



ANALYSE DE LA PRODUCTIVITÉ DES AQUIFÈRES FISSURÉS DE LA RÉGION DU N'ZI-COMOÉ (CENTRE-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE)

**KOUASSI A.M.¹, AHOUSI K.E.², YAO K.A.¹, OUREGA W.E.J.A.³,
YAO K.S.B.³, BIEMI J.²**

¹Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

²Université de Cocody, Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la terre et des Ressources Minières (STRM) ; 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

³Ecole Supérieure des Mines et de Géologie (ESMG), Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB), BP 1093 Yamoussoukro Côte d'Ivoire
michel.a_kouassi@yahoo.fr ; ahoussi_kouassi@caramail.fr

RESUME

Cette étude porte sur l'analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire) à partir d'une approche qui prend en compte le bilan hydrologique et l'analyse comparative réalisée d'une part avec les débits des forages et les profondeurs totales des forages, les débits et les épaisseurs d'altérites et, d'autre part, de la transmissivité en relation avec la lithologie a permis d'évaluer les potentialités en eau souterraine de cette région. Les différents résultats concourent à faire connaître les potentialités hydrogéologiques de la région du N'zi-Comoé. Les résultats du bilan hydrologique montrent que la région du N'zi-Comoé reçoit en moyenne 1154,71 mm de pluie par année et la quantité d'eau susceptible de s'infiltrer pour recharger les aquifères est de 105,61 mm soit 9,15 % des précipitations. De l'étude des paramètres physiques et hydrodynamiques, il ressort que, dans la région du N'zi-Comoé, les profondeurs des forages étudiés varient entre 40,5 et 117,5 m avec une moyenne de 79,09 m, l'épaisseur des altérites fluctue entre 4 et 104 m avec une moyenne de 56,24 m. Les valeurs de la transmissivité varient de $9,31.10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ à $4,26.10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ avec une moyenne de $8,22.10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Les débits des forages réalisés dans la région du N'zi-Comoé oscillent entre 0, 30 et 16 m³/h avec une moyenne de 3,89 m³/h. Les formations schisteuses qui

constituent la majorité des formations géologiques sont en général les plus productives.

Mots-clés : Recharge des aquifères, productivité, altérites, profondeur de forage, transmissivité, N'zi-Comoé, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

This study relates to the analysis of the productivity of the fractured aquifers in the area of N'zi-Comoé (Center-East of Ivory Coast). It is based on an approach which takes into account the hydrological balance and the comparative analysis carried out on the one hand with the flows of drillings and the total depths of drillings, the flows and the thicknesses of weathered material and, on the other hand, of the transmissivity in relation to lithology made it possible to evaluate the groundwater potentialities of this area. The various results contribute to make known the hydrogeological potentialities in the area of N'zi-Comoé. The results of the hydrological balance show that the area of N'zi-Comoé receives on average 1154.71 mm of rainfall per year and the quantity of water suitable for infiltrate to refill the aquifers is of 105.61 mm (9.15%) of rainfall. Study of the physical and hydrodynamic parameters, it arises that, in the area of N'zi-Comoé, the depths of the drillings studied vary between 40.5 and 117.5 m with an average of 79.09 m, the thickness of weathered material fluctuates between 4 and 104 m with an average of 56.24 m. The values of the transmissivity vary from $9,31.10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ to $4,26.10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ with an average of $8,22.10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. The flows of the drillings carried out in the area of N'zi-Comoé oscillate between 0.30 and 16 m³/h with an average of 3.89 m³/h. The schistous formations which constitute the majority of the geological formations were generally most productive.

Keywords: Refill of aquifers, productivity, weathered material, depth of drilling, transmissivity, N'zi-Comoé, Ivory Coast.

INTRODUCTION

Le socle cristallin, unité géologique qui intéresse notre étude, est le domaine des aquifères fissurés qui se sont formés au cours des divers évènements 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 milieu de socle fissuré (Savané et Biémi, 1999; Lasm et al., 2004a; Jourda et al., 2006a,b; Lasm et al., 2008; Youanta et al., 2008; Koïta et al., 2010; N'go et al., 2010; Sorokoby et al., 2010).

Ces aquifères situés en grande profondeur, sous un recouvrement d'altérites plus ou moins épais sont généralement à l'abri des fluctuations saisonnières et de toute pollution (Biémi, 1992). Pour ces raisons sécuritaires,

L'approvisionnement en eau potable est de plus en plus orienté vers la recherche des eaux souterraines profondes dont la qualité répond généralement aux normes OMS (Biémi, 1992). Malheureusement, l'accès à l'eau souterraine n'est pas encore totalement maîtrisé en Côte d'Ivoire. La région du N'zi-Comoé, située au Centre-Est de la Côte d'Ivoire, est une zone appartenant au socle cristallin. Dans cette région, l'alimentation en eau se fait généralement par des forages qui captent uniquement des aquifères discontinus. Pour exploiter sans difficulté l'eau de ces aquifères, une meilleure connaissance de leurs caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques doit être acquise au préalable.

L'objectif de cette étude est d'analyser les potentialités en eau souterraine de la région du N'zi-Comoé et favoriser une optimisation de l'alimentation en eau, au regard des données caractérisant les forages de cette région. La résolution de cette problématique passe par l'estimation de la recharge des aquifères, l'optimisation des profondeurs de forage et la caractérisation hydrodynamique. Cette étude vise à montrer la disponibilité et l'accessibilité des eaux souterraines dans la région du N'zi-Comoé. Une évaluation de la recharge des aquifères à partir du bilan hydrologique, suivie de l'étude comparée de la relation débits/profondeurs totales de forage et débits/épaisseurs d'altérites et la caractérisation des paramètres hydrodynamiques en rapport avec les formations géologiques est la démarche adoptée pour atteindre les objectifs.

