

Application de méthodes géophysiques à l'étude de la productivité des forages d'eau en milieu cristallin: cas de la région de Toumodi (Centre de la Côte d'Ivoire)

[Application of geophysical methods to the study of the productivity of water drillings in crystalline aquifers: case of the Toumodi region (Central Côte d'Ivoire)]

KOUASSI Amani Michel¹, COULIBALY Drissa¹, KOFFI Yao Blaise², and BIEMI Jean²

¹Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro,
Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi),
Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques,
Bp: 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody,
Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM),
Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE),
22 Bp: 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2013 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Ivory Coast, the phenomenon of decline of water drilling is found in rural and urban areas in the crystalline and crystallophyllian basement. The sub-prefecture of the department Angoda Toumodi does not rest (55%). Although several factors such as the condition of equipment, operating conditions, power conditions, the lithological conditions, problems of monitoring of hydraulic and quality parameters, etc., may partly explain this phenomenon, a fundamental question needs to be asked: drilling decline is it not related to a bad implementation of drilling? Thus, this study aims to analyze the productivity of water wells in operation, implemented by the method geomorphic from geophysical measurements. The study area is sub-prefecture of Angoda which lies between longitudes 5°00' and 5°10' West and latitude 6°35' to 6°45' North with an area of 660 Km². It meets the plutonic, volcanic and schistose. The technique chosen is dragged geophysical electrical resistivity of the particular device gradient or rectangle measuring electrical resistivity. The results showed, firstly, poor implementation of some wells on fractures resulting in dieback, and secondly, the proper implementation of further drilling manifested by a specific constant flow. The results show that the method is suitable for the problem. Thus, to overcome the problems of wasting water wells, one must couple the geomorphological and geophysical methods.

KEYWORDS: Geophysical methods, electrical resistivity, gradient or rectangle device, productivity of drilling, Angoda-Toumodi, Ivory Coast.

RESUME: En Côte d'Ivoire, le phénomène de dépérissement des forages d'eau en exploitation est constaté dans les milieux ruraux et urbains au niveau des zones de socle cristallin. Dans le département de Toumodi et particulièrement la sous-préfecture d'Angoda, ce phénomène est observé. L'état des lieux fait ressortir que 55% des forages en exploitation sont concernés par ce problème. Bien que plusieurs éléments tels que l'état des équipements, les conditions d'exploitation, les conditions d'alimentation, les conditions lithologiques, les problèmes de suivi des paramètres hydrauliques et qualitatifs, etc., peuvent expliquer en partie ce phénomène, une question fondamentale mérite d'être posée: le dépérissement des forages n'est-il pas lié à une mauvaise implantation du forage? En effet, les forages ont été implantés à partir d'études géomorphologiques. Etant en milieu de socle où la recherche d'eau est basée sur les fractures hydrauliquement actives, il se pose le problème de la méthode adaptée pour y parvenir. C'est dans ce cadre que cette étude a été menée avec pour

objectif d'analyser la productivité des forages d'eau en exploitation, implantés par la méthode géomorphologique, à partir de mesures géophysiques. Le site de l'étude est la sous-préfecture d'Angoda qui est comprise entre les longitudes 5° et 5°10 Ouest et les latitudes 6°35 et 6°45 Nord et a une superficie de 660 Km². On y rencontre les formations plutoniques, volcaniques et schisteuses. La technique géophysique choisie est le traîné de résistivité électrique notamment le dispositif gradient ou rectangle mesurant la résistivité électrique. L'appareil utilisé pour les mesures est le résistivimètre Syscal R₁+ d'IRIS Instruments. Les résultats obtenus ont mis en évidence, d'une part, la mauvaise implantation de certains forages sur les fractures se traduisant par des dépérissements, et d'autre part, la bonne implantation d'autres forages se manifestant par une constance du débit spécifique. Les résultats obtenus montrent que la méthode utilisée est adaptée à la problématique. Ainsi, pour pallier aux problèmes de dépérissement des forages d'eau en milieu cristallin, où l'élément primordial est la fracture, l'on doit coupler les méthodes géomorphologiques et géophysiques, ce qui réduirait le taux des forages négatifs et optimiserait l'exploitation des forages positifs.

