

ANALYSE DE LA PRODUCTIVITÉ DES AQUIFÈRES DE FISSURES DU SOCLE PALÉOPROTÉROZOÏQUE DE LA RÉGION DE KATIOLA (CENTRE-NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE)

Gnamba Franck Maxime

Prof. Oga Yeï Marie Solange

Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, Département des Sciences et
Techniques de l'Eau et du Génie de l'Environnement

Prof. Gnangne Théophile

Université Nangui Abrogoua d'Abidjan,
Laboratoire Géosciences et Environnement

Prof. Lasm Théophile

Prof. Biémi Jean

Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan/Département des Sciences et
Techniques de l'Eau et du Génie de l'Environnement

Kouakou Yao Kouman Nestor

Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan,
Laboratoire de Pédologie et de Géologie Appliquée

Abstract

In the area of Katiola, the main part of groundwater resources is contained in the discontinuous aquifers of the paleoproterozoic base. This study relates to the analysis of the productivity of the aquifers fissured of the area starting from an approach which takes into account the comparative analysis carried out on the one hand with the flows and physical parameters, flows and lithology, flows and transmissivity and, on the other hand an ACPN of these parameters. The various results contribute to know the hydrogeological potentialities of the area of Katiola. The depths most productive meets between 30 and 75 m. The section from 20 to 50 m of weathered material offer the best flows. 67% of the flows met in the area are weak, that can be charged to the lack of studies before the establishment of the works. The most productive AE are located in the first 35 meters under the base of altérites. The schists are more productive than the granites.

Keywords: Aquifers of cracks, productivity, weathered material, depth of drilling, transmissivity, Katiola, Côte d'Ivoire

Résumé

Dans la région de Katiola au centre-nord de la Côte d'Ivoire, l'essentiel des ressources en eau souterraine est contenu dans les aquifères discontinus du socle paléoprotérozoïque. Cette étude porte sur l'analyse de la productivité des aquifères fissurés de la région à partir d'une approche qui prend en compte l'analyse comparative réalisée d'une part avec les débits et les paramètres physiques, débits et lithologie, débits et transmissivité et, d'autre part une analyse en composante principale Normée (ACPN) de ces paramètres caractéristiques de la productivité. Les différents résultats concourent à faire connaître les potentialités hydrogéologiques de la région de Katiola. Les profondeurs les plus productive se rencontre entre 30 et 75 m. La tranche de 20 à 50 m d'altérite offre les meilleurs débits. 67% des débits rencontrés dans la région sont faibles, cela peut être imputé au manque d'études avant l'implantation des ouvrages. Les AE les plus productives se localisent dans les 35 premiers mètres sous la base des d'altérites. Les schistes sont plus productifs que les granites.

Mots-clés: Aquifères de fissures, productivité, altérites, profondeur de forage, transmissivité, Katiola, Côte d'Ivoire

Introduction

L'eau est un élément essentiel, indispensable à la vie, aux écosystèmes naturels et est un bien à caractère socio-économique incontestable. Cependant la pénurie d'eau est devenue un problème crucial vécu par toutes les sociétés et particulièrement, celles des pays en voie de développement (Baali, 2001). A l'instar des pays en voie de développement, la Côte D'Ivoire connaît des problèmes d'approvisionnement en eau potable. En effet, la majeure partie du territoire national est occupé essentiellement par les terrains du socle cristallins et cristallophylliens qui représentent 97,5% de sa superficie totale. L'exploitation des eaux souterraines dans ces terrains se fait au moyen de deux types réservoirs, ceux d'altérites et ceux réservoirs de fractures. Mais les aquifères de fissures sont les plus recherchées lors des prospections hydrogéologiques, car ils concentrent l'essentielle des réserves d'eaux souterraines et sont censés être à l'abri des fluctuations saisonnières. Cependant les ouvrages exploitant ces ressources sont en général de faible productivité, surtout en zone rurale. Plusieurs travaux ont montré que la majorité des ouvrages de captages à l'échelle nationale on des débits faibles (Faillat, 1986 ; Soro ; 1987 ; Biémi, 1992 ; Savané, 1997 ; Lasm, 2000 ; Soro, 2010). Selon Leblond (1984), ces

aquifères captés fournissent des débits dont la moyenne ne dépasse pas $3,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. En outre, le taux d'échec élevé lors de l'implantation des ouvrages est très récurrent. Ces faibles débits souvent observés sont imputés aux manques d'études sérieuses lors de l'implantation des ouvrages dans les campagnes d'hydrauliques (Faillat, 1986 ; Soro, 1987 ; Lasm, 2000 ; Youan Ta, 2008). Ainsi, les recherches de l'eau en milieu de socle sont de plus en plus orientés vers une meilleure connaissance de ces aquifères de fissures. A cet effet, de nombreuses études visant à rechercher les directions et les densités de fractures les plus productives selon les zones ont été entreprises (Dibi et *al*, 2004). Cependant, en dehors de l'orientation et de la densité des fractures, d'autres paramètres peuvent influencer sur la productivité des ouvrages (épaisseur d'altération, profondeur des forages, la nature pétrographique des formations, etc). Des études conduites par certains auteurs en Côte d'Ivoire ont permis de mettre en évidence l'influence de ces paramètres sur la productivité (Savané 1997 ; Soro, 1987 ; Youan Ta, 2008 ; Baka, 2012). L'exploitation optimale de ces hydro-systèmes passe donc au préalable par une meilleure connaissance de leurs caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques. La présente étude a donc pour objectif d'évaluer les potentialités en eaux souterraines des réservoirs de fissures du socle de la région de Katiola, au regard des paramètres caractérisant les forages.

I- Cadre d'étude et contexte géologique

Le département de Katiola est situé à 434 km d'Abidjan au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. Elle est comprise entre les longitudes $4^{\circ}75'$ et $5^{\circ}75'$ Ouest et les latitudes $7^{\circ}95'$ et $9^{\circ}45'$ Nord (Figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 9452 km^2 soit environ 3% de la superficie totale du territoire avec une population estimée à 165652 habitants (INS, 1998). L'ambiance climatique qui règne dans la région dérive de l'interface entre climat soudanien et guinéen. La région est drainée par deux principaux fleuves et leurs affluents qui constitue des limites naturelles du département, le Bandama à l'Ouest et le N'Zi à l'est.

