

## Profil d'altération et potentiel aquifère en zone de socle cristallin au Sud de la Côte d'Ivoire

### [ Weathering profile and aquifer potential in crystalline basement area south of the Côte d'Ivoire ]

Abé Parfait SOMBO<sup>1</sup>, Kouassi Eric Germain KOUAKOU<sup>2</sup>, Francis William KOUASSI<sup>3</sup>, Aimé KOUDOU<sup>1</sup>, and Goha René BIE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département de Géosciences Environnement et Eau, UFR Environnement,  
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa,  
BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques,  
Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo,  
B.P 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Laboratoire Géosciences et Environnement, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement,  
Université Nangui Abrogoua,  
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

---

Copyright © 2017 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:** This study aims the description of the geometry of the weathering profile and identification of areas of high aquifer potential of geological formations in the region of Sikensi-Tiassalé (south of Côte d'Ivoire). For this reason, the weathering profile models have been established for this region. These models were carried out from drilling data implanted in the study area. The formations in the basement have a vertical structure and a significant horizontal heterogeneity that is allocated to changes in facies. A succession of several layers is observed. Fractured and altered basement is observed in its upper part. Fractures are scarce with depth. Superficial formations overlying the basement have variable thicknesses: To the surface, there is laterite cuirass and topsoil, thicknesses between 0.5 and 3.5 m. Underneath the laterite, there is the sandy clay alterites of thicknesses between 5 and 40 m, in which one can identify horizons of allotérites and isaltérites. The water potential is important in the fractured base because all arrivals of water is only found in this part of the geological formations.

**KEYWORDS:** Weathering, allotérites, isaltérites, water potential, Côte d'Ivoire.

**RESUME:** Cette étude vise la description de la géométrie du profil d'altération et la détermination des zones de fortes potentialités aquifères des formations géologiques de la région de Sikensi-Tiassalé (Sud de la Côte d'Ivoire). Pour cela, des modèles de profils d'altération ont été établis pour cette région. Ces modèles ont réalisé à partir des données de forages implantés dans la zone d'étude. Les formations dans le sous-sol décrivent non seulement une structuration verticale et une hétérogénéité horizontale importante qui est attribuée aux changements de faciès. On observe une succession de plusieurs couches de terrain. On distingue un socle fracturé plus ou moins altérée dans sa partie supérieure. Les fractures deviennent rares avec la profondeur. Le socle est surmonté de formations superficielles d'épaisseurs très variables : plus en surface on observe de la cuirasse latéritique et/ou de terre arable d'épaisseur comprise entre 0,5 et 3,5 m. En dessous, on rencontre les altérites argilo-sableux (5 à 40 m d'épaisseur) dans lesquels on peut distinguer les horizons d'allotérites et d'isaltérites. La

potentialité en eau est importante dans le milieu fracturé du socle cristallin car l'ensemble des arrivées d'eau est uniquement observé dans cette partie des formations géologiques.

**MOTS-CLEFS:** Altération, allotérites, isaltérites, potentialité en eau, Côte d'Ivoire.

## 1 INTRODUCTION

Les régions de socle renferment des aquifères considérés "discontinus", en raison de l'importante fracturation qui affecte la roche mère. Ces réservoirs souterrains sont généralement surmontés d'horizons superficiels altérés de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. L'ensemble constitue un profil d'altération qui peut varier selon la nature du substratum. Du point de vue structural, les aquifères de socle présentent des hétérogénéités verticales importantes (aquifères composites avec plusieurs compartiments ayant des géométries et des propriétés hydrauliques distinctes) ainsi que des hétérogénéités horizontales significatives attribuées aux variations lithologiques. Un des challenges de l'étude hydrogéologique quantitative est la modélisation de l'écoulement dans ces formations, en vue d'en évaluer les actions à mener pour une gestion durable de ces hydrosystèmes [1], [2], [3]. La compréhension de l'hydrodynamisme des aquifères nécessite la connaissance exacte de la structure du sous-sol. L'analyse morphologique et lithologique des processus d'altération de la structure apportent un appui considérable à la reconnaissance de ces réservoirs peu profonds, à la gestion de leur ressource en eau et à la préservation ou la restauration de sa qualité [4]. Cette étude vise la description de la géométrie du profil d'altération et la détermination des zones de fortes potentialités aquifères des formations géologiques de la région de Sikensi-Tiassalé (Sud de la Côte d'Ivoire). Pour atteindre cet objectif les logs de forages de la région sont mis à contribution.

### CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La région de Sikensi-Tiassalé est située au Sud de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 5°32' et 6°23' Nord et les longitudes 4°24' et 5°14' Ouest (Figure 1). Elle abrite de nombreuses localités dont Bécédi, Elibou, Gomon, Katadji, Sahuyé, N'douci, Taabo, Singrobo, Pacobo, Ahérérou, Kodiébourman, Sokrobo, etc. Le relief assez monotone avec une altitude moyenne de 80 m est localement interrompu par des collines. La région appartient à la zone intertropicale et est dominée par des climats chauds équatoriaux humides et tropicaux secs avec des précipitations comprises entre 1200 et 1500 mm de pluies. Ce qui occasionne une végétation abritant une gamme riche et colorée de plantes tropicales. La région est également caractérisée par un réseau hydrographique très dense avec deux grands fleuves au tracé sinueux : le Bandama et N'Zi.

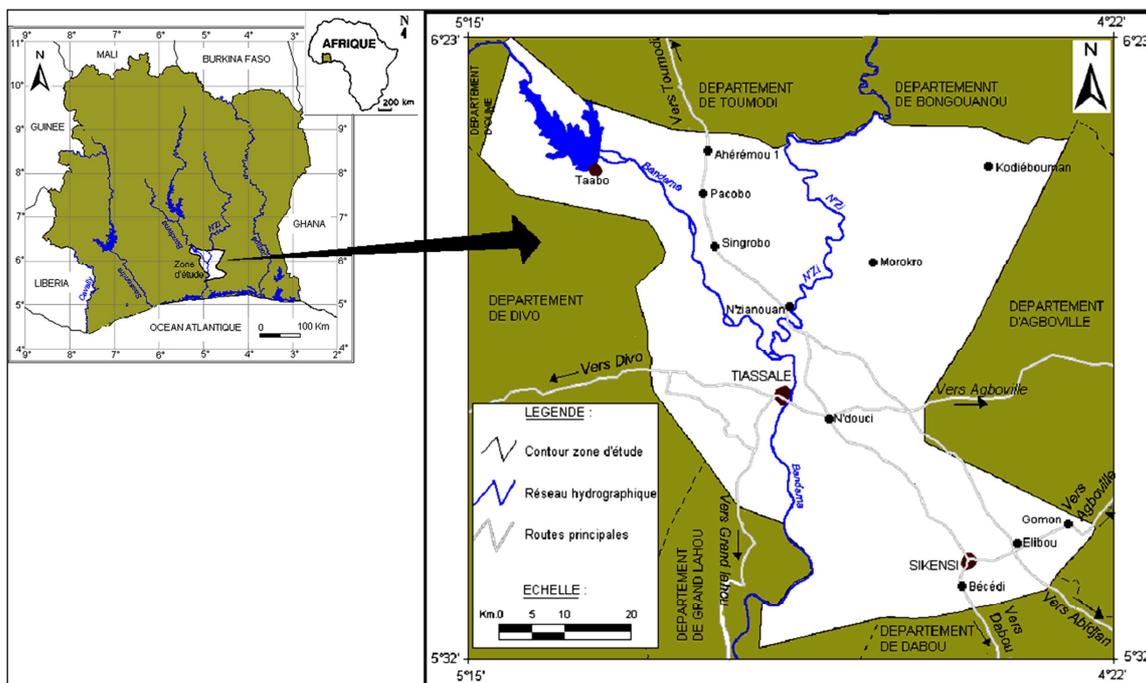


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Sur le plan géologique, Sikensi-Tiassalé appartient au domaine paléoprotérozoïque. Les formations sont essentiellement des métasédiments schisteux (métaarénites et métasiltstones) et des intrusions granitiques (Figure 2). Elles ont subi des modifications postérieures (phénomènes tectoniques et d'altérations) à leur mise en