La région du N'Zi-Comoé, située au Centre-Est de la Côte d'Ivoire est comprise entre les longitudes 3°50' et 5° Ouest et les latitudes 6° et 8° Nord (Figure 1). Elle occupe une superficie de 19 560 km². La population de la région du N'Zi-Comoé est estimée à presque 900 000 habitants en 2010 avec une densité moyenne de 45 hab./km². Le relief de la région du N'Zi-Comoé est monotone et constituée d'un plateau légèrement incliné de direction Nord-Sud, d'altitude moyenne supérieure à 150 m. La végétation du N'Zi-Comoé est constituée de lambeaux de forêt mésophile, et de larges mailles de savane séparées par des forêts-galeries. Il existe à côté de ces végétations naturelles des végétations liées à l'action anthropique (mosaïques forêt-cultures, mosaïques savanes-cultures, cultures) (N'guessan, 1990 *in* Kouassi, 2007). Le climat de la région du N'zi-Comoé est de type tropical humide avec une alternance de saisons pluvieuses (2) et de saisons sèches (2) (Kouassi et al., 2008). Le régime climatique de la région du N'zi-Comoé est caractérisé par des précipitations moyennes mensuelles (1961-2000) variant entre 11 mm et 198 mm. La hauteur pluviométrique annuelle est inférieure à 1200 mm (Kouassi et al., 2010).

. La région du N'zi-Comoé appartient au domaine paléoprotérozoïque encore appelé domaine baoulé-mossi. Du point de vue lithologique, la zone d'étude est recouverte par un ensemble complexe de formations géologiques constituées essentiellement de roches ignées, métamorphiques et volcano-sédimentaires. On distingue les roches éburnéennes et les roches birimiennes.

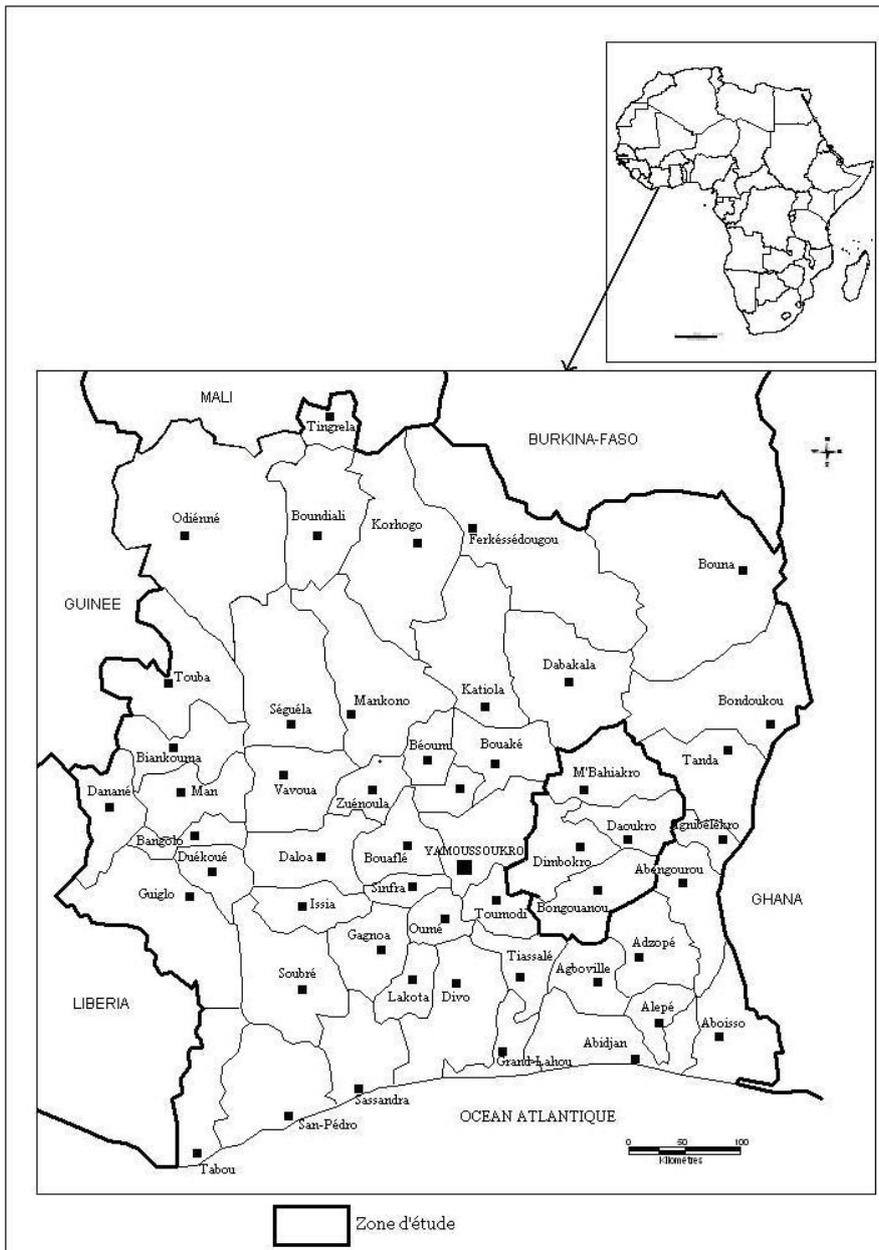


Figure 1 : Localisation de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)