MOTS-CLEFS: Géophysique, résistivité électrique, dispositif gradient ou rectangle, productivité des forages, Angoda-Toumodi, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, de nombreux efforts ont toujours été consentis par les gouvernements pour desservir toutes les populations (centres urbains, péri-urbains et ruraux) en eau de bonne qualité et en quantité suffisante. L'hydraulique villageoise capte les eaux souterraines au moyen de forages situés soit sur le socle, soit sur le bassin sédimentaire côtier. En effet, la Côte d'Ivoire est partagée entre deux milieux géologiques très différents : le socle qui occupe 97,5% et le bassin sédimentaire, 2,5%. Contrairement au milieu continu (bassin sédimentaire) la recherche des eaux souterraines en milieu de socle repose essentiellement sur le repérage des fractures qui sont les témoins des déformations tectoniques. Ainsi, en milieu de socle, un forage qui ne traverse aucune fracture ne peut produire de l'eau. La sous-préfecture d'Angoda dans le département de Toumodi s'inscrit dans ce contexte hydrogéologique. Dans cette zone, il se pose le problème de dépérissement des forages d'eau réalisés pour l'approvisionnement des populations. Cette localité abrite vingt-neuf (29) forages repartis dans onze (11) villages. Treize (13) forages sont en bon état (45%) tandis que seize (16) ont des problèmes de dépérissement (55%). Les informations obtenues auprès de la Direction de l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) montrent que tous ces forages ont été implantés à partir d'études géomorphologiques. Le phénomène de dépérissement constaté se traduit par une diminution progressive ou brusque du débit d'eau dans le forage. Ce dépérissement peut s'expliquer fréquemment par plusieurs éléments tels que l'état des équipements, le sur-pompage, les incrustations, le colmatage par les matériaux fins et solides du terrain (argiles, limons), mauvaise alimentation de la nappe, le manque de suivi périodique des paramètres hydrauliques, insuffisance des paramètres de qualité de l'eau, etc. Les nappes d'eaux souterraines recherchées en milieu de socle sont confinées dans les fractures. Cela pose le problème de choix rationnel des sites d'implantation et de la méthode adaptée pour y parvenir. En effet, si les forages sont mal positionnés sur les fractures, on assiste alors à une mauvaise alimentation du forage en eau qui engendre à long terme le dépérissement du forage. Dans ce contexte, la géophysique qui permet d'imager le sous-sol de manière rapide et non-destructrice, est un choix très approprié pour la résolution des problèmes de cet ordre. En effet, beaucoup de problèmes en hydrogéologie peuvent trouver leurs solutions au moyen de la géophysique [1]-[4]. C'est dans cette optique que nous proposons une étude du fonctionnement des forages en exploitation basée sur les mesures géophysiques dans l'hypothèse que le dépérissement serait dû à une mauvaise implantation du forage (méthode géomorphologique). L'objectif de cette étude est d'analyser la productivité des forages en exploitation, implantés par la méthode géomorphologique, à partir de mesures géophysiques. Cette étude a conduit dans un premier temps à l'interprétation graphique des mesures de terrain (résistivité électrique), préalable à la détermination des minima préparés avant d'envisager une analyse comparative entre ceux-ci et les sites de forage existants.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La sous-préfecture d'Angoda est située au Nord du département de Toumodi dans la partie méridionale du "V" baoulé (Centre de la Côte d'Ivoire). Elle est comprise entre les longitudes 5° et 5°10 Ouest et les latitudes 6°35 et 6°45 Nord avec une superficie de 660 Km² (Fig. 1). Le climat de la sous-préfecture d'Angoda est de type tropical humide avec une alternance de deux (2) saisons pluvieuses et de deux (2) saisons sèches. La hauteur pluviométrique moyenne annuelle est inférieure à 1200 mm. Sous ce climat, la végétation est constituée pour l'essentiel d'une savane arborée, des îlots forestiers par endroit et des galeries forestières le long des cours d'eau.

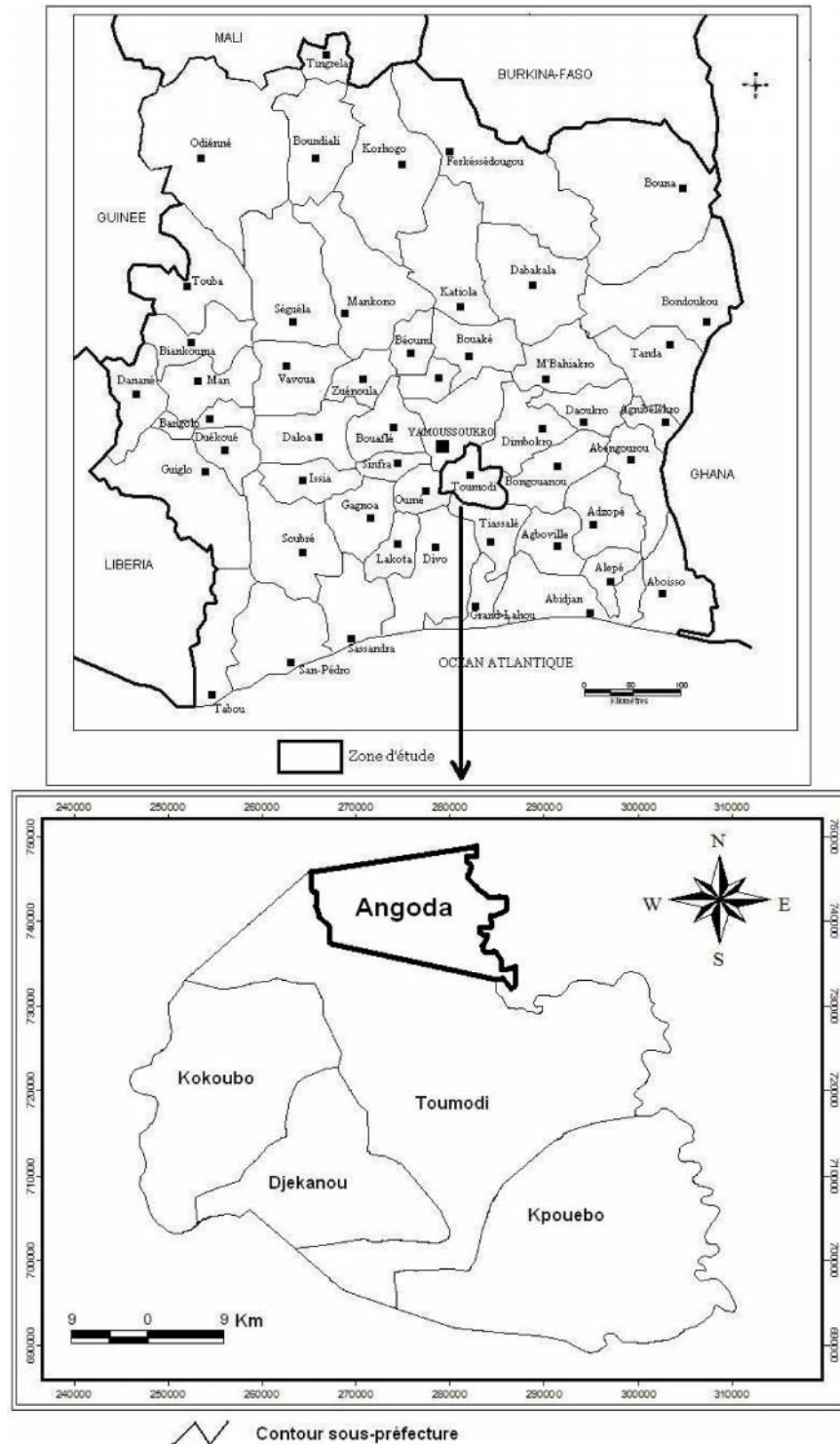


Fig. 1. Présentation de la sous-préfecture d'Angoda (département de Toumodi)