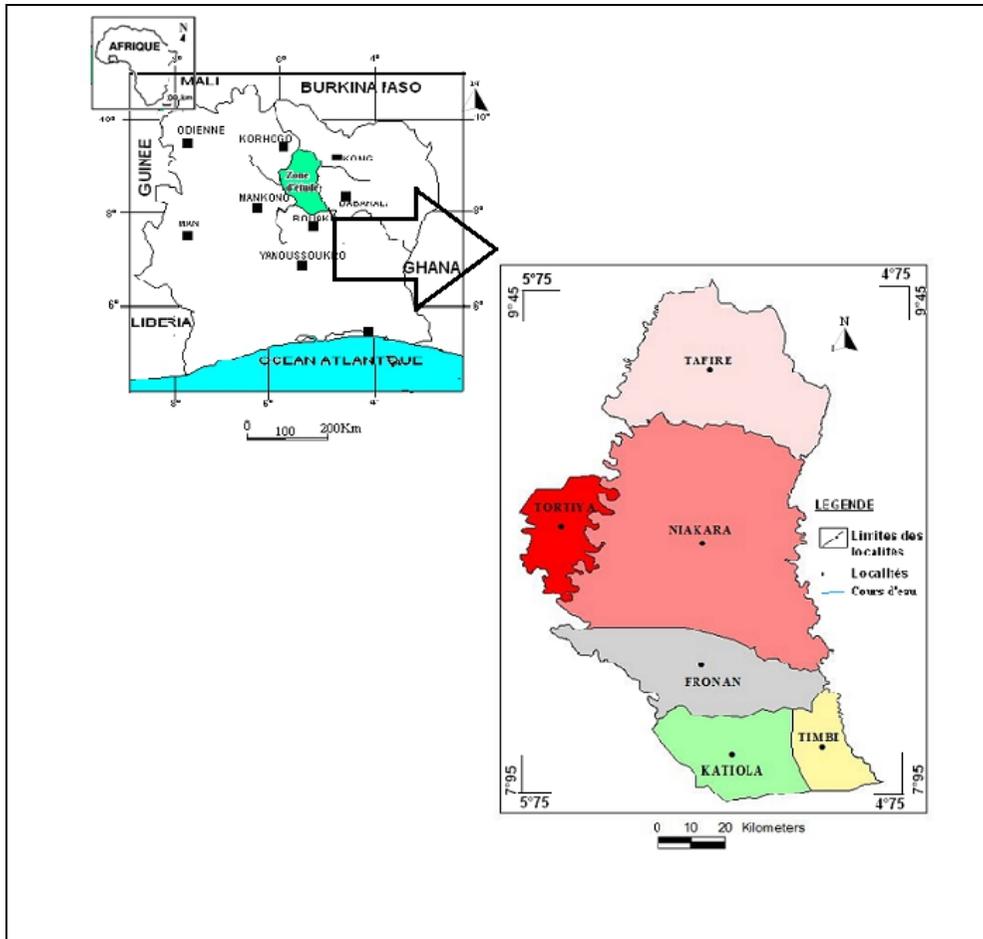


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Au plan géologique, la région se situe au cœur de la dorsale de Man et est constituée d'une diversité de formation birimienne dont les principales sont : des granitoïdes, des métavolcaniques (basaltes, andésites), des roches vertes, et des métasédiments (Doumbia, 1997)(Figure 1). Du point de vue hydrogéologique, ces différentes formations, à l'état sain, présentent une porosité et une perméabilité très faibles. Cependant, les phénomènes tectoniques et physico-chimiques qui affectent ces roches induisent une porosité et une perméabilité dites secondaires, permettant à ces formations de devenir des aquifères souvent de grande productivité. La présence de 3 types d'aquifères est à noter, les aquifères d'altérites exploités par des puits modernes ou villageois et les aquifères de fissures et de fractures captés par les forages dans le cadre des programmes d'approvisionnement en eau potable des localités.

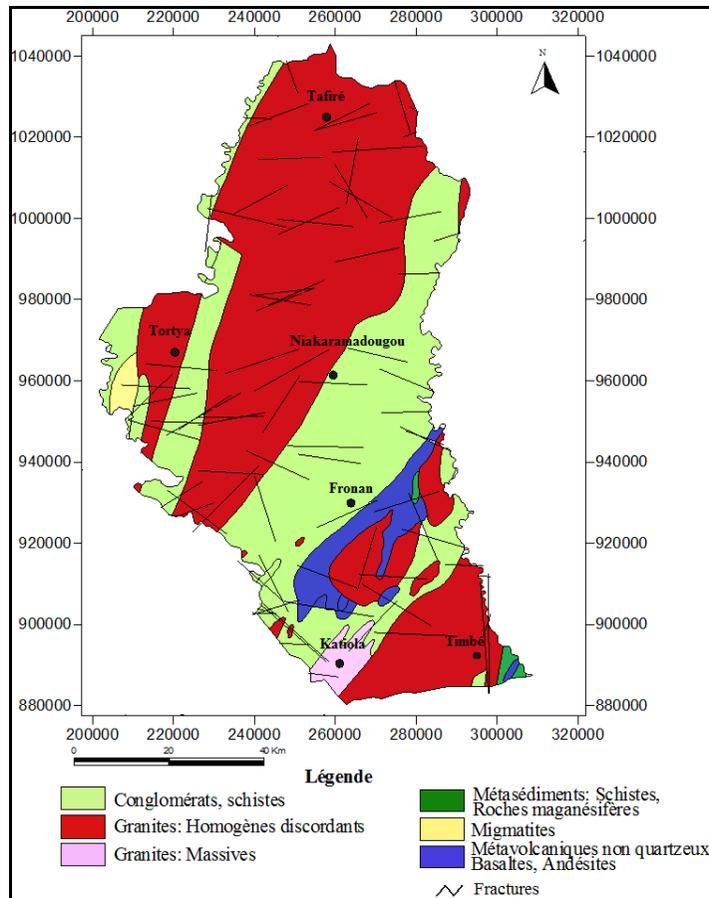


Figure 2 : Carte géologique de la région de Katiola

II-Matériel ET Méthodes

II-1-Matériel

Les données utilisées dans le cadre de cette étude proviennent de plus de 100 fiches techniques de forages fournies par la Direction Territoriale de L’Hydraulique de Bouaké. Ces données concernent les paramètres tels que : le débit (Q), la profondeur totale (Pt), l’épaisseur d’altérites (EA), l’épaisseur de socle (ES), le niveau statique (NS), les arrivées d’eau (AE1). Les paramètres hydrauliques notamment la transmissivité (T) et le débit spécifique (Qs) ont été déterminés à partir de l’interprétation des essais de pompage. La nature des formations a été obtenue à partir des logs de forages.

