

Evaluation des potentialités en eau souterraine de la portion Ivoirienne du bassin versant du Niger

[Assessment of the groundwater resources of the Ivorian portion of the Niger basin]

W. F. Kouassi¹, K. A. Kouassi¹, M. J. Mangoua¹⁻², Y. M. Kamenan², and Z. A. Kouadio¹⁻²

¹UFR Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR SGE), Laboratoire Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guedé Daloa, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work tackles the problem of accessibility to drinking water in the cracked areas of Côte d'Ivoire. On the Ivorian portion of the Niger River watershed, the problem is acute because the reservoirs built to feed populations with potable water are not properly supplied these last years and are subject to a very high eutrophication. A multidisciplinary approach combining Remote Sensing, Multicriteria Analysis and Spatial Reference Hydrogeological Information System was adopted to map the groundwater potential of the Basin. The mapping of groundwater potential zones shows that the Niger basin has good and excellent availability of groundwater (59% of the total area). This good groundwater availability is due to a low slope and good fracturing density which lead to good water infiltration in the aquifers. The identification of potential sites for access to water shows that nearly 60% of the basin's area is favorable for the establishment of high flow rate structures. On the whole, these aquifers have good accessibility (59% of the total area) and good exploitability (90%).

KEYWORDS: Evaluation, Groundwater, Fractured aquifer, Niger Basin, Côte d'Ivoire.

RESUME: Ce travail aborde le problème d'accessibilité en eau potable dans les zones fissurées de la Côte d'Ivoire. Sur la portion ivoirienne du bassin versant du fleuve Niger, le problème se pose avec acuité à cause du fait que les retenues aménagées pour l'alimentation en eau des populations ne sont plus correctement alimentées ces dernières années et sujettes à une très forte eutrophisation. Une approche pluridisciplinaire associant Télédétection, Analyse multicritère et Système d'Information Hydrogéologique à Référence Spatiale a été adoptée pour cartographier les potentialités en eau souterraine du bassin. La cartographie des sites potentiels en eau montre que le bassin du Niger possède une bonne et excellente disponibilité en eau souterraine (59 % de la superficie totale). Cette bonne disponibilité en eau souterraine est due à une faible pente et à une bonne densité de fracturation qui entraînent une bonne infiltration des eaux dans les aquifères. L'identification des sites potentiels d'accès à l'eau, montre que près de 60 % de la superficie du bassin est favorable à l'implantation d'ouvrages à gros débits. Dans l'ensemble, ces aquifères présentent une bonne accessibilité (59 % de surface totale) et une bonne exploitabilité (90 %).

MOTS-CLEFS: Evaluation, Eaux souterraines, Aquifère de fissures, Bassin du Niger, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'accessibilité à l'eau potable est l'un des objectifs majeurs des projets de développement à travers le monde. Dans les pays en développement, les eaux souterraines constituent une ressource de premier choix pour l'alimentation en eau potable des populations car elles sont d'une qualité relativement bonne et d'un coût peu élevé [1]. Cependant, l'accès à cette ressource précieuse devient très difficile précisément dans les régions de socle où les eaux souterraines captées sont issues des fissures. Or, le captage de ces eaux a longtemps été axé sur le repérage des niveaux aquifères ayant les meilleures caractéristiques hydrauliques, le fonctionnement des nappes d'altérites et l'utilisation de la géomorphologie pour le repérage des structures géologiques favorables (cuirasse noyée, fosse d'altération) [2]. Ce procédé conduit parfois à la réalisation de bon nombre d'ouvrages non productifs et même parmi ceux qui sont positifs, plus de 45% ont un débit inférieur à 1 m³/ [3]. Ces échecs et ces faibles débits pourraient être essentiellement dus au mauvais choix des sites d'implantation des forages et à une méconnaissance du système de fractures qui couvrent ces régions de socle. Par conséquent, des recherches hydrogéologiques sont nécessaires pour bien comprendre les conditions de captage de ces eaux souterraines. C'est pourquoi au cours de ces dernières décennies le développement de technologies modernes complémentaires tels que la télédétection, la géostatistique, la géophysique et les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) ont montré que les gros débits sont liés à des fractures d'extension kilométrique, des intersections des fractures, et/ou à des réseaux de fractures caractérisés par une forte interconnexion [4], [5], [6], [7], [8]. En effet, les différentes études ont montré que les aquifères de fissures peuvent constituer de véritables réservoirs d'eau souterraine et présentent souvent l'avantage d'être à l'abri des fluctuations saisonnières et des éventuelles pollutions accidentelles [9].

En Côte d'Ivoire, les roches cristallines et cristallophylliennes représentent 97,5% des formations géologiques, l'essentiel des ressources en eau est donc contenu dans les aquifères formés par le socle fracturé dont l'importance hydrogéologique est considérable. La portion ivoirienne du bassin versant du Niger qui fait l'objet de cette étude appartient à ce domaine. Cette région, favorable à la pratique de l'agriculture (Anacarde, mangue, igname, maïs etc...) et à l'élevage, attire de nombreuses populations surtout avec la fin en 2011 de la guerre politico-militaire.

Ainsi, pour répondre aux besoins croissants en eau des populations, la recherche des réserves d'eau souterraine contenues dans les aquifères fissurés du socle précambrien de cette région devient alors une priorité pour les autorités. C'est pour atteindre cet objectif que cette étude a été suscitée. Elle se propose d'évaluer efficacement les ressources en eau souterraine du bassin du Niger en Côte d'Ivoire par les SIG et par analyse multicritère afin de faciliter l'approvisionnement des populations en eau potable.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La portion ivoirienne du bassin versant du Niger est située au Nord de la Côte d'Ivoire entre la longitude 9°20 et 10°6 Ouest et la latitude -8° et -6°2 Nord et couvre une superficie de 31 633 km². La partie ivoirienne du bassin du Niger présente une grande diversité lithologique (Figure 1), on y rencontre : des roches volcaniques, basiques ou acides ; des roches métamorphiques diverses, tant du point de vue du degré de métamorphisme (faciès amphibolite et schiste vert.) que de l'origine de la roche mère (magmatique ou sédimentaire).

