



## **ANALYSE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION DE KATIOLA (CÔTE D'IVOIRE)**

### **QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ANALYSIS OF KATIOLA AREA GROUNDWATERS (CÔTE D'IVOIRE)**

**GNAMBA F.M.<sup>1</sup>, BAKA B.<sup>2</sup>, SOMBO A.P.<sup>3</sup>, KPAN O. J.<sup>1</sup>, OGA Y.M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, BP 1328 Korhogo, (Côte d'Ivoire)

<sup>2</sup>Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22, (Côte d'Ivoire)

<sup>3</sup>Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, BP 150 Daloa, +225 48-68-51-12, (Côte d'Ivoire)

*fmgnama@gmail.com*

### **RESUME**

Les pressions de plus en plus croissantes liées au développement des aires cultivées et à la croissance démographique sur les ressources en eau ont entraîné dans la région de katiola un stress hydrique ces dernières décennies. En effet, la forte croissance démographique et l'accroissement considérables des surfaces agricoles (anacarde, coton, sucre, bas-fonds rizicoles) imposent nécessairement des pressions quantitatives et qualitatives sur les ressources en eau de la zone. Cette étude a pour objectif de faire une analyse quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines de la région et proposer des suggestions pour une meilleure connaissance et une gestion durable des hydrosystèmes souterrains. L'approche méthodologique est basée sur des analyses statistiques descriptives, des analyses multivariées et spatiales. Les résultats obtenus indiquent la majorité (63%) des débits de production des forages sont faibles et indiqué pour l'hydraulique villageoise (HV), les schistes sont plus productifs que les granites. Au plan qualitatif, on note que 62% des points d'eau présentent de fortes teneurs en fer. Ces fortes teneurs en fer sont liées à la nature des roches de la région.

**Mots-Clés :** Eaux souterraines, analyse, Katiola, Côte d'Ivoire.

## **ABSTRACT**

The Increasing pressures from development of cultivated areas and demographic increase on water resources have spawned in Katiola area water stress. Indeed, the strong demographic growth and the important increase of agricultural surfaces necessarily impose quantitative and qualitative constraints on the water resources of the area. This study aims to do quantitative and qualitative analysis of Katiola area water resources. We use for this study descriptive statistical analysis, multivariate and spatial analysis. 63 per cent of borehole's flows are low and indicate for hydraulics village (HV). The rock systems in schists are more productive than granites rock systems. Qualitatively, 62 per cent of water points have high iron concentrations. High iron levels are related to the geology of the area study.

**Keywords:** Groundwaters, analysis, Katiola, Côte d'Ivoire

## **INTRODUCTION**

Les évolutions démographiques et leur impact sur l'environnement socio-économique ont régulièrement constitué un enjeu majeur au centre des préoccupations des pouvoirs publics (REPCI, 2006). Selon Hountondji et al (2019), la croissance démographique entraîne une augmentation de la demande en eau pour différents usages. La Côte d'Ivoire enregistre depuis des décennies un taux d'accroissement rapide de la population des plus importants au monde. La région de Katiola située au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire, fait l'objet depuis des décennies l'objet d'une attention soutenue en matière de développement agricole. La création de nombreux complexes sucriers, cotonniers, anacardiens, vivriers et maraîchers sont les signes de cette attention. Tout ceci avait pour but d'accroître le potentiel économique de la région, lutter contre la sécheresse et, subséquemment contre la pauvreté. Par ailleurs, au plan socio-économique, de nombreux investissements en termes d'infrastructures ont été réalisés depuis les années du miracle ivoirien et, permettent à la région de vivre au rythme de développement de toute le Côte d'Ivoire. En outre, depuis 2000, la découverte de nouveaux sites aurifères a entraîné un flux migratoire de population vers ces sites d'orpaillage (Coulibaly, 2009). Tous ces facteurs ont eu pour corollaire une forte croissance démographique dans le pays Tagbana et

par conséquent des pressions énormes (quantitative et qualitative) sur les ressources en eaux souterraines qui représentent parfois les seules réserves en eau sûres à exploiter à des fins d'alimentation en eau potable. Une analyse des potentialités hydrogéologiques au plan quantitatif et qualitatif s'avère nécessaire pour répondre aux besoins de plus en plus croissants en matière d'approvisionnement en eau potable dans la région. C'est dans cette perspective que la présente étude a été entreprise et elle permet d'orienter les décideurs.

## **CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE**

### **Contexte géographique**

La région de Katiola est située à 434 km d'Abidjan au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. Elle est comprise entre les longitudes 4°75' et 5°75' Ouest et les latitudes 7°95' et 9°45' Nord (Figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 9452 km<sup>2</sup> soit environ 3% de la superficie totale du territoire. Le dernier recensement de 2014 indique une avec une population estimée à 429 977 habitants (RGPH, 2014). Selon ce rapport la population de la région est passée de 268 246 au recensement de 1998 à 429 977 à celui de 2014, soit un taux d'accroissement annuel de 3,11%. Le contexte climatique de la région dérive de l'interface entre climat soudanien et guinéen. Le couvert végétal est dominé par la savane, cependant sur les marges sud de la région, en deçà de la latitude de la ville de Katiola, on a des formations forestières mésophiles. Des îlots de forêts denses sèches, des forêts galeries et/ou rupicoles coexistent avec les formations soudanaises spécifiques telles ; les savanes arborées et arbustives, les savanes boisées et claires, ainsi que des savanes herbeuses.

