



Original Paper

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Apport des techniques géospatiales pour l'analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région de Dioulatiedougou (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire)

Arthur Brice KONAN-WAIDHET <sup>1\*</sup>, Brou DIBI <sup>2</sup>, Konan Emmanuel KOUADIO <sup>3</sup>,  
Issiaka SAVANE <sup>4</sup> et Gabriel LAZAR <sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Géosciences et Environnement, Université Jean Lorougnon Guede, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

<sup>2</sup>Laboratoire Géosciences et Environnement, Université Jean Lorougnon Guede, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

<sup>3</sup>Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, Université Félix Houphouët Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

<sup>4</sup>Laboratoire Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoa, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

<sup>5</sup>Laboratoire Génie Physique et Génie de l'Environnement, Université Vasile Alecsandri de Bacau, 6000115, 157 rue Marasesti, Roumanie.

\*Auteur correspondant, E-mail: [konanwab@yahoo.fr](mailto:konanwab@yahoo.fr), Tel : (225)05747336.

---

### RESUME

L'approvisionnement en eau potable demeure une préoccupation majeure pour les populations en Côte d'Ivoire du fait de la mauvaise exploitation et gestion des données disponibles. La satisfaction d'un tel besoin passe par l'existence d'informations détaillées, fiables et bien organisées sur la qualité et l'environnement de ces eaux souterraines. L'objectif de cette étude est d'élaborer un outil d'aide à décision permettant le suivi et l'optimisation de la productivité des forages à partir d'analyses géospatiales. La démarche adoptée est celle d'une géodatabase qui nécessite une compilation de données sémantique et géographique basées sur un modèle relationnel et qui utilise les techniques de spatialisation et de géostatistique. Le résultat de ce travail est une interface conviviale qui facilite la consultation et la saisie de données sur les forages réalisés. Les analyses spatiale et statistique effectuées montrent que les débits des forages réalisés oscillent entre 0,0 et 15 m<sup>3</sup>/h avec une moyenne de 3,95 m<sup>3</sup>/h. Les classes de débits faibles, moyens et forts représentent 73,33% des débits des forages de cette localité. Les relations entre la productivité et la géologie ont montré que ce sont les granites à biotite et les gneiss qui fournissent les meilleurs débits. Ils possèdent en effet, le plus grand nombre d'arrivée d'eau. Cette géodatabase met à la disposition des gestionnaires des outils d'analyse et d'aide à la décision pour la planification et l'évaluation des forages.

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Modélisation des données, géodatabase, géostatistique, forages, Dioulatiedougou, Côte d'Ivoire.

---

### INTRODUCTION

Le socle cristallin est le domaine des aquifères fracturés qui se sont formés au cours des divers événements tectoniques qui l'ont affecté en y laissant d'importants réseaux de

fissures plus ou moins connectés qui sont à l'origine de la formation des nappes souterraines en milieux de socle fissuré (Sorokoby et al., 2010). Ce sont des réservoirs assez intéressants pour l'alimentation en eau

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i6.35>

potable des populations car ils sont moins exposés à la pollution occasionnée par les activités humaines (De Lasme *et al.*, 2012). Du fait de la garantie qu'offre leur profondeur, les aquifères fissurés constituent les réservoirs les plus recherchés et exploités en zone de socle. Malheureusement, l'accès à l'eau souterraine n'est pas encore totalement maîtrisé en Côte d'Ivoire (Kouassi *et al.*, 2012). Les difficultés que rencontrent les techniciens et les décideurs en charge de l'exploitation et de la gestion des ressources en eau sont dues, non seulement, à un déficit de données idoines mais, aussi à la difficulté de manipuler des informations de sources diverses pour produire des cartes de synthèse. La région du Denguelé, située au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, et à laquelle appartient la Sous-préfecture de Dioulatiédougou, site de cette étude, ne fait pas exception à la règle. Elle appartient au socle cristallin et dans cette zone, l'alimentation en eau potable se fait généralement à partir des forages qui captent uniquement les aquifères discontinus de ce socle. Au niveau de cette localité, d'importantes sommes ont été consacrées à la réalisation de forages qui ont souvent été sanctionnés par des échecs. Or, de nombreuses données relatives aux caractéristiques hydrogéologiques des roches de la région existent (Kouadio *et al.*, 2010 ; Konan-Waidhet *et al.*, 2010) et pourraient réduire ces échecs. Pour aider les acteurs de la gestion à disposer de l'information complète et fiable sur l'environnement hydrogéologique, il est nécessaire de structurer ces données en vue de capitaliser l'ensemble des informations. Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) se présentent comme des technologies efficaces. Ayant un large domaine d'application, ils offrent des outils appropriés pour la combinaison de données spatiales ainsi que des modèles sur un même support graphique (Thorat *et al.*, 2012). Ces SIG, en général, transforment les données en connaissances et les présentent dans divers formats dans le but de l'aide à la décision (Bunch, 2012). La mise en œuvre d'un SIG

intégrant les informations sur les forages peut répondre aux besoins des gestionnaires, des investisseurs privés et des professionnels travaillant dans le domaine des ressources en eaux. L'objectif de cette étude est d'élaborer un outil d'aide à décision permettant le suivi et l'optimisation de la productivité des forages à partir d'analyses géospatiales.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Présentation de la zone d'étude**

Le département de Dioulatiédougou fait partie de la région du Denguelé qui s'étend sur tout le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Cette région a un climat de type tropical sec, avec une grande saison sèche de novembre à mai et une grande saison pluvieuse de juin à octobre. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1400-1500 mm, mais sont concentrées en quasi-totalité sur 6 mois. Les températures varient globalement entre 16 et 35 °C. Les formations géologiques composant le sous-sol du département sont une succession de bandes de roches métamorphiques, schisteuses ou migmatitiques, et surtout de roches plutoniques (Pothin, 1988). Elles sont traversées par des failles orientées majoritairement NNE-SSO, et par une importante zone de roches broyées (mylonites) d'axe approximativement dirigé N-S s'étendant à partir de la partie sud de la région du Nafana. Sur ces formations se sont développés des sols ferrallitiques voire ferrugineux de faible épaisseur, ayant une faible capacité de rétention en eau (Eschenbrenner et Badarello, 1978). Le relief résulte de l'érosion ancienne des formations rocheuses désormais quasi aplanies, d'altitudes comprises entre 400 et 500 m, avec quelques points culminant à 801 m (Mont Gbandé, à l'Ouest du Nafana) et quelques vallées creusées par les cours d'eau, à 300-400 m d'altitude. Les principaux cours d'eau sont le Tienba, à l'Est du Nafana, et son affluent le Sien, à l'Ouest, s'écoulant tous les deux du Nord vers le Sud.