II-2-Méthodes

La transmissivité a été calculée par la méthode de Cooper Jacob, avec les données de rabattement des ouvrages disponibles après l’arrêt du pompage lors de la remontée (Lasm, 2000; Dakouré, 2003; Lalbat, 2006; Soro et *al.*, 2010; Yao et *al.*, 2010; Baka et *al.*, 2011). Les débits spécifiques

on été évalué à la fin du troisième palier après pompage au niveau des forages. En hydraulique, certains paramètres peuvent renseigner sur la nature et l'aptitude des aquifères à former de bons réservoirs d'eaux souterraines, deux types d'analyses ont donc été utilisées pour évaluer la productivité des ouvrages de la région. La première à consister à effectuer une analyse comparative des débits de forages en relation avec les paramètres physiques des forages (profondeur totale, épaisseur d'altérites), la nature lithologique des formations et les paramètres hydrodynamiques. La deuxième approche est basée sur l'établissement de corrélation entre l'ensemble de ces paramètres à partir d'une analyse multivariée (L'ACPN) (Caillez et Pages, 1976). Cette méthode permet de mettre en évidence les liens éventuels que présenterait deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution (Dibi et *al.*, 2004). L'interprétation des différents facteurs de même que la matrice de corrélation obtenue à la suite du traitement des données ont permis d'apprécier les variables influençant la productivité des ouvrages de la région.

III- Résultats

III-1-Analyse statistique de quelques paramètres de forages

Tableau 1: Paramètres statistiques des paramètres des forages

paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	CV
Pt (m)	20,30	99,00	56,03	19,66	0,35
EA (m)	0,50	93,30	35,07	19,81	0,56
ES (m)	3,30	66,00	22,15	12,69	0,57
AE1 (m)	12	75,5	38,4	15,12	0,39
Q	0,30	14,5	2,86	2,90	1,010
T (m ² /s)	1,35.10 ⁻⁶	1,10.10 ⁻⁴	3,30.10 ⁻⁵	3,19.10 ⁻⁵	0,967
Qs (m ² /h)	0,01	1,4	0,275	0,31	1,12

Les éléments statistiques des différents paramètres des forages de la région de Katiola sont donnés dans le tableau 1. La profondeur totale des ouvrages dans la région varie de 20,3 à 99 m avec une profondeur moyenne de 56,48 m dans les granites et de 51,06 dans les schistes. La profondeur moyenne dans l'ensemble des formations est de 56,03 m et les profondeurs les plus importantes ont été observées dans les granites. l'épaisseur des altérites est comprise entre 0,50 et 93,3 m avec une moyenne de 35,07 m. Les épaisseurs de socle foré varient de 3,3 à 66,0 m avec une valeur moyenne de 22,15 m. Dans la région d'étude, on dénombre deux arrivées d'eau (AE) qui correspondent aux fractures hydrauliquement actives. Mais ce sont les premières arrivées d'eau qui sont les plus productives. Elles ont une profondeur moyenne de 38,4 m et varient de 12 m le minimum à 75,5 m le maximum. Ces arrivées d'eau ne sont toutes équivalentes, les plus productives se localisent dans les 30 premiers mètres (Figure 3).

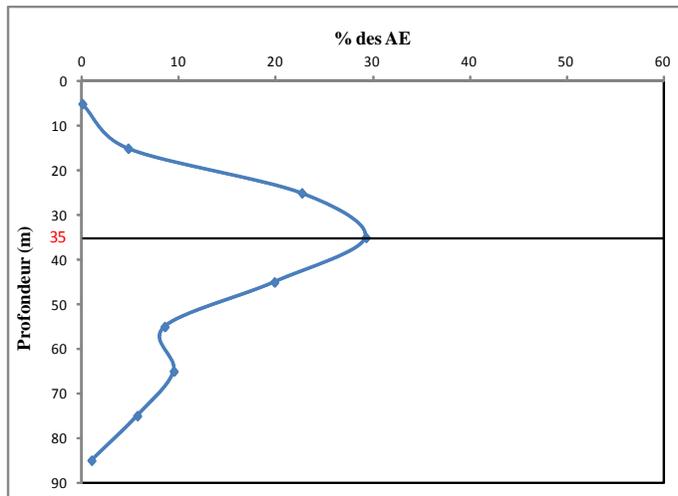


Figure 3: Relation entre AE et profondeur des forages dans le socle

III-2-Analyse de la productivité des forages

Dans la région de Katiola, les débits des forages réalisés varient de 0,30 à 14,5 m³/h avec une moyenne de 2,86 m³/s. Le débit le plus important (14,5 m³/h) a été enregistré dans un granite. Le coefficient de variation supérieur 1 obtenu traduit une forte dispersion des valeurs. Les résultats de la classification des débits en fonction du CIEH indique que 67% des forages chutent dans la classe des débits très faibles et faibles, 23,6% dans la classe des débits moyens et 13,5% dans la classe des débits forts. Cela montre que la majorité des forages de la région se range dans la catégorie des débits faibles. Cependant Plus de la moitié des forages, soit 68,54% ont des débits supérieurs à 1 m³/s. Selon Soro (1987), ces débits sont acceptables pour une alimentation en eau potable (AEP) des populations rurales. L’histogramme de distribution des débits de forages dans la région de Katiola est donné par la figure 4.

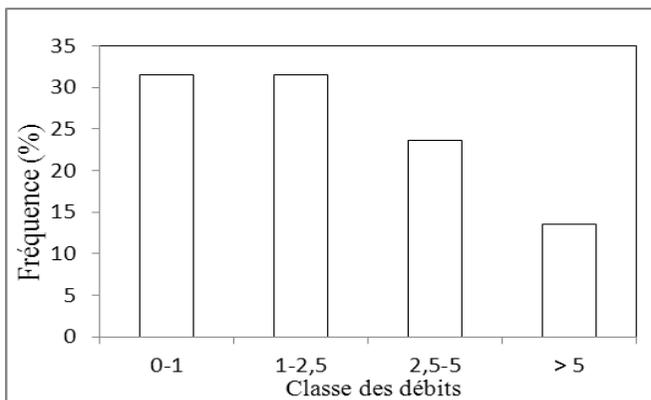


Figure 4: Histogramme des classes de débits de la région (CIEH, 1978)

III-3- productivité et paramètres physiques (profondeur et épaisseur d'altérites)

La relation entre la productivité et la profondeur des forages est représentée par le graphe de la figure 5. L'analyse du graphe indique les débits les plus importants ($> 5 \text{ m}^3/\text{h}$) se rencontrent entre 30 et 75 m de profondeur. Au delà de 75 m, les débits des ouvrages tendent à baisser. En outre, l'examen du graphique révèle la présence de faibles débits à des profondeurs au delà de 90 m. Cela indique l'existence de fractures non productives à de grandes profondeurs. Ainsi au regard de cette analyse, on peut retenir que les profondeurs les plus productives se localisent entre 30 et 75 m.

