (40) forages d'exploitation dans le département des Collines, Cotonou, Bénin, 196p.
18. **JOURDA J. P. (2005).** Méthodologie d'application des techniques de Télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Cocody, 430 p.
19. **KABRE W. P. (2012).** Caractérisation hydrogéologique d'un aquifère en milieu de socle fracturé Cas De la province du Kourwéogo 53 pages.
20. **LACHASSAGNE P., MARECHAL J. C., AHMED SH., DEWANDEL B., GANDOLFI J. M., KRISHNAMURTHY N. S., SUBRAHMANYAM, WYNS R. (2005).** Nouveaux outils et méthodes pour gérer et protéger la ressource en eau souterraine des régions du socle. Hydroplus, 150 pp 54-57.
21. **OFFICE BENINOISE DES MINES. (1989).** Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000, feuille Abomey-Zagnanado, Lokossa-Porto-Novo, Pira-Savè, 77p.

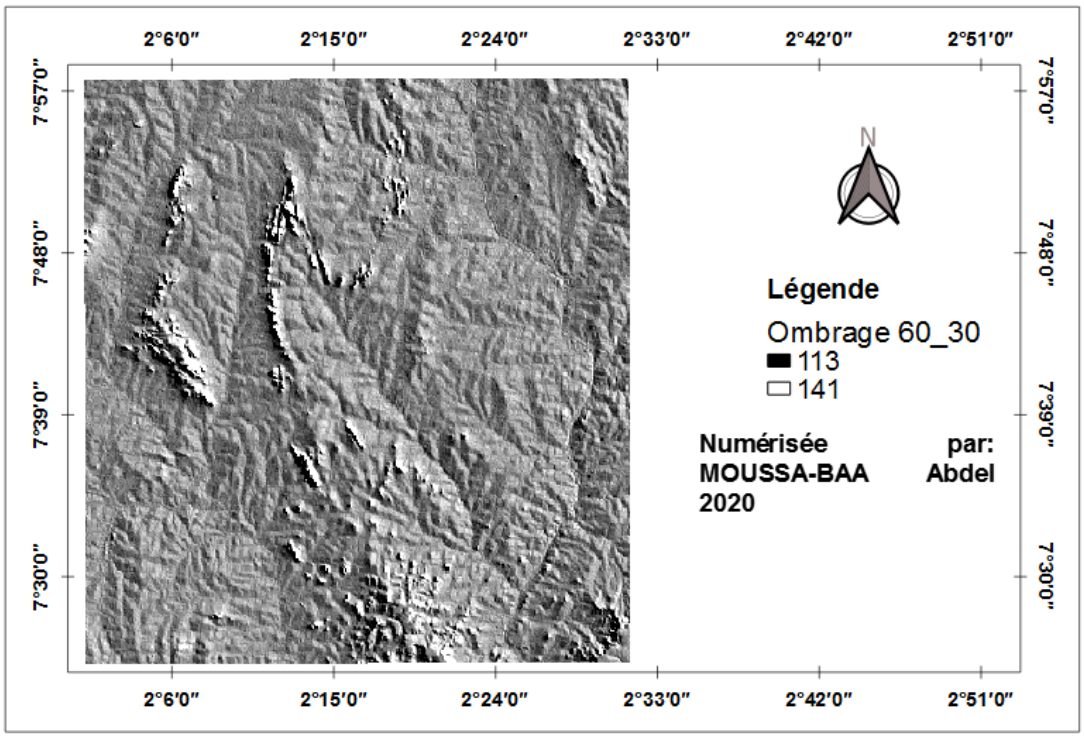
22. **OLAYINKA, A.I., 1992.** Geophysical siting of boreholes in crystalline basement areas of Africa. J. Afr. Earth Sci. Middle East 14, 197–207. https://doi.org/10.1016/0899-5362 (92)90097-V.
23. **PLAN DE DEVELOPPEMENT COMMUNAL - 2010-2014 20p.**
24. **RGPH-4, 2013** : Cahier des villages et quartiers de ville du département des collines 30p.
25. **ROQUES C. (2014) :** Hydrogéologie des zones de faille du socle cristallin : Implications en termes de ressources en eau pour le Massif Armoricain. Thèse de doctorat Université de Rennes 285p
26. **POUGNET, R., 1955.** Le Précambrien du Dahomey, Thèse de Doctorat, Université de Clermont-Ferrand, 186 pp.
27. **SALEY M. R. (2003).** Cartographie thématique des aquifères de fissures pour l'évaluation des ressources en eau. Mise en place d'une nouvelle méthode d'extraction des discontinuités images et d'un SIHRS pour la gestion semi-montagneuse de Man Nord-Ouest de la côte d'Ivoire, Thèse univ. Cocody. Abidjan, 209 p.
28. **KÖNIG, C., 2016**. L'importance de l'eau pour l'homme et les êtres vivants, 21 octobre 2016, [en ligne] https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durableeau-elle-encore-bleue-618/page/7/ (consulté le 2 novembre 2021).
29. **WRIGHT, E.P., BURGESS, W.G., 1992**. The hydrogeology of crystalline basement aquifers in Africa. Geol. Soc. special publication, 262
30. **YALO N, AKOKPONHOUE Y.N**, **AKOKPONHOUE H.D, YOUAN T.M, AGBAHOUNGBA G. (2019),** Apport De la Télédétection Et De La Géophysique Dans La Cartographie Des Fractures Hydrauliquement Actives En Zone De Socle Au Centre-Ouest Du Bénin, 426 pages.
31. **YAO T**., Extraction de linéaments structuraux à partir d'images satellitaire et estimation des biais induits en milieu de socle précambrien métamorphique.