Les roches éburnéennes de la région du N'zi-Comoé sont constituées essentiellement de granitoïdes notamment les granites à deux micas, les granites à biotite homogènes et hétérogènes, et les granodiorites. Les formations

birrimiennes de la région du N'zi-Comoé sont essentiellement des métasédiments et des métavulcanites. Les métasédiments sont constitués en majeure partie de grès et de schistes. Les métavulcanites de la région sont des métavulcanites quartziques constituées principalement de rhyolites. Les formations géologiques du socle du N'zi sont affectées par plusieurs systèmes d'accidents majeurs (Daouda, 1998). Ces fractures sont de direction préférentiellement Nord-Sud. Elles sont empruntées la plupart du temps par les filons de quartz et de pegmatites. Ces nombreuses fractures sont susceptibles de faciliter la circulation de l'eau dans les roches qui sont de nature cristalline et cristallophyllienne, donc imperméables à priori.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Données

Les données climatiques concernent la pluviométrie (mm) et la température (°C). Les données pluviométriques proviennent des stations de Dimbokro, Daoukro, M'bahiakro, Bocanda et Bongouanou. Les données de température sont de la station de Dimbokro (station synoptique). Les différentes données ont été mises à notre disposition par la société de météorologie nationale (SODEXAM : Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique) et s'étendent sur la période 1961-2000. Ces différentes données sont au pas de temps mensuel. Les précipitations mensuelles oscillent entre 11,78 et 197,05 mm avec une moyenne de 96,23 mm et un coefficient de variation de 0,59. Les températures mensuelles varient entre 25,22 et 28,49 °C avec une moyenne et un coefficient de variation respectivement de 26,74 °C et 0,04.

Les données hydrogéologiques utilisées pour cette étude concernent principalement les données techniques des forages réalisés dans la région du N'zi-Comoé de 1999 à 2000. 191 fiches techniques ont été retenues pour cette étude. Ces données de forage concernent les paramètres suivants : le débit de forage, l'épaisseur d'altération, la profondeur totale de forage et la nature des formations géologiques sous-jacentes. Elles proviennent de la Direction territoriale de l'Hydraulique Humaine de Yamoussoukro. Le choix de ces données est motivé par leur rôle joué dans la productivité des forages.

Méthodes

Bilan hydrologique : détermination de la lame d'eau infiltrée

Pour la détermination quantitative de la recharge des nappes, plusieurs méthodes ont été proposées et testées. Des approches hydrodynamiques, géochimiques, hydrologiques et des modèles mathématiques ont été utilisés. La méthode du bilan hydrologique est la méthode la plus utilisée (Dieng et al., 1991) pour la détermination de la lame d'eau infiltrée (Lallahem, 2002; Kouassi et al., 2007). Le schéma conceptuel du bilan hydrologique suppose que la zone non saturée est divisée en deux parties :

- une zone d'échange (sol-plantes-atmosphère), d'épaisseur relativement faible (généralement moins d'un mètre) et d'humidité très variable ;
- une zone de transfert, d'humidité peu variable et au moins égale à celle correspondante à la capacité au champ.

Dans le fonctionnement de ce système, la pluie P satisfait préférentiellement aux besoins suivants : l'évapotranspiration réelle ETR et la reconstitution de l'humidité de la zone d'échange jusqu'à la capacité au champ. Le volume d'eau correspondant appelé réserve utile du sol (RU) doit satisfaire l'évaporation en période de non apport.

Après satisfaction de ces deux premiers besoins, l'excédent éventuel d'apport constitue : l'infiltration qui traverse la zone de transfert pour atteindre la nappe et le ruissellement.

Cette approche peut donner une estimation de la recharge.

L'infiltration ou la recharge des aquifères est évaluée à partir de l'équation 1 :

$$I = P - (ETR + R) \quad (1)$$

avec I la lame d'eau infiltrée (mm); P la pluviométrie (mm); ETR l'évapotranspiration réelle (mm) et R la lame d'eau ruisselée (mm).

La pluie étant connue, il faut estimer l'ETR et le ruissellement, afin d'en déduire l'infiltration. La détermination de l'ETR a été réalisée à partir de la méthode de Coutagne (Maliki, 1993 ; Alassane, 2004 ; Houmed-Gaba, 2009). L'estimation du ruissellement (R) est faite par la formule de Tixeront-Berkaloff qui utilise la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle calculée par la méthode de Thornthwaite (Maliki, 1993; Alassane, 2004).

Méthodologie de l'étude hydrodynamique des aquifères

Une analyse comparative réalisée d'une part avec les débits des forages et les profondeurs totales des forages, les débits et les épaisseurs d'altérites et, d'autre part, de la transmissivité en relation avec la lithologie a permis d'évaluer les potentialités en eau de cette région. La transmissivité a été calculée à partir de la méthode de Cooper-Jacob en remontée (Lasm, 2000; Dakouré, 2003; Lasm et

al., 2004b; Lalbat, 2006; Soro et al., 2010; Yao et al., 2010; Baka et al., 2011) avec des données des essais de pompage réalisés sur les différents forages. Pour mieux apprécier la distribution des débits de forage, le Comité Inter-Africain d'Études Hydrauliques (C.I.E.H.) a proposé une classification (Lasm, 2000) :

- de 0 à 1 m³/h : débits très faibles
- de 1 à 2,5 m³/h : débits faibles
- de 2,5 à 5 m³/h : débits moyens
- supérieur à 5 m³/h : débits forts.

Une analyse de la transmissivité a été faite à partir d'une classification de celle-ci (Lasm, 2000) :

- classe faible : $T < 10^{-5}$;
- classe moyenne : $10^{-5} < T < 10^{-4}$;
- classe forte : $T > 10^{-4}$.

