

Évaluation Du Degré De Corrélation Entre Le Modèle Du Potentiel En Eau Souterraine De La Commune De Tanghin-Dassouri Et Les Données Hydrogéologiques Actuelles (Burkina Faso)

Bonssara Issiaka^{1*}, Aboyeji Olatunji Sunday², Toko Mouhamadou Inoussa³, Yabi Ibouraima⁴, Paré Tahibou⁵

^{1*2*3}Département de la Science de l'Information Géographique (SIG). Institut Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Information Géospatiale (AFRIGIST), Campus Universitaire Obafemi Awolowo. PMB : 5545, Ile-Ife, Etat d'Osun, Nigéria

⁴Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT). Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS). Université d'Abomey-Calavi (UAC)

⁵Bureau National des Sols du Burkina Faso (BUNASOLS). Université Joseph Ki-Zerbo de Ouagadougou (UFR-SH)



Résumé – Le manque d'ouvrage de stockage d'eau dans la commune de Tanghin-Dassouri entraîne une pression sur l'eau souterraine qui devient la seule disponible. De nombreux indices montrent une diminution de la recharge de la nappe au Burkina Faso. Le but de ce travail est d'analyser la corrélation spatiale entre les forages et le modèle du potentiel en eau souterraine. Les forages obtenus sont au nombre de 113. La méthodologie adoptée pour évaluer le degré de corrélation est l'analyse de la corrélation entre le débit et la profondeur. Aussi, l'analyse de la corrélation spatiale entre les données de forage et le modèle hydrogéologique actuelle avec l'indice de Moran's. Les forages positifs sont aux nombres de 86 (76,79%) et les forages négatifs sont aux nombres de 26 (23,21%). Les valeurs moyennes arithmétiques et médiane de la profondeur sont de 52,45 m et 50 m, l'écart type est de 11,8 m. Le débit moyen des forages est de 4,6m³/h et la médiane est de 2,3m³/h avec un écart type de 4,81m³/h. La courbe de distribution ente la profondeur et le débit offre un R² de 0,1224 cela révéla une faible relation entre le débit et la profondeur. L'étude a montré que les débits les plus productifs sont situées entre 35-50m. Ce résultat confirme les travaux précédents qui indiquent que les bons débits des forages ne sont pas liés aux forages de grandes profondeurs. Les indices de Moran's successives obtenus sont, -0,004625 pour les forages positifs, -0,316938 pour les forages négatifs et -0,233505 pour les débits productifs.

Le modèle signifie que les forages sont disposés de facons aléatoires dans la Commune, et qu'il n'existe pas de corrélation entre le modele hydrogeologique et les caractéristiques des forages.

Mots clés – Tanghin-Dassouri, Forage, Débit, Profondeur, Corrélation spatiale, Indice de Moran's I.

Abstract – The lack of water storage structures in Tanghin-Dassouri municipality puts pressure on groundwater, which becomes the only available option. Many indicators show a decrease in groundwater recharge in Burkina Faso. The goal of this work is to examine the spatial correlation between boreholes and the groundwater potential model. 113 boreholes were obtained. The analysis of the correlation between flow and depth was used as methodology to determine the degree of correlation. In addition, the Moran's index was used to analyze the spatial correlation between the drilling data and the current hydrogeological model. Positive boreholes account for 86 (76.79%) of the total, while negative boreholes account for 26 (23.21%).The arithmetic mean and median depth values are 52.45 m and 50 m, respectively, with a standard deviation of 11.8 m. Borehole flow rates average 4.6m³/h, with a median of 2.3m³/h and a standard deviation of 4.81m³/h. The distribution curve for depth and flow has an R² of 0.1224, indicating a weak relationship between flow and depth. According to the study, the most productive flows are located between 35-50m. This finding supports previous research

indicating that good borehole yields are not related to deep boreholes. Moran's indices for positive boreholes are -0.004625, -0.316938 for negative boreholes, and -0.233505 for productive flows.

The model implies that the boreholes are randomly distributed throughout the municipality and that there is no correlation between the hydrogeological model and the borehole characteristics.

Keywords – Tanghin-Dassouri, Drilling, Flow, Depth, Spatial Correlation, Moran's Index I

INTRODUCTION

Les besoins en eau de la Commune de Tanghin-Dassouri, ne cesse de s'accroître dû à la pression démographique. Cette pression est principalement sur les ressources en eau souterraine qui sont la principale ressource utilisée par les populations pour la consommation et les activités. Pour répondre aux besoins en eau de la population les forages et les puits sont installés et mise à la disposition des populations [1]. La répartition des pluies est mauvaise sur le territoire de la Commune, avec des poches de sécheresse. Les enregistrements montrent une baisse de la pluviométrie de 800 à 700mm voire 600mm dans certaines zones. Les besoins en eau pour certaines actions d'aménagement (pépinières, fosses fumières) ou travaux domestiques sont aussi non satisfaits. Les conséquences de cette situation sont les faibles productions, l'insuffisance alimentaire, le faible niveau économique de la Commune et la forte émigration des bras valides avec pour conséquence la pauvreté généralisée et prononcée des ménages [2]. Cette instabilité de la pluviométrie a une influence négative sur la recharge des nappes souterraines. La Commune est drainée par de nombreux cours d'eau qui sont secs la plupart du temps, à cause de l'évaporation et l'infiltration. Cette quasi-absence d'eau de surface en saison sèche pose aussi de sérieux problèmes pour la consommation de l'important cheptel et ne permet pas l'exploitation des nombreux bas-fonds en cultures maraîchères de contre-saison. L'étape la plus importante qui précède l'exploitation de la ressource en eau souterraine est la recherche. Ces étapes ont fait l'objet de nombreuses études dans le socle cristallin [3], [4], [5] pour l'évaluation et la caractérisation des ressources en eau souterraine. Il est important d'approfondir nos connaissances sur son fonctionnement pour une gestion rationnelle. C'est dans cet optique que nous avons entrepris une étude afin d'étudier la corrélation spatiale entre les données de forage de la commune et le modèle du potentiel en eau souterraine.

I. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Milieu d'étude

La Commune rurale de Tanghin-Dassouri fait partie de la région du Centre et de la province du Kadiogo. De coordonnées 12° 16' 10'' Nord et 1°16'55'' Ouest, elle est située sur la route nationale N°1, reliant Ouagadougou à Bobo Dioulasso, à 25 km de Ouagadougou la capitale du Burkina Faso. Elle couvre une superficie de 315,495 Km² et compte 58 villages.