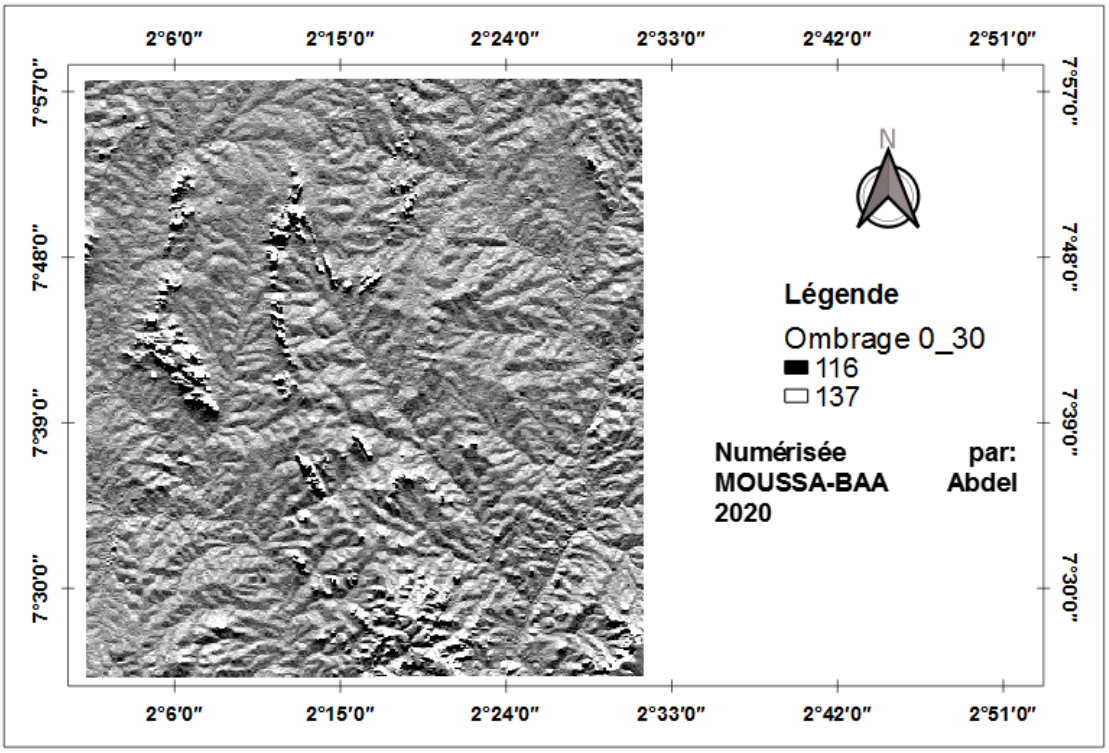
Annexes

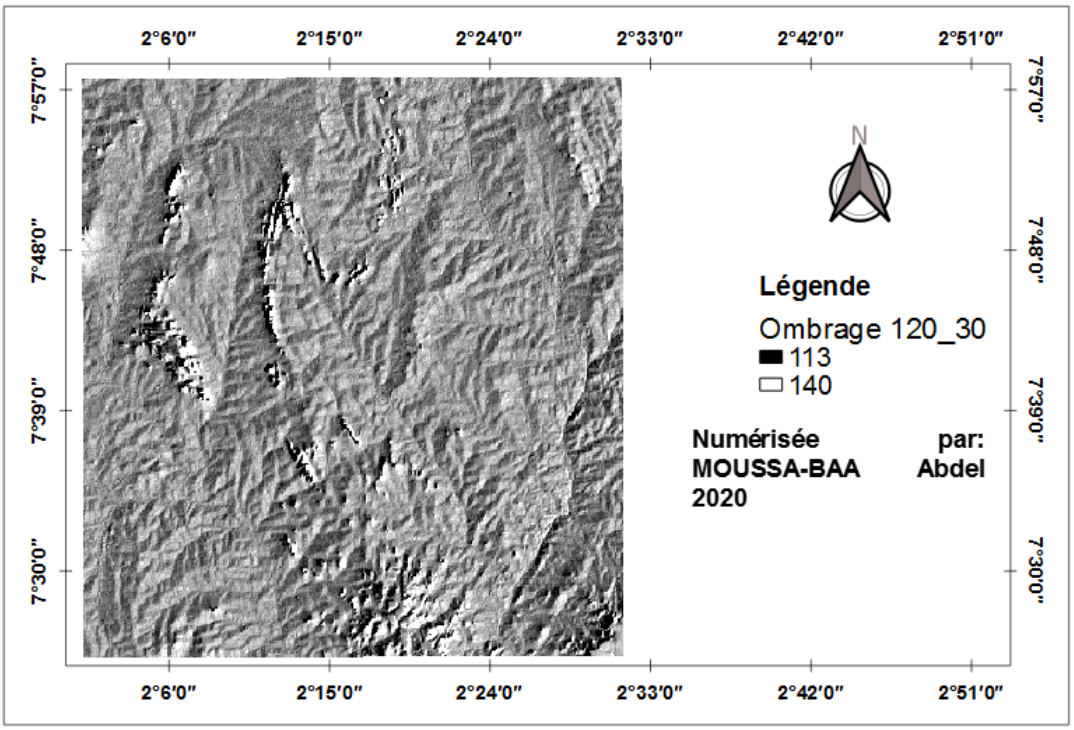
Annexe 1 : Carte du modèle numérique du terrain (MNT)



Annexe 2 : Cartes de l'image raster d'ombrage




2°6'0"
2°15'0"
2°24'0"
2°33'0"
2°42'0"
2°51'0"
7°57'0"
7°48'0"
7°39'0"
7°30'0"
N
Légende
Ombrage 0_30
116
137
Numérisée par:
MOUSSA-BAA Abdel
2020


2°6'0"
2°15'0"
2°24'0"
2°33'0"
2°42'0"
2°51'0"
7°57'0"
7°48'0"
7°39'0"
7°30'0"
N
Légende
Ombrage 120_30
113
140
Numérisée par:
MOUSSA-BAA Abdel
2020