En effet, toutes les formations géologiques de la zone d'étude sont d'âge protérozoïque et appartiennent au complexe éburnéen [10]. Cette région se caractérise par une succession de bandes de roches schisteuses et de roches migmatitiques et plutoniques. Cette partie du territoire ivoirien subit l'influence du climat soudanien ou régime tropical de transition marqué par deux saisons (sèche, pluvieuse) avec une pluie moyenne annuelle de 1128 mm sur la période de 1970-2000.

Sur le plan hydrogéologique, la région d'étude fait partie du socle cristallin. Ce dernier présente des réserves d'eau se développant dans les aquifères dont l'importance est fonction du niveau d'altération et de fracturation de la roche mère. On distingue donc deux types d'aquifères : les aquifères d'altérites (superficiels) et les aquifères fracturés (plus profonds).

2.2 MATÉRIEL

Nous avons eu recours à des données de 147 forages provenant des Directions Territoriales de l'Hydraulique de Boundiali et d'Odiénné, des cartes géologiques et topographiques à l'échelle 1/200 000. Les données climatiques (pluies et températures de la période 1970-2000) ont été utilisées pour l'estimation de l'infiltration aux stations de Boundiali, Odiénné et Tengrela. Les images utilisées sont celles de ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) de Landsat 7 qui ont permis d'établir la carte des

fractures. Il s'agit des scènes 197-053 ; 197-054 ; 198-054 ; 198-054 ; 199-053 et 199-054 acquises le 02/02/2000 qui couvrent totalement la zone¹.

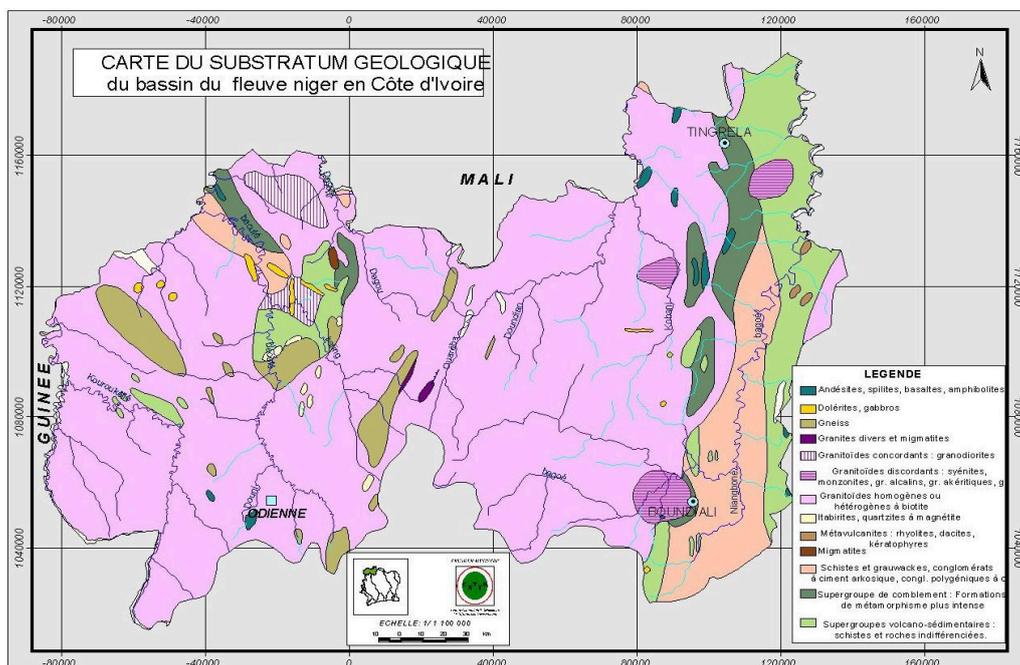


Fig. 1. Carte géologique de la zone d'étude (Source : CNTIG)

2.3 CARTOGRAPHIE DES POTENTIALITÉS EN EAU DE LA PORTION IVOIRIENNE DU BASSIN DU NIGER

La ressource en eau souterraine lors d'une prospection hydrogéologique, doit être disponible, accessible et exploitable. Les paramètres relatifs au potentiel en eau souterraine se regroupent donc en trois indicateurs quantitatifs qui sont : la disponibilité, l'accessibilité et l'exploitabilité [11], [8], [1].

2.3.1 DÉFINITION DES DIFFÉRENTS CRITÈRES

L'indicateur de disponibilité traduit la notion de l'existence d'un aquifère et constitue la première condition à savoir, avant tout autre activité. Il résulte de l'association des paramètres tels que la densité de fracturation (obtenue à partir du traitement des images ETM+ de Landsat 7), l'épaisseur d'altérite et l'infiltration. L'extraction des linéaments s'est réalisée conformément aux travaux de [12], [5], [13] et a permis d'obtenir la carte détaillée des fractures. L'infiltration est le paramètre le plus important pour la disponibilité des eaux souterraines [7], [8], [1].

Selon [14], la disponibilité en eau souterraine est classifiée comme faible à modérée avec une couche altérée mince et varie de modérée à bonne avec une couche altérée épaisse.