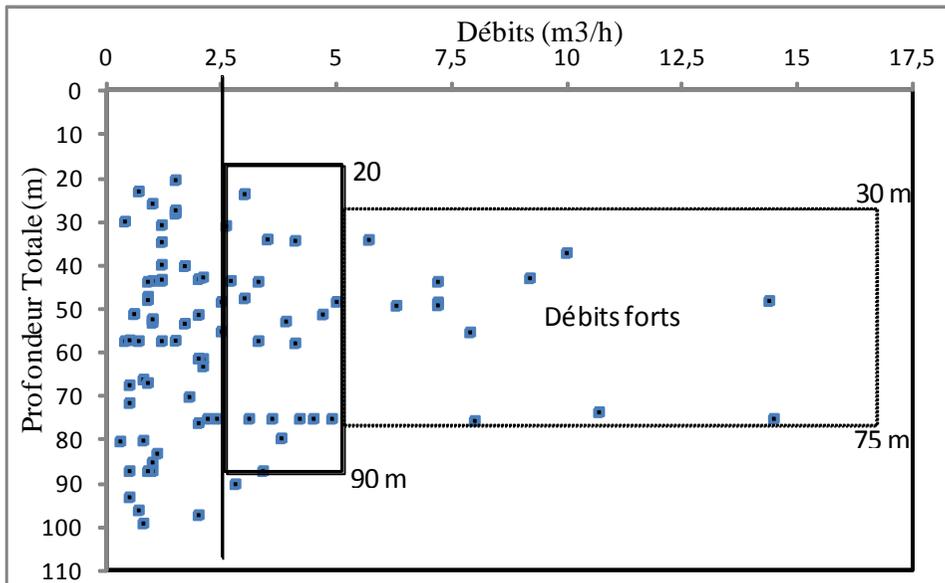


Figure 5 : Relation entre débits et profondeur totale des forages

En vue de déterminer également la classe des épaisseurs d'altérites qui fournit les débits les plus intéressants dans la région, une étude de la relation entre la productivité et les épaisseurs d'altérites a été menée. Elle est donnée à la figure 6. L'analyse du graphe indique une influence des épaisseurs d'altérites sur les débits des ouvrages. En effet, dans la région de Katiola les forts et très forts débits sont fournis par des épaisseurs d'altérites variant de 20 à 50 m. Au-delà de 50 m, on note une tendance à la baisse des débits des forages. Une importante épaisseur d'altérites peut devenir un facteur de productivité dans la réalimentation des aquifères fissurés à condition que celles-ci présentent une bonne perméabilité. Dans le cas contraire, elles tendent à s'opposer à la réalimentation des fractures sous-jacentes.

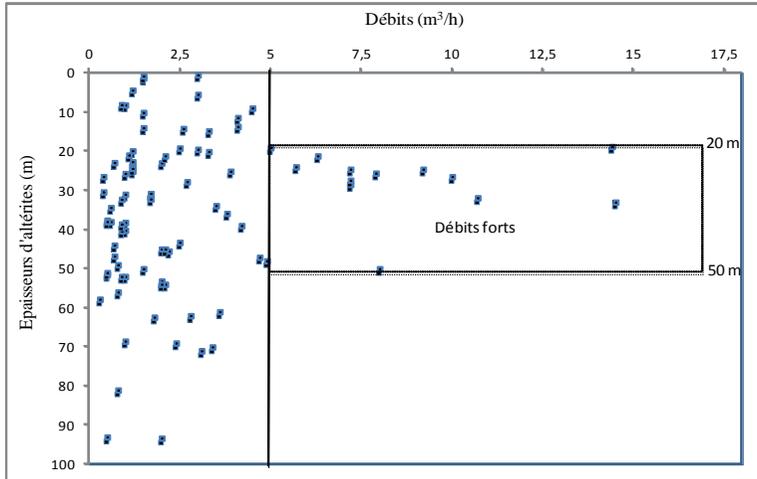


Figure 6 : Relation entre débits et épaisseur d’altérites

III-4- productivité et nature pétrographique des formations

Le débit des ouvrages dépend en grande partie de la géométrie du système de fractures et de la nature pétrographique de la roche encaissant. Ainsi, une analyse permettant d’apprécier la relation qui pourrait lier la productivité des forages à la nature pétrographique des roches de la région de Katiola a été effectuée. Elle est illustrée par la figure 7. L’analyse du graphique révèle que les schistes semblent être les formations géologiques les plus productives de la région. En effet, 33% des ouvrages sur schistes ont des débits compris entre 2,5 et 5 m³/h contre 20% pour les granites et 42% ont des débits supérieurs à 5 m³/h contre 7% dans les granites. Ce qui donne une proportion de plus 75% de forages dans les schistes ayant des débits importants contre 27% dans les granites. La majorité des ouvrages sur schistes ont donc des débits moyens à forts. La bonne productivité dans les schistes suggère une influence de la tectonique dans la productivité des ouvrages.

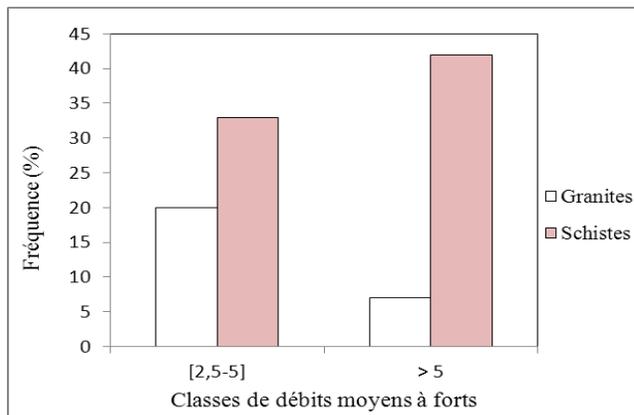


Figure 7: Productivité des ouvrages en fonction du type de formation

III-5- productivité et transmissivité

L'étude de la relation entre la transmissivité et le débit de forage a été réalisée par la méthode de régression de type puissance (Figure 8). Elle a permis de déterminer l'équation de la courbe et le coefficient de corrélation entre ces deux variables (0,80). La relation qui lie ces deux variables est exprimée par l'équation suivante :