La sous-préfecture d'Angoda est située dans une zone relativement accidentée marquée par la présence de chaînes de collines de structure granitique. Beaucoup de chaînes de montagnes culminent dans cette région dont la plus célèbre est la chaîne baoulé qui affleure dans la sous-préfecture d'Angoda. Une multitude de rivières (Brahiba, Bomba, Bohiro, etc.) qui sont les affluents du fleuve Bandama, arrosent cette zone. Du point de vue géologique, la sous-préfecture d'Angoda appartient au domaine Baoulé-Mossi du craton ouest africain. On y distingue trois (3) groupes de formations géologiques dont certaines sont affectées par un métamorphisme [5]-[6] (Fig. 2). On a les granitoïdes (granites, migmatites, gneiss), les

formations volcaniques (métadolérites, métagabbro, métarhyolites, métadacites, metabasaltes) et le groupe des schistes-grès-quartzites qui forment la majeure partie du substratum de la zone d'étude. Ces formations géologiques sont affectées par des activités tectoniques majeures ayant entraîné une forte fracturation de la zone qui joue un rôle essentiel dans l'hydraulicité du système aquifère [7]. Le modèle d'aquifères rencontré est de type bicouche constitué d'un niveau altéré et d'un niveau fissuré [8].

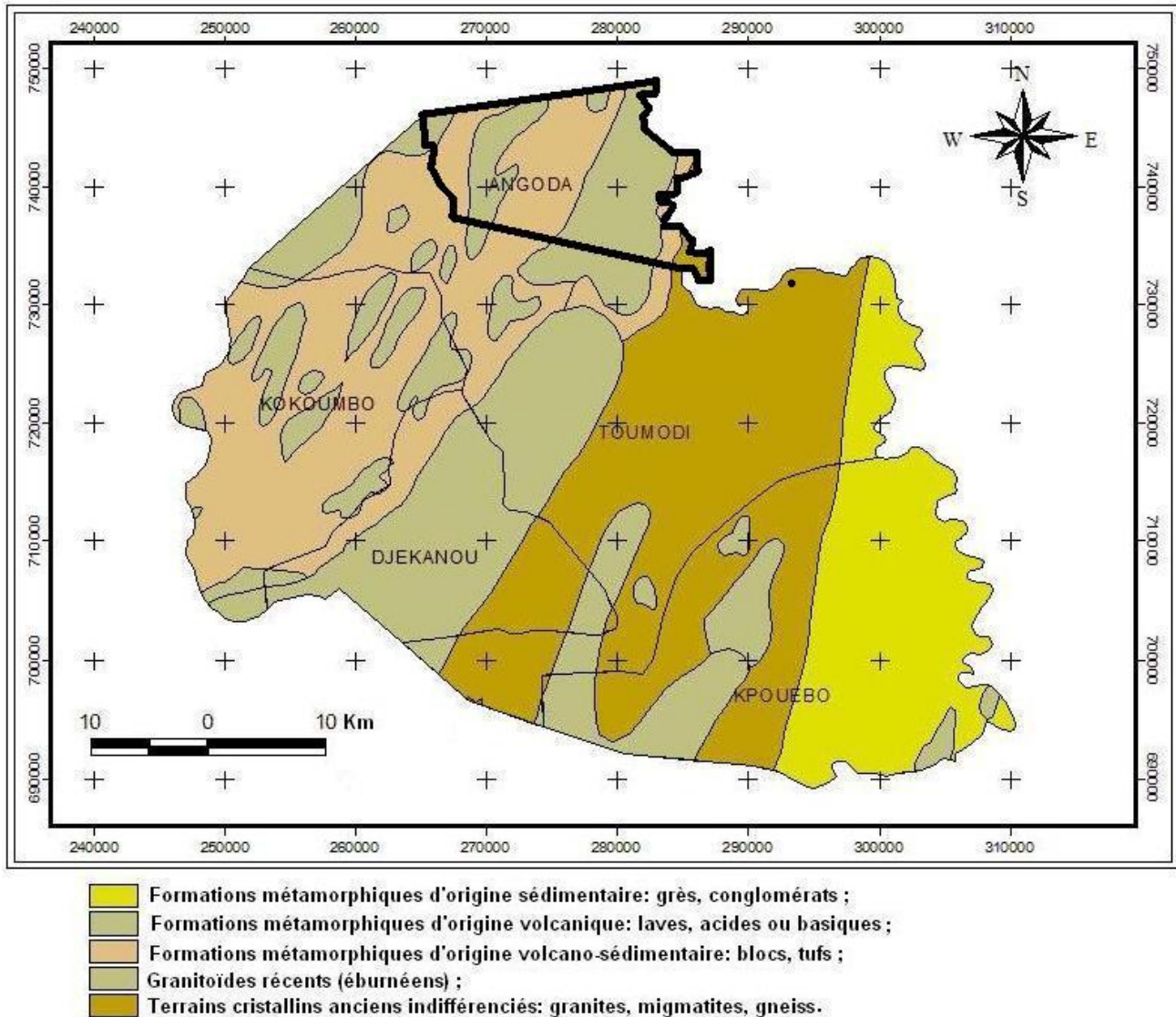


Fig. 2. Carte géologique de la zone d'étude

3 MATERIELS ET METHODES

3.1 DONNEES COLLECTEES

Les données utilisées sont composées de fiches techniques de forages et des mesures de géophysique. Les fiches techniques de forages ont été fournies par la Direction de l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) de Yamoussoukro. Les données géophysiques ont été collectées pendant une mission de terrain effectuée au mois de juin 2009 par une équipe de cinq (5) personnes. Ces données ont été collectées sur sept (7) forages repartis dans cinq (5) villages: Akoué Kouadiakro, Afotobo, Angoda, Assafou et Koffidjékro (Tableau 1). La plupart des forages retenus pour cette étude présentent les signes les plus alarmants au regard du dépérissement selon les rapports de suivi des forages de la Direction Territoriale de l'Hydraulique (DTH) de Yamoussoukro.