place. La présence de fractures dans le substratum rocheux leur confère des fonctions drainantes. Les fractures affectant ces formations sont principalement d'orientation N-S [5]. Ces modifications engendrent deux types d'aquifères : (i) les aquifères d'altérites, continus, capacitifs et fortement influencés par les variations saisonnières ; (ii) les aquifères de fractures se développant dans le socle cristallin et cristallophyllien d'une importance capitale en hydrogéologie. Dans la plus part des cas l'ensemble altérite-horizon fissuré constitue un aquifère composite qui fonctionne comme un tout, surtout lorsqu'il est exploité au moyen de forages [6].

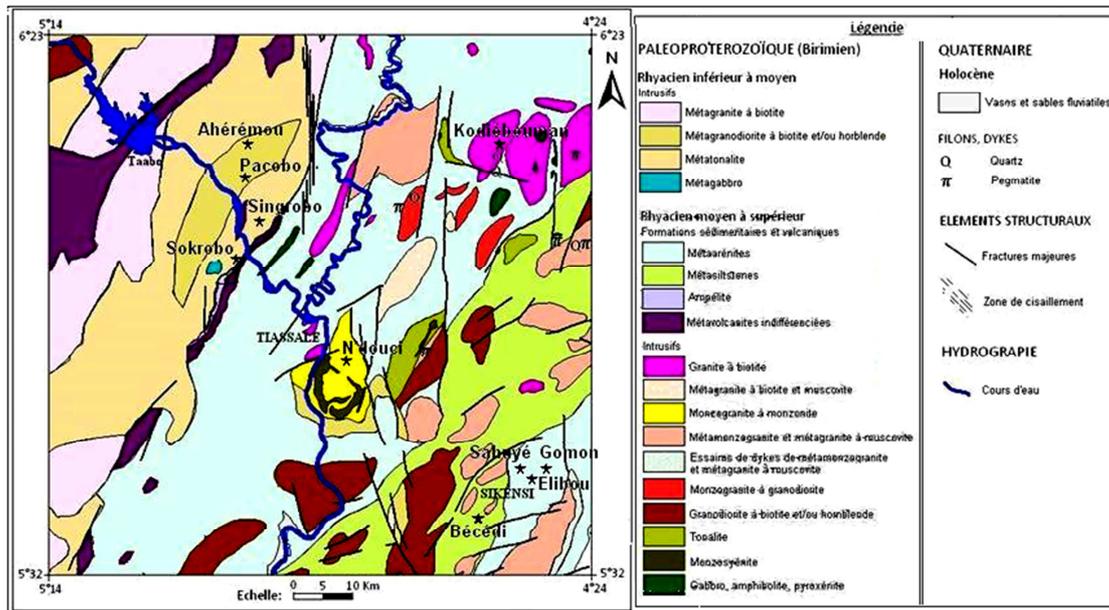


Fig. 2. Carte géologique de la région de Sikensi-Tiassalé

## 2 METHODOLOGIE

L'étude du potentiel aquifère associée au profil d'altération des formations géologiques de Sikensi-Tiassalé a abouti à la réalisation de modèles conceptuels des réservoirs aquifères. Ces modèles sont établis essentiellement sur la base des différents résultats de forages antérieurement exécutés dans la région. L'on a utilisé pour réaliser les blocs diagrammes les différentes épaisseurs d'altérites, les épaisseurs de chaque couche d'altérites, les profondeurs du socle sain, les arrivées d'eau et les débits d'exploitation relevés sur chaque forage.