La région est drainée par deux principaux fleuves et leurs affluents qui constituent des limites naturelles du département, le Bandama et ses affluents (Bou, Naramou, Nabion, etc) à l'Ouest et le N'Zi et ses affluents (Loho, Kiohan, etc) à l'Est.

### **Contexte géologique**

Au plan géologique, la région se situe dans le domaine Baoulé-Mossi et est constituée d'une diversité de formation birimien dont les principales sont : des granitoïdes calco-alcalins et alumino-potassiques (granites à deux micas), des métavulcanites, des roches vertes, et des métasédiments (Doumbia, 1997). Les formations cristallines se composent essentiellement de migmatites et granites indifférenciés, de gneiss ainsi que de granites syntardi-tectoniques recoupant

des séquences volcano-sédimentaires dans la majeure partie du département de Katiola (Figure 2). 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. On note la présence de trois types d'aquifères ; les aquifères d'altérites, les aquifères de fissures et de fractures.

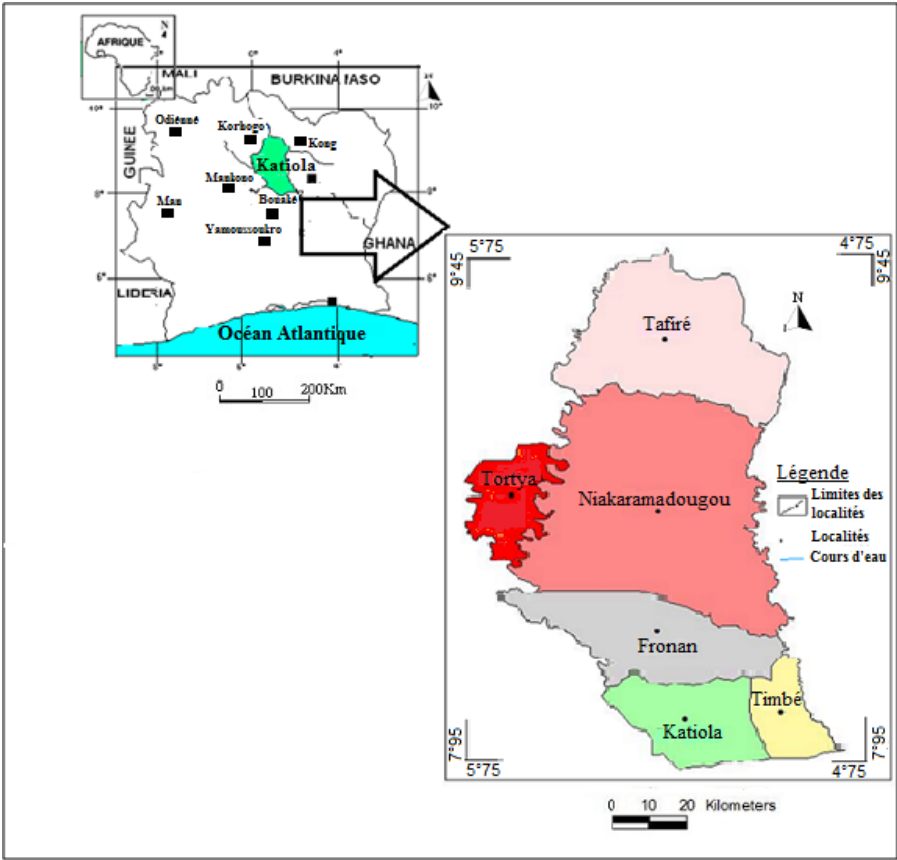


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

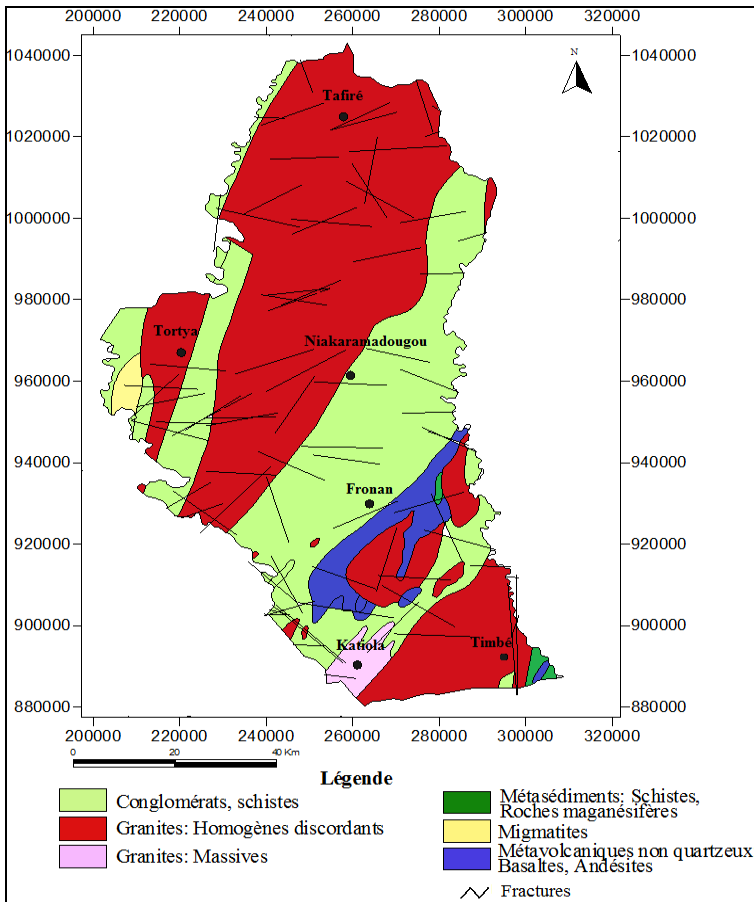


Figure 2 : Carte géologique de la région de Katiola

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Données

Pour les besoins de cette étude, plus de 100 fiches techniques de forages repartis sur l'ensemble de la région ont été exploitées (Figure 3). Les paramètres hydrodynamiques tels que la transmissivité  $T$ , le débit spécifique et le débit ont été utilisés pour l'analyse quantitative. La caractérisation physico-chimique a porté sur des mesures *in situ*, (température, pH, salinité, conductivité électrique), et le dosage au laboratoire des composants majeurs et des éléments