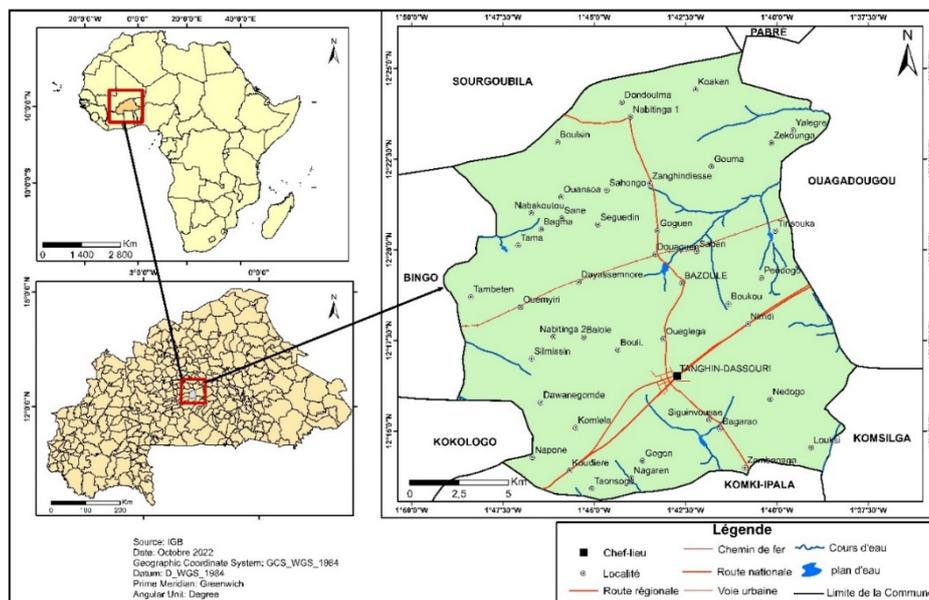


Figure 1: Situation géographique du cadre d'étude

1.2. Matériel

Les données utilisées dans cette partie sont les données hydrogéologiques issu de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) de la zone d'étude comportant les données sur 114 forages comme la profondeur des forages, le débit des forages, la nature des forages (Forage négatif, Forage positif, abandon technique). Les linéaments ont été extraite sur image Landsat 8 OLI TIRS, en appliquant une amélioration de contraste, pan-sharpening, filtrage directionnel de Sobel. Les directions obtenues sont de 0°, 45°, 90°, 135°. Ces linéaments ont permis d'élaborer la carte de la Densité de croisement des linéaments qui est un paramètre important dans l'évaluation des ressources en eau souterraine [6]. Le modèle du potentiel en eau a été élaboré par la méthode de l'analyse multicritère de Saaty (AHP). Les facteurs ou critères combiné sont la géologie, la densité des linéaments, la densité des points de croisement des linéaments, la densité de drainage, la pente et le type de sol. Ce modèle indique environ 50% de la Commune a un potentiel en eau moyen, 43% de la zone a un bon potentiel en eau souterraine et 7% un mauvais potentiel [7].

1.3. Méthodes

Dans le logiciel nous avons procédé à la superposition des forages avec la carte des linéaments et la carte de la densité de linéaments pour l'analyse de la distribution de ses forages par rapport aux différents facteurs intervenant dans le potentiel en eau souterraine. Pour l'analyse de la corrélation spatiale, la transformation du modèle du potentiel en eau souterraine en grille de valeur [8], [9]. Cette de grille de valeur a été combiné avec les données hydrogéologique actuelle de la zone d'étude par jointure de table. Après la jointure nous avons procédé à une sélection éliminant les valeurs égales à zéro. Dans *Arc toolbox* nous allons à *spatial statistics tool* pour ouvrir l'outil *Spatial Autocorrelation*. Après l'exécution de l'outil nous allons à la fenêtre géotraitement pour afficher les résultats (graph en Html).

II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Résultats

2.1.1. Paramètres hydrogéologiques des forages

Les forages positifs sont aux nombres de 86, les valeurs moyennes arithmétiques et médiane de la profondeur sont de 52,45 m et 50 m, l'écart type est de 11,8 m. la profondeur minimum est de 27m et la profondeur maximum 103m. Le débit moyen des forages est de 4,6m³/h et la médiane est de 2,3m³/h avec un écart type de 4,81m³/h. Les débits supérieurs à 5 m³/h représentent 34, 88% des forages et sont situés à des profondeurs allant de 36m à 64m. Le débit moyen des forages dont la profondeur est supérieure à 60m est de 1,2m³/h.

Tableau 1: Forage de la Commune

Variabes	Nombre	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Écart-type	
Forage Positif							
Profondeur	86	27	103	52,45	50	11,8	
Débit	86	0,45	24	4,6	2,3	4,81	
Porosité	27	1	25	1,82	1	3,25	
Forage Négatif							
Profondeur	27	39	97	66,52	0,13	1,37	
Débit	27	0	0,9	67	0	1,5	
Porosité	27	1		3	14,62	0,22	0,46

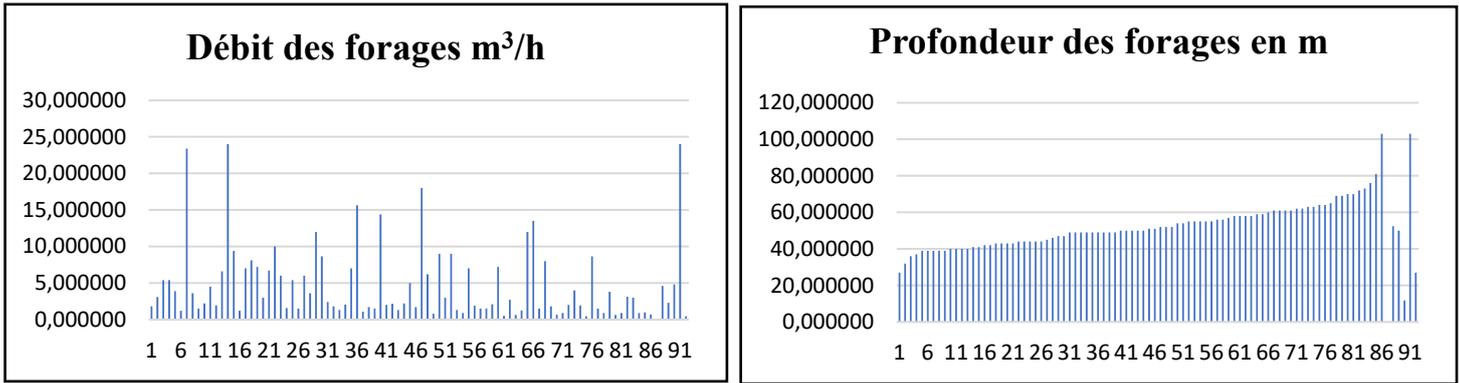


Figure 2: Distribution des profondeurs des forages et des débits dans la Commune

2.1.2. Relation entre profondeur et débit des forages

Le graph représentant la distribution de la profondeur et le débit, il indique que les débits les plus élevé dans la Commune sont situé à faible profondeur. Il révèle également que plus la profondeur des forages est avancée, le débit diminue. Les meilleurs débits dans la commune sont générés entre 35 m et 50 m de profondeur. La droite de régression donne un R^2 de 0,1224, qui semble faible pour indiquer une bonne relation entre le débit et la profondeur des forages dans la Commune.