Les réserves d'eau souterraine ne sont véritablement utilisables que lorsque certains paramètres réunis rendent possible leur accès (indicateur accessibilité). Les plus importants sont la profondeur totale (Pt) des ouvrages et l'indice de succès (Is). L'indice de succès donne la probabilité de succès d'un forage et est calculé par la formule suivante (Eq. 1) :

L'indice de succès donne la probabilité de succès d'un forage et est calculé par la formule suivante :

¹ Ces scènes sont disponibles sur le site <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

$$a = \frac{b}{10} \times 100 \text{ (Eq. 1)}$$

Avec :

a : indice de succès en pourcentage (%),
 b : débit d'exploitation (m^3/h).

L'indice de succès varie de 10 à 100%.

La ressource en eau n'est exploitable que si le débit minimal d'exploitation est significatif ($1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Le débit d'exploitation en lui-même est conditionné par la quantité d'eau dans la réserve souterraine et la rapidité de renouvellement de cette réserve en cas de forte sollicitation [11], [7], [1].

La classification des paramètres s'inspire de la classification adoptée au cours des travaux antérieurs [15], [16], [11], [8], [1] réalisés en région de socle et de celle proposée par le CIEH (Comité Inter-africain d'Etudes Hydrauliques) pour les différents paramètres.

2.3.2 PONDÉRATION DES CRITÈRES

Les critères de décision sont pondérés grâce à la méthode de combinaison linéaire basée sur la technique de comparaison par paire selon le Processus d'Analyse Hiérarchique (Analytical Hierarchy Process, AHP) de [17] utilisée par [11], [7]. Elle permet de produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1 (Tableau 1). Les détails de l'application de cette méthode sont consignés dans les travaux de [1].

Tableau 1. Expression verbale et numérique de l'importance relative d'une paire de facteurs [18]

Expression d'un critère par rapport à un autre	Note
Moins important	1/3
Légèrement moins important	1/2
Même importance	1
Légèrement plus important	2
plus important	3

Dans le cas de cette étude, les matrices de comparaison par paire et les coefficients de pondération des critères pour chaque indicateur et pour les trois indicateurs sont présentées dans le tableau 2.

2.3.3 AGRÉGATION DES FACTEURS

Il existe diverses méthodes pour l'évaluation de l'analyse multicritère ou l'agrégation des facteurs. Dans cette étude le choix s'est porté sur la méthode d'agrégation complète par pondération utilisée par [19], [20], [15], [21], [9]. Cette méthode consiste à multiplier chaque facteur ou indicateur par son coefficient de pondération respectif et ensuite en additionnant ces résultats pour produire un indice d'aptitude selon l'équation suivante (Eq. 3):

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad \text{(Eq. 3)}$$

S : résultat final

W_i : poids du critère i

X_i : valeur standardisée du critère i

Cette démarche a été utilisée individuellement pour les trois indicateurs de décision, que sont l'accessibilité, l'exploitabilité et la disponibilité.

L'établissement de la carte thématique « Potentialité en eau souterraine » consiste à reporter dans l'espace, les différentes valeurs issues de la sommation des valeurs standardisées et pondérées de chaque indicateur intervenant dans l'élaboration de ladite carte. Une reclassification des facteurs conduira à des cartes thématiques à quatre classes que sont : la classe Mauvaise ; la classe Médiocre ; la classe Bonne et la classe Excellente. Le nombre de classe est fixé à quatre pour une meilleure lisibilité et une bonne interprétation de la carte résultante.

Tableau 2. Matrice de comparaison par paire et Coefficient de pondération des différents indicateurs

Indicateur disponibilité					
	Infiltration	Densité de fracturation	Epaisseur d'altérite	Vecteur Propre	Coefficient de Pondération
Infiltration	1	5	5	5	0,81
Densité de fracturation	1/5	1	3	0,77	0,13
Epaisseur d'altérite	1/3	1/3	1	0,33	0,05
Indicateur exploitabilité					
	Débit d'exploitation	Niveau piézométrique	Vecteur Propre	Coefficient de Pondération	
Débit d'exploitation	1	3	1,73	0,79	
Niveau statique	1/5	1	0,44	0,20	
Indicateur accessibilité					
	Profondeur totale	Indice de succès	Vecteur Propre	Coefficient de Pondération	
Profondeur totale	1	3	1,73	0,79	
Indice de succès	1/5	1	0,44	0,20	

2.3.4 MÉTHODE DE VALIDATION DES CARTES THÉMATIQUES : ANALYSE DE L'INCERTITUDE

Les cartes thématiques réalisées ont été validés par le calcul de l'incertitude [7], [2]. En effet, le mode de validation des cartes thématiques utilisées dans les études antérieures [9], [16], [11], [22], [23] a montré des insuffisances dans le fait qu'il est pratiquement impossible de trouver une classe de sensibilité reflétant à 100% la réalité du terrain car à côté d'un forage à gros débit, il est possible d'avoir un autre forage à débit faible, voire nul. Ainsi, le calcul des incertitudes sur les moyennes des divers paramètres des principaux indicateurs est donné par l'équation (Eq.4) :

$$\Delta \bar{X} = \frac{\sigma}{\sqrt{m}} \quad (\text{Eq.4})$$

Avec :

$\Delta \bar{X}$: incertitude sur la moyenne de la série de données

σ : écart type de la série de données

m : nombre de données

Un facteur d'expansion (K) est alors calculé afin de déterminer le niveau de confiance. La détermination de ce paramètre est basée sur le principe statistique de calcul de l'incertitude étendue. Le facteur K permet la définition d'un intervalle de portée suffisante ayant pour but d'avoir dans les résultats une grande confiance. L'expression de ce facteur est la suivante (Eq.5) :

$$K = \frac{|E - \bar{X}|}{\sigma} \quad (\text{Eq.5})$$

Avec :

K : facteur d'expansion,

E : est la valeur extrême de la série statistique qui peut être le maximum ou le minimum de cette série.