**Figure 1** : Localisation de la zone d'étude.

### Matériel

Le matériel est constitué de données et de logiciels. La conception de ce SIG a nécessité l'utilisation d'une carte topographique au 1/200 000, fournie par le Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) d'Abidjan, et des données descriptives sur les forages auprès de la direction l'hydraulique villageoise et des données issues

de la mission d'évaluation de la fondation SOGREAH réalisé dans la région. Plusieurs logiciels ont été utilisés. Ce sont : Microsoft Access 2007 pour le traitement des données descriptives, Power AMC 9.5 pour la modélisation conceptuelle des données et ArcGIS 9.3 pour l'implantation et l'analyse spatiale des données.

### **Méthodes de conception de la géodatabase**

La démarche adoptée est celle d'une géodatabase (Figure 2). Les géodatabases possèdent les fonctionnalités des bases de données relationnelles, tout en intégrant les données spatiales (Wojda *et al.* 2010). Elles offrent ainsi, la possibilité de traiter à la fois des informations spatiales et descriptives dans une application unique. La réussite d'une géodatabase passe nécessairement par une modélisation des données.

### **Modélisation des données**

La modélisation constitue un préalable essentiel dans l'optique d'un développement ou de l'étude d'applications informatiques. Cela reste vrai avec les bases de données géographiques qui sont elles aussi organisées et structurées. Un modèle est une représentation de la réalité utilisée pour simuler un processus, prédire un résultat ou analyser un problème.

### **Modèle conceptuel**

Le Modèle Conceptuel des Données (MCD) a permis de définir la géométrie, les attributs et les relations logiques (spatiales et temporelles) entre les objets étudiés. Ainsi, les entités ont été déterminées en tenant compte du contenu de la géodatabase qui permet de distinguer les objets du monde réel comme des entités possédant deux types d'attributs: les attributs alphanumériques et les attributs graphiques. Le modèle conceptuel a été conçu selon le formalisme Entité-Relation. Une première approche du travail a permis de faire l'inventaire des données existantes, en cours d'acquisition et disponibles sur la région. Ainsi, le diagnostic de l'existant et l'analyse des besoins ont montré que l'information sur les forages est une donnée localisée. Sa gestion nécessite donc des outils d'analyse adéquats qui peuvent gérer correctement les problèmes de localisation des données, leurs liens et leur représentation cartographique (Larrivée *et al.*, 2006). Par conséquent, seules les données pertinentes et existantes pour

l'élaboration d'un système de gestion base de données (SGBD) sur la thématique visée mais aussi susceptibles d'être collectées ont été retenues.

### **Modèle logique**

Le modèle logique des données (MLD) organise les données dans des tables, tout en permettant de garder les relations existantes. Les structures logiques les plus répandues, sont les modèles hiérarchique, réseau, relationnel et ces dernières années, le modèle orienté objet. Sur les 4 modèles logiques de base énumérés ci-dessus, le relationnel a été choisi comme le plus approprié pour les objectifs de la géodatabase (Kaimaris *et al.*, 2011). La table « forage » est l'élément central du système de gestion de base de données. A celle-ci sont rattachés des tables liées à leur gestion et à leur suivi.

### **Base de données relationnelles**

Les bases de données sont des outils informatiques utilisés pour accéder et interroger de grandes quantités de données et d'informations (Ellis *et al.*, 2004). C'est aussi une collection d'informations relatives à un sujet ou un objectif particulier. Ainsi, les informations utiles ont été déterminées en fonction des objectifs prédéfinis. Cette base de données prend en compte les données attributaires telles les coordonnées GPS des points de forages, les données statistiques, les données de forages, les paramètres chimiques. Ce sont des attributs liés à l'entité spatiale forage. La base de données attributaire réalisée sur les forages a été développée sur la base du modèle relationnel. En effet, les bases de données informatiques sont souvent mises en œuvre dans un système de gestion de base de données relationnelles (SGBDR), conçu autour des concepts mathématiques de l'algèbre relationnelle reliant les tableaux de données en deux dimensions (Sunderic *et Woodhead*, 2001).

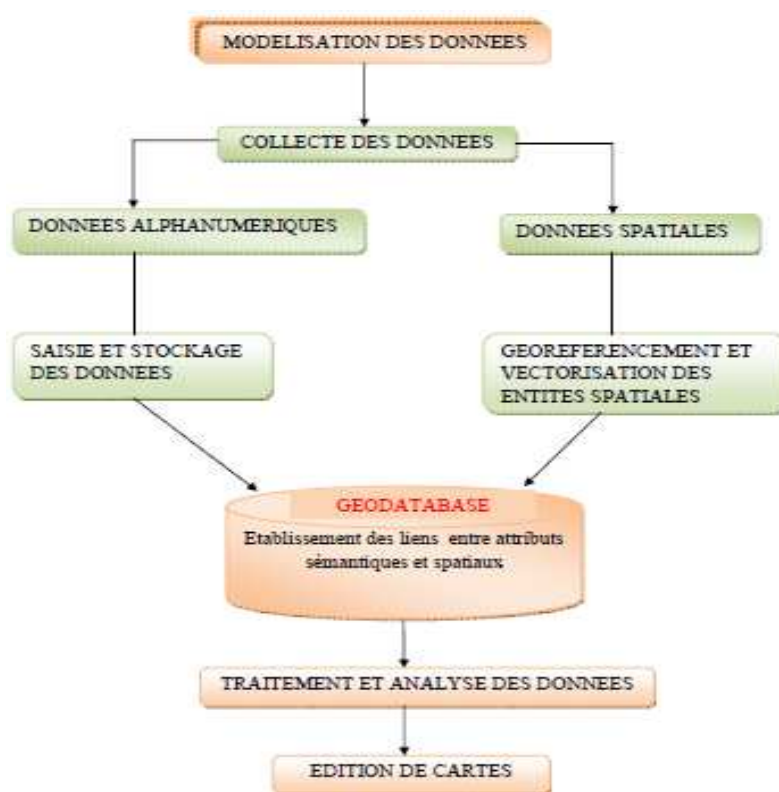


Figure 2 : Organigramme conceptuel de la géodatabase.