Les travaux réalisés sur l’hydrogéologie du Burkina Faso, corroborent avec ceux obtenu dans la Commune de Tanghin-Dassouri. Les études menées par [3] ont montré que les bons débits des forages ne sont pas liés aux grandes profondeurs. L’étude de [8], à montrer que les bons débits c’est-à-dire supérieurs à $35\text{m}^3/\text{h}$ sont situés entre 46 et 66m cela prouve que les forages de grande profondeur ne garantissent pas forcément un bon débit. Par ailleurs l’auteur n’a pas trouvé de relation entre les débits de forage et les profondeurs. Dans le cas de l’étude de [9], la courbe de régression a montré une très faible relation entre les débits de forage et les profondeurs. Les profondeurs productives dans cette étude sont entre 40m et 80 m.

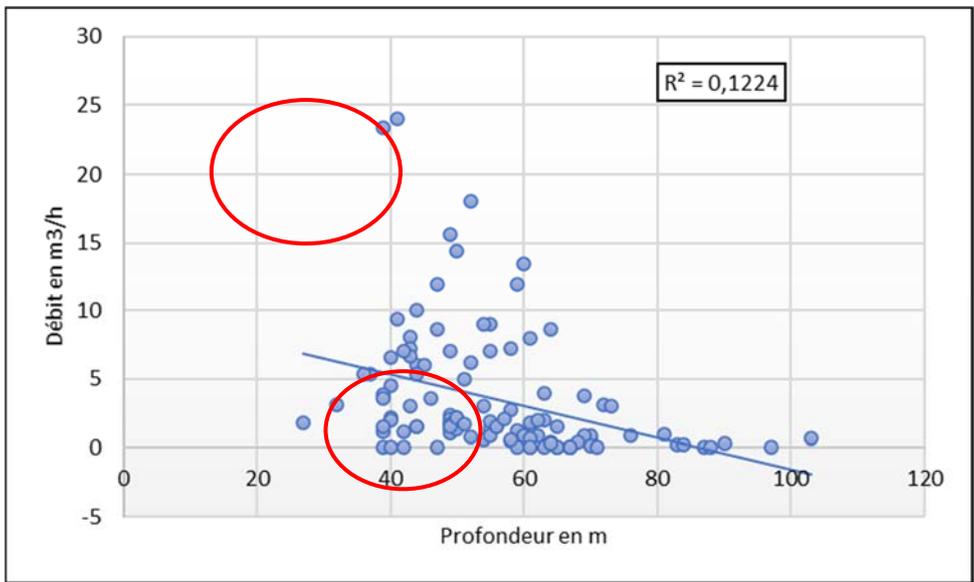


Figure 3: Courbe de régression

2.1.3. Relation entre réseaux de fractures et les forages dans la commune

Les linéaments étant un facteur indiquant la présence de structure pouvant contenir l’eau souterraine [11] nous avons procédé à une superposition du réseau de facture avec les forages de la Commune. La carte montre que les forages ayant un débit supérieur à $5\text{m}^3/\text{h}$ sont implantés dans les zones présentant une concentration de fracture. Certains forages négatifs représenté par les points

rouges sont situés dans sur des fractures. Mais la grande majorité de ses forages sont sur des zones présentant très peu ou pas de fractures.

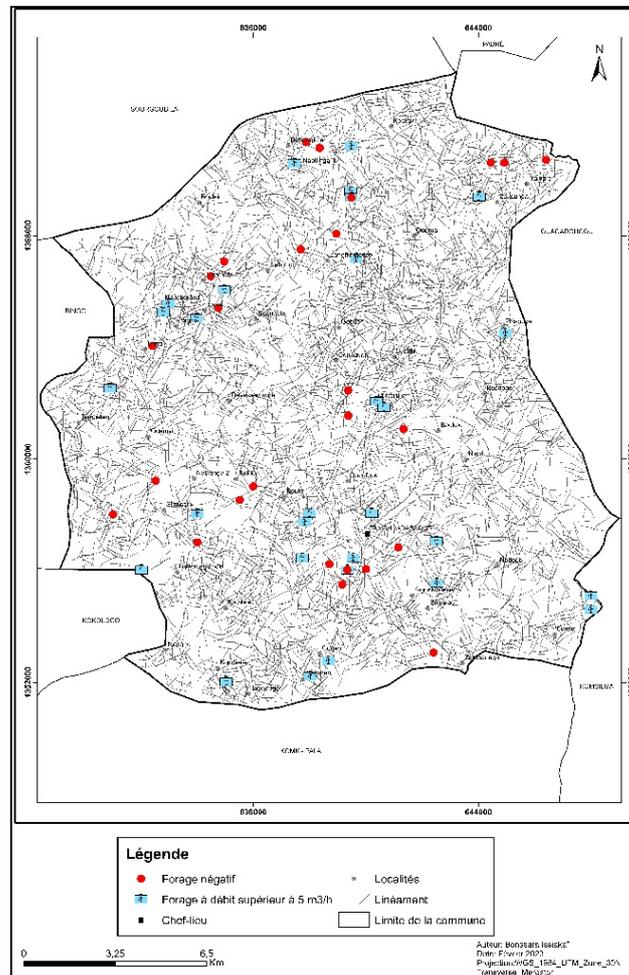


Figure 4: Réseaux de fractures et forages de la Commune

La carte de la densité de croisement représente la densité des points de croisement des linéaments. Ce facteur intervient dans la présence de structure pouvant contenir de l'eau souterraine [12].