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Analyse de la recharge des aquifères

Les résultats du bilan hydrologique obtenus dans la région du N'zi-Comoé sur la période de 1961 à 2000 sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Bilan hydrologique de la région du N'zi-Comoé
(1961-2000)

P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
1154,71	1691,44	869,67	179,38	105,65

L'analyse du tableau 1 montre que la région du N'zi-Comoé reçoit en moyenne 1154,71 mm de pluie chaque année et l'évapotranspiration potentielle (ETP) interannuelle est de 1691,44 mm. La quantité d'eau ruisselée est de 179,38 mm, soit 15,53 % de la lame d'eau précipitée et la valeur de l'évapotranspiration réelle (ETR) qui constitue la frange d'eau qui retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur est de 869,67 mm (75,31%).

Analyse de la productivité des forages

Dans la région du N'zi-Comoé, les débits des forages réalisés varient entre 0,30 et 16 m³/h avec une moyenne de 3,89 m³/h. Le plus important (16 m³/h) est observé dans les aquifères schisteux. Les résultats de la classification des débits des forages de la région du N'zi-Comoé selon le CIEH montrent que les classes des débits faibles (21,99%), moyens (18,85%) et forts (26,18%) représentent

67,02% des débits des forages dans la région (Figure 2). Cela indique que plus de la moitié des débits enregistrés est supérieure à 1 m³/h. Ces débits sont donc acceptables pour une alimentation en eau potable (A.E.P.) des populations rurales. Dans la région, 32,98% des forages présentent un débit très faible (inférieur à 1 m³/h). Les formations gréseuses et les formations métamorphiques (gneiss, métagranites et schistes) représentant respectivement 6,81 % et 85,86 % des forages réalisés dans la région du N’zi-Comoé semblent être les plus productives, avec 69,23 et 68,29 % des débits se trouvant dans les classes des débits faibles à forts (Q ≥ 1 m³/h). La figure 2 présente la distribution des débits des forages réalisés dans la région du N’zi-Comoé.

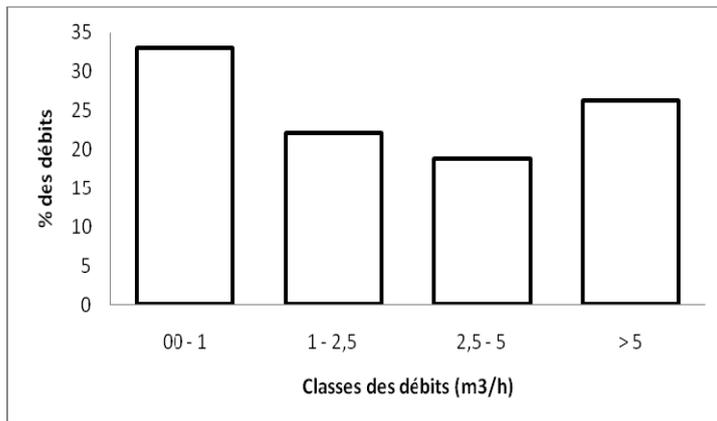


Figure 2: Distribution des débits en fonction des classes

Productivité des forages et paramètres physiques (Profondeur et épaisseur d’altérite)

Dans la région du N’zi-Comoé, les profondeurs des forages réalisés varient entre 40,50 m et 117,50 m avec une profondeur moyenne de 62,81 m dans les granites, de 83,68 m dans les grès et de 80,29 m dans l’ensemble schistes-gneiss-métagranites. La profondeur moyenne dans l’ensemble des formations géologiques est de 79,09 m et un coefficient de variation de 0,23. La série des profondeurs de forage dans la région est homogène. Les profondeurs les plus importantes sont observées dans les terrains métamorphiques (schistes, gneiss et métagranites) et gréseux. 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 par la figure 3. L’analyse de ce graphe montre que de manière générale, les principaux débits de la région du N’zi-Comoé se rencontrent entre 40 et 120 m de profondeur.

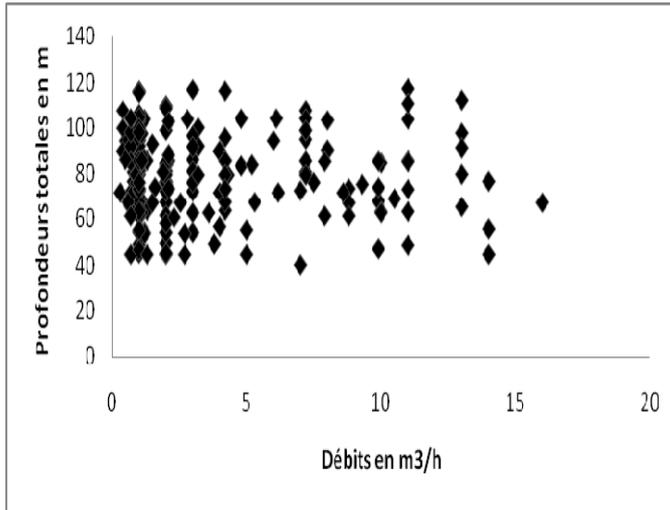


Figure 3: Evolution des débits en fonction des profondeurs totales des forages

Dans la région du N'zi-Comoé, les épaisseurs d'altérites observées sont variables (4 à 104 m), avec une moyenne de 54,24 m et un coefficient de variation de 0,41. Les épaisseurs d'altérites les plus fréquentes se situent dans l'intervalle de 45 à 75 m (Figure 4), avec un pourcentage de 50,78.