Tableau 1. Coordonnées géographiques (X et Y) et altitudes (Z) (m) des forages étudiés

Villages	Forages existants	Coordonnées et altitudes des forages
AkouéKouadiokro	Forage A63	X= 6°37'20''
		Y= 5°01'28''
		Z= 122m
AkouéKouadiokro	Forage A54	X= 6°23'37''
		Y= 5°12'43''
		Z= 105m
Assafou	Forage A8	X= 5°03'50''
		Y= 6°44'10''
		Z= 215m
Koffidjékro	Forage A101	X= 5°03'50''
		Y= 6°42'30''
		Z= 220m
Koffidjékro	Forage A99	X= 5°09'45''
		Y= 6°45'36''
		Z= 210m
Afotobo	Forage A50	X= 5°01'50''
		Y= 6°42'28''
		Z= 180m
Angoda	Forage A68	X= 5°01'25''
		Y= 6°40'43''
		Z= 190m

3.2 MATERIELS DE TERRAIN

Le matériel de terrain est constitué du matériel de tracé des layons et de l'appareillage d'acquisition des mesures. Le tracé des layons a nécessité deux (2) machettes pour dégager les herbes en cas d'encombrement, deux (2) ruban-mètres de cent mètres (100 m) chacun pour les mesures des distances, une (1) boussole pour les mesures des directions des layons et un (1) GPS pour les mesures des coordonnées des forages. Les prises des mesures de résistivité ont nécessité un (1) résistivimètre permettant de fournir le courant aux électrodes et d'enregistrer les mesures électriques, quatre (4) bobines (fils électriques) permettant de connecter le résistivimètre aux électrodes, quatre (4) électrodes permettant de communiquer le courant électrique au sous-sol et quatre (4) marteaux pour enfoncer les piquets et les électrodes dans le sol. L'appareil utilisé pour les mesures est le résistivimètre Syscal R₁+ d'IRIS Instruments. Il a été conçu par le Bureau de la Recherche Géologique et Minière (BRGM) et est commercialisé par IRIS Instruments, entreprise française, basée à Orléans. Le résistivimètre Syscal R₁+ est un instrument performant pour les prises de mesures électriques visant à étudier le sous-sol. Sa faible masse permet un déplacement facile le long des layons sur le terrain.

3.3 METHODOLOGIE D'ACQUISITION DES DONNEES GEOPHYSIQUES

Les méthodes de prospection géophysique sont nombreuses et toutes caractérisées par l'étude des variations des paramètres physiques des roches et des sols. Dans le cas de notre étude, le choix d'une méthode géophysique dépendra de ses possibilités à localiser les fractures susceptibles de contenir de l'eau afin de pouvoir justifier le dépérissement lié aux forages existants. Plusieurs méthodes géophysiques sont utilisées dans l'hydrogéologie du milieu fissuré (méthodes électriques, sismique, etc.). Les méthodes électriques qui sont des méthodes de champ sont bien adaptées à la caractérisation des variations de la géologie et sont donc les mieux indiquées pour l'identification des fractures et de la profondeur du socle [9]. Les fondements des méthodes électriques sont développés par plusieurs auteurs [10]-[11]. La

technique géophysique choisie est le traîné de résistivité électrique notamment le dispositif gradient mesurant la résistivité électrique [12]-[13]. Le dispositif gradient ou rectangle consiste à créer un champ «uniforme» entre des électrodes d'injection (AB), et à déplacer dans la zone où le champ électrique est quasi-uniforme (distance d'environ AB/5 centrée) un petit dispositif de mesures (MN).

Les traînés électriques, effectués de façon horizontale, font ressortir les zones plus conductrices qui sont de faible résistivité et les zones moins conductrices de fortes résistivités. Ainsi, les fractures pouvant contenir de l'eau, seront mises en évidence par les traînés électriques à travers des résistivités faibles. L'anomalie qui est la fracture susceptible de contenir de l'eau sera représentée par des minima préparés. Le tracé des layons se fait perpendiculairement aux thalwegs. En cas d'absence de thalweg, il a été réalisé perpendiculairement à la direction générale des structures géologiques (N60°).

La méthode électrique utilisée dans le cadre de cette étude a consisté à injecter du courant continu dans le sol à l'aide d'électrodes A et B et à en mesurer la différence de potentiel en deux points MN compris entre A et B suivant les profils de traînés électriques (Fig. 3). Ces profils de traînés électriques permettent l'investigation latérale [14]. La méthode des traînés électriques s'est effectuée avec un dispositif gradient dont les électrodes d'injection A et B sont distantes de 450 m et restent à position fixée. Les électrodes de mesure de potentiel M et N sont distantes de 20 m. Le dipôle MN est déplacé de 10 m le long des profils. Sept (7) profils de traînés électriques de 450 m de longueur chacun ont été réalisés, soit un total de trois mille cent cinquante mètres (3150 m). Le paramètre mesuré est la résistivité. La valeur de chaque résistivité obtenue est la résistivité apparente (ρ_a) de la partie du terrain comprise entre les deux électrodes M et N. Cette résistivité est inversement proportionnelle à la conductivité de ce terrain, c'est-à-dire que plus la résistivité est faible, plus la conductivité est élevée. Cependant, on distingue deux types de conductivités à savoir la conductivité métallique qui est liée à la présence de métaux ou de sulfures et la conductivité électrolytique qui est liée à la présence d'ions dans la zone (présence d'eau). On émet l'hypothèse que la conductivité mise en évidence est la conductivité électrolytique tout en minimisant la conductivité métallique. On suppose aussi que les variations de résistivité ne sont pas liées aux variations de la géologie, et à la présence d'argile, étant donné que nous sommes dans un milieu cristallin. Ainsi, les zones à forte conductivité électrolytique ou de faibles résistivités sont les zones à forte concentration d'eau. La technique géophysique appliquée consistera donc à identifier les fractures hydrauliquement actives.