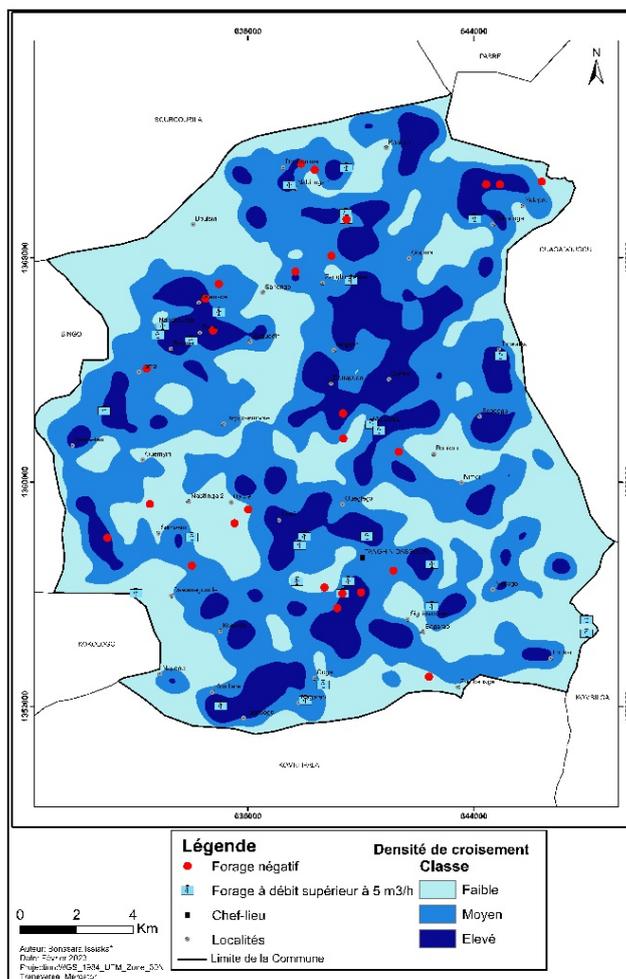


Figure 5: Densité croisement et forage

La figure représente la carte de la densité des points de croisement des linéaments avec celle les forages de la commune. La grande majorité des forages ayant un bon débit et les forages négatives sont situés sur des zones à densité de croisement moyen ou élevé. Les forages négatifs situés sur les zones à densité de croisement faible sont au nombre de six (6). Les forages positifs à débit supérieur à 5 m³/h situés sur les zones de densité de croisement négatif sont au nombre de cinq (5).

2.1.4. Analyse de l'autocorrélation entre le modèle de potentialité et les forages positifs de la zone d'étude.

Les forages positifs de la zone d'étude ont été utilisés dans l'analyse de l'autocorrélation avec le modèle du potentiel en eau souterraine de la zone d'étude. Nous avons procédé à une conversion du modèle de potentiel en eau souterraine en grille de valeur que nous avons joint à la table attributive des données ponctuelles (voir figure 26). L'outil de l'autocorrélation spatiale nous a permis de savoir si notre modèle est agrégé dispersé ou aléatoire.

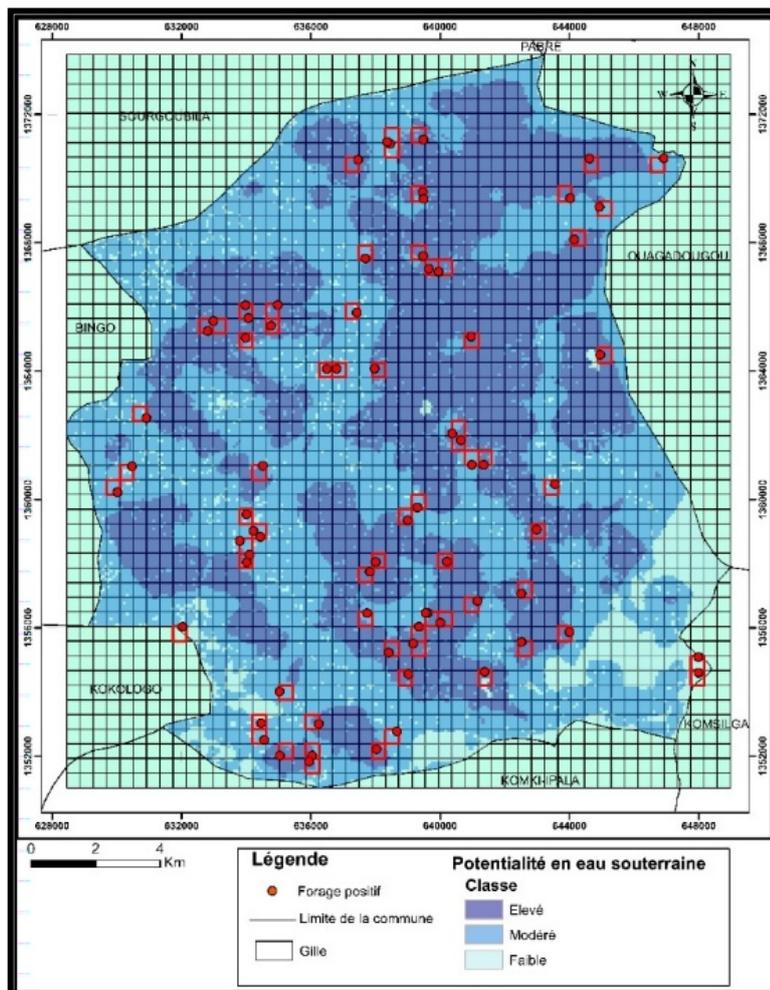


Figure 6: Autocorrélation spatiale entre modèle du potentiel en eau et (Forage positifs).