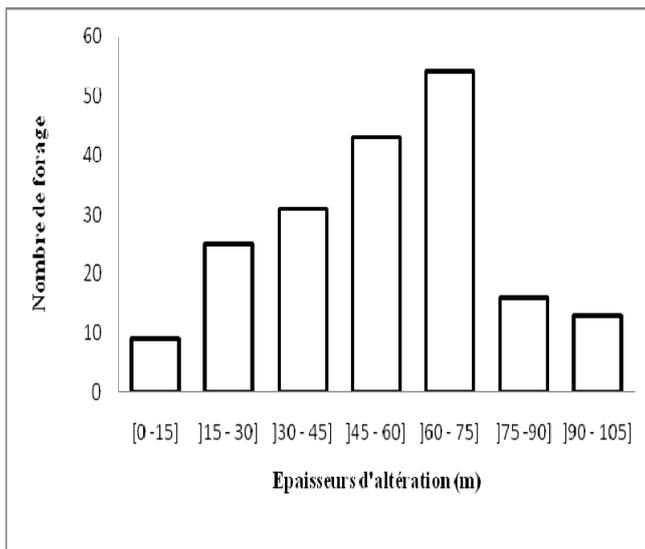


Figure 4: Fréquence de la distribution de la puissance des altérations dans la région N'zi-Comoé

La figure 5 présente l'évolution des débits air-lifts par rapport à l'épaisseur d'altération dans chaque type de formation. Sur la figure 5a, dans les formations granitiques, la majorité des débits obtenus appartient aux forages dont les épaisseurs d'altération se situent entre 5 et 45m. Ces débits varient des classes très faibles à moyennes. Ils sont donc acceptables pour les projets d'hydraulique villageoise. Au niveau des grès (Figure 5b), la majorité des débits obtenus se concentre dans la tranche d'altération ayant une épaisseur comprise entre 45 et 90 m. Dans les terrains métamorphiques (gneiss, métagranites et schistes), la majeure partie des débits a été obtenue dans les forages dont les épaisseurs d'altération se trouvent dans la tranche entre 20 et 100 m (Figure 5c). Cela signifie que la majeure partie des forages productifs a des épaisseurs d'altérations qui se situent entre 20 et 100 m dans les formations métamorphiques.

Productivité des forages et paramètres hydrodynamiques

L'étude hydrodynamique a été menée avec la transmissivité. Les résultats obtenus suite à l'application de la méthode de l'approximation logarithmique de Cooper-Jacob en remontée montrent que dans la région du N'zi-Comoé, les valeurs des transmissivités varient de $9,31.10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ à $4,26.10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ avec une moyenne de $8,16.10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ et un coefficient de variation de 3,86. Les valeurs de la transmissivité sont donc hétérogènes. Les différentes classes de transmissivité faible, moyenne et forte regroupent respectivement 23,04 %, 58,64 % et 18,32 % des points d'eau. Les forages ayant une transmissivité supérieure à 10^{-5} représentent 76,96% de l'ensemble des ouvrages étudiés : 76,96 % des forages ont une transmissivité moyenne à forte. Cela signifie que les aquifères de la région du N'zi-Comoé en général ont une grande fonction conduite. Cependant, la transmissivité des aquifères de la région varie en fonction de la nature pétrographique des roches. Les transmissivités moyennes sont majoritaires dans les classes de moyenne à forte au niveau des terrains granitiques (78,57 %), dans les grès (69,23 %) et dans l'ensemble métamorphique (schistes, métagranites et gneiss) (78,66 %). Les transmissivités sont plus fortes dans les terrains métamorphiques (gneiss, métagranites et schistes) et granitiques et moins fortes dans les terrains gréseux.

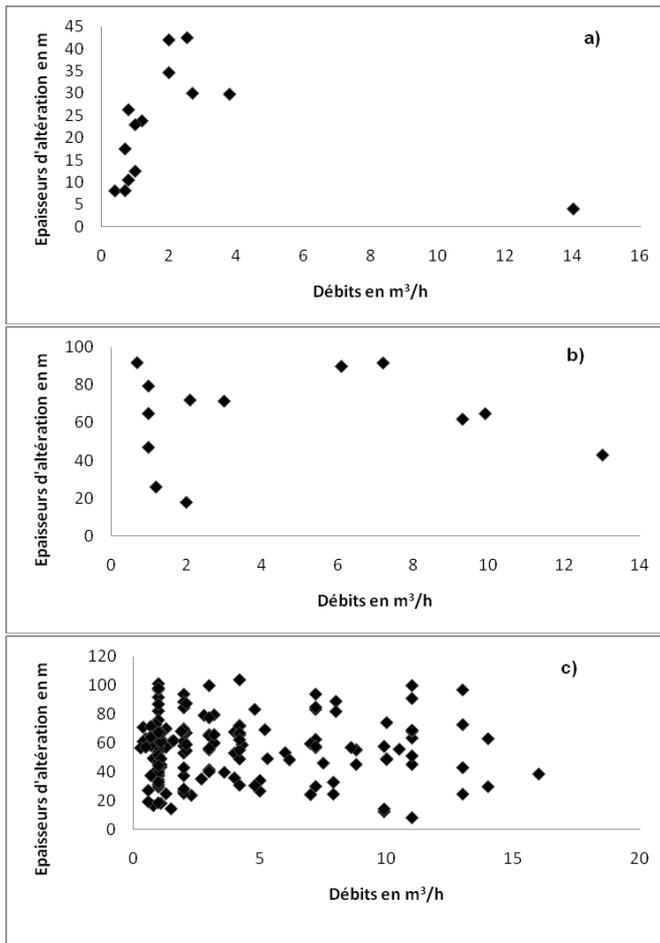


Figure 5: Evolution des débits en fonction des épaisseurs d'altérites dans les granites (a), les grès (b) et les formations métamorphiques (c)