traces métalliques (chlorure  $\text{Cl}^-$ , sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$ , hydrogénocarbonates  $\text{HCO}_3^-$ , nitrate  $\text{NO}_3^-$ , calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ , sodium  $\text{Na}^+$ , potassium  $\text{K}^+$ , fer  $\text{Fe}^{2+}$ , manganèse  $\text{Mg}^{2+}$ , etc.).

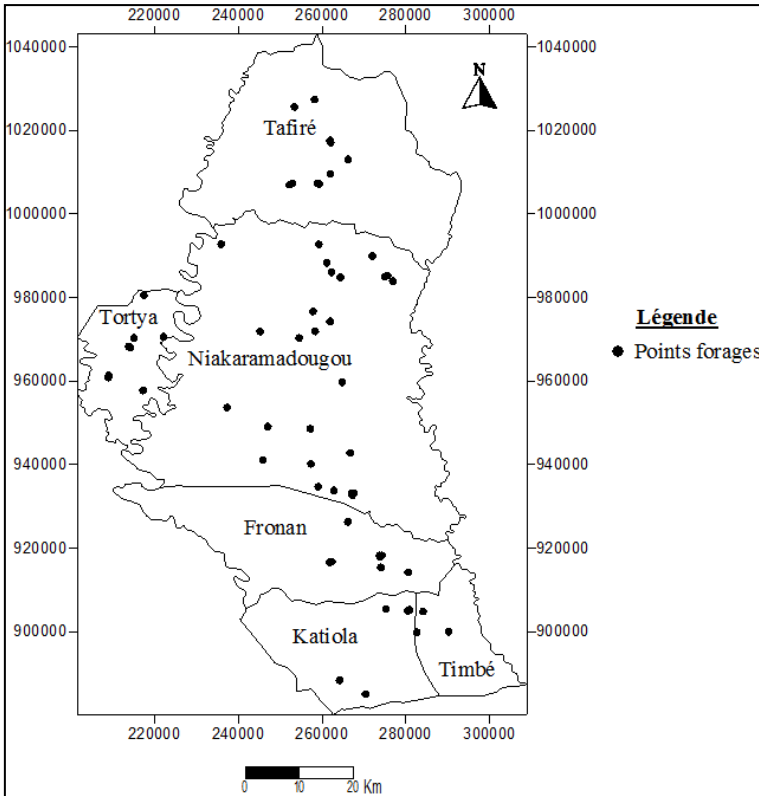


Figure 3 : Carte de localisation des forages échantillonnés de la région

### Méthodes

Les paramètres hydrodynamiques (transmissivité, débit spécifique) ont été déterminés à l'aide de la méthode d'interprétation de Cooper Jacob après les essais de puits réalisés sur les forages. Deux méthodes ont été utilisées pour le dosage des éléments chimiques. Les ions majeurs ont été déterminés par spectrophotométrie UV visible (spectrophotomètre de DR 2010 de type HACH) et les éléments en trace ont été dosés par un spectrophotomètre d'absorption atomique au Laboratoire Privé d'Analyse d'Abengourou (LPA). Les données

obtenues ont été traitées par des analyses statistiques descriptives, des analyses multivariées et des analyses spatiales.

## RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

### Analyse au plan quantitatif

#### *Transmissivité débit spécifique des forages*

Les valeurs de transmissivités des forages sont comprises entre  $1,35 \cdot 10^{-6}$  et  $1,10 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s. Les analyses statistiques indiquent que 37% des ouvrages ont une faible transmissivité, 59% des transmissivité moyenne et seulement 4 % ont une forte transmissivité. La moyenne géométrique de la transmissivité est de  $1,64 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s et l'écart-type est évalué à  $3,10 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. Le coefficient de variation calculé (Cv) est estimé à 97%, ce qui indique l'état de dispersion des valeurs de transmissivité autour de la moyenne. Cette dispersion des valeurs rend compte d'une certaine hétérogénéité des formations fissurées. La valeur maximale a été rencontrée à Tiengala dans la sous-préfecture de Fronan. En s'appuyant sur la classification des valeurs de transmissivités proposée par Lasm (2000) et Lasm *et al.* (2004), on en déduit que la classe des fortes transmissivités est constituée d'un seul forage sur les 22, soit 4% de l'effectif total. L'aquifère exploité à partir de ce forage semble être bien fissuré. La classe moyenne comprend 13 forages, soit 59% de l'effectif. Enfin la classe faible regroupe 37% des forages. On estime donc à plus de 60%, le nombre de forages ayant des transmissivités supérieures à  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s, ce qui signifie que la plupart des aquifères exploités sont caractérisés par de bonnes propriétés hydrauliques.