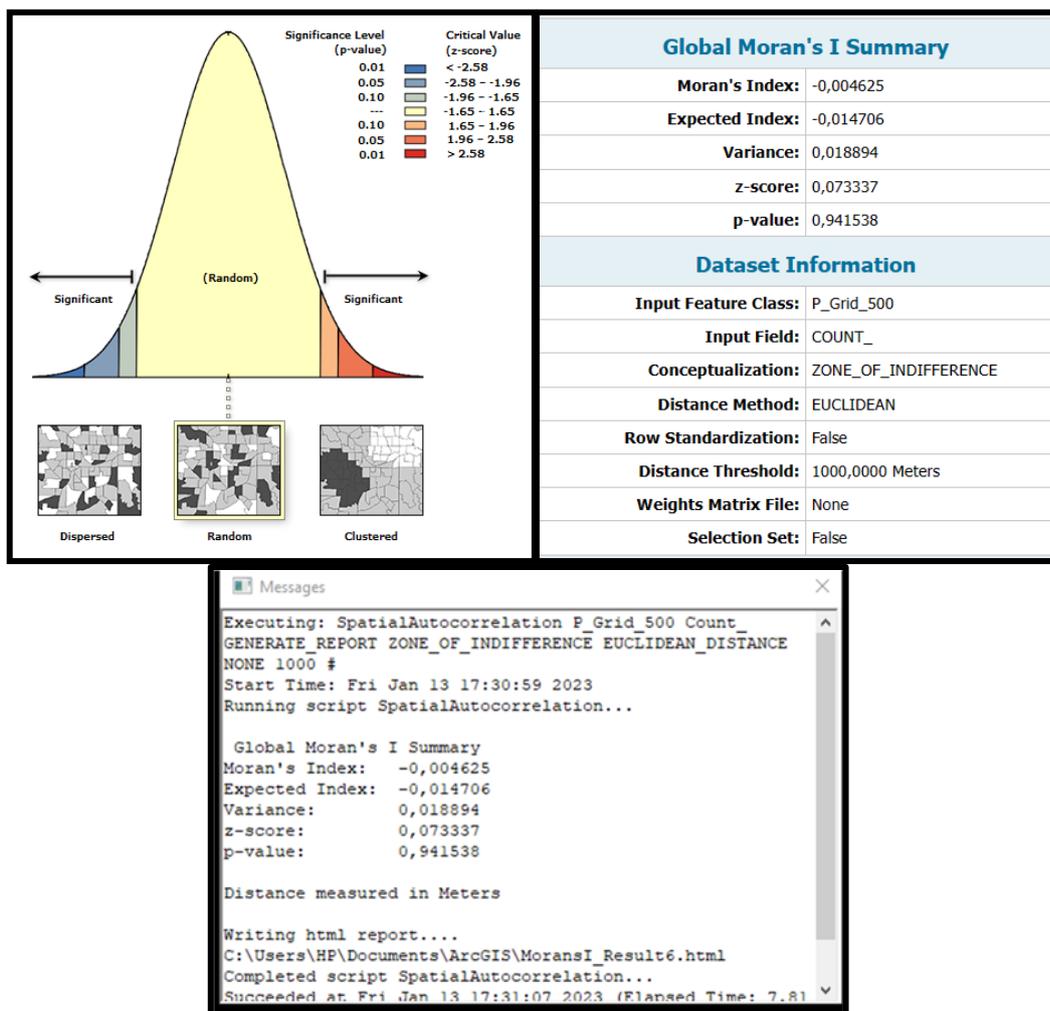


Figure 7: Résultat Autocorrélation spatiale (Moran's) entre modèle du potentiel en eau et (Forage positifs).

L'exécution de l'outil Spatial Autocorrélation (Moran) indique un indice de Moran I négative (-0,004625) cela signifie que les forages sont disposés de facons aléatoire dans la Commune. Les indicateurs p-value (0,941538) et z-score (0,073337) sont en dehors des l'intervals indiquant une corrélation dispersé ou regroupé (Voir figure 27). Les valeurs élevés du modele du potentiel eu eau souterraine sont éloignés des valeurs élevés des données sur les forages. Comme le montre le graph ci-dessus il n'existe pas de corrélation entre le modele hydrogeologique et les forages positifs de la zone d'étude. Ce resultat indique que la reussite des forages dans la zone d'étude est aleatoire et ne respect pas celui du modele de potentiel en eau souterraine.

2.1.5. Analyse de l'autocorrélation spatiale entre le modèle de potentialité et les forages négatifs de la zone d'étude.

Dans cette partie nous avons essayé de montrer la corrélation qui existe entre les forages négatifs et les zones ayant un faible potentiel en eau souterraine dans la zone d'étude (voir Figure 28). Le modèle du potentiel en eau souterraine à subi une transformation avant d'être utilisées dans l'analyse de l'autocorrélation.

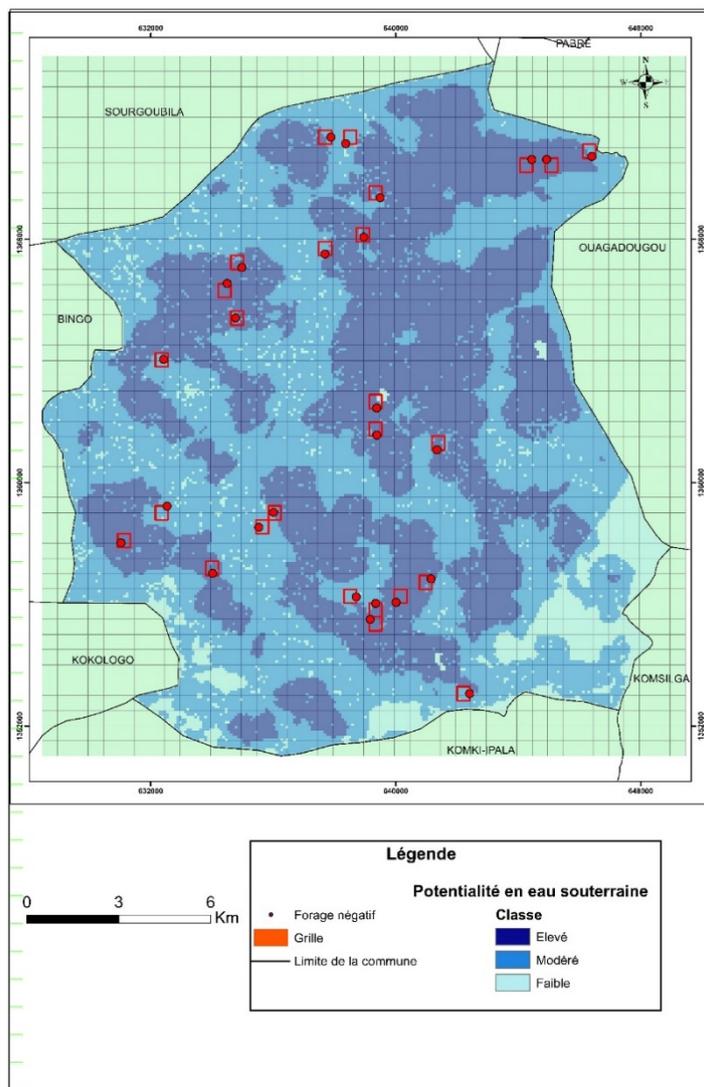


Figure 8: Autocorrélation spatiale entre modèle du potentiel en eau et (Forage négatifs)