Dans les formations métamorphiques de la région du N'zi-Comoé, l'étude de la relation entre la transmissivité et le débit de forage a permis de déterminer l'équation de la courbe. Le coefficient de corrélation entre ces deux variables est de 0,70 (Figure 6a). La relation qui lie ces deux variables est exprimée par l'équation suivante :

$$\text{Log}(T) = 0,391 \ln(Q) - 4,887 \quad (2)$$

Avec : T en m²/s et Q en m³/h

Dans les granites, l'étude de la relation entre la transmissivité et le débit de forage à partir de la méthode de régression polynomiale d'ordre 2 a permis de déterminer l'équation de la courbe et le coefficient de corrélation (0,73) entre

ces deux variables (Figure 6b). La relation qui lie ces deux variables est exprimée par l'équation suivante :

$$\text{Log}(T) = 0,039Q^2 - 0,677Q + 5,418 \tag{3}$$

Dans les grès, l'étude de la relation entre la transmissivité et le débit de forage a également été réalisée par la fonction polynomiale d'ordre 2 (Figure 6c). Le coefficient de corrélation entre ces deux variables est de 0,92. La relation qui lie ces deux variables est exprimée par l'équation suivante :

$$T = 3.10^{-6} Q^2 - 2.10^{-5} Q + 4.10^{-5} \tag{4}$$

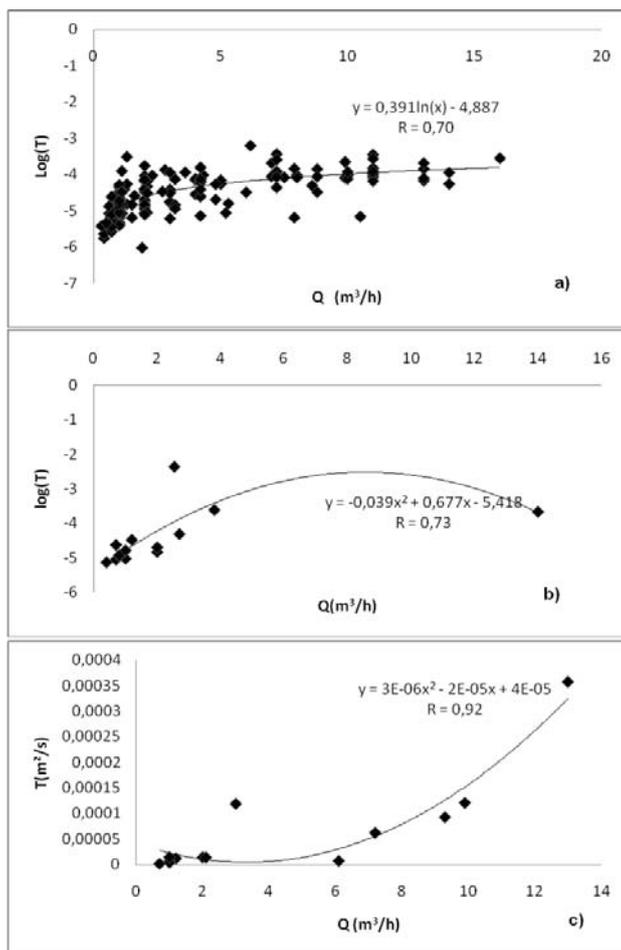


Figure 6: Transmissivité en fonction du débit de forage dans les formations métamorphiques (a), les granites (b) et les grès (c).

DISCUSSION

Dans la région du N'zi-Comoé, le résultat de la détermination de l'ETR par la méthode de Coutagne et l'estimation de la recharge par l'approche de l'équation du bilan hydrologique montrent que pour une moyenne de 1154,71 mm de pluie par année, la quantité d'eau susceptible de s'infiltrer pour recharger les aquifères est de 105,61 mm soit 9,15 % des précipitations. Pour une superficie de 19.560 km², la recharge exprimée en volume est égale à 2.065.731.000 m³ (2,066 km³). Des études similaires ont été réalisées en Côte d'Ivoire par l'approche du bilan hydrologique selon Thornthwaite. Ces études concernent le bassin versant de la Mé (Soro, 1987), le bassin de la Marahoué (Biémi, 1992), la région d'Odienné (Savané, 1997) et l'ouest montagneux (Man et Danané) (Kouamé, 1999) (Kouassi, 2007). Les résultats de ces travaux, ont donné 43 mm dans le bassin de la Mé (3%), 46 mm dans la Marahoué (4%), 77 mm à Odienné (5%) et 168 mm à Danané (8%). Les auteurs avancent donc des valeurs de recharges variées qui fluctuent entre 43 et 168 mm. La valeur de recharge obtenue dans la région du N'zi-Comoé se situe entre celle obtenue à Odienné par Savané (1997) et celle obtenue par Kouamé (1999) à Danané. L'ordre de grandeur des résultats obtenus dans la région du N'zi-Comoé se situe donc dans une logique acceptable.