Les niveaux de confiance des différents paramètres ont été déduits des différentes valeurs de K. Ainsi, K= 1 pour un niveau de confiance de 68 % ; K = 2 pour un niveau de confiance de 95 % et K = 3 pour une confiance de 99 %.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 EVALUATION DES DIFFÉRENTS INDICATEURS DE LA POTENTIALITÉ EN EAU SOUTERRAINE

Les zones à disponibilité bonne et excellente occupent 59% du bassin (Figure 2), tandis que les zones à médiocre et mauvaise disponibilité en eau couvrent 41% de la zone d'étude. Les zones à bonne disponibilité en eau souterraine sont réparties sur tout le bassin sauf dans le département de Tengréla. Ces zones à bonne disponibilité en eau sont caractérisées par des pentes relativement faibles, une forte densité de fracturation et une densité hydrographique modérément faible. Elles

réunissent les conditions favorables à l'accumulation des eaux souterraines et par conséquent à la formation d'importantes réserves. Au niveau de ces zones, les méga-fractures ouvertes interconnectées ont une forte probabilité d'être productives ;

La carte de disponibilité des eaux souterraines à une marge d'erreur de $\pm 0,003$ avec un niveau de confiance de 95%.

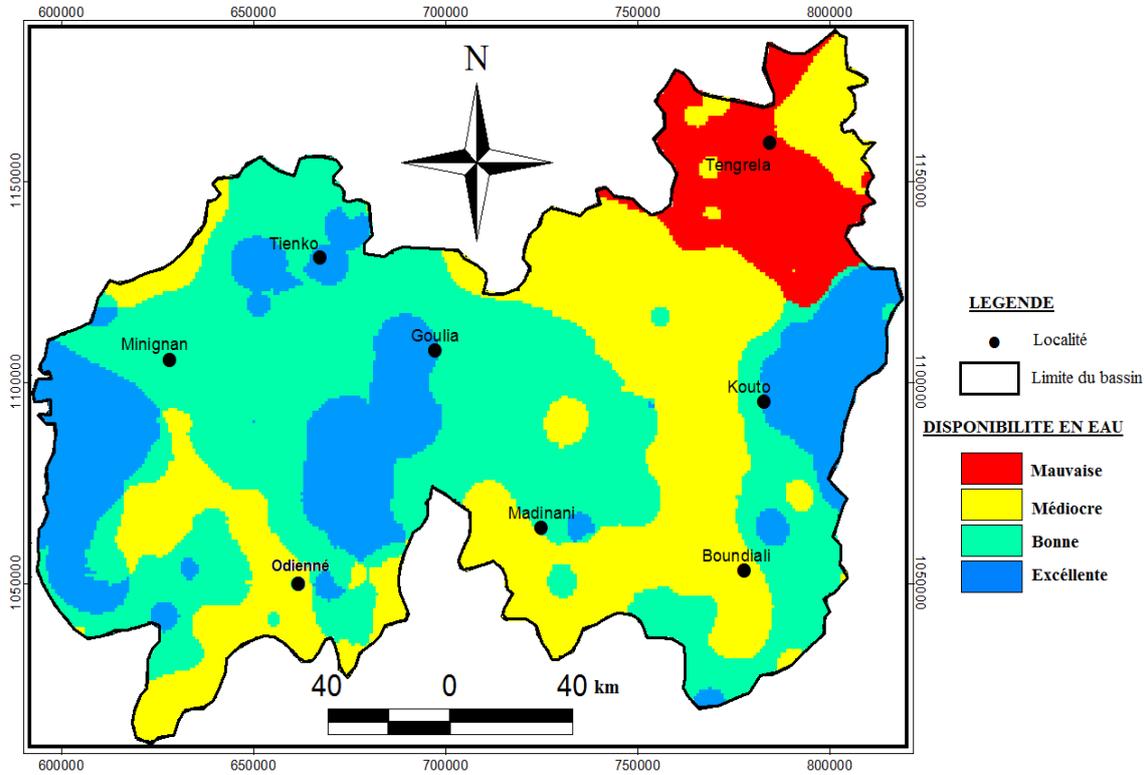


Fig. 2. Carte de disponibilité en eau souterraine du bassin du Niger (Côte d'Ivoire)

Les zones à bonne et excellente accessibilité en eau souterraine couvrent également 59% du bassin (Figure 3). Pendant que les zones à mauvaise et médiocre accessibilité ne couvrent que 41%. On y rencontre dans cette dernière zone des forages à débits très faibles avec des profondeurs très élevées. Les zones à bonne et excellentes accessibilité couvrent une grande partie du centre du bassin et son plus visible dans les zones de Minignan, Tienko et Madinani.

La carte d'accessibilité à l'eau souterraine a une marge d'erreur de $\pm 0,002$ avec un niveau de confiance de 99%.

La carte d'exploitabilité des eaux souterraines du bassin est dominée par les classes bonne (69%) et excellente (8%) qui couvrent ensemble 77% de la zone d'étude (Figure 4). Les classes mauvaise et médiocre ne couvrent que 23%. Les zones à bonne et excellente exploitabilité couvrent l'Est (Katogo) et l'Ouest (Gbélégban) du bassin, une autre partie se retrouve au niveau de Minignan. Ces zones sont appropriées pour exercer la petite irrigation et pour approvisionner les grands centres urbains et certains gros villages en eau potable.

La carte d'exploitabilité a une marge d'erreur de $\pm 0,006$ avec un niveau de confiance de 99%.