## 3 RESULTATS

### 3.1 PROFIL D'ALTERATION

Les blocs diagrammes de la figure 3 présentent la géométrie du profil d'altération de certaines zones de la région de Sikensi-Tiassalé. Ces modèles obéissent à une structuration verticale quel que soit la nature du substratum rocheux. Partant de la surface du sol, trois grands horizons se distinguent : (i) la cuirasse latéritique et/ou la terre arable ; (ii) les altérites argilo-sableuses (iii) la frange fracturée du socle.

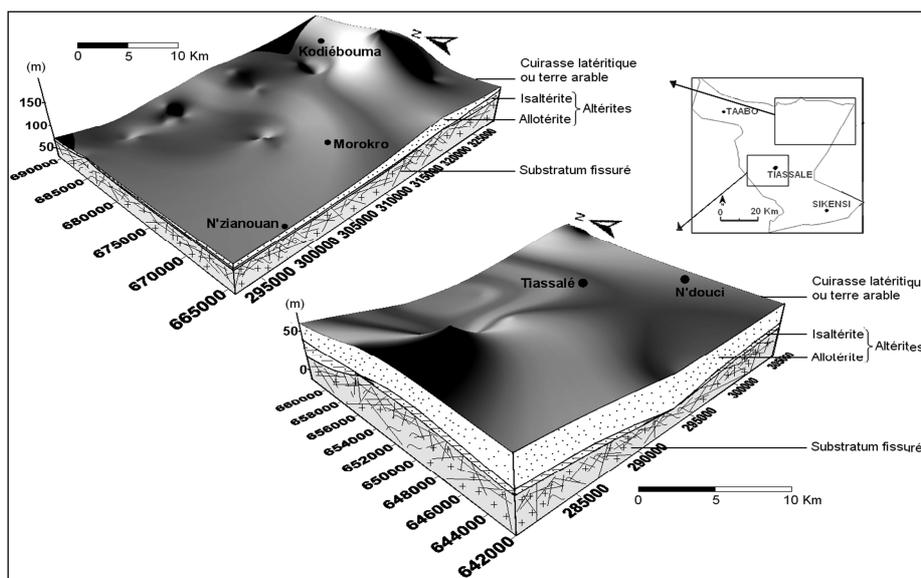


Fig. 3. Blocs diagrammes du profil d'altération du Nord-Ouest et du Centre de la région de Sikensi-Tiassalé.

#### CUIRASSE LATÉRIQUE ET/OU LA TERRE ARABLE

Dans la région de Sikensi-Tiassalé la cuirasse latéritique, dure, parfois compacte et de faible épaisseur (0,5 à 3 m), est généralement observée au niveau des métasédiments schisteux. En milieu granitique, elle est le plus souvent absente. Malgré cette opacité, la cuirasse a une perméabilité assez importante pour favoriser une percolation lente dans les terrains altérés sous-jacents et un écoulement latéral assez rapide vers les axes de drainage. Elle est parfois surmontée d'une très faible couche de sol arable (inférieure à 0,5 m). Dans les bas-fonds, la cuirasse est généralement absente. Elle est remplacée par de la terre arable ou des alluvions qui peut atteindre localement 3,5 m d'épaisseur sur les formations granitiques. Ce terrain cultivable est formé d'un sol humifère chargé de matières organiques et d'une importante quantité de graviers quartzeux remaniés, issus des nombreux filons de quartz arrachés par le transit de matériel le long des versants.

#### ALTERITES ARGILO-SABLEUSES

Les fiches techniques des forages étudiés montrent que les altérites argilo-sableuses forment un ensemble de couches qui présentent plus une succession graduelle que des horizons bien individualisés. Toutefois, à partir de la structure des différentes couches on peut distinguer deux grands horizons dans ces altérites. Le premier groupe, les allotérites plus proche de la surface, possède une structure secondaire dans laquelle la structuration de la roche mère n'est plus identifiable. Le second groupement, les isaltérites conserve plus ou moins la structure de la roche mère.