Les forages étudiés dépassent rarement la profondeur de 100 m, ce qui se traduit par une profondeur moyenne générale de 79,09 m. Les profondeurs moyennes des forages réalisés sont de 62,81 m dans les granites, 83,68 m dans les grès et 80,29 m dans l'ensemble schistes-gneiss-métagranites. Les profondeurs maximales sont de 117,5 m dans les schistes, 104,41 m dans les grès, et 90 m dans les terrains granitiques. En effet, en Afrique de l'Ouest, selon Biémi (1992) et Guiraud et al. (1992) cités par Ahoussi (2008), les fractures hydrauliquement actives se referment avec la profondeur. Ainsi, il a proposé des profondeurs de foration à ne pas excéder dans le socle (80 m dans les granites et 100 m dans les schistes) pour des raisons purement économiques. Cependant d'autres auteurs tels que N'go et al. (2005) soutiennent que la possibilité d'obtenir des forages productifs est réelle à de grandes profondeurs. Les résultats de cette étude confirment les propositions des premiers auteurs (Biémi, 1992; Guiraud et al., 1992 in Ahoussi, 2008) et montrent que les seconds auteurs (N'go et al., 2005) n'ont pas non plus torts du fait des forages positifs obtenus au-delà des limites suggérées par les premiers.

Les altérites présentent un profil dont la composition dépend de la nature de la roche mère et du stade d'évolution de l'altération (Biémi, 1992; 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. Si nous restons dans cette logique, dans la région du N'zi-Comoé, la moyenne des épaisseurs d'altérations étant de 54,24 m, une épaisseur d'altération au dessus de 55 m peut être le signe d'un

aquifère productif, surtout dans les formations métamorphiques. Cette conclusion n'est pas linéaire car cela dépend de la nature de la roche sous-jacente.

Les différentes valeurs de transmissivité obtenues dans la région du N'zi-Comoé varient entre $9,31 \cdot 10^{-7}$ et $4,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ avec une moyenne de $8,16 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ et un coefficient de variation de 3,86. Elles s'apparentent aux valeurs obtenues en Côte d'Ivoire par Soro (2002) dans la région de Grand Lahou, Dibi et al. (2004) dans la région d'Aboisso, et Ahoussi (2008) dans la région d'Agboville. Ces transmissivités sont hétérogènes, avec de faibles valeurs. Les transmissivités les plus importantes se rencontrent sur les terrains granitiques. Cette importance peut s'expliquer par la présence d'un réseau de fracturation communicatif. En effet, la diversité de direction des linéaments N30°, N130°, N160°, N60°, NS et EO (Niamké et al., 2008), leur confère l'avantage d'être plus transmissifs que les autres formations. A cela, il faut ajouter la présence de filon de quartz (Niamké et al., 2008). La dispersion des valeurs de transmissivité est conforme aux résultats déjà obtenus dans les formations analogues, en Côte d'Ivoire par les auteurs tels que Biémi (1992), Savané (1997) et Lasm (2000). La grande dispersion des valeurs des différents paramètres hydrodynamiques provient plus des variations quantitatives et qualitatives de la fracturation (Bahir et al., 2008) qu'à l'hétérogénéité de faciès lithologiques rencontrés au niveau de la région. En effet, la recherche des eaux souterraines en milieu de socle repose essentiellement sur le repérage des fractures qui sont les témoins des déformations tectoniques. Ainsi, un forage qui ne traverse aucune fracture ne peut produire de l'eau (Kouadio et al., 2008). La transmissivité est corrélée (supérieure ou égale à 0,70) au débit de forage et cette corrélation est plus marquée dans les grès (0,92).

CONCLUSION

Le bilan hydrologique montre que la région du N'zi-Comoé reçoit en moyenne 1154,71 mm de pluie chaque année et l'évapotranspiration potentielle (ETP) interannuelle est de 1691,44 mm avec une évapotranspiration réelle (ETR) dont la valeur est de 869,67 mm. L'écoulement de surface est de 179,38 mm d'où la quantité d'eau susceptible de s'infiltrer pour alimenter les aquifères est de 105,65 mm soit 9,15 % des précipitations. Dans la région du N'zi-Comoé, les débits des forages réalisés oscillent entre 0,30 et 16 m^3/h avec une moyenne de 3,89 m^3/h . Les classes des débits faibles, moyens à forts représentent 67,02% des débits des forages dans la région : les populations rurales peuvent être alimentées en eau potable. D'une manière générale, dans la région du N'zi-Comoé, les forages productifs ont une profondeur totale comprise entre 40 et 120 m avec une épaisseur d'altérites qui varie entre 5 et 100 m. Les valeurs de transmissivité fluctuent entre $9,31 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ et $4,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ avec une moyenne de $8,16 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. La classification des transmissivités nous permet de dire que

les aquifères de la région du N'zi-Comoé ont, en général, une bonne fonction conduite.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AHOUSSE K.E. (2008). Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 270p.
- ALASSANE A. (2004). Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de Porto-Novo (Sud du Bénin) : identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 145p.
- BAHIR M., CARREIRA P., OLIVEIRA DA SILVA M., FERNANDES P. (2008). Caractérisation hydrodynamique, hydrochimique et isotopique du système aquifère de Kourimat (Bassin d'Essaouira, Maroc). *Estudios Geológicos*, Vol. 64 (1), pp. 61-73.
- BAKA D., LASME T., OGA M.S., YOUANTA M., DE LASME O., KOUAKOU O.S., ETTIEN B.F. (2011). Characterization of transmissivity in the fractured reservoirs in the Oumé area (Center of Côte d'Ivoire). *American journal of scientific and industrial research*, Vol. 2 (2), pp. 310-322.
- BIEMI J. (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 isotopique des aquifères discontinus de sillons et des aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 480p.
- DAKOURE D. (2003). Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure sud-est du bassin sédimentaire de Taoudéni (Burkina Faso - Mali) - essai de modélisation. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, France, 255p.
- DAOUDA Y.B. (1998). Lithostratigraphie et pétrographie des formations birimiennes de Toumodi-Fêtékro (Côte d'Ivoire). Implication pour l'évolution crustale du paléoprotérozoïque du craton ouest-africain. Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans, France, 190p.
- DIBI B., D. INZA B.T.A. GOULA, I. SAVANE, 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*, N° 13, pp. 22-31.
- HOUMED-GABA A. (2009). Hydrogéologie des milieux volcaniques sous climat aride. Caractérisation sur site expérimental et modélisation