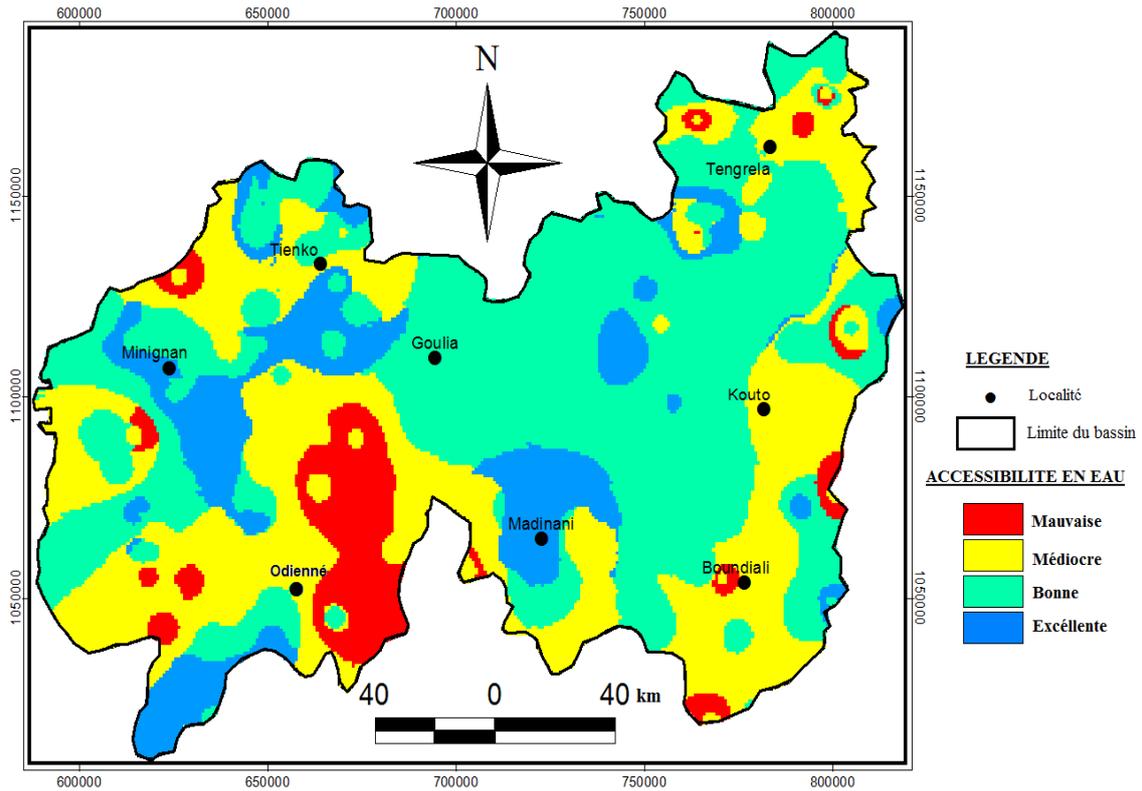


Fig. 3. Carte d'accessibilité en eau souterraine du bassin du Niger (Côte d'Ivoire)

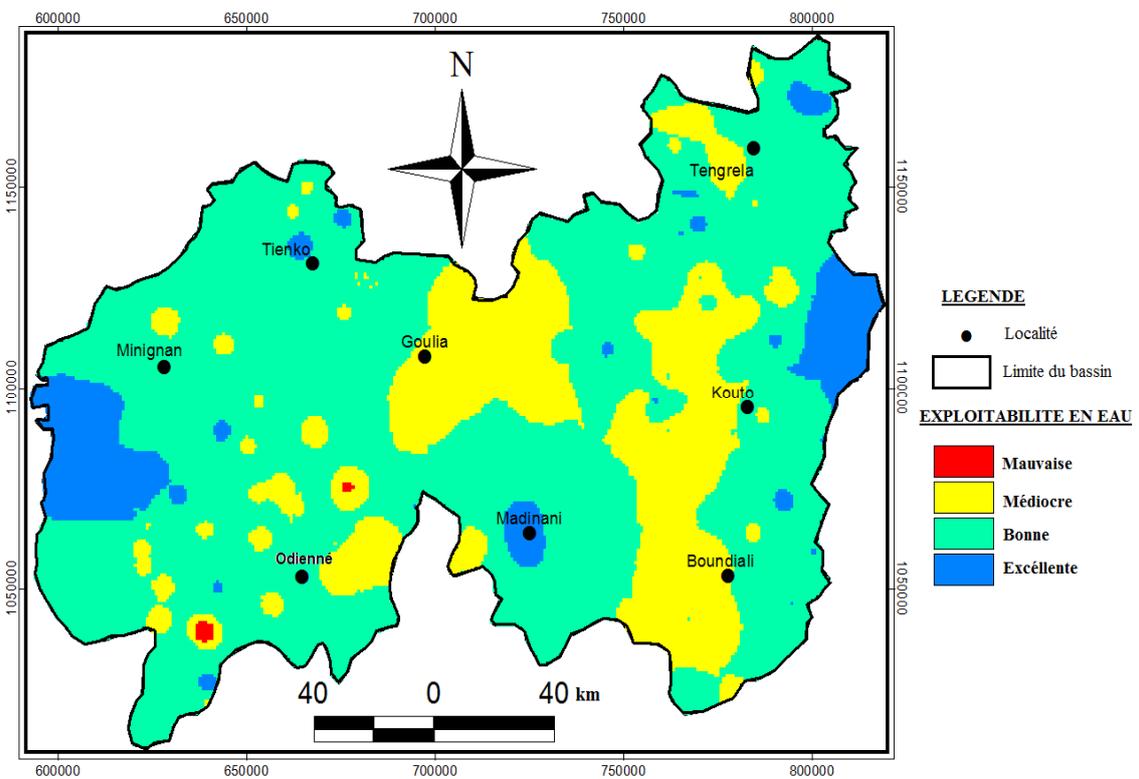


Fig. 4. Carte d'exploitabilité en eau souterraine du bassin du Niger (Côte d'Ivoire)

3.1.2 ANALYSE DE LA CARTE DES POTENTIALITÉS EN EAU SOUTERRAINE

La carte des zones potentielles en eau souterraine est issue de la combinaison linéaire des cartes de disponibilité, d’exploitabilité et d’accessibilité selon leur poids respectif. L’observation de la carte des potentialités en eau souterraine (Figure 5) montre que le bassin est dominé par les classes bonne et excellente. En effet, les classes à bonne et excellente potentialité occupent 70% de la surface totale du bassin contre environ 30% de zones à moindre potentialité.