### Réalisation d'un prototype

Après avoir défini le fonctionnement global du système à l'aide de la modélisation, un prototype est proposé. Il s'agit d'un système exploratoire impliquant un ensemble restreint de fonctions d'analyse. Le recours à un prototype est un moyen efficace qui a permis de préciser les concepts, expérimenter et effectuer les choix stratégiques. Le prototype a été déterminant afin de voir les possibilités et les limites du modèle et du logiciel choisi. Il met en application différents scénarios d'utilisation du système d'information. Le prototype a été réalisé sur le logiciel Microsoft Access. C'est un outil simple à manipuler, où des formulaires permettent une saisie rapide et claire des données. La consultation des données est également un point focal pour les utilisateurs.

### Intégration des données spatiales

L'information géographique est composée d'informations géométrique, descriptive et topologique. Son intégration passe par le géoreferencement puis la numérisation. Pour les besoins de notre étude, la projection UTM, zone 29 N avec Datum WGS 84, a été sélectionné, ce qui assure la compatibilité de la géodatabase avec d'autres données qui peuvent y être ajoutés. L'environnement ArcGIS a été utilisé pour mettre en place la base de données spatiale. C'est du traitement de ces informations permettant de comprendre la structure et les relations fonctionnelles des objets distribués géographiquement, que vont émerger des cartes de synthèse.

Ce travail est complété par une analyse statistique et une interpolation spatiale basée sur les analyses géostatistiques. L'application

de la géostatistique à une variable donnée suppose la répétitivité de façon aléatoire de celle-ci. Le débit des forages a été soumis à cette analyse.

### **Interpolations spatiales**

La méthode utilisée est celle du Krigeage ordinaire. Le krigeage, en général, désigne un ensemble de méthodes d'interpolation reposant sur des modèles mathématiques et statistiques qui permettent toutes d'estimer la valeur d'une propriété en un point de l'espace géographique à partir des observations voisines (l'autocorrélation, étant fonction de la distance). Pour cela, elles

utilisent la théorie des variables régionalisées, c'est-à-dire des fonctions qui prennent, en chaque point de l'espace, une valeur qui constitue une réalisation d'un processus aléatoire. Cette dernière est définie comme étant un processus dont l'occurrence ou les réalisations relèvent du calcul de probabilités (=stochastique). Une méthode d'interpolation géostatistique comme celle-ci doit être utilisée, puisqu'elle s'applique à des données continues, c'est-à-dire susceptibles de prendre une valeur différente en tout point d'un espace géographique, comme il est le cas pour les valeurs des débits.

## **RESULTATS**

### **Interface de consultation et de saisie des données**

Le modèle logique a été mis en œuvre grâce à un modèle physique sous Microsoft Access et enrichi avec une interface utilisateur entièrement fonctionnel qui permet aux utilisateurs et aux décideurs de se concentrer uniquement sur le contenu de l'information et les questions de gestion (Figure 3). Cette application permet la gestion et le suivi des forages réalisés dans le cadre des programmes d'approvisionnement en eau réalisés dans la région. Elle propose deux modules d'interrogation distincts à savoir :

- le module 1 : « Réalisation et état des forages » et
- le module 2 : « Production »

Le module 1 permet de formuler des requêtes concernant la date de début et de fin de réalisation de l'ouvrage, ainsi que l'état des points d'eau.

Le module 2 permet d'interroger la base de données sur la profondeur, la coupe géologique, la date d'essai de pompage, le débit d'essai, le rabattement, le débit d'exploitation et le niveau piézométrique.

Elle propose à l'utilisateur une série de fonctions lui permettant d'établir des liens dynamiques entre ArcGIS et Microsoft Access. D'autres fonctions au sein de la base de données permettent aux utilisateurs de trouver et de faire des mises à jour. Microsoft

Access permet également d'automatiser les requêtes. Les résultats des requêtes et des rapports vont aider les utilisateurs à se concentrer, examiner et abstraire des ressources sans avoir à comprendre les subtilités des tables individuelles. De plus, le système fournit les outils pour l'édition et la recherche d'informations pertinentes qui les aideront à l'entretien de la documentation sur les forages réalisés dans la région. Des prospections régulières sur le terrain permettent d'affiner les données ainsi compilées et de compléter certaines thématiques non abordées. Une seconde approche complémentaire menée sur la base de données a permis de réaliser l'analyse spatiale des données sur les débits. Ainsi, les analyses spatiales permettent d'illustrer la capacité du SIG à favoriser l'accès à l'information géographique.

### **Analyse spatiale de la productivité des forages**

Une analyse précise de ces informations spatialisées sur SIG a permis d'évaluer la productivité des forages et l'état des besoins en eau sur la zone d'étude au regard des préoccupations environnementales. Les résultats obtenus sont présentés dans la Figure 4 qui fait ressortir 4 classes selon la classification établie par le Comité Inter-Africain d'Études Hydrauliques (C.I.E.H.) (Lasm, 2000). Sur la base de cette

classification, les débits des forages de la zone qui varient entre 0 et 15 m<sup>3</sup>/h avec une moyenne de 3,95 m<sup>3</sup>/h ont permis de ressortir 4 classes. Il s'agit des classes des débits très faibles (0 à 1 m<sup>3</sup>/h), des débits faibles (1 à 2,5 m<sup>3</sup>/h), des débits moyens (2,5 à 5 m<sup>3</sup>/h) et des débits forts (> 5 m<sup>3</sup>/h).

Ces classes représentent respectivement 26,67% pour débits très faibles ; 33,33% pour les débits faibles ; 20,00% pour les débits moyens et 20,00% pour les débits forts (Figure 5).