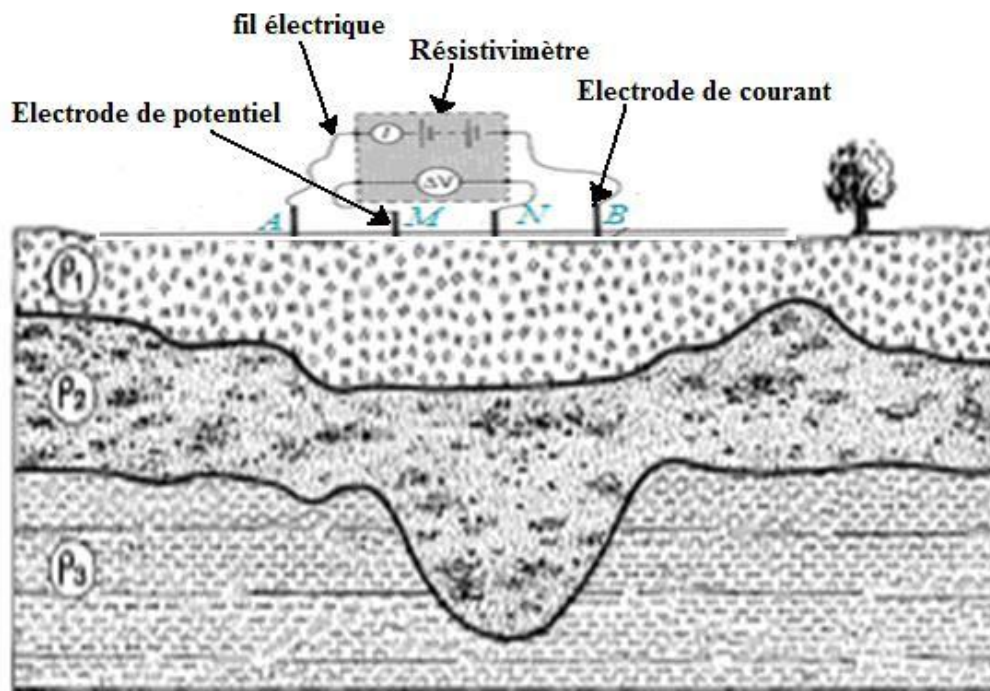


Fig. 3. Principe du dispositif gradient ou rectangle

4 RESULTATS ET DISCUSSION

Les différentes mesures obtenues à partir de la méthode des traînées électriques appliquée aux différents forages ont été représentées sous forme de graphes. En abscisse, on a les différents PK exprimés en mètre (m) qui constituent les points de

mesures et en ordonnée, les différentes valeurs de résistivité apparente exprimées en $\Omega.m$. Les différents résultats obtenus parviennent à deux cas. D'une part, le cas où les forages sont situés hors des zones anormales et d'autre part, le cas où les forages sont situés à l'intérieur des zones anormales. Seul le premier cas a été présenté avec deux sous cas. Le premier sous cas concerne les forages implantés hors des minima préparés et le deuxième sous cas, les forages situés dans la zone de transition des minima préparés.

Ont été retenus pour le premier sous cas, les forages A50 (Afotobo) et A63 (Akoué-Kouadiokro). La courbe de résistivité du forage A50 (Afotobo) montre quatre (4) points de faible résistivité situés aux Pk-80, -50, 0, et 50 mais présente trois (3) zones d'anomalie caractérisées par trois (3) minima préparés (Fig. 4a). Le premier minimum est préparé par trois (3) points situés aux Pk-60,-50 et -40. Le deuxième minimum est préparé également par trois (3) points localisés aux Pk-10, 0 et 10 et enfin le troisième minimum est préparé par les Pk 40, 30 et 60. La courbe d'Afotobo présente donc trois (3) zones favorables à l'implantation de forages d'eau. Ces zones anormales sont représentées sous la forme d'un « V ». Le forage existant est positionné au point Pk 10. Du point de vue géophysique, ce forage est mal implanté. Les points les plus favorables sont au Pk -50 et au Pk 50.

La courbe du forage A63 (Akoué-Kouadiokro) est constituée de cinq (5) parties mettant en évidence trois (3) pics qui se situent à 30 m, 40 m et 80 m du point d'origine (Fig. 4b). Les points de faibles résistivités retenus après analyse de la courbe Fig. 4b sont les Pk30 et Pk75 de valeurs de résistivité égales respectivement à 822,8 $\Omega.m$ et 655 $\Omega.m$. Deux (2) zones anormales ont été mises en évidence. En effet, le premier minimum est préparé par trois points à savoir les Pk 20, 30, et 40 ; tandis que le deuxième est préparé par quatre (4) points à savoir les Pk 60, 70, 80 et 90. Comparativement aux anomalies géophysiques reconnues en Côte d'Ivoire dans la recherche des fractures, la première anomalie a la forme d'un « V » tandis que la deuxième se présente sous forme de « fond de bateau ». Le forage est implanté à 15 m de la zone favorable située au Pk 75. Le forage existant est implanté à près de 90 m du point d'origine c'est-à-dire au sommet de la branche montante de la deuxième zone favorable. Le forage a été donc mal positionné sur la fracture. Si l'on devrait positionner un forage de façon précise, il serait intéressant de l'implanter aux points de faibles résistivités c'est-à-dire aux points d'abscisses $X=30$ m et $X=75$ m.