La classe de mauvaise potentialité est représentée par une proportion de 7%. Elle se rencontre en grande partie dans la région de la Bagoué (Tengrela, Kouto et Boundiali), puis dans le département d’Odienné.

La classe des zones à potentialités médiocres couvre 23% du bassin et occupe les zones de disponibilité et d’accessibilité médiocre auxquelles s’ajoute quelquefois une bonne exploitabilité

La classe de bonne potentialité occupe 32% du bassin et est présente sur la quasi-totalité du bassin, excepté l’extrême Nord-Est (Tengrela). Ces zones sont caractérisées par une densité de fracturation élevée. La ressource en eau est disponible avec une pente relativement faible qui permet une bonne recharge de l’aquifère. Ces zones sont favorables à l’implantation de forage à gros débits.

La classe des zones à potentialité excellentes occupe 38% du bassin. Elle se localise en grande partie dans les départements de Minignan, Gbélégban, puis dans les sous-préfectures de Goulia et Tienko (région du Folon) et dans l’extrême Est du bassin (région de la Bagoué). Ces zones possèdent une excellente disponibilité en eau souterraine facilement accessible et exploitable pour l’approvisionnement en eau potable. Les plus gros débits du bassin ont été rencontrés dans ces zones, c’est le cas de Lossogo et Sanaba (21,6 m³/h), Farala (21,22 m³/h), Bogodougou (20 m³/h), Féréfougoula et Sanogobra Mafélé (12,96 m³/h), Kongohila (12,75 m³/h), Kotoula (11,80 m³/h), M’basso, Koliani, Tioro (10,8 m³/h) et Nonkparadougou (10 m³/h). Ce sont des zones fortement fracturées par endroits. Cette classe est donc la plus recherchée lors des campagnes d’implantation des forages à gros débits.

L’erreur sur la carte des potentialités en eau souterraine de la portion Ivoirienne du bassin de Niger est de ± 0,006 avec un niveau de confiance de 99%.

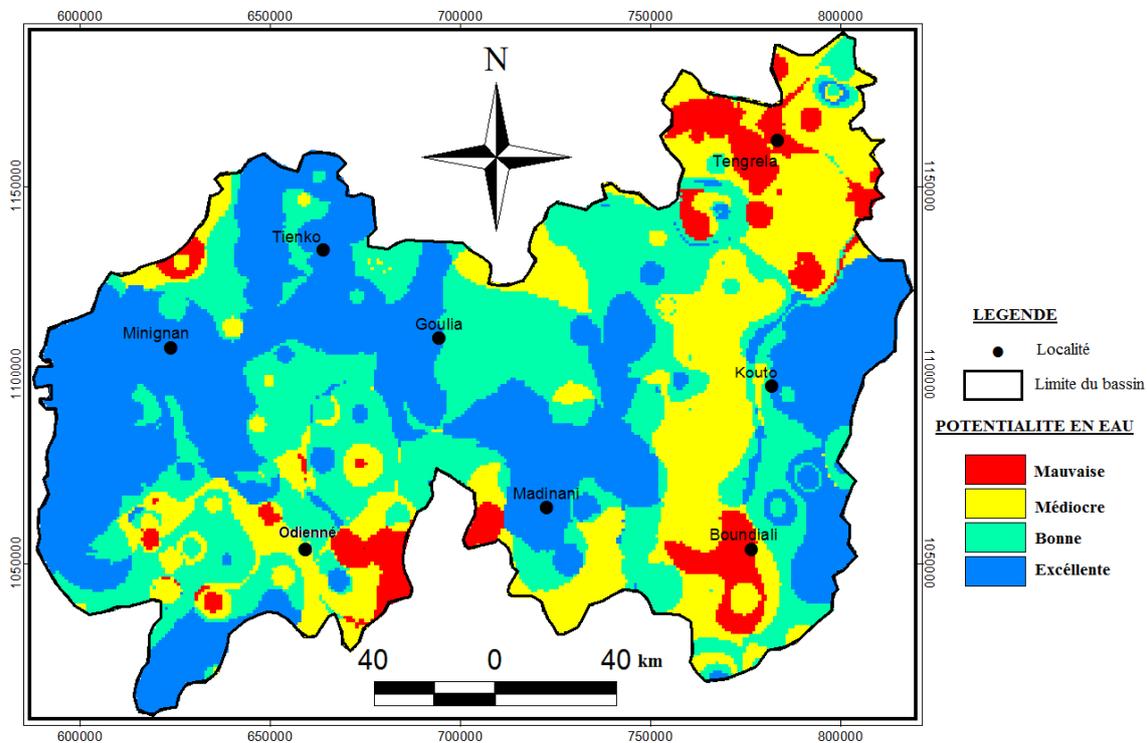


Fig. 5. Carte des potentialités en eau souterraine du bassin Niger (Côte d'Ivoire)