Au total, les classes de débits très faible et faible représentent 60% des débits des forages. Cela indique que la majorité des débits est relativement faible, soit un débit inférieur à 2,5 m<sup>3</sup>/h. Si ces débits restent acceptables pour l'hydraulique villageoise en milieu rural où le débit recommandé est de 1m<sup>3</sup>/h, il reste tout de même faible pour certaines localités rurales qui pourraient être alimentées en hydraulique villageoise améliorée (HVA) (débit supérieur ou égal à 3,5 m<sup>3</sup>/h). Quant aux débits moyens et forts qui sont susceptibles d'être exploités en HVA et en hydraulique urbaine (HU), c'est-à-dire des débits supérieurs ou égaux à 10 m<sup>3</sup>/h, ils ne couvrent que moins de 40% des forages.

Pour ce qui est des profondeurs de forages réalisés dans la région de Dioulatiédougou, ils varient entre 35 m et 74,5 m avec une profondeur moyenne de 49 m dans les granites à biotite, de 52,04 m dans les gneiss et de 50,10 m dans les métasédiments (Figure 6).

La profondeur moyenne dans l'ensemble des formations géologiques est de 50,12 m. Les profondeurs les plus homogènes se rencontrent dans les gneiss. Les profondeurs les plus faibles sont obtenues dans les terrains granitiques. La répartition des débits de forage en fonction de la profondeur des ouvrages est présentée dans la Figure 7. L'analyse de ce graphe montre que de manière générale, les principaux débits de la région se rencontrent entre 35 et 70 m de profondeur.

Les débits les plus élevés, c'est-à-dire, 13,2 m<sup>3</sup>/h et 15 m<sup>3</sup>/h se rencontrent respectivement dans les gneiss et les granites à

biotites. Les formations granitiques et les formations métamorphiques (gneiss) représentant respectivement 53,33% et 33,33% des forages réalisés dans la région de Dioulatiédougou semblent être les plus productives, avec 75% des débits se trouvant dans les classes des débits moyens à forts ( $Q \geq 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Les épaisseurs d'altérites observées dans la région du Denguelé sont variables (2 à 50 m), avec une moyenne de 25,24 m. Les valeurs les plus fréquentes se situent dans l'intervalle de 15 à 40 m (Figure 8) et représentent un pourcentage de 77,35.

Une autre analyse basée sur le nombre d'arrivées d'eau en fonction de la profondeur (Figure 9) révèle que ce nombre varie de 1 à 4. Les forages ayant plus de 2 arrivées d'eau se rencontrent à Dabaga (5 m<sup>3</sup>/h), Siensou (6 m<sup>3</sup>/h) et Massadougou (15 m<sup>3</sup>/h). Dans ces localités, les formations géologiques sont constituées respectivement de granite à biotite, de métasédiment et de gneiss. Le constat est que, les forages présentant plus de deux arrivées sont généralement les plus productifs et se situent entre 35 et 70 m de profondeur. Ainsi, les débits importants ( $Q \geq 3 \text{ m}^3/\text{h}$ ) s'observent aussi bien dans les granites en général que dans les gneiss.

#### **Analyse spatiale des besoins en eau**

La combinaison des différentes cartes thématiques offre la possibilité de réaliser une carte de besoin en eau des populations (Figure 10) par interpolation spatiale.

Il ressort de cette analyse que les classes de débit reflètent en général, le nombre d'habitants.

En effet, les plus gros débits se rencontrent là où les populations sont plus importantes en nombre. On ne peut estimer que très approximativement les besoins de chacun des villages du fait des incertitudes existant sur les données démographiques. Cependant, à partir des estimations faites par l'Etat ivoirien pour 2008 et d'une hypothèse d'un besoin en eau de 50 Litres par personne et par jour, on obtient une évaluation des volumes journaliers en eau nécessaire actuellement à chaque village (Tableau 1).



Figure 3 : Ecran d'accueil de la base de données réalisé sous Microsoft Access.

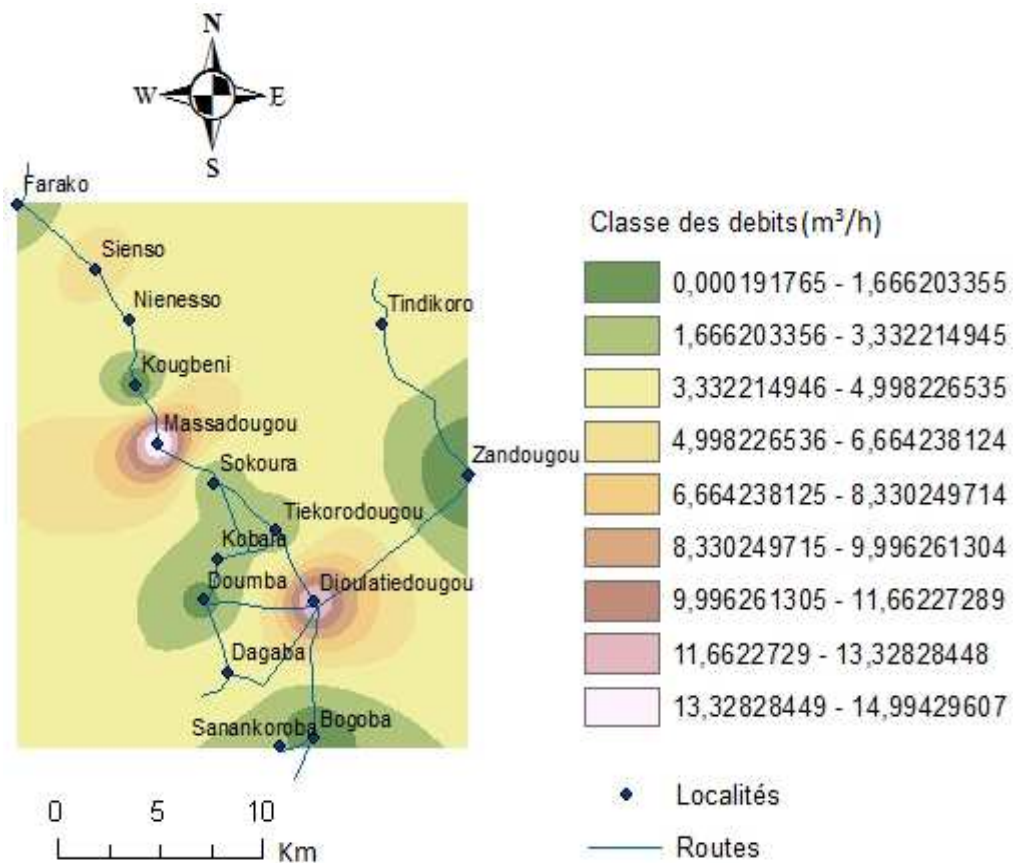


Figure 4 : Carte de la répartition spatiale des débits.