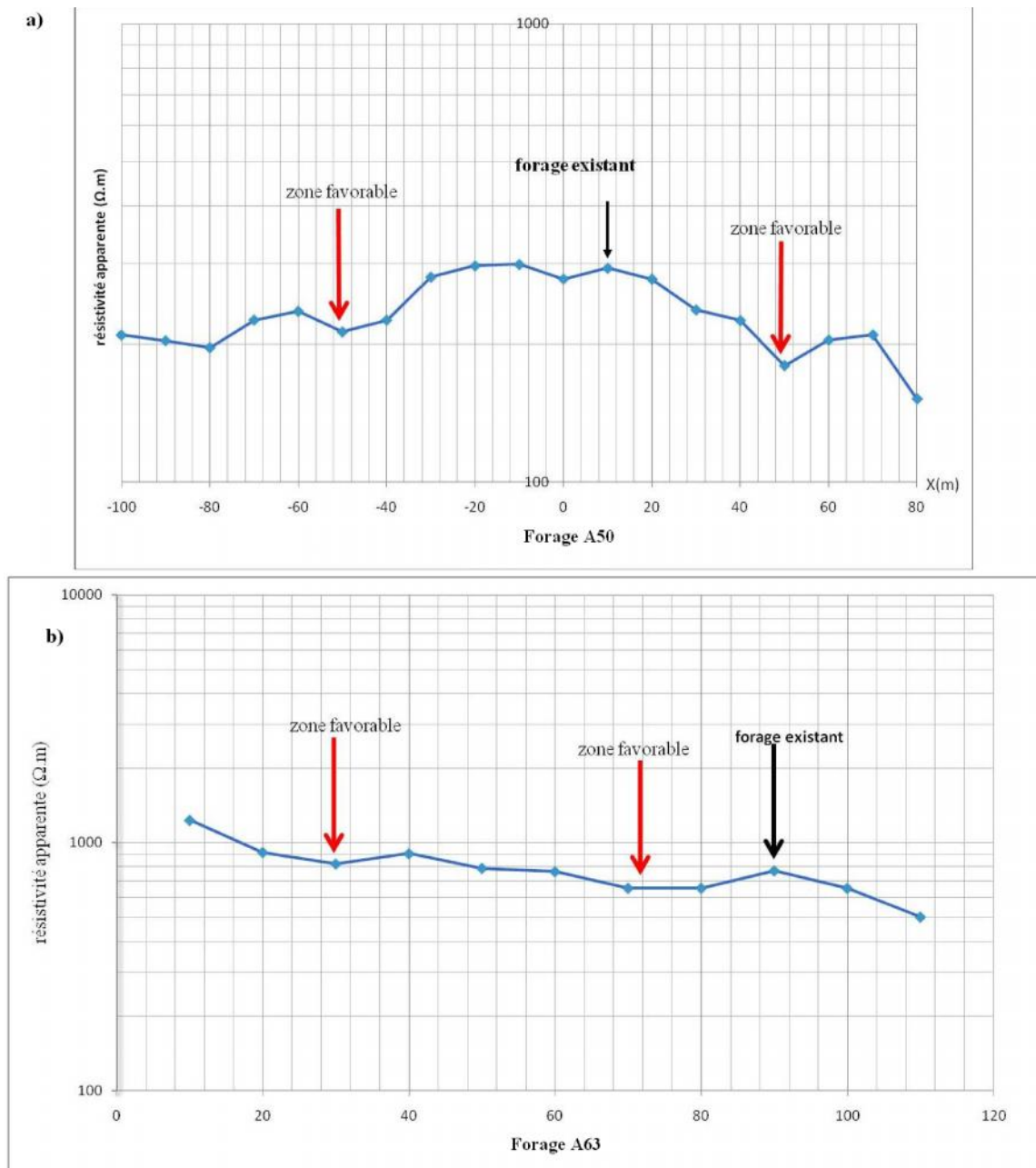


Fig. 4. Courbes de traînés électriques aux environs des forages A50 (a) et A63 de Akoué-Kouadiokro(b)

Les forages A54 (Akoué-Kouadiokro) et A99 (Koffidjèkro) ont été retenus pour le deuxième sous cas. La courbe de résistivité du forage A 54 (Akoué-Kouadiokro) montre une zone anormale qui est mise en évidence par un minimum préparé à partir de trois (3) points à savoir les Pk0, 10 et 20 (Fig. 5a). Cette zone d’anomalie se présente sous la forme d’un « V ». Le point de faible résistivité retenu est le Pk10 dont la valeur est de 543,7 Ω.m. Le forage est implanté à -2 m du point d’origine. Le forage a donc été implanté juste après le minimum préparé qui met en évidence une zone hydrogéologiquement favorable. De façon précise, le forage a été implanté au niveau du complexe résistant, ce qui n’est pas conseillé par la géophysique en matière d’implantation de forage d’eau. Le forage n’a pas été implanté exactement au niveau de l’anomalie (Pk 10). L’anomalie en question a donc été déviée de 12 m.

La courbe de résistivité du forage A 99 (Koffidjèkro) met en exergue la présence d’une zone anormale qui est mise en évidence par une seule zone de faible résistivité définie par un minimum préparé à partir de cinq (5) points à savoir les Pk20, 30, 40, 50 et 60 (Fig. 5b). La plus faible résistivité obtenue au Pk 40 est de 217,7 Ω.m. Cette zone anormale se présente sous

forme de « U » c'est-à-dire sous forme de « fond de bateau ». Le forage existant est positionné au Pk10. Ce forage n'a pas été implanté dans la zone la plus favorable mais sur la pente descendante, moins favorable, traduisant une forte baisse de la résistivité.