Sur le substratum schisteux, les horizons d'allotérites ne présentent aucune trace de schistosité et sont caractérisée par des couches d'argiles et d'argiles sableuses, boueuses, de teintes rougeâtres (Figure 4a). Sur le socle granitique c'est une succession de kaolinite blanche et de sables (Figure 4b). Le phénomène de ferruginisation est donc plus intense en milieu de schistes. Des débris grossiers sous forme d'arènes schisteuses ou de blocs granitiques sains, sous la couche isaltérite constituent une zone de transition entre les altérites et la frange fracturée du socle.

L'épaisseur des altérites (allotérites et isaltérites) est très variable dans la région. Elle est plus importante sur les schistes que sur les granites. Elle atteint à moyenne 25 m au niveau des schistes et 15 m sur les granites. Localement elle avoisine 40 m.

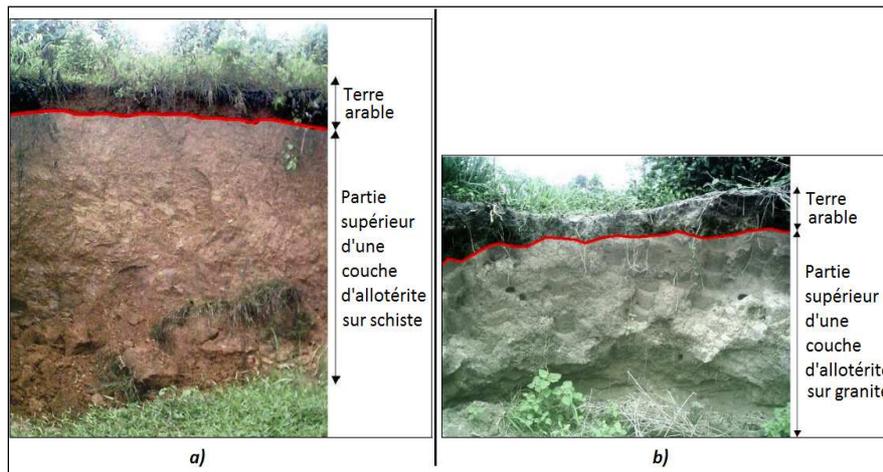


Fig. 4. Coupe d'allotérite. a) sur schiste à Sikensi ; b) sur granite à Tiassalé.

### 3.2 FRANGE FRACTUREE

Il s'agit d'horizons fissurés surmontant le substratum schisteux ou granitique sain. Ces horizons présentent une légère altération qui diminue avec la profondeur. Au-delà de la zone altérée du socle, les fractures alternent souvent avec une zone saine du socle. Dans la région étudiée l'épaisseur de l'horizon fissuré est significative et varie entre 5 et 25 m. La frange fracturée correspond le plus souvent une zone humide ou aux arrivées d'eau.

La figure 5 montre un toit de socle peu accidenté. Dans l'ensemble, l'allure du toit de socle suit plus ou moins la topographie de la surface du sol. On distingue des zones de dépressions dans les environs de Sikensi (Badasso) et à Broukro (S/P de Tiassalé). A la surface du sol, ces dépressions correspondent aux zones de basses altitudes. Elles peuvent constituer des seuils hydrauliques pour les eaux souterraines, car ces eaux peuvent s'y accumuler et par conséquent constituées des sites de captages d'eau souterraine. On observe également des pointements du socle, dont le plus accentué est situé au niveau de Kodiébouman (S/P de Tiassalé).