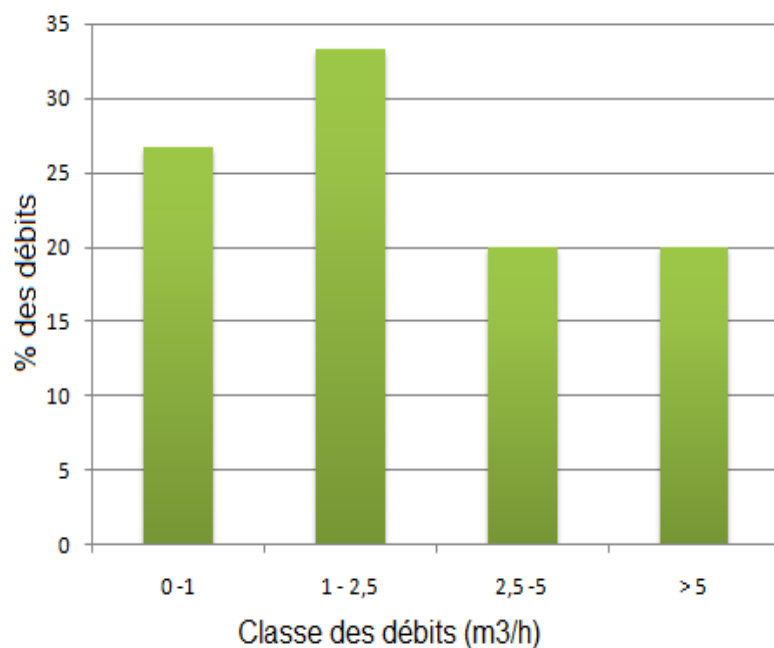


Figure 5: Distribution des débits en fonction des classes.

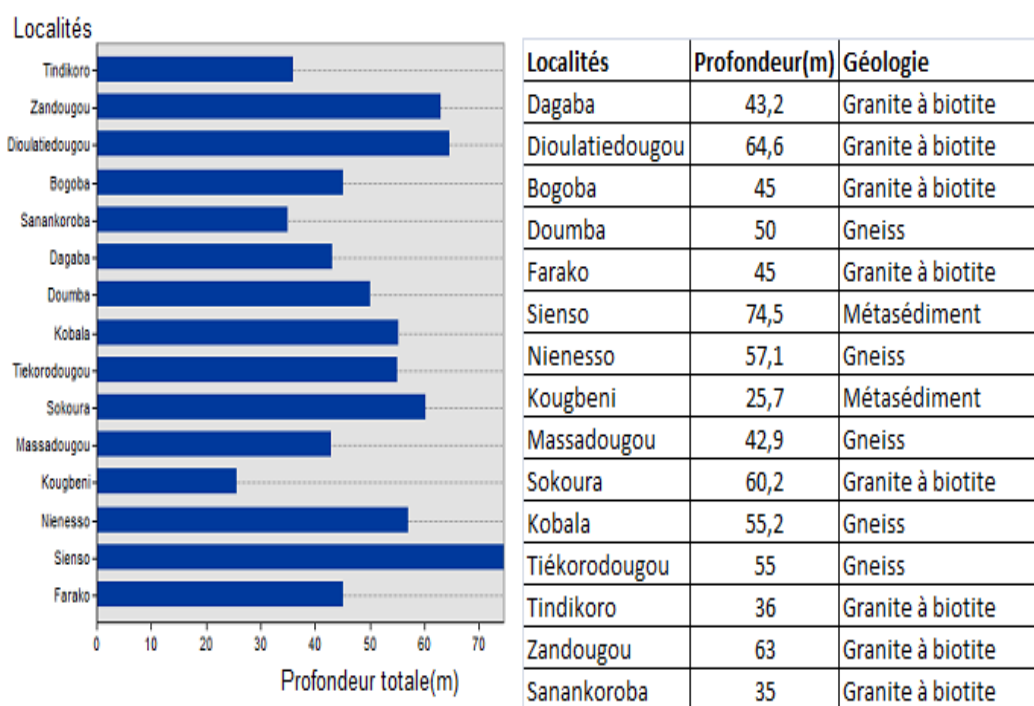
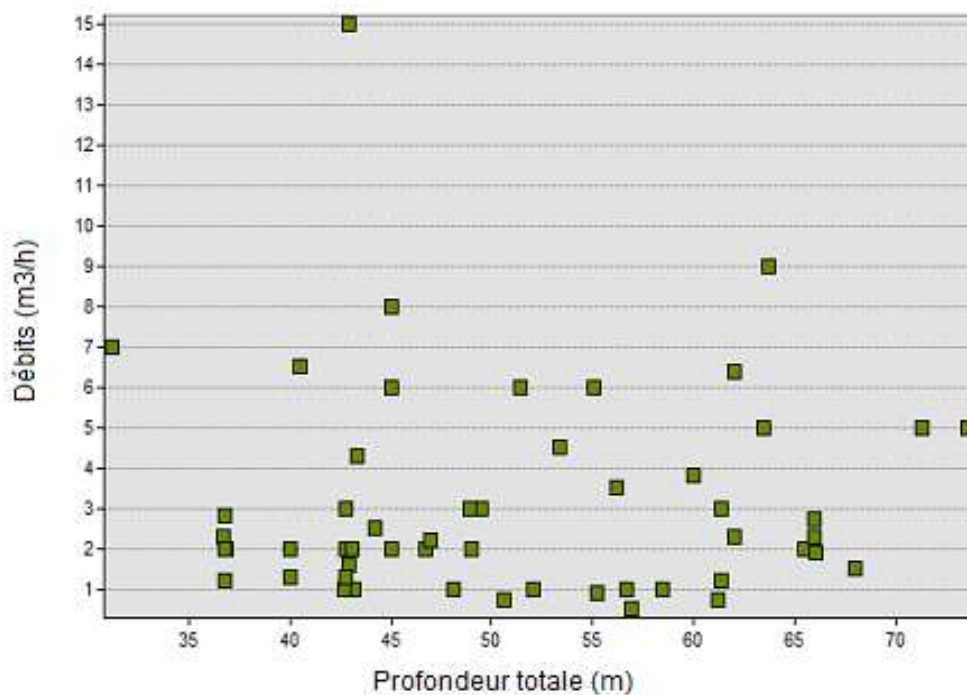
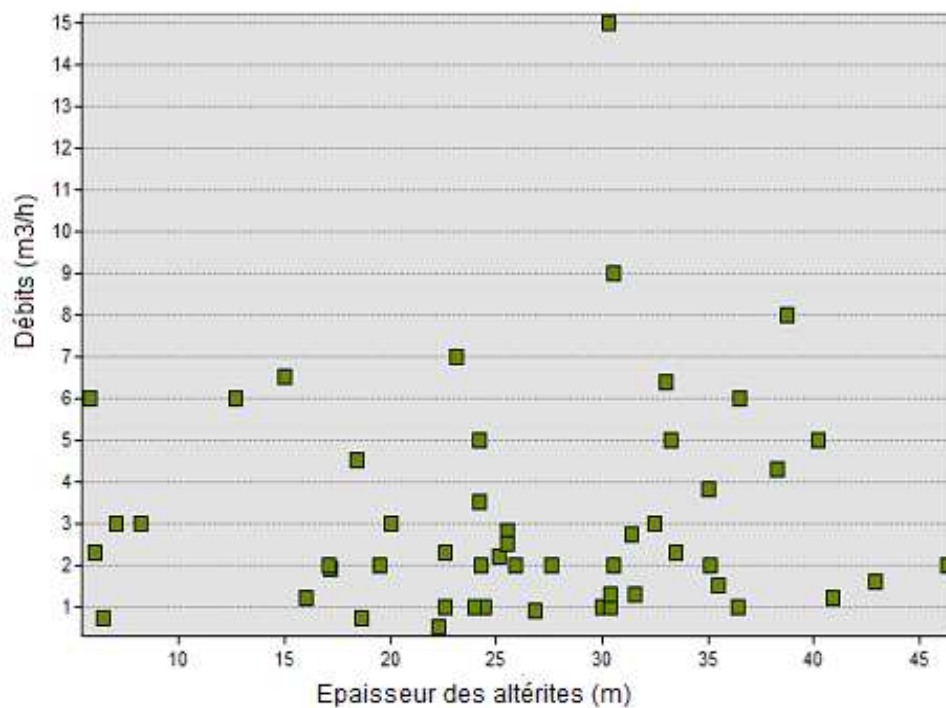