$$T = 6.10^{-6} \times Q^{1,2226}$$

Avec: T en m²/s et Q en m³/h

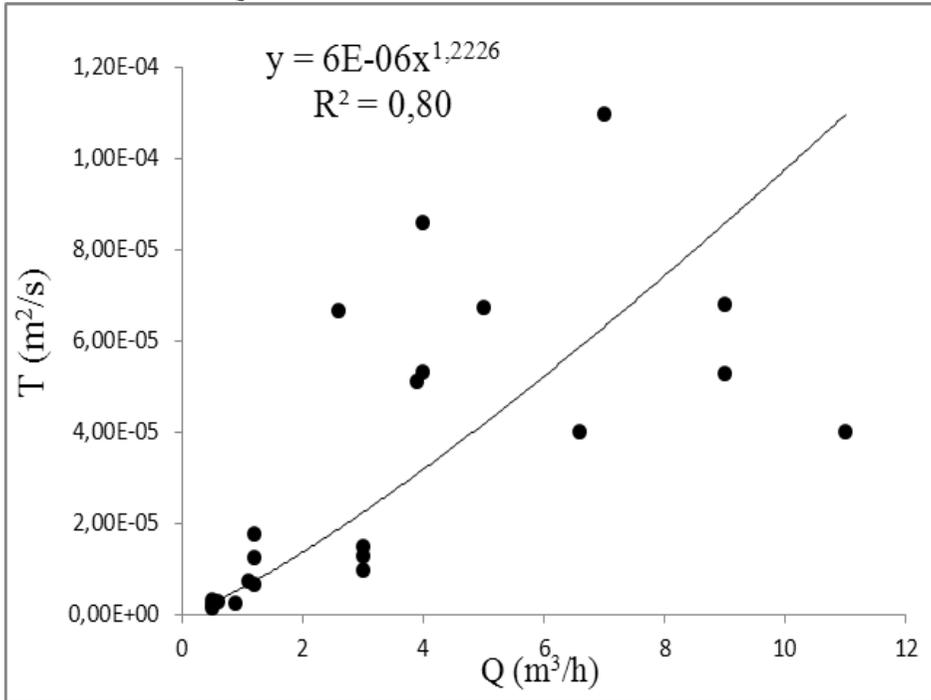


Figure 8 : Relation entre la transmissivité et le débit des forages

III-6- Caractérisation de la productivité par l'analyse en composante principale

III-6-1- Analyse de la matrice de corrélation

Tableau 2: Matrice de corrélation

Variables	T	Qsp	EA	Pt	AE1	Q	ES	NS
T	1,00							
Qsp	0,85	1,00						
EA	0,08	0,19	1,00					
Pt	-0,32	-0,20	0,05	1,00				
AE1	-0,13	-0,03	0,52	0,54	1,00			
Q	0,64	0,75	0,53	0,02	0,24	1,00		
ES	-0,26	-0,28	-0,76	0,61	-0,06	-0,40	1,00	
NS	0,06	0,18	0,65	0,27	0,67	0,44	-0,34	1,00

L'analyse de du tableau permet de souligner plusieurs corrélation entre les variables. Les corrélations les plus significatives sont celles entre T et Q/s (0,85), et entre Q et Q/s (0,75). La relation entre la transmissivité et le débit spécifique est confirmée par la matrice de corrélation. Ce qui montre bien que le débit spécifique est également le reflet de la géométrie du réseau fracturé et de sa connexité avec le forage. Il existe également des corrélations moyennes entre Pt et ES (0,61), Q et T (0,64), EA et NS (0,65), et enfin entre AE1 et NS (0,67). Ces différentes relations évoquent l'influence de la transmissivité sur la productivité des ouvrages, de l'épaisseur d'altération et des arrivées d'eau sur le niveau d'eau dans les aquifères (niveau statique). On peut enfin souligner la corrélation négative entre EA et ES (-0,76) qui indique que, une forte épaisseur d'altération rencontrée susciterait un ouvrage sur une faible épaisseur de socle

III-6-2 Analyse dans l'espace des variables

❖ plan F1-F2

Dans la structure du plan F1-F2 (Figure 9, le facteur1 est corrélé dans sa parte positive avec les paramètres tels que Q, Q/s, T et EA. Dans sa partie négative il est corrélé avec ES. Ces paramètres évoquent la présence de fracture ou d'eaux souterraines. Ils sont caractéristiques de la productivité des forages. En effet, la transmissivité est la capacité d'un aquifère à se laisser traversé par l'eau et partant son rapport avec la productivité. Il en est de même avec du débit de forage et du débit spécifique qui restent liés à la productivité. Ces paramètres sont ceux qui expliquent la productivité des forages. La relative opposition sur l'axe 1 de T, Q/s, Q avec ES indique qu'il évolue de façon inversement proportionnelle. Ce qui veut dire que, plus l'épaisseur de socle foré est grande, plus la productivité des ouvrages de captage diminue. Le facteur 1 caractérise la productivité des ouvrages.

Le facteur 2 est caractérisé par les variables Pt et AE1 et à un moindre degré par NS. La relation entre Pt et AE1 indique que la probabilité de trouver des arrivées d'eau est fonction de la profondeur totale forée. La corrélation entre ces trois paramètres exprime la variation du niveau d'eau avec les arrivées d'eau. De tout ce qui précède, on peut dire que le facteur 2 exprime la variation du niveau d'eau dans les aquifères.

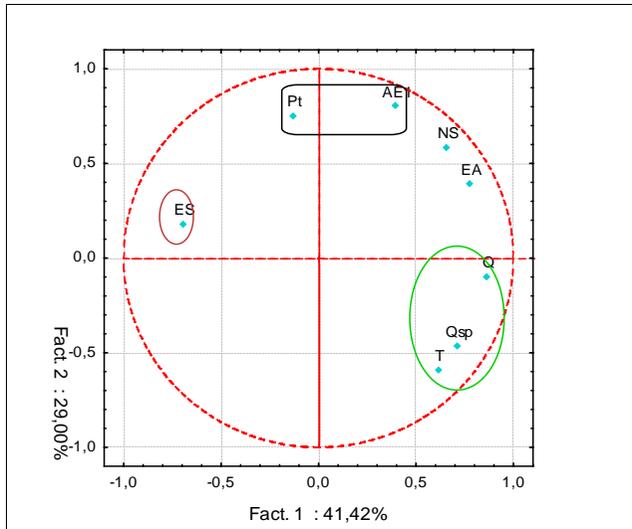


Figure 9: Projection des variables dans le plan F1-F2

❖ **Plan factoriel F1-F3**

Dans ce plan, le facteur 1 est toujours défini par les variables, T, Qsp, et Q, et AE1, il caractérise la productivité des ouvrages (Figure 10). Quant au facteur 3, il est défini par les variables Pt (profondeur totale) et ES. La relation entre ces deux paramètres (0,61), quoique faible, indique que l'épaisseur de socle foré, ou épaisseur sous la base des altérites meuble augmente avec la profondeur totale du forage. Ces deux paramètres sont certes déterminants dans la productivité des ouvrages, mais ils caractérisent surtout le coût du forage. De ce fait, le facteur 3 représente, le coût d'investissement pour réaliser un forage, en optimisant la profondeur de forage, afin d'éviter les incidences financière sur l'enveloppe budgétaire.