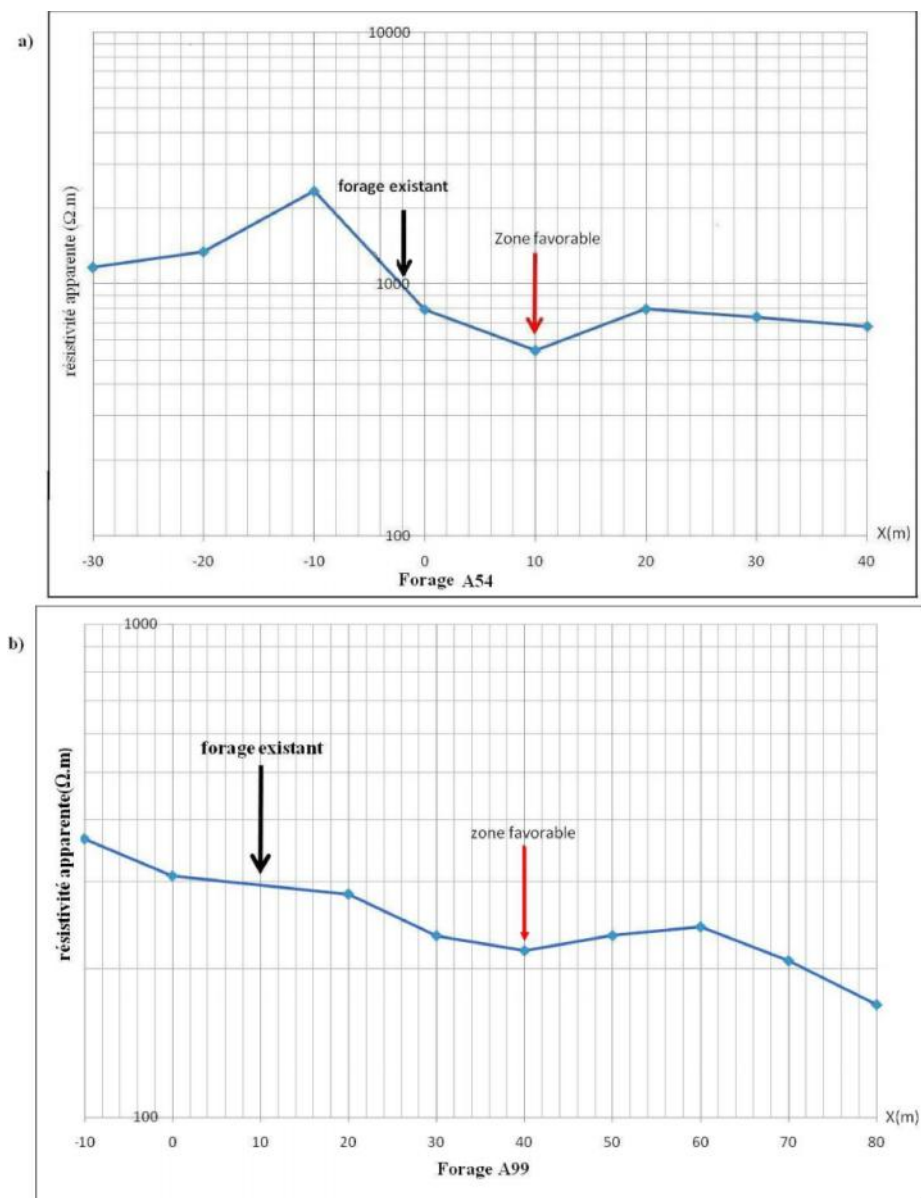


Fig. 5. Courbes de traînée électrique aux environs des forages A54 (a) (Akoué-Kouadiokro) et A99 (b) (Koffidjèkro)

En Côte d'Ivoire, les courbes obtenues à partir des mesures de traînés électriques dans la recherche des eaux mettent en évidence des anomalies se présentant sous formes de "V", "W" et "U" [15]. Dans le cadre de cette étude, ces différentes formes d'anomalie ont été rencontrées. Du point de vue géophysique, ces formes traduisent des zones de faibles résistivités qui peuvent être assignées à des fractures ou des fissures pouvant servir de cadre pour une retenue d'eau dans le socle cristallin [16]-[17]. Ces zones sont favorables à l'implantation des forages d'eau. Dans la prospection d'eaux souterraines en milieu cristallin, lorsque ces anomalies sont déviées, on assiste à de nombreux échecs pendant la phase d'exécution du forage (forage négatif) ou encore à plusieurs problèmes liés au fonctionnement du forage (intermittence, dépérissement et

tarissement). Les études géophysiques entreprises dans la région de Toumodi plus précisément dans la sous-préfecture d'Angoda ont permis de constater trois (3) cas d'implantation des forages existants dans la zone d'investigation :

- i) cas où les forages sont mal implantés ;
- ii) cas où les forages sont bien implantés mais ont un problème de ravitaillement ;
- iii) cas où les forages sont bien implantés et fonctionnent normalement.

La mauvaise implantation d'un forage s'explique par le fait que le forage n'est pas positionné au niveau des zones favorables c'est-à-dire sur les fractures productives. Le cas des forages bien implantés mais qui connaissent un problème de ravitaillement en eau serait dû à un problème d'équipement ou de communication entre les fractures [18]. En ce qui concerne les ouvrages bien implantés et qui fonctionnent normalement, on peut retenir que ceux-ci ont été positionnés sur les fractures les plus productives. Les problèmes de dépérissement et d'intermittence rencontrés au niveau des forages d'Angoda sont dus pour la plupart à la mauvaise implantation des forages (57%). En effet, ces forages avaient été implantés simplement avec la méthode géomorphologie qui se limite aux informations à la surface. Cette étude soulève la problématique de la prospection combinée (géomorphologie-géophysique). Il est donc souhaitable que les implantations commencent par l'approche géomorphologique qui permet de définir la zone la plus favorable (étude globale). La géophysique viendra donc pour préciser les points les plus favorables pour l'implantation du forage (étude détaillée). Nous recommandons donc le couplage géomorphologie-géophysique dans l'implantation des forages en milieu cristallin où l'élément primordial est la fracture, ce qui réduirait le taux des forages négatifs et optimiserait l'exploitation des forages positifs.