Figure 6 : Profondeur des forages dans les formations géologiques.



**Figure 7** : Evolution des débits en fonction des profondeurs totales des forages.



**Figure 8** : Evolution des débits en fonction des épaisseurs des altérites.

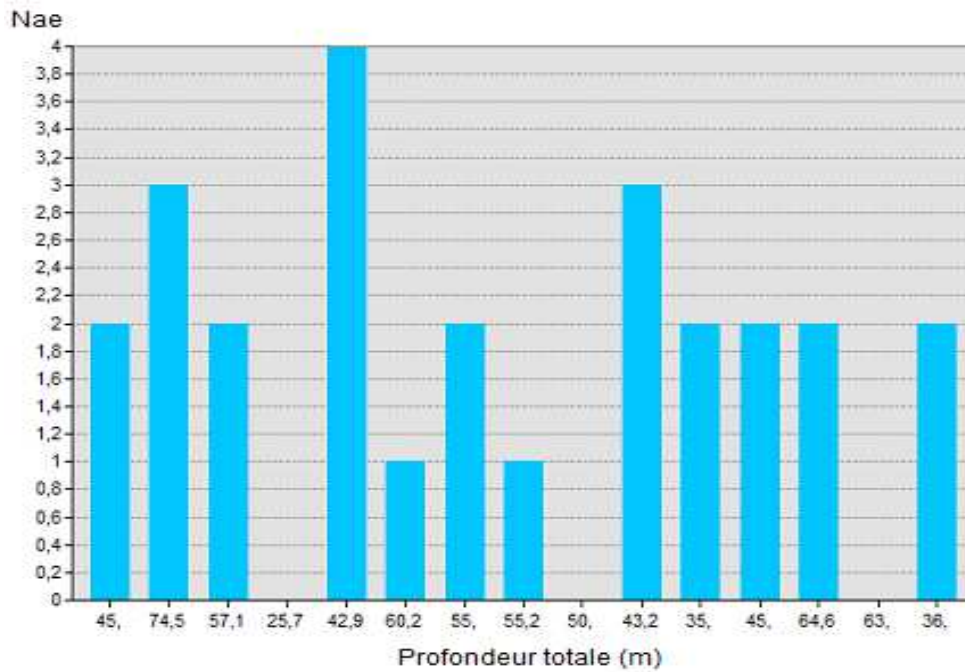


Figure 9 : Nombre d'arrivées d'eau (Nae) en fonction de profondeur de l'ouvrage.