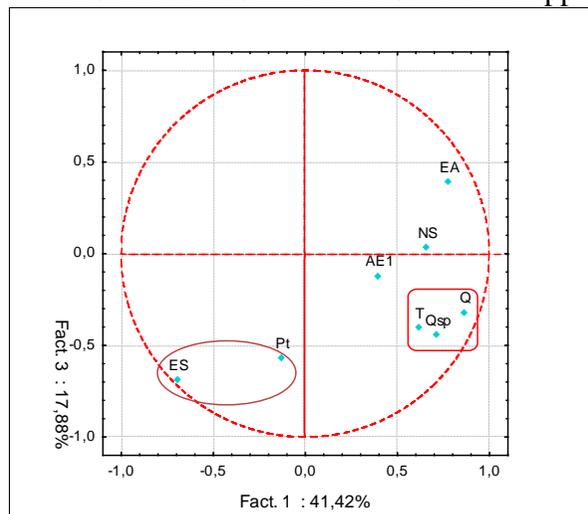


Figure 10: Projection des variables dans le plan factoriel F1-F3

III-7- Discussion

Dans les réservoirs fissurés, outre les densités et l'orientation des fractures, la productivité des ouvrages peut être aussi liée à certains paramètres tels que la profondeur des forages et l'épaisseur des altérites (Durand, 2001). En ce qui concerne la profondeur, il existe une profondeur au delà de laquelle, les chances de trouver un horizon aquifère s'amenuisent, surtout au sein des roches de socle altérée (Kouadio *et al.*, 2010). Ainsi, Plusieurs travaux (Savadogo, 1984 ; Banks, 1992 ; Biémi, 1992 ; Kouadio, 2005a ; Kouadio *et al.*, 2010) ont ainsi défini la profondeur optimale à atteindre lors de la foration pour obtenir des productivités satisfaisantes au niveau des roches cristallines. Ceci à pour but d'éviter les surcreusements inutiles très souvent constaté lors des campagnes de foration en Afrique de l'Ouest, sans aucune amélioration sur la productivité des ouvrages (Gombert, 1997), mais avec plutôt des incidences financières sur les enveloppes budgétaires alloués aux projets. Dans la région de Katiola, que ce soit au niveau des granites ou des schistes, la majorité des forages ont des profondeurs totales qui dépassent rarement les profondeurs limites de foration proposée dans la littérature (80 m sur granites, et 100 m sur schistes). Les profondeurs les plus grandes trouvées ici dans la région, seraient liées au fait que n'ayant pas obtenu le débit recherché, l'on ait poursuivi la foration (Soro, 2010). En effet, les forages négatifs ou peu productifs sont forés plus profonds dans l'espoir d'atteindre un débit minimal exploitable (Gassita *et al.*, 1987). Des auteurs tels que N'go *et al.* (2005), soutiennent que la possibilité d'obtenir des forages productifs est réelle à de grandes profondeurs. A Katiola, les profondeurs les plus productives se localisent entre 30 et 75 m. Ce résultat est conforme aux travaux effectués en Côte d'Ivoire fixant la limite inférieure d'existence de fissures ouvertes à 50-70 m de profondeur (Biémi, 1992, Lasm, 2000 ; Jourda, 2005 ; N'Go *et al.*, 2005 ; Youan Ta, 2008).

Plusieurs travaux ont montré l'importance des horizons d'altérites dans l'alimentation en eau des réseaux de fractures (Wyns *et al.*, 2004 ; Dewandel *et al.*, 2006 ; Lachassagne *et al.*, 2011). La valeur moyenne sur granite est largement supérieure à celles proposées par Engelanc (1978) qui est 15 à 20 m. En outre elle est supérieure à celle observée sur les formations schisteuses de la région. Ces fortes épaisseurs d'altération sur granite par rapport aux schistes sont contraires aux observations faites par certains auteurs en Afrique de l'Ouest, qui estime l'extension des altérites de 10 à 20 m en domaine granito-gneissique, et de 15 à 40 m en domaine schisteux selon les régions CEFIGRE (1990). Ceci s'explique par le recul du front d'altération sur les schistes du birimiens tel que constaté par Haubert (1977). Dans la région d'étude, l'examen statistique effectué sur les données montre que la tranche des altérites offrant de gros débits se situe globalement entre

20 et 50 m et qu'au-delà de 50 m, aucun débit intéressant n'est observé. Ce résultat est conforme aux résultats d'autres travaux effectués en Côte d'Ivoire (Berger *et al.*, 1981 ; N'Go *et al.*, 2005), au Burkina Faso (Sourisseau, 1981) et au Togo (Assouma, 1988).

Les arrivées d'eau les plus productives se localisent dans les 30 premiers mètres. Ces résultats sont conformes aux travaux antérieurs sur le socle (Camerlo et Fahy, 1981 ; Engalenc, 1981; Faillat, 1986a et b ; Drogue *et al.*, 1987 ; Soro, 1987 ; CEFIGRE, 1990 ; Biémi, 1992; Lasm, 2000). Le débit de ces arrivées d'eau étant déterminé par comptage du nombre de fracture productive rencontrée lors de l'exécution d'un forage (Kouadio *et al.*, 2010), on peut conclure que cette tranche (0 à 30 m) est la zone de nombreuses fractures ouvertes et productives.

Les valeurs de transmissivité s'inscrivent dans la gamme des valeurs de transmissivité rencontrées en zone de socle fracturé d'Afrique de l'Ouest en général et sur le socle ivoirien en particulier (Degallier, 1977 ; Engalenc (1981) Faillat, 1986a ; Soro, 1987 ; Biémi, 1992 ; Savané, 1997 ; Lasm, 2000 ; Lasm *et al.*, 2004a; Jourda, 2005, Youan Ta, 2008 ; Ahoussi, 2008 ; Soro, 2010).

Le débit spécifique est une variable très importante dans la détermination de la productivité des ouvrages de captage (Neves et Morales, 2007). La gamme des débits spécifiques enregistrée (0,01 à 1,359 m²/h) s'inscrit dans l'intervalle des valeurs observées en Côte d'Ivoire (Engalenc, 1978 ; Bernard et Mouton, 1981 ; Faillat, 1986a; Biémi, 1992, Savané, 1997 ; Lasm, 2000 ; Youan Ta, 2008 ; Soro, 2010), et ailleurs en Afrique de l'Ouest (Ouedraogo, 1988). Les valeurs de Q/s observées sont en générale faibles dans nos régions et dépassent rarement les 1 m²/h, surtout en zone rurale. L'absence d'études sérieuses lors de l'exécution des campagnes de forages est la raison avancée par Faillat (1986a) pour expliquer ce constat.