**Tableau 1 : Eléments statistiques des paramètres hydrauliques**

Paramètre	Effectif	Moy	Min	Max	Ecart-type
Transmissivité m <sup>2</sup> /s	22	1,64E-05	1,35E-06	1,10E-04	3,19E-05
Débit spécifique m <sup>2</sup> /h	22	0,275	0,010	1,36	0,307

Les débits spécifiques varient de 0,01 à 1,359 m<sup>2</sup>/h avec une moyenne de 0.275 m<sup>2</sup>/h. les analyses indiquent que 81% des forages ont un faible débit spécifique, 14 % ont un débit spécifique moyen et une très faible proportion c'est-à-dire 5% ont un débit spécifique élevé (> 1m<sup>2</sup>/h). La relation entre le débit spécifique et la profondeur des forages d'une part et entre le débit spécifique et la puissance des altérites a été entreprise, elle est illustrée respectivement par les graphes des

figures 4 et 5. Les coefficients de détermination obtenus ( $R = 0,38$  et  $R = 0,33$ ) à partir des droites de régression indiquent qu'il n'existe aucune relation mathématique entre débit spécifique, profondeur des forages et puissance des altérites. En outre, les points représentatifs affichent plus moins une certaine dispersion autour des courbes de tendance. Toutefois, on remarque sur la figure 4 que les débits spécifiques les plus faibles s'observent à des profondeurs importantes (c'est le cas des forages de Kolokaha, Touro et de Tchegbo) et que la majorité des débits les plus élevés s'observent à des profondeurs de forage relativement moins importantes (en dessous de 60 m). Le débit spécifique le plus important des forages étudiés se situe autour de 50 m de profondeur.

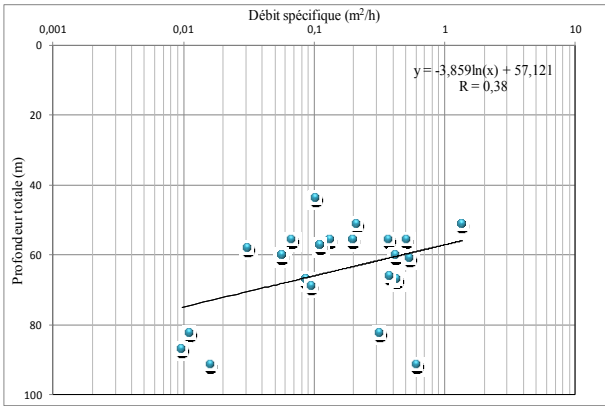


Figure 4 : Relation entre débit spécifique et profondeur des forages

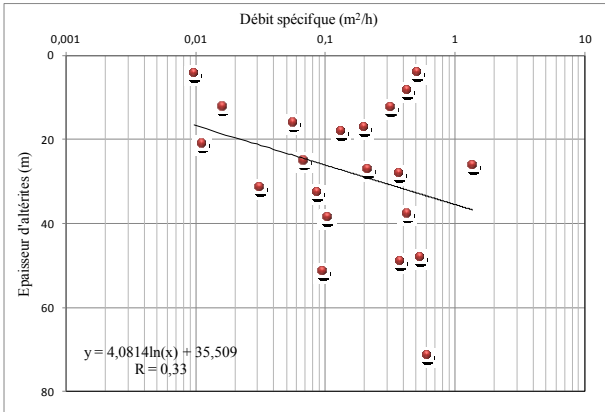


Figure 5 : Relation entre débit spécifique et épaisseur des altérites



## Débit de production des forages

Les débits de production des forages sont compris entre 0,3 et 14,5 m<sup>3</sup>/h avec une moyenne de 2,86 m<sup>3</sup>/h. L'analyse statistique des débits fait ressortir que 63% des forages ont un faible débit (< 2,5 m<sup>3</sup>/h) indiqué pour l'approvisionnement en hydraulique villageoise (HV). 37% des forages ont des débits moyens à forts recommandés dans la perspective d'un approvisionnement en HVA (Hydraulique Villageoise Améliorée).

La répartition des différentes classes de débits en fonction de la nature pétrographique des roches a été entreprise, elle est présentée au tableau 3 et permet d'apprécier quantitativement les formations offrant les meilleures potentialités hydrauliques dans la région.

**Tableau 2 : Paramètres statistiques des débits des forages**

Paramètre	Effectif	Moy	Min	Maxi	Ecart-type
débit (m <sup>3</sup> /h)	89	2,86	0,30	14,50	2,90

**Tableau 3 : Répartition des classes de débits en fonction des différentes formations géologiques**

Nature des roches	Effectif Total	2,5 < Q ≤ 5 m <sup>3</sup> /h		Q > 5 m <sup>3</sup> /h	
		Effectif	Taux %	Effectif	Taux %
Granites	56	11	20	4	7
Schistes	12	4	33	5	42

L'examen du tableau indique 75% des forages sur schistes ont un débit supérieur à 2,5 m<sup>3</sup>/h. Ce qui veut dire que la majorité des ouvrages sur schiste présentent des débits intéressants. Tandis que dans les formations granitiques, 27% des ouvrages seulement ont des débits moyens à forts. Ce qui fait ressortir que la majorité des forages (73%) sur granites dans la région ont des débits faibles, c'est à dire inférieurs à 2,5 m<sup>3</sup>/h. De plus, que ce soit au niveau des débits moyens comme des débits forts, la proportion dans les schistes est toujours plus importante que celle obtenue dans les granites. Des débits de 8 m<sup>3</sup>/h, 9,2 m<sup>3</sup>/h et 14,4 m<sup>3</sup>/h ont également été signalés au niveau des schistes respectivement dans les localités rurales de Yedafolokaha, Zanakaha et à Lougbonoli. On en déduit que les ouvrages sur schistes semblent être plus productifs que ceux sur granites dans la région. Ces observations sont confirmées par la carte interposée des débits et des formations géologiques de la région qui montre une proportion importante des bons débits dans les schistes. Il faut cependant noter que le débit le plus élevé (14.5 m<sup>3</sup>/h) dans la zone d'étude

a été obtenu après foration à Kafiné dans un granite. La discussion sur ces résultats sera abordée dans les prochains paragraphes.