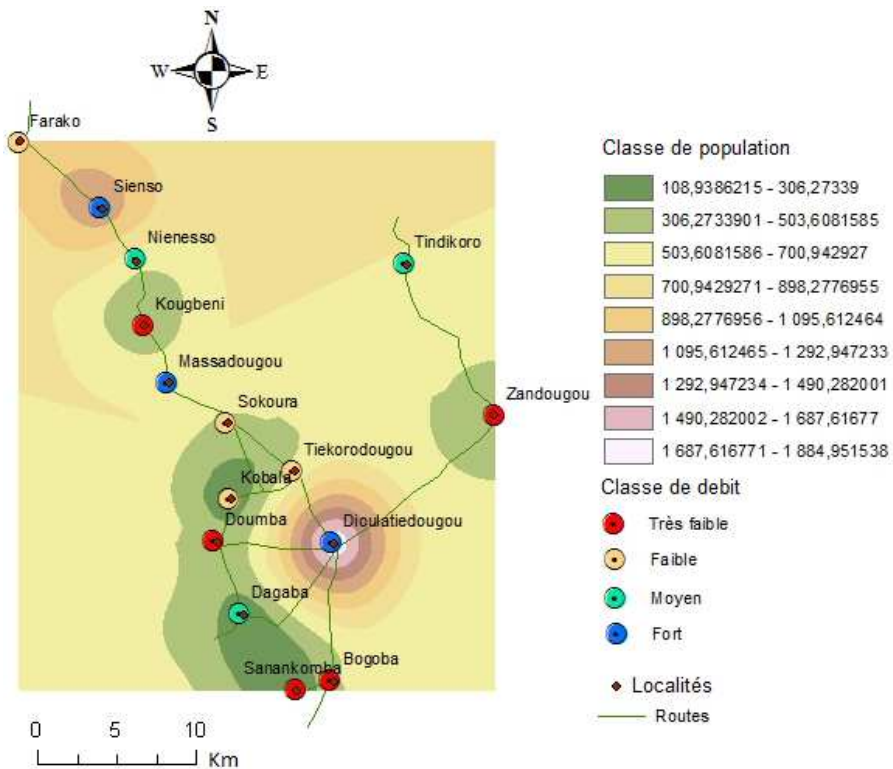


Figure 10 : Carte présentant la relation entre débits et populations.

**Tableau 1** : Estimation des besoins en eau.

Localité	Population	Besoin en eau (m <sup>3</sup> /j)	Capacité actuelle pompage (m <sup>3</sup> /h)
Dagaba	157	7,85	1,5
Dioulatiedougou	1900	95	12,7
Bogoba	477	23,85	15,9
Doumba	408	20,4	13,6
Farako	1038	51,9	11,5
Sienso	1281	64,05	14,2
Nienesso	558	27,9	18,6
Kougbeni	328	16,4	5,5
Massadougou	609	30,45	10,2
Sokoura	450	22,5	15
Kobala	157	7,85	7,9
Tiekorodougou	581	29,05	5,8

## DISCUSSION

Cette étude a montré tout l'intérêt de la mise en œuvre d'une SIG couplé à un système de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR) sur l'analyse de la productivité des forages de Dioulatiedougou. Le SIG réalisé dans le cadre de cette étude permet de se faire une première idée de la répartition spatiale des débits des forages. Un des avantages de disposer d'informations géographiques sous forme numérique est de pouvoir accéder à une grande diversité d'informations (De La Losa, 2000). Microsoft Access a été choisi pour concevoir la base de données, car elle a permis de tirer des conclusions quant à la réussite et la fonctionnalité de la conception du projet pilote à petite échelle. Cependant, pour une base de données nationale intégrée, une autre plate-forme de base de données pourrait être utilisée. Les informations contenues dans la base de données peuvent être consultées, triées, manipulées, récupérées et imprimées de diverses manières et donne aux utilisateurs la flexibilité nécessaire pour obtenir des données dans de multiples formats. Les formulations de requête peuvent être développées, permettant aux utilisateurs de rechercher et d'analyser les données ainsi

que des informations spécifiques dans des ensembles de données énormes. Cette capacité à extraire des éléments d'informations basées sur des critères spécifiés par l'utilisateur fait du SGBDR une excellente technologie informatique d'aide à la décision. Ainsi, la construction d'une base de données efficace et la combinaison de l'ensemble des données au sein de projets pertinents dans une application unique comme celle d'une géodatabase réduit les cas de redondance des données. Les analyses statistiques effectuées sur les données de forages ont montré que, suivant la profondeur, les forages les plus productifs se situent entre 35 et 75m. Kouadio et al. (2010) ont montré que la profondeur optimale pour avoir un débit d'exploitation maximal dans cette région se situe autour de 68m. De même, Kouassi et al. (2012) ont montré que dans la région de socle du N'zi comoé comme c'est le cas de notre zone d'étude, la profondeur des forages dépasse rarement les 100m. Selon les formations géologiques, on constate que les classes de débits moyen et fort ( $Q \geq 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) s'observent aussi bien dans les granites à biotite que dans les gneiss. Toutefois, dans la majorité des cas, les débits d'exploitation des granites à biotite sont inférieurs à ceux des

gneiss. Par ailleurs, dans des travaux antérieurs, Kouadio et al. (2008) ont montré que les granites à deux micas, les gneiss et les dolérites font parties des formations dites à forte densité de fracturation. On perçoit donc logiquement une relation de proportionnalité entre la densité de fracturation et la productivité des forages lié au nombre des arrivées d'eau. En effet, plusieurs auteurs (Dibi et al., 2004 ; N'go et al., 2010) ont montré que ce sont d'importants réseaux de fissures plus ou moins connectés qui sont à l'origine de la formation des nappes souterraines en milieux de socle fissuré. Cependant, selon Kouamé et al. (2005), en milieu de socle fissuré, les réservoirs sont discontinus et toutes les fractures ne sont pas hydrauliquement actives et donc productives. Par ailleurs, les altérites présentent un profil dont la composition dépend de la nature de la roche mère et du stade d'évolution de l'altération (Lasm, 2000). Les couches d'altérites reçoivent directement l'eau des précipitations et sont capables d'accumuler des quantités énormes d'eau d'infiltration. De façon générale, lorsque la profondeur d'altération est importante, la probabilité d'obtenir un débit important est très grande. La prise en compte des populations dans l'étude de la productivité pourrait se justifier par le fait qu'elles soient la cible à laquelle cette eau est destinée. Pour garantir une meilleure connaissance du territoire et la pérennité des données compilées dans le cadre de cette étude, le développement de certains modules automatisés permettra d'améliorer l'utilisation de cette géodatabase. En effet, selon Busgeeth et Rivett (2004), pour accroître les avantages potentiels du système, il faut bien le concevoir avec des interfaces conviviales qui seront développés pour réduire le besoin de mémoriser les commandes afin de fournir une rétroaction visuelle.