3.2 DISCUSSION

L'utilisation des SIG et de l'analyse multicritère sur la portion ivoirienne du bassin versant du Niger a abouti à la réalisation des cartes de disponibilité, d'accessibilité et d'exploitabilité des ressources en eau souterraine. La combinaison linéaire de ces différentes cartes a permis d'identifier les sites potentiels en eau souterraine du bassin du Niger. La carte des zones favorables en eau souterraine constitue une pré-prospection qui évite les phases de recherches lourdes, lentes et coûteuses comme l'ont indiqué les travaux de [24]. Plus de la moitié du bassin de Niger en Côte d'Ivoire possède une bonne et excellente disponibilité en eau souterraine (59 % de la superficie totale). Cette bonne disponibilité en eau souterraine est due à une bonne densité de fracturation qui entrainerait une bonne infiltration des eaux dans l'aquifère [25], [7], [8], [1]. Cette bonne infiltration découle également de l'abondance des précipitations qui constituent la source première de l'alimentation des aquifères. En effet, dans les zones tropicales humides comme c'est le cas de la Côte d'Ivoire, les aquifères sont essentiellement alimentés par la pluviométrie via les infiltrations de surface [26], [27], [28]. L'exploitabilité est dominée par la classe bonne (69 %). Cette prédominance est favorisée par les formations essentiellement granitiques et schisteuses présentes sur le bassin. Cette bonne exploitabilité des eaux des granitoïdes pourrait être liée à leur forte densité de fracturation. En effet, selon [29] les granites et les schistes constituent les formations lithologiques généralement très productives. Cependant, on note l'existence des classes à exploitabilité mauvaise et médiocre dans les schistes de la localité d'Odienné. Cette mauvaise exploitabilité pourrait avoir deux origines : le type d'implantation des forages (géomorphologique) et le manque de fractures dans les formations géologiques. En effet, la plupart des forages réalisés dans cette localité sont implantés selon la géomorphologie du terrain, donc ne captent pas forcément les fractures. La portion ivoirienne du bassin de Niger possède une bonne accessibilité en eau (59 % de la superficie du bassin). Ces classes bonne et excellente accessibilité seraient favorisées par des forages à faible profondeur totale. Ces résultats obtenus dans le bassin versant sont similaires à ceux obtenus par [15], [30], [12], [2] respectivement à Man, à Aboisso, à Bondoukou et sur le bassin versant de la Baya. La validation des cartes thématiques réalisées dans cette étude par le calcul des incertitudes se justifie par le fait que le mode d'évaluation par les courbes de tendances proposé par [9] a montré ses limites. En effet, il est pratiquement impossible de trouver une classe de sensibilité reflétant à 100 % la réalité du terrain, en ce sens qu'à côté d'un forage à gros débit, il est possible d'avoir un autre forage à débit faible, voire nul. C'est pour pallier ces insuffisances que, certains auteurs [31], [7], [8], [1] préconisent l'utilisation de tests de sensibilité et de calcul des incertitudes permettant de classer les différents paramètres utilisés par ordre d'importance dans l'élaboration des cartes de potentialité en eau. Cependant, l'une des limites de ces études est l'utilisation à posteriori des tests de sensibilité. En effet, l'analyse de sensibilité étudie la contribution de chacune des variables et des paramètres d'entrées sur le rendement d'un modèle analytique [32]. Or, en télédétection et SIG, ces tests sont utilisés pour la validation des cartes thématiques. Pourtant, cette démarche devrait permettre de sélectionner les paramètres les plus sensibles dans l'élaboration des cartes de potentialité en eau ; donc de guider le choix des paramètres. La faible valeur des incertitudes calculées dans cette étude permet d'affirmer la fiabilité des données utilisées. Ainsi, cette carte thématique des sites potentiels en eau souterraine de la portion ivoirienne du bassin du Niger peut guider la prise de décision pour un captage et une gestion efficiente des ressources en eau souterraine dudit bassin.

4 CONCLUSION

Au terme de ce travail, nous retenons que l'identification des sites des futurs points d'eau à partir de l'utilisation de SIG et de l'analyse multicritère, permet de conclure que la portion ivoirienne du bassin versant du Niger regorge d'importantes réserves d'eau souterraine. Plus de 59 % de la zone d'étude présente une bonne disponibilité en eau souterraine. Les différentes zones convenables à l'implantation d'ouvrage à gros débits représentent 70% de la superficie du bassin.

Les résultats obtenus dans cette étude, contribuent à améliorer la localisation des réservoirs fracturés de la portion ivoirienne du bassin versant du Niger. Par conséquent, les acquis de ces travaux guideront les campagnes de prospections hydrogéologiques futures dans cette région en vue de l'approvisionnement des populations en eau potable.