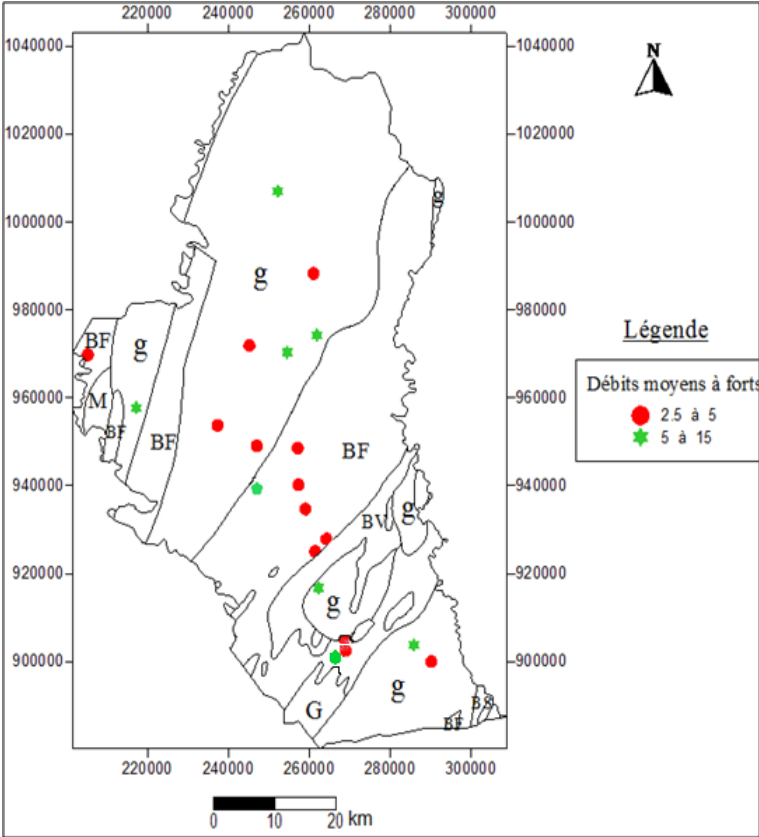


Figure 6 : Carte couplée des gros débits avec les formations géologiques

**Analyse qualitative des eaux souterraines**

Les paramètres statistiques des différentes variables analysées sont présentés dans le tableau 4. L'interprétation des analyses physico-chimique révèle que la température et le pH varie très peu, respectivement de 25,2 à 29,8°C et 6,2 à 8,4. Les valeurs de conductivité sont très dispersées et varient de 59 à 1098  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  avec une moyenne de 352,76  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Ce qui caractérise une variabilité hydrogéochimique des eaux souterraines de la région.

**Tableau 4 : Paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux analysées**

Paramètres	Min	Max	Moy	Ecart-type	CV% $\sigma/\mu$	Valeur guide OMS (2017)	% de non- conformité
T°C	25,20	29,80	27,63	1,14	4	25	100
pH	6,22	8,4	7,27	0,63	8,7	6,5-8,5	6
CE	58,9	1098	352,76	190,18	54	-	-
OD	6,5	7,2	6,74	0,16	2	-	-
Na <sup>+</sup>	0,22	8,96	3,54	2,58	0,73	200	0
K <sup>+</sup>	0,12	6,18	1,88	1,92	102	-	0
Ca <sup>2+</sup>	8,02	72,14	29,22	16,40	56	-	0
Mg <sup>2+</sup>	0,49	14,58	5,91	3,61	61	-	0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,0	0,05	0,01	0,02	287	-	0
Cl <sup>-</sup>	3,55	49,64	13,14	8,88	68	250	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0	160	7,31	20,01	274	250	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0	33,5	4,49	7,77	173	50	0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0	0	0	0	0	3	0
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,0	0,36	0,16	0,11	73	5	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	18,3	396,5	148,85	81,43	55	-	-
Fe	0,0	0,58	0,29	0,16	53	0,3	62
Mn <sup>2+</sup>	0,0	0,25	0,07	0,06	87	0,1	0
MT	33	603	212,43	122,84	58	1000	0

Au plan chimique Les hydrogénocarbonates et le calcium sont les ions les plus abondants dans les eaux souterraines. Ces deux ions représentent plus de 86% des espèces totales dissoutes. Les teneurs en Ca<sup>2+</sup> sont comprises entre 8,02 et 72,14 mg.L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 29,22 mg.L<sup>-1</sup>, quant au HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> les valeurs oscillent entre 18,3 à 396,5 mg.L<sup>-1</sup> avec une teneur moyenne de 148,85 mg.L<sup>-1</sup>. L'abondance de ces deux éléments dans les eaux souterraines de la région leur confère une signature hydrochimique spécifique. Subséquemment, la majorité des eaux souterraines de la région sont de types HCO<sub>3</sub>-Ca (hydrogénocarbonaté calcique), à l'exception de quelques points ayant une signature mixte (hydrogénocarbonaté calcique et magnésienne). Néanmoins, deux faciès chimiques particuliers, très minoritaires se dégagent dans les eaux, il s'agit des eaux hyper chlorurées calciques et hyper sulfatées calciques. La distribution spatiale des faciès chimiques est donnée à la figure 5.