5 CONCLUSION

La productivité des forages d'eau en exploitation n'a que très rarement été étudiée par la géophysique en Côte d'Ivoire. La méthodologie mise en œuvre constitue donc une première. Cette étude a permis d'une part, de comprendre la productivité des forages en exploitation affectés par le dépérissement, et d'autre part, de localiser certaines zones favorables en cas de nouvelles implantations de forages. La méthode des traînés électriques basée sur le dispositif gradient utilisé au cours de cette étude, a fourni des résultats satisfaisants. Les résultats de l'étude ont confirmé les différentes formes d'anomalie rencontrées en Côte d'Ivoire à savoir les anomalies sous formes de "V", "W" et "U". Les études géophysiques entreprises ont permis de mettre en évidence trois (3) cas de fonctionnement hydraulique des forages liés à leur implantation. Le premier cas concerne les forages mal implantés qui s'avèrent négatifs à la foration ou qui tarissent très rapidement s'ils ont été positifs. Le deuxième cas concerne les forages bien implantés mais qui ont un problème de ravitaillement, et connaissent les problèmes d'intermittence et de dépérissement. Enfin, le troisième cas est celui des forages bien implantés, c'est-à-dire positionnés sur les fractures hydrauliquement actives, qui fonctionnent normalement, c'est-à-dire qui ont des débits spécifiques plus ou moins constants dans le temps. Pour pallier au problème de dépérissement des forages d'eau en milieu cristallin, où l'élément primordial est la fracture, l'on doit coupler les méthodes géomorphologique et géophysique, ce qui réduirait le taux des forages négatifs et optimiserait l'exploitation des forages positifs.

REFERENCES

- [1] R. Guérin, Y. Méhéni, G. Rakotondrasoa, A. Tabbagh, "Interpretation of slingram conductivity mapping in near-surface geophysics: using a single parameter fitting with 1d model," *Geophysical prospecting*, Vol.44, pp.233-249, 1996.
- [2] R. Guérin, M. Desclotres, A. Coudrain, A. Talbi, R. Gallaire, "Geophysical surveys for identifying saline groundwater in the semi-arid region of the central altiplano, Bolivia," *Hydrological processes*, Vol.15, pp.3287-3301, 2001.
- [3] R. Guérin, "Borehole and surface-based hydrogeophysics", *Journal of Hydrogeology*, Vol.13, pp.251-254, 2005.
- [4] V. Durand, B. Deffontaines, V. Leonardi, R. Guerin, R. Wyns, G. Marsily, J.L. Bonjour, "A multidisciplinary approach to determine the structural geometry of hard-rock aquifers. Application to the plancoet migmatitic aquifer (ne Brittany, w France)," *Bulletin de la Société Géologique Française*, Vol.5, pp.227-236, 2006.
- [5] I. Yace, "Le volcanisme éburnéen dans les parties centrale et méridionale de la chaîne précambrienne de fettekro en Côte d'Ivoire," Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 373 p, 1976.
- [6] Y.B. Daouda, "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, 190 p, 1998.
- [7] K.H. Niamke, M.B. Saley, B.E. N'dri, A. Ouattara, J. Biemi, « 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, N°1, pp.74-93, 2008.

- [8] Y.A. N'go, D.L. Gone, I. Savané, M.M. Goble, "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, N°1, pp.127-144, 2005.
- [9] T. Lasm, "Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: analyse statistique, et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine archéen)," Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, 272 p, 2000.
- [10] M. Schmutz, R. Guerin, O. Maquaire, M. Descloitres, J.J. Schott, A. Albouy, "Apport de l'association des méthodes tdem (time-domain electromagnetics) et électrique pour la connaissance de la structure du glissement-coulée de super sauze (bassin de barcelonnette, alpes-de-haute-provence, france)," *Comptes rendus Académie des Sciences. Paris, sciences de la terre et des planètes / earth & planetary sciences*, 328, 797-800, 1999.
- [11] R. Guérin, C. Panissod, M. Thiry, Y. Benderitter, A. Tabbagh, S. Huet-taillanter, "La friche industrielle de mortagne-du-nord (59) – iii – approche méthodologique d'étude géophysique non-destructive des sites pollués par des eaux fortement minéralisées," *Bulletin de la Société Géologique Française*, Vol.5, pp.471-477, 2002.
- [12] R. Guerin, Y. Benderitter, "Shallow karst exploration using mt-vlf and dc resistivity methods," *Geophysical prospecting*, Vol.43, pp.635-653, 1995.
- [13] R. Guerin, J.M. Baltassat, M. Boucher, K. Chalikakis, P.Y. Galibert, J.F. Girard, V. Plagnes, V.R. Remi, "Geophysical characterisation of karstic networks – application to the ouysse system (poumeyssen, France)," *Comptes rendus Geoscience*, Vol.341, pp.810–817, 2009.
- [14] C. Meyer, "Applications de la géophysique aux recherches d'eau souterraine," *Technique et documentation*, Lavoisier, 183 p, 2001.
- [15] CIEH (Comité Interafricain d'Etude Hydraulique), "L'utilisation des méthodes géophysiques pour la recherche d'eaux dans les aquifères discontinus," *Série hydrogéologie*, 164 p, 2001.
- [16] K.E. Kouadio, "Stratégie de prospection des nappes de fissures par analyse spatiale du potentiel de productivité et optimisation de la profondeur des forages. Cas du Denguélé (Nord- Ouest de la Côte d'Ivoire)," Thèse de Doctorat de l'Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 181 p, 2005.
- [17] K.E. Kouadio, I. Savané, I., T. Lasm, J. Biémi, "Hydrogeology prospecting in crystalline and metamorphic area by spatial analysis of productivity potential," *European journal of scientific research*, Vol.22, N°3, pp.373-390, 2008.
- [18] I. Savané, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire)," Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 396 p, 1997.