REFERENCES

- [1] Yao A. B., Goula B.T.A., Kane A., Mangoua M. J. et Kouassi K. A. Cartographie du potentiel en eau souterraine du bassin versant de la Lobo (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire). Approche par analyse multicritère, *Hydrological Sciences Journal*. DOI: 10.1080/02626667.2014.932360, 2016
- [2] Mangoua M. J. (2013). Evaluation des potentialités et de la vulnérabilité des ressources en eau souterraine des aquifères fissurés du bassin versant de la Baya (Est de la Côte d'Ivoire). Thèse unique de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan (Côte d'Ivoire), 170 p.
- [3] DHH (2001). Bilan diagnostic et redynamisation du dispositif de maintenance des pompes manuelles. *Séminaire de réflexion sur la maintenance des pompes d'hydraulique villageoise*, 47 p.
- [4] Lasm T., Kouame F., Soro N., Jourda J. P. R. et Biemi J. Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire. Application à la région de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 5 : pp 135-154, 2004.
- [5] N'go Y. A., Lasm. T., Koita M. et Savane I., Extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle précambrien de la région de Dimbokro (Centre-est de la Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*, 9 (1) : pp 33-42, 2010.
- [6] Baka D., Lasm T., Oga M. S., Yao K. T., Youan Ta M., De Lasme O. Z., Onetié Z. O. et Fossou N. M. R. Relation entre la densité surfacique de fractures et le débit spécifique dans la région d'Oumé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue CAMES-Série A*, 13 (2) : pp 230-234, 2012.
- [7] Doumouya I., Brou D., Kouassi I. K., Bachir S., Jourda J. P., Savané I. et Biemi J. (2012). Modelling of favourable zone for the establishment of water points by geographical information system (GIS) multicriteria analysis (MCA) in the Aboisso area (South-east of Côte d'Ivoire). *Environnemental Earth Sciences*, Doi 10.1007/s12665-012-1622-2.
- [8] Mangoua M.J., Dibi B., Koblan E.W., Douagui G.A., Kouassi K.A., Savané I. Biémi J. Map of potential areas of groundwater by the multi-criteria analysis for the needs for water of the Baya's catchment basin (East of Côte d'Ivoire). *African Journal Agricultural Research* 9 (45) : pp 3319-3329, 2014.
- [9] Jourda J. R. P. 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 ès-Sciences Naturelle. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 430p, 2005.
- [10] ORSTOM, n°50, Paris, France, pp 265-391, 1980.
- [11] Youan TA. M., Lasm T., Jourda J. P., Saley B. M., Adja M.G., Kouame K. et Biémi J. Cartographie des eaux souterraines en milieu fissuré par analyse multicritère Cas de Bondoukou (Côte-d'Ivoire). *Revue internationale de géomatique*, 21 (1) : pp 43- 71, 2011.
- [12] Youan T. M. Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'ouest : cas de la région de Bondoukou (nord-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 237p, 2008.
- [13] Koudou A. Conception d'outils d'aide à la décision pour une gestion intégrée des ressources en eau dans un contexte de variabilité climatique : application à la sélection des zones à potentialité aquifère et moins vulnérables à la pollution du bassin versant du N'zi. Thèse de Doctorat. Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), 217p, 2013.
- [14] Prasad R.K., Mondal N.C., Pallavi B., Nandakumar M.V. and SINGH V.S. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. *Environment of Geology*, 55 : pp 467-475, 2008.
- [15] Saaty T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15 : pp 234-281, 1977.
- [16] Saley M. B. Système d'informations à référence spatiale, discontinuités pseudo-images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 209 p, 2003.
- [17] Jourda J. P., Saley M. B., Djangoua E. V., Kouamé K. J., Biemi J., et Razack M. Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation. *Revue de Télédétection*, 5 (4), pp 339-357, 2006.
- [18] Saaty T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15 : pp 234-281, 1977.
- [19] El Morjani Z. Conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale ; application à la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc). *Thèse de Doctorat*, Université de Genève, Terre et Environnement, 42, 300 p, 2003.
- [20] Joerin F. Méthode multicritère d'aide à la décision et SIG pour la recherche d'un site. *Revue internationale de géomatique*, 5 (1), pp 37-51, 1995.

- [21] Savané I. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire) : apport de la télédétection et d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. Thèse de Doctorat d'Etat es-Sc. Nat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 398 p, 1997.
- [22] Martin J. L., Henry E., Boulemia C. et Masson F. X. Proposition d'outils de gestion et d'aide à la décision dans une moyenne collectivité locale : application à l'exploitation de la ressource en eau souterraine. *Acte de la journée d'études « Les territoires de l'eau »*, Université d'Artois, Arras, pp 74-82, 2004.
- [23] Koudou A., Adiaffi B., Assoma T.V. et al. Conception d'un outil d'aide à la décision pour la prospection des eaux souterraines en zone de socle du Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *Revue internationale de géologie, de géographie et d'écologie tropicale*, 37, pp 211-226, 2013.
- [24] Koffi K. M., Yao K. T., Mobio A., Oga Y. M. S. Apport de l'analyse multicritère à la cartographie des zones favorables à l'implantation de forages dans la région de Gagnoa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue internationale de géologie, de géographie et d'écologie tropicales*, 40, 4 : pp 327-344, 2016.
- [25] Langevin C., Pernel F. et 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 scientifique et techniques, hydrogéologie*, 1 : pp 51-64, 1991.
- [26] Shankar R.M.N and Mohan G. Assessment of the groundwater potential and quality in the Bhatsa and Kalu river basins of Thane district, western Deccan Volcanic Province of India. *Environmental Geology*, 49: pp 990-998, 2006.
- [27] Savané I., Coulibaly K. M. et Gioan P. Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. *Sécheresse*, 12 (4) : pp 231-237, 2001.
- [28] Kouakou K. E. Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant de la Comoé (Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Ghana, Mali). Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan (Côte d'Ivoire), 186p, 2011.
- [29] Yao A. B., Goula B. T. A., Kouadio Z. A., Kouakou K. E., Kane A. et Sambou S. Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide. Cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 19 : pp 136-157, 2012.
- [30] N'go Y. A., Gone D. L., Savane I. et Goble M. M. Potentialités en eaux souterraines des aquifères d'Agboville (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) : Caractérisation hydro-climatique et physique. *Afrique SCIENCE*, 01 (1) : pp 127-144, 2005.
- [31] Dibi B. Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans le département d'Aboisso (Sud-est de la Côte d'Ivoire) : Apport du SIG et de l'analyse multicritère. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 164p, 2008.
- [32] Samake M. H., Laing Z. T., Ndoh M. W. I., Kasereka K., and Balogun W.O. Groundwater vulnerability assessment in shallow aquifers in Linfen Basin, Shanxi Province, China using DRASTIC model. *Journal of Sustainable Development*, 4 (1) : pp 53-71, 2011.
- [33] Napolitano P. et Fabbri A. G. Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. HydroGIS 96: application of geographic information systems in hydrology and water resources management (proceedings of the Vienna conference). *IAHS Publication*, 235: pp 559-566, 1996.