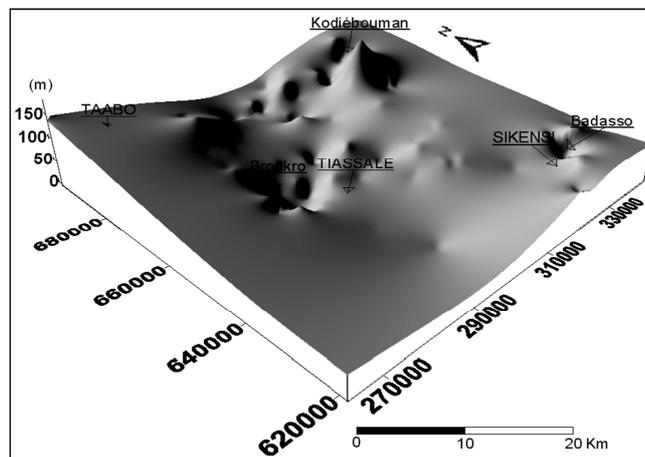


Fig. 5. Morphologie du toit de substratum de la région de Sikensi-Tiassalé

### 3.3 PROFIL D'ALTERATION ET POTENTIEL AQUIFERE

Les arrivées d'eau (AE) enregistrées dans les différents forages de la région ont permis de réaliser des blocs diagrammes des arrivées d'eau par rapport au profil d'altération (Figure 6). Ces modèles permettent de visualiser les zones de fortes potentialités aquifères. L'analyse de ces diagrammes montre que les arrivées d'eau sont signalées uniquement dans la frange fissurée du socle. Aucune arrivée d'eau n'est signalée dans les horizons altérés (allotérites et isaltérites). Les venues d'eau

dans les forages sont donc liées à la fracturation du socle cristallin et métamorphique. La frange fissurée du socle de la région de Sikensi-Tiassalé constitue une zone à potentiel aquifère par rapport aux horizons altérés.

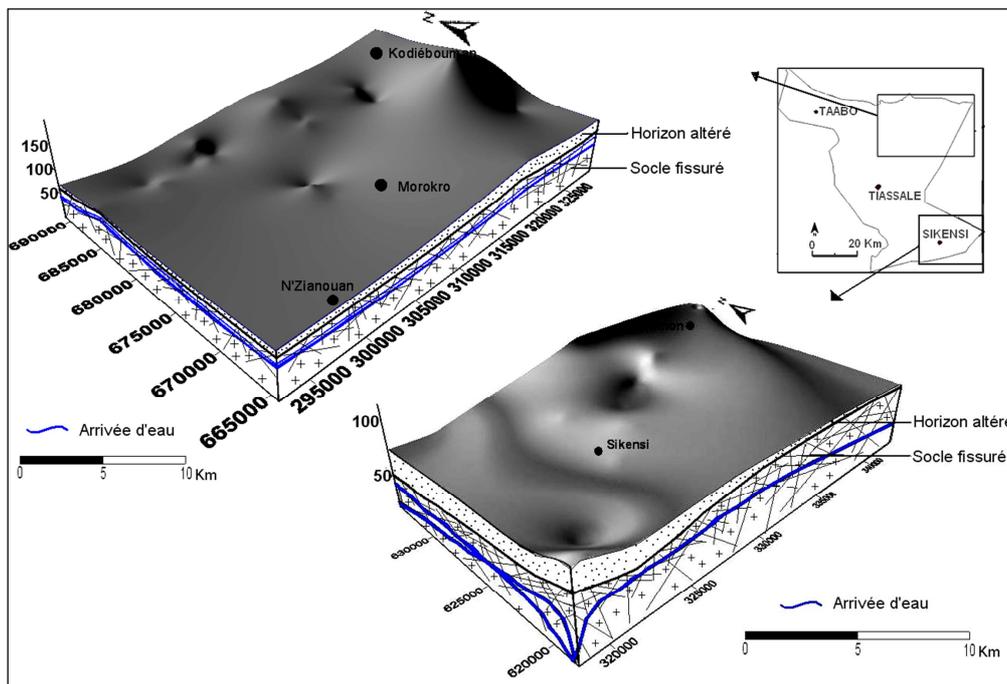


Fig. 6. Modèle conceptuel des arrivées d'eau en rapport avec le profil d'altération