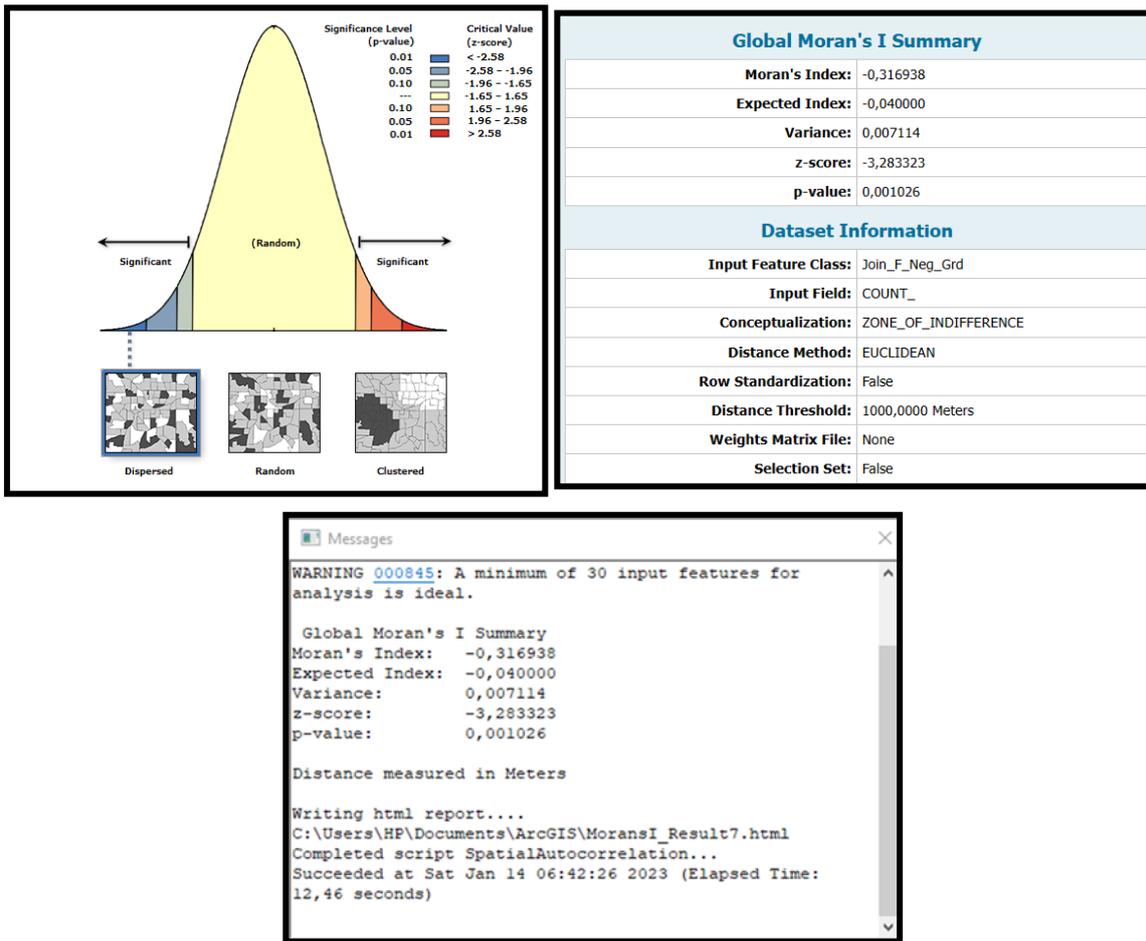


Figure 9: Résultat Autocorrélation spatiale (Moran's) entre modèle du potentiel en eau et (Forage négatifs).

Comme le montre la figure 28 ci-dessus l'indice de Moran obtenu est négatif (-0.316938), le z-score est de -3.283323 et le p-value 0,001026 indique que nos forages négatifs sont dispersés dans la zone d'étude. L'interprétation de cette dispersion par rapport aux modèles de potentiel en eau peut vouloir dire qu'il existe une faible ressemblance, l'échec des forages et les zones à faible potentialité dans la zone d'étude.

2.1.6. Analyse de l'autocorrélation entre le modèle de potentialité et les forages de faible profondeur et débit supérieur à 3 m³/h.

Nous avons procédé à une extraction des forages fournissant un débit supérieur ou égal à 3m³/h et ayant une profondeur inférieure à 45 m (voir figure 30). Ces critères servent à identifier les meilleurs forages dans la zone. L'analyse de la corrélation dans cette étape est de vérifiée s'il y a une corrélation entre les forages les plus exploitables de la zone et le modèle de potentiel en eau souterraine.

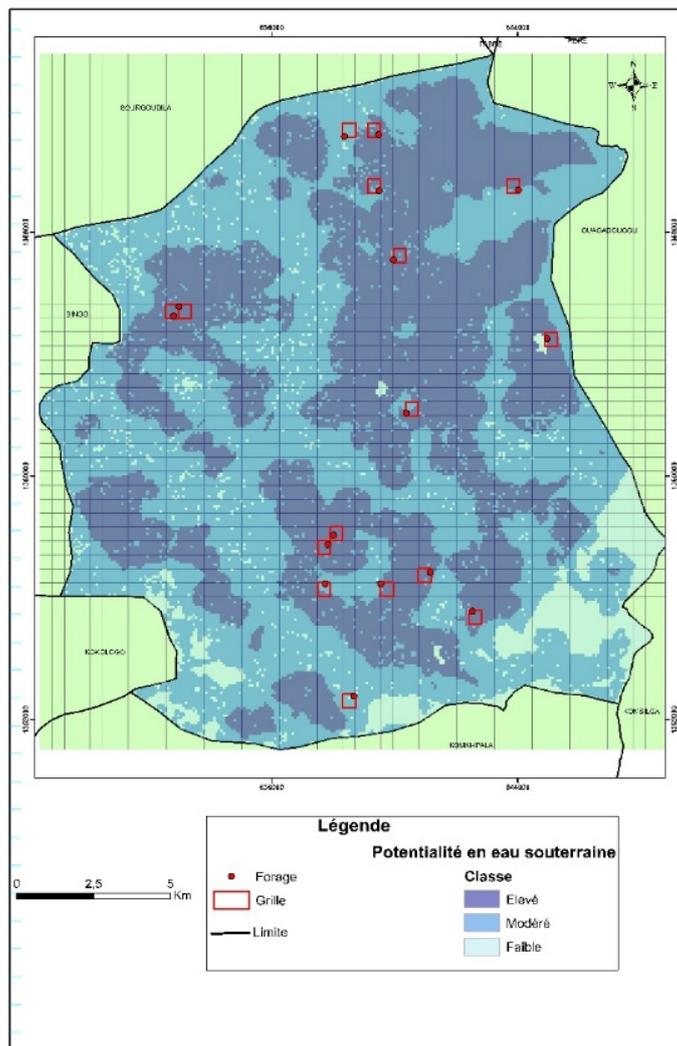


Figure 10: Autocorrélation spatiale entre modèle du potentiel en eau et (Forage productifs)