La relation entre ces deux paramètres a été abordée par plusieurs travaux en Côte d'Ivoire (Faillat, 1986a; Soro, 1987 ; Kouamé, 1999 ; Lasm, 2000 ; Youan Ta, 2008 ; Soro, 2010) Selon (Lasm, 2000), étudier une telle relation revient à approcher de façon indirecte les propriétés hydrauliques des réservoirs. Cette corrélation parfois très bonne a poussé certains auteurs comme Razack et Huntley (1991) a utilisé la relation qui lie ces deux paramètres pour déterminer au niveau de quelques forages, la transmissivité lorsqu'il existe seulement le débit spécifique. Elle peut donc permettre d'estimer l'une ou l'autre des variables, lorsqu'elle fait défaut. Toutefois, selon Onétié *et al.* (2010), la relation empirique entre la transmissivité et le débit spécifique peut comporter des incertitudes dues aux effets des pertes de charge dans le puits, si les rabattements mesurés ne sont pas corrigés.

L'étude de la productivité des ouvrages indique que la majorité (67%) des forages de la région ont des débits faibles. Cela peut être imputé

aux manques d'études sérieuses (télédétection, géophysique) avant l'implantation des ouvrages (Faillat, 1986, Soro 1987). La relation entre la productivité et la nature pétrographique des aquifères a été abordée. Il ressort de cette étude que les schistes sont plus productives que les granitoïdes. Ces résultats sont en accord avec les travaux antérieurs sur le socle ivoirien (Biémi, 1992 ; Dibi *et al.*, 2004 ; N'go *et al.*, 2005 ; Youan Ta, 2008 ; Soro, 2010 ; Soro *et al.*, 2010). Tous ces auteurs sont unanimes que les schistes sont réputés être les formations les plus productives en zone de socle ivoirien. En effet, les structures feuilletées et redressées des schistes birimiens leur confère l'avantage d'être plus transmissifs que les autres formations. La position subverticale à verticale acquise par les sillons schisteux à la suite de la tectonique tend à faciliter leur altération. Le produit d'altération est constitué d'argiles qui sont moins perméables que les arènes granitiques. Par contre, l'existence de fracturation reste un élément essentiel dans la capacité transmissive des roches cristalphylliennes car, en l'absence de phénomènes tectoniques et de désagrégation, ces roches sont pratiquement imperméables (Bémi, 1992). Cependant le débit le plus important de la région a été rencontré dans un granite à Kafine (14,5 m³/h). Ce débit élevé pourrait être attribué à la densité de fracture souvent observée au niveau des granites (Dibi, *et al.*, 2004). Les fortes densités observées au niveau des granites seraient dues à la présence de nombreux minéraux phyllosilicatés de biotites et muscovite qui par altération sont à l'origine des fissures (Wyns *et al.*, 1999 ; Wyns *et al.*, 2004). La structure lamellaire de ces minéraux crée des zones de moindre résistance dans la roche.

Conclusion

Dans la région de Katiola la profondeur des forages varie de 20,3 à 99,0 m avec une valeur moyenne de l'ordre de 56,03 m. les profondeurs les plus productives se rencontrent entre 30 et 75 m. la puissance des altérites est comprise entre 0,5 et 93,3 m avec une valeur moyenne de 34,93 m. La tranche de 20 à 50 m d'altérite offre les meilleurs débits (> 5 m³/h). Ce résultat donne une orientation pour les futures campagnes d'hydrauliques villageoises, sur les profondeurs de forages et les épaisseurs d'altérites offrant des débits satisfaisants dans la région. 67% des débits rencontrés dans la région sont faibles, à cause du manque d'études sérieuses avant l'implantation des ouvrages. Les arrivées d'eau les plus productives se localisent dans les 35 premiers mètres sous la base des d'altérites. Les schistes sont plus productifs que les granites. Les schistes de la région offrent donc de réelles potentialités hydrogéologiques dans la recherche des gros débits. Les transmissivités calculées oscillent entre $1,35 \cdot 10^{-6}$ et $1,10 \cdot 10^{-4}$ m²/s avec une moyenne géométrique de $1,64 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Les débits spécifiques varient entre 0,01 et 1,35 m³/h/m et la moyenne des valeurs est de 0,27

m³/h/m. La transmissivité et le débit sont liés par une relation empirique de type puissance. L'Analyse en Composante Principale (ACP) a permis de mettre en évidence les différents facteurs de productivité des ouvrages hydrauliques de la région. Le facteur 1 exprime la productivité des ouvrages, le facteur 2 représente la variation du niveau d'eau et le facteur 3 le coût d'investissement pour réaliser un forage.

Références:

- Ahoussi 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.
- Assouma D. (1988). Etude par modèle mathématique de la structure et du fonctionnement d'un aquifère de socle exploité, en région tropical (Alimentation en eau potable de la ville de Dapaong-Togo). Thèse 3^e cycle Université Orléans, 183p.
- Baali F. (2001). Eude hydrogéologique hydrochimique de la région karstique de Chéria N-E Algérien. Magister Univ Annaba Algerie, 100 p.
- Baka D. (2012). Géométrie, Hydrodynamisme et Modélisation des réservoirs fracturés du socle paléoprotérozoïque de la région d'Oumé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse unique. Université de Cocody. Abidjan (Côte d'Ivoire). 247 p
- Baka D., Lasm T., Oga M.S., Youanta M., De Lasme O., Kouakou O.S. et 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.
- Banks D. (1992). Estimation of apparent transmissivity from capacity testing of boreholes in bedrock aquifers. Applied Hydrogeology, Vol. 4, pp. 5-19.
- Berger J., Camerlo J., Fahy J.C. et Haubert M. (1981). Etude des ressources en eau souterraines dans une région de socle cristallin : la « Boucle du Cacao » en Côte d'Ivoire. Bull. BRGM, série 2, section III, n°4, pp. 335-338.
- 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, hydrochimique et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aire granitique de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat ès Sc. Nat., Université de Cocody, Côte d'Ivoire 479 p.
- Caillez F. et Pages J.P. (1976). Introduction à l'analyse des données. SMASH, Paris, 616 p.