Les analyses révèlent que les eaux souterraines de Katiola sont peu minéralisées avec la plupart des ions présents en dessous des normes OMS de potabilité, à l'exception du fer. En effet les analyses statistiques indiquent que 62% des forages étudiés ont des teneurs en fer au-dessus de la valeur OMS recommandée qui est de 0,3 mg.L<sup>-1</sup>. L'origine des fortes concentrations en fer est abordée dans le paragraphe qui suit.

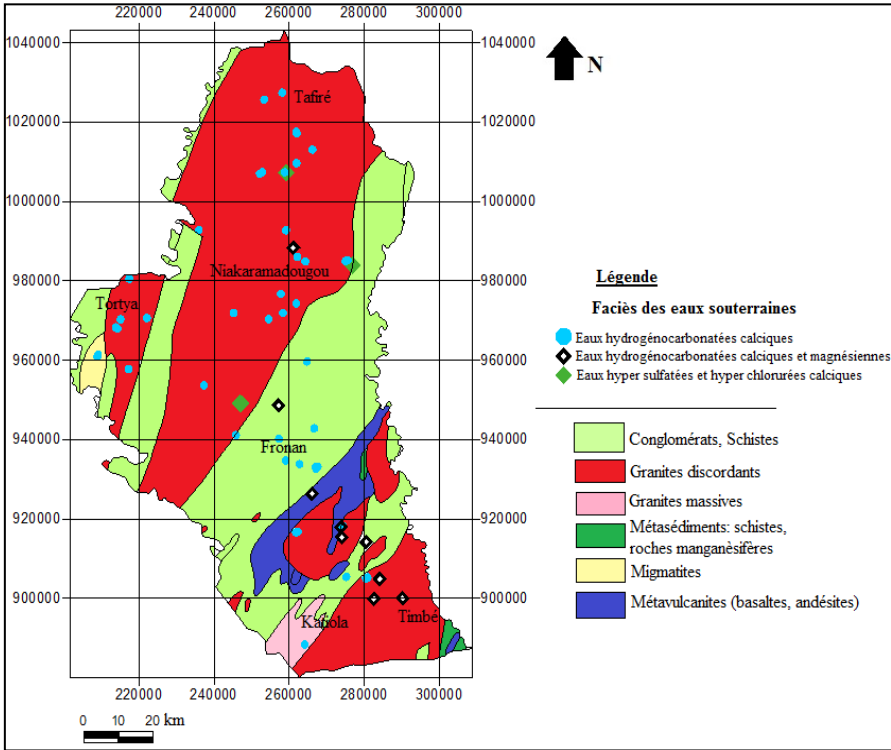


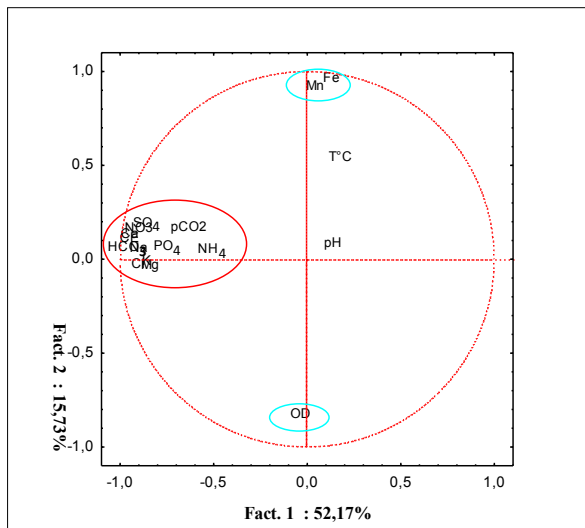
Figure 7 : Distribution spatiale des faciès hydrochimiques des eaux souterraines de Katiola

### Origine du fer dans les eaux souterraines de la région

L'origine des fortes occurrences en fer dans les eaux est mise en évidence à partir d'une synthèse des travaux de Gnamba et al (2016) et porte sur l'Analyse en Composante Principale Normée (ACPN) (Figure 7) et la carte couplée des teneurs en fer avec les formations géologiques de la région (Figure 8). L'ACPN a porté sur la projection des paramètres physico-chimiques étudiés dans la

structure du plan F1-F2. L'analyse montre que l'axe factoriel 2 est caractérisé par la relation entre le fer (Fe) et le manganèse (Mn) en opposition avec l'oxygène dissout. Cette relative opposition illustre bien le sens opposé de leurs variations dans l'eau et indique que la solubilité du fer et du manganèse augmente dans les conditions anoxiques. Le facteur 2 peut être considéré comme un mécanisme d'oxydo-réduction dans la zone de confinement.

La carte de répartition des teneurs en fer couplée avec les formations géologiques montre que les fortes teneurs en fer (représentées par les points verts sur la carte) s'observent en grande proportion dans les granites à biotite. La biotite caractéristique de ces roches est très riche en fer. On observe également des valeurs élevées dans les schistes du birimien (qui correspondent dans la région à des schistes métamorphosées riches en biotite et en grénot) avec des teneurs très élevées en fer. Ce résultat indique que la présence des fortes concentrations en fer dans les eaux souterraines est liée à la nature pétrographique des roches de la région.