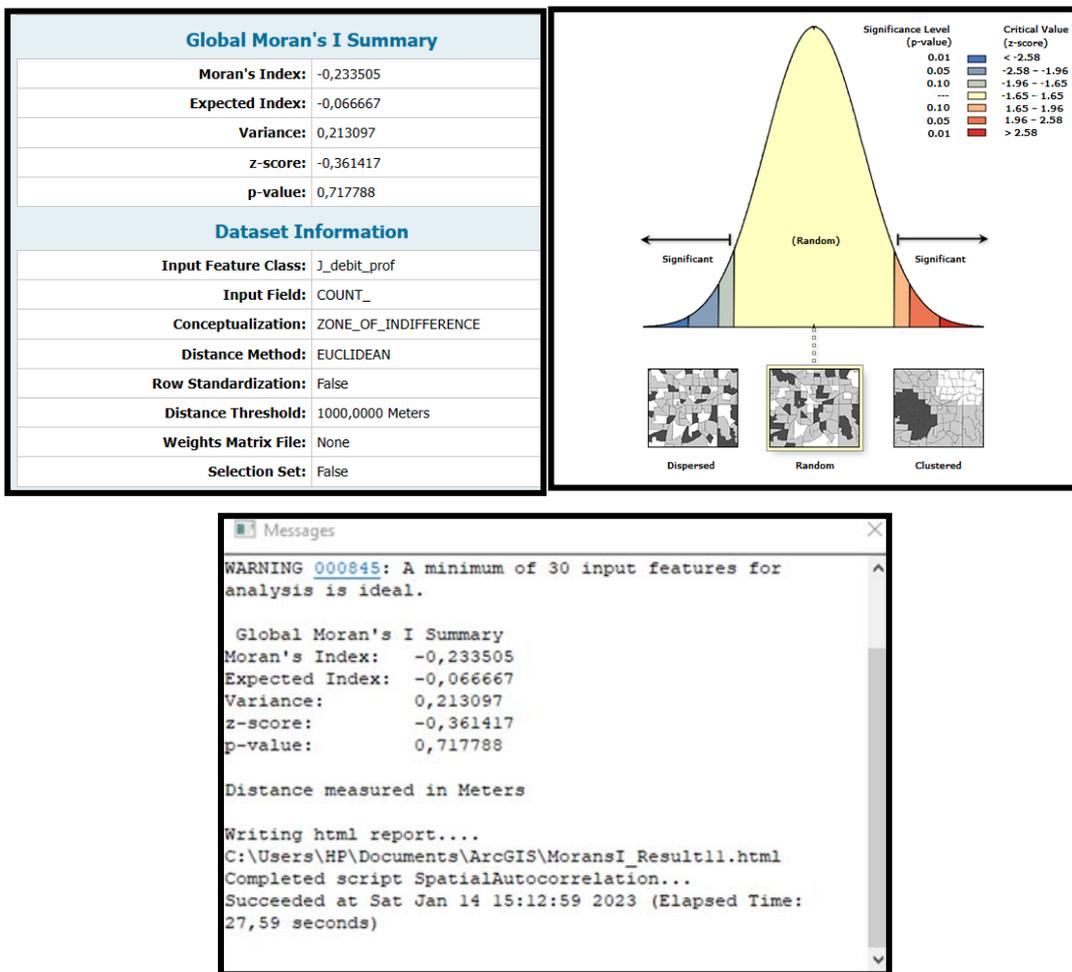


Figure 11: Résultat Autocorrélation spatiale (Moran's) entre modèle du potentiel en eau et (Forages productifs).

Dans la figure 29 le résultat obtenu montre que l'indice de Moran est de -0.233505, le z-score est de -0.361417 et le p-value de 0.717788. Cela indique que les meilleurs forages sont disposés aléatoirement par rapport au modèle du potentiel en eau souterraine. Les zones du modèle et les meilleurs forages de la Commune ne sont pas corrélés.

2.2. Discussion

L'analyse de la corrélation spatiale entre les données des forages et le modèle du potentiel hydrogéologique de la Commune contribue à l'amélioration de la connaissance des caractéristiques des ressources en eaux souterraines et à la recherche de l'eau souterraine [12].

2.2.1. Relation entre profondeur et débit des forages

La profondeur des forages de la Commune vont de 27-103m et la profondeur moyenne est 52,45m. Le débit des forages de la commune est de 0,45-24m³/h et le débit moyen est de 4,6 m³/h. L'analyse de la relation entre la profondeur et le débit donne une régression linéaire qui indique que lorsque la profondeur augmente, le débit diminue. Les travaux réalisés précédemment [14], [8] confirme ce résultat et montre qu'il n'y a pas de corrélation linéaire entre les débits et les profondeurs et que les meilleurs débits se situent au niveau de la zone du socle entre les profondeurs. La carte du réseau de linéament et les forages de la Commune a montré que les forages productifs de la zone sont disposés dans des zones ayant un bon réseau de fracture. La carte a montré également que Certain forages négatifs de la Commune sont également disposé sur des fractures. Ce résultat montre que les fractures ne fournissent pas forcément des structures pouvant contenir l'eau. L'étude réalisé sur la propriété des aquifères du socle du Benin [14], montre que le succès des forages n'est pas corrélé à la distance au linéament et qu'un forage a des chances encore

significatives d'être négatif même s'il est à moins de 200m d'un linéament. Les forages ont été également superposés à la carte de la densité des linéaments pour analyser la productivité des forages les zones présentant une certaine densité. L'analyse de cette carte montre que certaines zones ayant un fort débit de forage sont situées sur des zones à densité moyenne de linéament. Il ressort que certains forages négatifs sont situés sur des zones présentant des densités élevées de linéaments. Cette observation a été faite dans l'étude [15], sur la cartographie des accidents régionaux. Cette a montré que la productivité des forages est plus tôt localisée et non associée aux caractéristiques de certains paramètres ou facteurs.