### Conclusion

Au cours de cette étude, nous avons opté pour le modèle géodatabase qui permet le

stockage et la gestion des informations géographiques dans des tables d'un Système de Gestion de Base de Données Relationnelles. Les résultats de cette étude mettent en évidence la puissance intégratrice du lien dynamique entre Microsoft Access et ArcGIS. Cette application permet une utilisation aisée des différentes données disponibles et lui confère une capacité d'évolution. Le formulaire de consultation est composé de deux modules d'interrogation distincts à savoir : le module «Réalisation et état des forages » et le module « Production » qui répondent aux exigences de gestion des travaux exécutés lors d'un projet de forages. Les analyses spatiale et statistique effectuées montrent que les débits des forages réalisés oscillent entre 0,0 et 15 m<sup>3</sup>/h avec une moyenne de 3,95 m<sup>3</sup>/h. Les classes de débits faibles représentent 60% des forages contre 40% pour les débits moyens et forts (Débits supérieurs à 2,5 m<sup>3</sup>/h). Globalement, les forages productifs ont une profondeur totale comprise entre 35 et 75 m avec une épaisseur d'altérites qui varie entre 2 et 50 m. Les relations entre productivité et géologie ont montré que ce sont les granites à biotite et les gneiss avec le plus grand nombre d'arrivées d'eaux, qui fournissent les meilleurs débits. Les résultats obtenus se présentent sous forme de tableaux, de graphique ou statistique, confirmant que les SIG constituent des excellents outils d'analyse permettant d'apporter une aide précieuse à la planification et au suivi des forages.

### REFERENCES

- Bunch MJ, Kumaran TV, Joseph R. 2012. Using Geographic Information Systems (GIS) For Spatial Planning and Environmental Management in India: Critical Considerations. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(2): 40-54.
- Busgeeth K, Rivett U. 2004. The use of a spatial information system in the management of HIV/AIDS in South

- Africa. *International Journal of Health Geographics*, **3**:1-8.
- De La Losa A. 2000. Modélisation de la troisième dimension dans les bases de données géographiques. Thèse de doctorat, Université de Marne la Vallée, Institut Géographique National, Laboratoire COGIT, p. 174.
- De Lasme OZ, Lasm T, Oga MS, YouanTa M, Baka D, Ettien FB, Kouakou S, Onetie OZ, Yao TK. 2012. Analyse des propriétés hydrodynamiques des aquifères fissurés de la région de San-Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Estudios Geológicos*, **68**(2): 217-232.
- Dibi B, Inza D, Goula BTA, Savane 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 Sciences & Technologies*, **13** : 22-31.
- Ellis EA, Bentrup G, Schoeneberger MM. 2004. Computer-based tools for decision support in agroforestry: Current state and future needs. *Agroforestry Systems*, **61**: 401-421.
- Eschenbrenner V, Badarello L. 1978. Etude pédologique de la région d'Odienné (Côte d'Ivoire) : carte des paysages morpho-pédologiques. Feuille Odienné à 1/ 200.000 ORSTOM, p. 123.
- Kaimarisa D, Sylaioub S, Georgoulac O, Patiasc P. 2011. GIS of landmarks management. *Journal of Cultural Heritage*, **12** (2011): 65-73.
- Konan-Waidhet AB, Kouadio KE, Dibi B, AKE GE, Savane I. 2010. Contribution à la création d'une base de données spatiale pour la gestion des forages en milieu fissuré: cas du Denguelé (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(6): 2046-2059.
- Kouadio KE, Soro N, Savane I. 2010. Stratégie d'optimisation de la profondeur des forages en contexte de socle: application à la région du Denguelé, nord-ouest de la côte d'ivoire. *Revue des Sciences de l'Eau*, **23**(1) : 1-15.
- Kouadio KE, Savane I, Lasm T, Biemi J. 2008. Hydrogeology Prospecting in Crystalline and Metamorphic Area by Spatial Analysis of Productivity Potential. *European Journal of Scientific Research*, **22**(3): 373-390.
- Kouame KF, Akaffou AG, Lasm T, De Dreuzy JR, Davy P, Bour O. 2005. Simulation des écoulements dans les réservoirs fracturés: application au socle Archéen de Toubra (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Actes du Colloque Internationale SITIS 05, Yaoundé (Cameroun), du 27 Novembre au 1<sup>er</sup> Décembre 2005 : 39-46.
- Kouassi AM, Ahoussi KE, Yao KA., Ourega WEJA, Yao KSB, Biemi J. 2012. Analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région du n'zi-comoé (centre-est de la côte d'ivoire). *Larhyss Journal*, **10** : 57-74.
- Larrivée S, Bédard Y, Pouliot J. 2006. Fondement de la Modélisation Conceptuelle des Bases de Données Géospatiales 3D. *Revue Internationale de Géomatique*, **16**(1): 9-28.
- Lasm T. 2000. Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: Analyse statistique de la fracturation et des propriétés hydrodynamiques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen). Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, p. 274.
- N'go YA, Lasm T, Koita M, Savane I. 2010. Extraction par télédétection des réseaux de fractures majeures du socle précambrien de la région de Dimbokro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Télédétection*, **9**(1) : 33-42.
- Pothin KBK. 1988. Pétrographie et géochimie des formations précambriennes de la région d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat, Université Nationale Côte d'Ivoire, p. 329.

- Sorokoby VM, Saley MB, Kouame KF, Djagoua MEV, Bernier M, Affian K, Biemi J. 2010. Utilisation des images Landsat ETM+ et du SIRS pour la cartographie linéamentaire et thématique de Soubré-Meagui (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire): contribution à la gestion des ressources en eau souterraine. *Téledétection*, **9**(3-4): 209 -223.
- Sunderic D, Woodhead T. 2001. *SQL Server 2000: Stored Procedure Programming*. McGraw-Hill Professional: Berkeley, CA; 732.
- Thorat SB, Kishor SB, Rmana Murthy MV, Jagtap S, Bokare MM. 2012. Mobile GIS: For Collection of Socio-Economic Data and Water Resource Management Information (Case Study: Rural Maharashtra State, India), Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol II, WCE 2012, July 4 - 6, 2012, London, U.K.
- Wojda P, Brouyère S, Derouane J, Dassargues A. 2010. HydroCube: an entity-relationship hydrogeological data model. *Hydrogeology Journal*, **18**: 1953–1962.