**Figure 8 : Espace des variables du plan factoriel F1-F2**

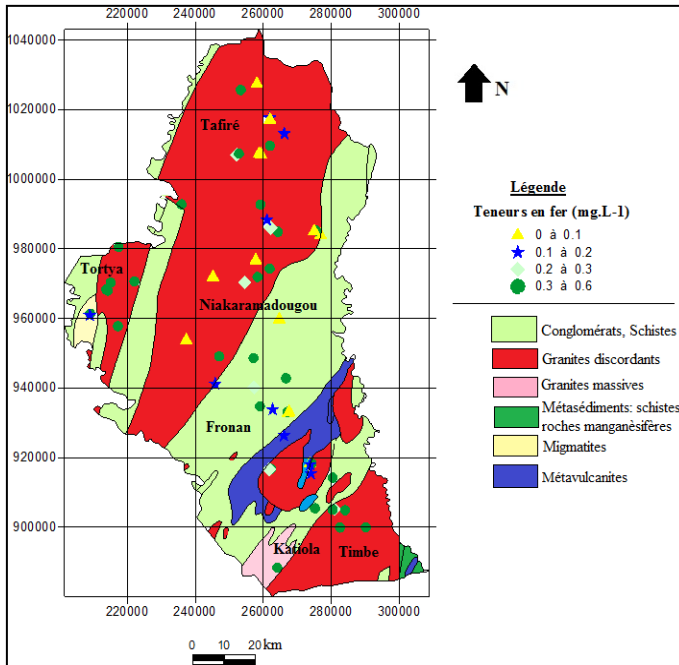


Figure 9 : Carte couplée de la répartition spatiale des teneurs en fer avec la géologie de la zone d'étude

## DISCUSSIONS

Au plan quantitatif, Les valeurs de transmissivités et de débits spécifiques obtenues à Katiola s'inscrivent dans la gamme des valeurs rencontrées en zone de socle fracturée de l'Afrique de l'Ouest en général et sur le socle ivoirien en particulier (Faillat, 1986 ; Biémi, 1992 ; Lasm, 2000 ; Baka, 2012, Ehoussou et al., 2018). Ces valeurs sont en général faibles surtout en zone rurale où les débits spécifiques dépassent rarement les  $1 \text{ m}^2/\text{h}$  (Ouédraogo, 1988). En outre, la forte récurrence des faibles débits d'exploitation n'est pas spécifique au secteur d'étude. En effet, le taux élevé d'ouvrages à faibles débits, surtout en zone rurale a été relevé par plusieurs auteurs en Afrique de l'Ouest (Gombert, 1997) et en Côte d'Ivoire en particulier (Saley, 2003 ; Youanta, 2008 ; N'Go et al., 2010). Pour la plupart des auteurs, ces faibles débits observés dans le domaine rural, pourraient être exclusivement imputés au manque d'études sérieuses qui impliqueraient des outils de pointe tels que, la géophysique et la télédétection avant l'implantation des ouvrages (Faillat, 1986 ; Lasm, 2000).

Selon Mangoua et *al.* (2019) dans le bassin versant du bandama, les faibles débits observés seraient liés à l'utilisation des critères géomorphologiques au détriment de ces méthodes de pointe. Cependant, il est important d'indiquer que pour l'approvisionnement en HV au niveau des villages de moins de 1000 habitants, un débit de 1 m<sup>3</sup>/h est suffisant (Soro, 1987). La forte productivité des forages sur schistes dans la région peut s'expliquer par les structures feuilletées et redressées de ces formations birimienues qui leurs confèrent l'avantage d'être plus transmissifs que les autres roches de la région.

Sous l'angle qualitatif, la majorité des ions dissous sont présents à des concentrations en dessous des normes OMS de potabilité à l'exception du fer et les eaux sont en général faiblement minéralisées. La faible minéralisation des eaux est conforme avec la plupart des travaux d'hydrochimie effectués sur le socle précambrien de la Côte d'Ivoire (Biémi, 1992 ; Savané, 1997 ; Adiaffi, 2008 ; Yao, 2009 ; Soro, 2010). Cette faible minéralisation provient éventuellement de l'hydrolyse des complexes silicatés et des diverses réactions chimiques de production d'ions qui ont nécessairement besoin d'un temps relativement long pour s'accomplir entièrement (Biémi, 1992). L'abondance du fer dans les eaux de la région est liée à la présence de granitoïdes calco-alkalins (granite à biotite) et des schistes du birrimien (schistes métamorphosés riches en biotite et en grenat). La biotite et le grenat caractéristiques de ces roches dans la région d'étude sont très riches en fer (Dolumbia, 1997). L'altération météorique de ces minéraux est donc une source d'abondance du fer dans les eaux souterraines de la région. La présence du fer à ces concentrations pose des inconvénients d'ordre organoleptique. Cela peut se traduire par un regain de couleur et de turbidité après oxydation du fer par l'oxygène de l'air. La plupart des eaux présentant ces fortes teneurs ont un aspect rougeâtre, un mauvais goût et une forte turbidité (matières en suspension élevées). Ce qui très souvent mène au rejet systématique de ces points d'eau par les consommateurs au profit d'autres sources de très mauvaise qualité. Ces points d'approvisionnement (marigots, rivières, mares etc) sont très souvent de potentielles sources de maladies hydriques. La région d'étude a déjà été le foyer de plusieurs maladies liées à l'eau, dont la plus célèbre est l'onchocercose (Poss, 1982). Selon Ajeagah et *al.* (2017), environ 400 enfants âgés de moins de 5 ans meurent par heure dans les pays en voie de développement à cause des maladies d'origine hydrique. En ce qui concerne les excès en fer dans les eaux, l'oxydation chimique et biologique, le traitement associé à une décarbonatation sont des techniques envisageables pour l'élimination du fer dans les eaux souterraines de la zone d'étude (Gnamba et *al.*, 2016).