2.2.2. Autocorrélation spatiale et forage

Cette étude vise à étudier la corrélation entre le modèle hydrogéologique et les forages de la Commune. L'analyse spatiale de la corrélation entre ses données et le modèle à montrer qu'il n'existe pas de corrélation spatiale entre les forages positives et les zones du modèle présentant une forte productivité. L'analyse spatiale a montré qu'il n'existe pas de corrélation également entre les forages négative et les zones de faible productivité. Aussi qu'il n'existe pas de corrélation spatiale entre les forages peu profond et celle fournissant un bon débit et les zones du modèle présentant un fort potentiel. Le manque de corrélation indique que la présence des ressources en eau n'est pas forcément lié aux zones de fractures car toutes les zones fracturées ne sont pas forcément conductrices [16]. Le manque de corrélation spatiale entre les données hydrogéologique et le modèle du potentiel en eau souterraine peut se justifier par le fait que la préoccupation du gouvernement est d'approvisionner les localités en eau tout en essayant des alternatives plus économique et facile à réaliser comme les forages manuels. C'est dans cette optique que le gouvernement a financé la réalisation d'une carte d'aptitude aux forages manuels et aussi l'UNICEF qui prévoit de réaliser une étude pour comparer la qualité d'eau que fournir les forages au Burkina Faso [17]. Ces objectifs mettre une différence avec le modèle du potentiel en eau qui ne tient pas compte de la profondeur où se situe les réserves en eau souterraine de la Commune ni de la qualité des eaux. Le modèle présente uniquement le potentiel en eau souterraine de la Commune en se basant sur certains paramètres indicateurs.

III. CONCLUSION

L'étude sur l'analyse de la corrélation spatiale entre le modèle de potentialité en eau souterraine et les données hydrogéologique sur les forages dans la Commune a montré que les forages dans la Commune sont disposés aléatoirement et qu'ils ne suivent pas le modèle du potentiel en eau souterraine de la Commune. En définitive, nous pouvons dire que cette étude a été possible grâce aux outils de télédétection et des systèmes d'informations géographique ont apparaissent comme très efficace dans la recherche d'eau souterraine, car elle offre la possibilité d'extraire des informations contenues dans une données, de combiner des informations dans le but de faire des analyser. Ces outils se présentent comme un excellent moyen de développement et d'aide à la décision, pour nos collectivités car elles sont facilement accessibles.

RÉFÉRENCES

- [1] MEA (Ministère de l'eau et de l'assainissement). Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable 2016-2030. (M. d. l'assainissement, Éd.) Ouagadougou, Burkina Faso, 102p, (2016).
- [2] Commune de Tanghin-Dassouri. 2015. Plan communal de développement 2015-2019 de Tanghin-Dassouri. Gestion des Terroirs Burkina Faso-TUUSI – Services et Développement", Ouagadougou ; Burkina Faso. 88p.
- [3] A.N. Savadogo. (1984). « Géologie et Hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta. Études Régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de Doctorat ès. Grenoble I ».
- [4] Y. Koussoube. 1996. « Hydrogéologie en socle cristallin du Burkina Faso. Cas du bassin versant du bas-fond de Bidi (province du Yatenga) ». Thèse de doctorat. Université de Dakar, Sénégal, 263p.
- [5] J. Biemi, 1992. « Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, Hydrodynamique, Hydrochimie et Isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire) ». Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan.
- [6] E. F. Oussou, J. Oloukoi et N.Yalo,. « Analyse Spatiale du Potentiel en eau Souterraine dans le Bassin du Zou au Sud du Bénin (Afrique de l'Ouest) », European Scientific Journal Bénin, vol.15, no.25, pp.402-425, 2019.

- [7] C. Faye, B. Solly, S. Dieye et A. Fall, « Évaluation des zones potentielles d'eaux souterraines avec l'utilisation des SIG et de la télédétection cas du sous-bassin de la Sandougou », *African Journal on Policy and Geospatial Sciences*, Vol.4, no 1, pp53-75, 2021.
- [8] S. Y. Ouandaogo. 2008., « Ressource en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso qualité et vulnérabilité ». These de Doctorat Université d'Avignon, France. pp: 254.
- [9] T. E. Ouédraogo (2017), « Étude des nappes aquifères du bassin du Niger au Burkina Faso » Mémoire de Master récupéré <http://hdl.handle.net/2268.2/5593>, pp.77.
- [10] G. Lachaine., (1999) « structures géologiques et linéaments, Beauce (Québec): Apport de la télédétection » récupéré sur https://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk1/tape8/PQDD_0026/MQ61778.pdf
- [11] T. Yao, O. Fouché-Grobla, S. M. Oga, V. Assoma, « extraction de linéaments structuraux à partir d'images satellitaires, et estimation des biais induits, en milieu de socle précambrien métamorphisé », *Revue Télédétection*, vol.10, no.4, pp161-178, 2012.
- [12] Langevin, C., Pernel, F., and Pointet, T., « Aide à la décision en matière de prospection hydrogéologique. L'analyse multicritère au service de l'évaluation du potentiel aquifère, en milieu fissuré (granite de Huelgoat, Finistère, France) ». *Revue Scientifiques et Techniques, Hydrogéologie*, 1, 51–64,1991.
- [13] A.M.S Babaye. (2012). « Évaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin du Dargol (Liptako-Niger) ». Faculté Des Sciences Appliquées/Département Architecture, Géologie, Environnement et Construction/Secteur GEO3, Thèse de D, 265P.
- [14] J.M. Vouillamoz, A. Y. A. Tossa, B. Chatenoux, K. A. R. Kpegli, « Propriétés des aquifères de socle du Bénin : analyse multi-variables et multi-échelles des paramètres de contrôle ». *Vingtièmes journées techniques du comité Français hydrogéologie de l'association internationale des Hydrogéologues*, (2015).
- [15] M. Koita, H. Hervé, D. Ruelland, K. Koffi, S. Pistre, I. Savané « 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*, vol 55 no 5, pp805-820, 2010.
- [16] C. Darcel « Corrélations dans les réseaux de fractures : Caractérisation et conséquences sur les propriétés hydrauliques ». *Hydrologie*. Université Rennes 1, 2002.
- [17] Skat_foundation., UNICEF., (Avril 2018). Bonne pratique pour la réalisation des forages au Burkina Faso. Note de mission, récupérée sur [https:// www.pseau.org](https://www.pseau.org).