L'étude de la distribution des venues d'eau dans le socle a montré que la profondeur des AE est comprise entre 7 et 80 m. Entre 40 et 50 m ces AE en plus d'être optimales, présentent des débits maximaux ( $Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) (Figure 7). Dans le profil d'altération des formations de la région de Sikensi-Tiassalé les profondeurs 40 à 50 m correspondent à la zone du socle la plus productive. Il faut néanmoins signaler que des débits moins importants (faibles,  $Q < 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  et moyens,  $2,5 < Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) sont également obtenus à ces profondeurs. Les débits faibles à moyens sont aussi observés avant et après l'intervalle de profondeurs 40 à 50 m. Au-delà de 80 m de profondeur la fréquence des arrivées d'eau diminue avec les débits

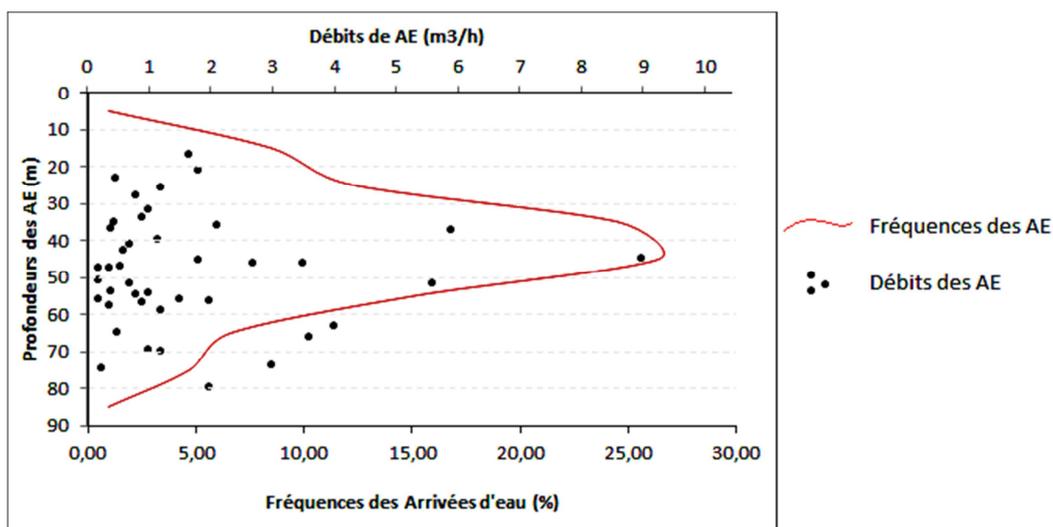


Fig. 7. Distribution des débits et des fréquences des arrivées d'eau avec la profondeur

La profondeur des AE varie aussi en fonction de la nature du substratum. Dans les schistes la fréquence d'arrivées d'eau est optimale à des profondeurs plus importantes (entre 40 et 50 m), qu'en milieu granitique (inférieures à 40 m). Contrairement aux schistes où les débits les plus élevés correspondent aux zones de forte fréquence des AE, dans les granites les zones à fréquence optimale d'AE correspondent essentiellement à des débits faibles de venues d'eau (Figures 8 et 9).