## CONCLUSION

Cette étude a permis de faire une analyse quantitative et qualitative des ressources en eau souterraine de la région de Katiola. En conclusion nous retenons que la majorité des ouvrages (63%) a une faible productivité qui est indiqué pour un approvisionnement en hydraulique villageoise (HV), destiné aux milieux ruraux de moins de 1000 habitants. La faible productivité des ouvrages peut être imputée à un manque d'études pointues (géophysique, télédétection) avant les campagnes de foration. Elle peut être aussi la conséquence de prospection hydrogéologique basée exclusivement sur de simples considérations géomorphologiques. En outre, les analyses indiquent que les aquifères sur schistes sont plus productifs que ceux sur granite. Ainsi lors des futures campagnes, ces formations géologiques méritent une attention plus accrue dans la recherche des gros débits car elles offrent de réelles potentialités hydrauliques. Au plan hydrochimique, Les eaux souterraines de la région de Katiola sont faiblement minéralisées avec une forte prépondérance des ions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Ca}^{2+}$  dans les eaux. La quasi-totalité des ions dissous sont présents à des concentrations largement inférieures aux directive OMS 2017 de potabilité, à l'exception du fer. L'abondance du fer dans les eaux présente des inconvénients d'ordre ménager et conduit très souvent au rejet systématique de ces points d'eau au profit des sources (marigots, rivières, mares) avec de forts risques de maladies hydriques.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADIAFFI B. (2008). Apport de la géochimie isotopique, de l'hydrochimie et de la télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact socle-bassin sédimentaire du sud-est de la Côte d'Ivoire, Thèse de. Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Paris-Sud Orsay, France, 217p.
- AJEAGA G., BISSAYA R. (2017). Disponibilités des ressources hydriques au Cameroun : Potentialités éco-environnementales et gestion durable par les populations, Larhyss Journal, n°32, pp. 7-22.
- 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 de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody. Abidjan, Côte d'Ivoire, 247 p.
- 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 Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 479 p.
- COULIBALY T.J.H. (2009). Répartition spatiale, gestion et exploitation des eaux souterraines : Cas du département de Katiola, Thèse de. Doctorat ès Sciences Naturelles, Université d'Abobo Adjamé, Côte d'Ivoire, 135 p.
- DOUMBIA S. (1997). Géochimie, géochronologie et géologie structurale des formations birimiennes de la région de Katiola-Marabadiassa (Centre-Nord de la Côte d'Ivoire), évolution magmatique et contexte géodynamique du paléoprotérozoïque, Thèse de. Doctorat ès Sciences Naturelles, Université d'Orléans, France, 202 p.
- EHOUSOU K.M., KOUASSI K.M., KAMAGATE B. (2018). Caractérisation hydrodynamique des aquifères fissurés de la région du Béliér (Centre de la Côte d'Ivoire), Larhyss Journal, n°36, pp. 119-143.
- FAILLAT J.P. (1986). Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest), Thèse de. Doctorat ès Sciences Naturelles, Université Languedoc Montpellier, France, 534 p.
- GNAMBA F.M., ADIAFFI B., OGA Y.M.S., KPAN O.G., SORO T. (2016). Origine du fer dans les eaux souterraines de la région de Katiola, International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 18, No. 3 Nov. 2016, pp. 928-937.
- GOMBERT P. (1997). Variabilité spatiale de la productivité aquifère du socle sahélien en hydraulique rurale. Hard Rock Hydrosystems, International Association of Hydrological Sciences Publication, Mai 1997, N° 241, pp. 113-122.
- HOUNTONDJI B., CODO F.P., AINA M.P., LANMANDJEKPOGNI P.M. (2019). Evaluation des potentialités en eau souterraine de l'aquifère poreux de Monzoundou au Bénin, Larhyss Journal, n°39, pp. 77-92.
- 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 ès Sciences Naturelles, Université de Poitiers, France, 272p.
- MANGOUA M.J., YAO A.B., DOUAGUI G.A., KOUASSI K.A., GOULA B.T.A., BIEMI J. (2019). Evaluation des potentialités en eau souterraines des aquifères fissurés dans le bassin versant du Bandama (Côte d'Ivoire), Larhyss Journal, n°37, pp. 53-74.
- 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, N° 1, pp. 33-42.

- OUEDRAOGO B. (1988). Productivité des forages sur socle cristallin et cristallophyllien en région subsahélienne. Thèse de. Doctorat ès Sciences Naturelles, Université du Maine, Le Mans, France, 252p.
- POSS R. (1982). Etude morpho-pédologique de Katiola (Côte d'Ivoire) Notice explicative N° 94, ORSTOM (Paris), 142 p.
- SALEY M.B. (2003). Système d'informations à référence spatiale, discontinuités pseudo-images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de. Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 209 p.
- 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 d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale, Thèse de. Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, (Côte d'Ivoire), 396 p.
- 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 de. Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, (Côte d'Ivoire), 250 p.
- SORO N. (1987). 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, 243p.
- RGPH. (2014). Recensement Générale de la population et de l'Habitat 2014, Résultats Globaux, 22 p.
- REPCI. (2006). Rapport sur l'état et le devenir de la population de la Côte d'Ivoire, population et développement: défis et perspectives pour la Côte d'Ivoire, 24 p.
- YAO K.T. (2009). Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du Sud- Ouest de la Côte d'Ivoire : cas du département de Soubré, Apport de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie, Thèse de. Doctorat ès Sciences Naturelles Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 216 p.
- 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 ès Sciences Naturelles Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 237 p.