Annexe 2 : Quelques données techniques des forages

Code	Distances aux linéaments	Village	Indice_IRH	Transmissivité	Rabattement	Coordonnées		Epaisseur d'altération	Lithologie
						X	Y		
F1	382	ESSEKPA	ABO-A-0004-05	0	3.98	2.374278	7.755583		
F2	634.6	KERE	INC-C-1293-05	0	9.51	2.403889	7.708389		
F3	636.4	AGAO	INC-C-1294-05	0	12.38	2.423861	7.668083	16	Granite
F4	1669.5	AGAO	INC-C-1295-05	0	11.25	2.404611	7.66925		
F5	842.9	AGAO	INC-C-1296-05	0	1.33	2.362917	7.721778		
F6	803.3	AGBOGBOME	INC-C-1298-05	0.000032	2.45	2.364861	7.717583		
F7	417.5	AGBOGBOME	INC-C-1299-05	0	6.31	2.372167	7.817778		
F8	34.6	MAHOU	INC-C-1305-05	0	15.18	2.360417	7.767028		
F9	1033.2	AYEDERO	SAV-C-7274-05	0	8.89	2.349306	7.771083		
F10	152.4	GBAFFO	ZAG-A-0010-05	0	5.84	2.358083	7.767		
F11	1160.5	AKOBA	ZAG-A-0607-05	0.000313	8.53	2.184167	7.775556		
F12	1195.4	HOUNKPOGON	ZAG-A-1130-05	0.0000277	19.41	2.190806	7.778083		
F13	44.4	HOUNKPOGON	ZAG-A-1133-05	0	15.91	2.136861	7.781556		
F14	657.5	ZOUTO ATCHERIGBE	ZAG-A-1139-05	0	7.95	2.196417	7.774389		
F15	485.9	ZOUTO ATCHERIGBE	ZAG-A-1140-05	0	10.53	2.197472	7.775805		

Table des matières

Dédicace ii
In memorium iv
Remerciements v
Résume vi
Abstract vii
Liste des figures viii
Liste des tableaux ix
Définitions des sigles et abréviations x
Sommaire xi
Introduction générale 1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE 3
1. Présentation du milieu d'étude 4
1.1. Localisation de la zone d'étude 4
1. Contextes hydro-climatique de la zone 5
1.2.1. Pluviométrie 5
1.2.2. Température 5
1.3. Contextes géomorphologie et pédologique 6
1.3.1. Contexte géomorphologie 6
1.3.2. Contexte pédologique 7
1.4. Végétation 8
1.5. Contexte Hydrographique 9
1.6. Géologie 9
1.7. Hydrogéologie 14
1.8. Les milieux fissurés 15
1.9. Indices de productivité liés à l'infiltration 16
CHAPITRE II : DEMARCHE METHODOLOGIQUE ..... **Erreur ! Signet non défini.**
2. Données, Matériels et Méthodologie 19
2.1. Données hydrogéologiques 19
2.2. Les données SRTM (Shuttle Radar Topogrphy Mission) 19
2.3. Matériel utilisé 19

2.4. Méthodologie 20
2.4.1. Recherche documentaire 20
2.4.2. Collecte des données 20
2.4.3. Traitement des données 20
2.4.3.1. Identification des linéaments 20
2.4.3.2. Comparaison des linéaments extraits à partir du MNT aux failles géologiques 22
2.4.3.3. Constitution d'une base unique pour des analyses statistiques 23
2.4.3.4. Comparaison des paramètres des forages au positionnement des linéaments identifiés et évaluation de cibler l'épaisseur d'altération pour l'implantation des forages dans la commune de Dassa-Zoumé. 25
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....**Erreur ! Signet non défini.**
3. Résultats 28
3.1. Identification des linéaments 28
3.2. Carte des linéaments 29
3.2.1. Validation géologique de la carte linéamentaire : couplage des linéaments issus du MNT et des failles géologiques 29
3.3. Comparaison des paramètres des forages au positionnement des linéaments identifiés 32
4. Discussion 41
Conclusion 43
Perspectives 44
Références bibliographiques 45
Annexes 48
Table des matières 51