- Camerlo J. et Fahy J. C. (1981). Premiers résultats obtenus en Côte d'Ivoire dans les recherches d'eau axées sur les fractures secondaires des roches grenues du socle. Bull. B.R.G.M., Sér. II, Sect. III, n°. 4, pp. 289-291.
- CEFIGRE (1990). L'Hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest. Synthèse des connaissances sur l'hydrogéologie du socle cristallin et cristallophyllien et du sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest. Coll. Maîtrise de l'eau 2e Ed. 147 p.
- 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.
- Dewandel B, Lachassagne, P.; Wyns R., Maréchal, J.-C.; and Krishnamurthy (2006). A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. J. Hydrol., 330, 260-284.
- Degallier R. (1977). Détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe souterraine du bassin versant de Korhogo, d'après les variations de son niveau piézométrique. Bulletin B.R.G.M., Vol. III, 106 p.
- Dibi B., Inza D., Goula B. T. A., Savané I., Biémi 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, (Dec. 2004), n°13, pp 25-27.
- Doumbia S. (1997). Géochimie, géochronologie et géologie structurale des formations birimiennes de la région de Katiola-Marabadiassa (Centre Nord de La Côte-d'Ivoire). Evolution magmatique et contexte géodynamique du Paleoproterozoïque. Thèse de Doctorat, Université de Orléans. France. 202p.
- Drogue C., Lelong F., DE Marsily G. et Pointet T. (1987). Réflexion sur quelques problèmes liés à la quantification de la ressource en eau exploitable en aquifères fissurés. Hydrogéol., n°. 3, pp. 185-194.
- Durand V. (2001) : Recherche des relations entre la structure des aquifères de socle et leur fonctionnement hydrogéologique à partir d'un signal. Traitement à deux échelles différentes de bassins versants. Mémoire DEA, Ecole des Mines de Paris et Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, 50p.
- Engalenc M. (1981). Elément de quantification des ressources hydrauliques dans les roches cristallines. Bull. B.R.G.M., Sér. II, Sect. III, n°. 4, pp. 325-326.
- Engalenc, M. (1978). Méthodes d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest. Comité interafricain d'études hydrauliques, série hydrogéologie, vol.1, 318 p. ; vol. 2, 193 p.

- Faillat J. P. (1986a). Hétérogénéité et effet d'échelle dans les aquifères fissurés. Approche par pompage d'essai sur station expérimentale (Afrique de l'Ouest). *Hydrogéologie*, n. ° 1, pp. 65-76.
- Faillat J.P. (1986 b). Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest). Thèse Univ. Languedoc Montpellier, France, 534 p.
- Gassita S., Gageonnet M., Solages S. (1987). Synthèse des résultats du premier programme d'hydraulique rurale exécutée en République du Gabon. *Hydrogéologie*, n°2, pp. 113-126.
- Gombert P. (1997). Variabilité spatiale de la productivité aquifère du socle sahélien en hydraulique rurale. *Hard Rock Hydrosystems, IAHS Publ., Vol. 241*, pp. 113-122. hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest). *Hydrogéologie*, n° 2, pp.109-112, 1fg.
- Haubert M. (1977). Prospection et exploitation des eaux souterraines dans une région de socle : la boucle de cacao (Côte d'Ivoire). *Géohydraulique. S.A.H. Abidjan, Note interne*, 14p.
- INS (2001). Recensement général de la population et de l'Habitat (RGPH) 1998. Données socio-demographiques et économiques : Région des Savanes.
- Jourda J. P. (2005). Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale: cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 430p.
- Kouadio K. E. (2005a). Stratégie de prospection des nappes de fissures par analyse spatiale du potentiel de productivité et optimisation de la profondeur des forages. Cas du Denguelé (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 181p.
- Kouadio K. E.; Soro N. et 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*, Vol. 23, N°1, pp. 1-15.
- Kouamé K. F. (1999). Hydrogéologie des aquifères discontinus de la région semimontagneuse de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Apport des données des images satellitaires. Thèse de 3 ème cycle, Univ. Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire ,194 p.
- 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.
- Lasm T., Kouame K. F., Oga Y. M.-S., Jourda J. P. R., Soro N. et Kouadio B. H. (2004). Étude 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 Technologiques*, Vol. 5, pp. 97- 115.

- Lasm T. (2000). Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: Analyses statistiques et géostatistiques de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine Archéen). Thèse de Doctorat de l'université de Poitiers, France, 272 p.
- Lachassagne P.; Wyns R. et Dewandel B. (2011). The fracture permeability of Hard Rock Aquifer is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, Vol. 23, pp. 145-161.
- Neves M. A. and Morales N. (2007). Well productivity controlling factors in crystalline terrains of southeastern Brazil. *Hydrogeology Journal*, Vol. 15, pp. 471-482.
- N'Go Y. A., Gone D. L., Savane I. et Goble M. M. (2005). Potentialités en eaux souterraines des aquifères d'Agboville (Sud Ouest de la Côte d'Ivoire) : Caractérisation hydroclimatique et physique. *Afrique SCIENCE 01 (1) (2005)* pp 127-144.
- Onitie Z.O., Lasm T., Baka D., Fossou N.M., Kouakou A.O.S., Youan Ta M., De Lasm O.Z., Oga M.S., et Soro N. (2010). Influence des pertes de charges quadratiques sur la transmissivité et le débit spécifique déterminé sur des forages isolés : cas de la région de Korhogo au Nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoire Science et Technologie*, N°16 pp. 261-283.
- Ouedraogo B. (1988). Productivité des forages sur socle cristallin et cristallophyllien en région subsaharienne. Thèse Doctorat. Université du Maine. Le Mans (France). p.
- Razack, M. and Huntel D. (1991). Assessing transmissivity from specific capacity in a large and heterogeneous aquifer. *Ground Water*, 29(6), pp.856-861.
- Savadogo A. N. (1984). Géologie et Hydrogéologie du socle cristallin de Haute –Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de Doct. Ès Sc. Nat. Uni. Scientifique et médicale de Grenoble, France, 351 p.
- Savané 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 d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. Thèse d'Etat, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 396 p.
- Soro G.; Soro N.; Ahoussi K. E.; Lasm T.; Kouame F. K.; Soro T. D. et Biemi J. (2010). Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique dans la région des Lacs (centre de la Côte d'Ivoire). *Estudios Geologicos [online]*, Vol. 66, N°2.
- Soro G. (2010). Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire) : hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du district de

- Yamoussoukro et du département de Tiébissou. Thèse unique. Université de Cocody. Abidjan (Côte d'Ivoire). 250 p.
- Soro N. (1987). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Thèse de 3^è cycle Univ. Scient. Technol. et Médicale de Grenoble, France, 243 p.
- Sourisseau B. (1981). Hydraulique villageoise dans le Département du Sahel (Haute Volta) Rapport final BROM.
- Wyns R.; Baltassat J.-M.; Lachassagne P.; Legchenko A.; Vairon J. et Mathieu F. (2004). Application of SNMR sounding for groundwater reserves mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). Bulletin Société Géologique France, Vol. 175, N°1, pp. 21-34.
- Wyns R.; Gourry J.-C.; Baltassat J.-M. et Lebert F. (1999). Caractérisation multiparamètres des horizons de subsurface (0-100 m) en contexte de socle altéré. 2^è Colloque GEOFCAN. I. BRGM, UPMC. Orléans, France. pp. 105-110.
- 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>.
- Youan TA M. (2008). 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 Cote d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 237p.