- numérique de l'aquifère basaltique de Djibouti (corne de l'Afrique). Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, 194 p.
- JOURDA J.P.R., DJAGOUA E.V., KOUAMÉ K., SALEY M.B., GRONAYES C., ACHY J.J., BIÉMI J., RAZACK M. (2006a). Identification et cartographie des unités lithologiques et des accidents structuraux majeurs du département de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : apport de l'imagerie ETM+ de Landsat. *Téledétection*, Vol. 6 (2), pp.123-142.
- JOURDA J.P.R., SALEY M.B., DJAGOUA E.V., KOUAME K.J., BIEMI J., RAZACK M. (2006b). 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. *Téledétection*, Vol. 5 (4), pp.339-357.
- KOITA M., JOURDE H., RUELLAND D., KOFFI K., PISTRE S., SAVANE I. (2010). Cartographie des accidents régionaux et identification de leur rôle dans l'hydrodynamique souterraine en zone de socle. Cas de la région de Dimbokro-Bongouanou (Côte d'Ivoire). *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 55 (5), pp.805-820.
- KOUADIO K.E., 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*, Vol. 22 (3), pp. 373-390.
- KOUASSI A.M. (2007). Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 210p.
- KOUASSI A.M., KOUAME K.F., GOULA B.T.A., LASM T., PATUREL J.E., BIEMI J. (2008). Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, Vol. 11, pp. 207-229.
- KOUASSI A.M., KOUAME K.F., KOFFI Y.B., DJE K.B., PATUREL J.E., OULARE S. (2010). Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Revue Européenne de Géographie (Cybergéo)*, <http://cybergeog.revues.org/index23388.html>
- KOUASSI A.M., KOUAME K.F., SALEY M.B., KOFFI Y.B. (2007). Identification de tendances dans la relation pluie-débit et recharge des aquifères dans un contexte de variabilité hydroclimatique : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, Vol. 16 (3), pp.412-427.

- LALBAT F. (2006). Fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère du Miocène du bassin de Carpentras (Vaucluse, France). Thèse de Doctorat, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, France, 234p.
- LALLAHEM S. (2002). Structure et modélisation hydrodynamique des eaux souterraines : application à l'aquifère crayeux de la bordure nord du bassin de paris. Thèse de Doctorat, Université de Lille, France, 243p.
- LASM T. (2000). Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montages de Côte d'Ivoire (domaine archéen). Thèse de l'Université de Poitiers, France, 274 p.
- LASM T., KOUAME F., SORO N., JOURDA J.P.R., BIEMI J. (2004a). 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*, Vol. 5, pp.135-154.
- LASM T., KOUAME F., OGA MS, JOURDA J.P.R., SORO N., KOUADIO H.B. (2004b). Etude de la productivité des réservoirs fracturés des zones de socle. Cas du noyau archéen de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, Vol. 5 (97), pp.1-15.
- MALIKI R.A. (1993). Etude hydrogéologique du littoral béninois dans la région de Cotonou et ses environs. Thèse de Doctorat d'Ingénieur, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 113p.
- N'GO Y. A., GONE D.L., SAVANE I., GOBLE M.M. (2005). Potentialités en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud Ouest de la Côte d'Ivoire): caractérisation hydroclimatique et physique. *Afrique Science*, Vol. 1 (1), pp. 127-144.
- N'GO Y.A., 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*, Vol. 9 (1), pp.33-42.
- N'GO Y.A., 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*, Vol. 9 (1), pp.33-42.
- NIAMKE K.H., SALEY M.B., N'DRI B.E., OUATTARA A., BIEMI J. (2008). Contribution à l'interprétation des linéaments par l'exploitation des Pseudo Images, de l'hydrographie en région tropicale humide: Cas du N'zi-Comoé (Centre de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 24 (1), pp.74-93
- SAVANE I. (1997). 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 un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelle, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 396 p.

- SAVANE I., BIEMI J. (1999). Télédétection et SIG pour l'étude des aquifères du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Télédétection, Vol. 1, pp.47-64.
- SORO N. (2002). Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 272p.
- SORO G., SORO N., AHOUSSE K.E., LASM T., KOUAMÉ K.F., SORO T.D., BIÉMI J. (2010). Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristallines et métamorphiques dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). Estudios Geológicos, Vol. 66 (2), pp.227-242.
- SOROKOBY V.M., SALEY M.B., KOUAME K.F., DJAGOUA M.E.V, 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. Télédétection, Vol. 9 (3-4), pp.209-223.
- YAO K.A., KOUASSI A.M., KOFFI Y.B., BIEMI J. (2010). Caractérisation hydrodynamique et hydrogéochimique des aquifères fissurés de la région de Toumodi (Centre de la Côte d'Ivoire). Journal of Environmental Hydrology, Vol. 18 (26), décembre 2010, <http://hydroweb.com>.
- YOUANTA M., LASM T., JOURDA J.P.R., KOUAMÉ K.F., RAZACK M. (2008). Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaire Landsat-7 ETM+ et analyse des réseaux de fractures du socle précambrien de la région de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire). Télédétection, Vol. 8 (2), pp.119-135.