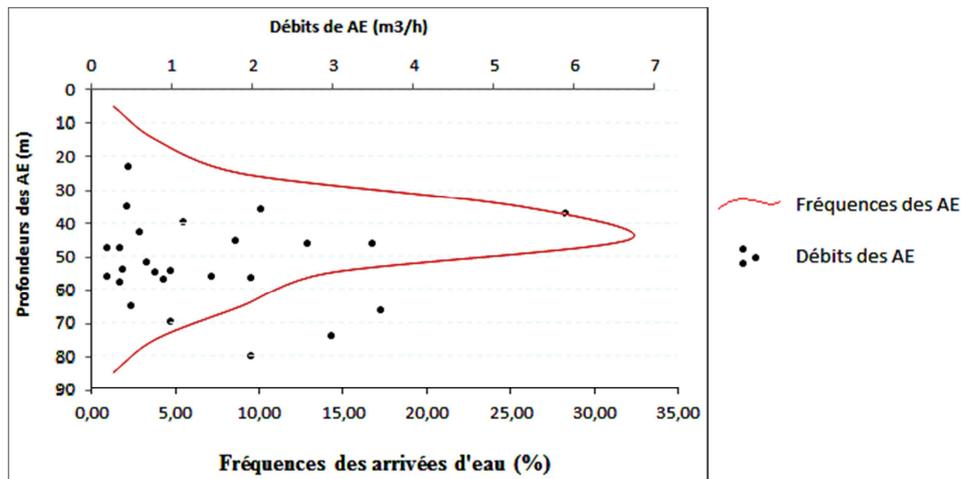


Fig. 8. Distribution des débits et des fréquences des arrivées d'eau avec la profondeur sur les formations de schistes

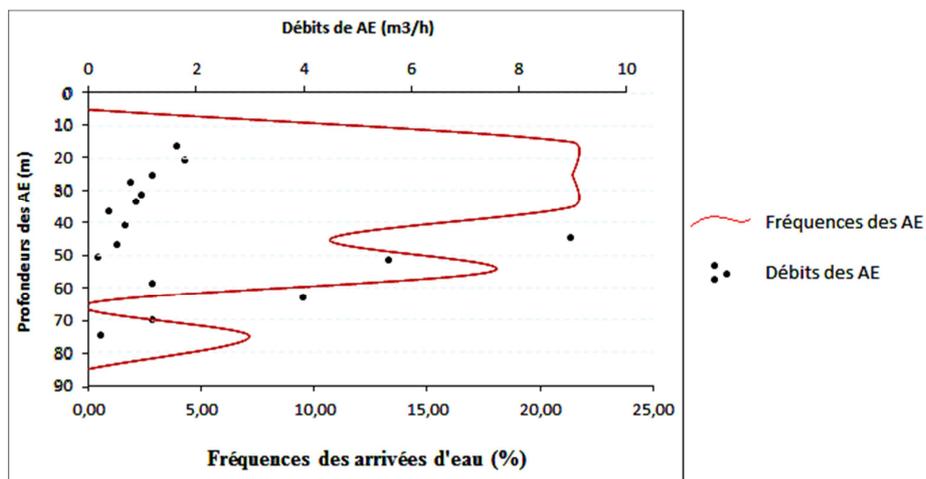


Fig. 9. Distribution des débits et des fréquences des arrivées d'eau avec la profondeur sur les formations granitiques

#### 4 DISCUSSION

Le sous bassement rocheux de la Côte d'Ivoire a subi pendant sa mise en place, plusieurs phases de déformations. Les phénomènes tectoniques qui les accompagnent ont créés un environnement hydrogéologique favorable à l'existence d'aquifères à même d'emmagasiner et de drainer les eaux souterraines aussi bien dans les massifs granitiques que dans les métasédiments schisteux. Ces aquifères, selon [5], [7], [8], [9] sont associés à des formations dont le profil d'altération obéit à une structuration verticale. Comme les résultats obtenus dans le sous-sol de la région de Sikensi-Tiassalé, ces auteurs ont montré que le profil d'altération dans les formations de leurs zones d'étude peut être subdivisé en trois grands horizons distincts dans lesquels on rencontre des aquifères différents. Ce sont : (i) la cuirasse latéritique et/ou la terre arable, (ii) les altérites argilo-sableuses (allotérites et isaltérites) formant les aquifères d'altérites et (iii) la frange fracturée du socle constituant les aquifères fissurés. Pour [4], ces différents horizons constituent un aquifère composite, dont les propriétés hydrogéologiques sont optimales dans les secteurs où les trois compartiments décrits sont présents et où ils combinent au mieux leurs caractéristiques hydrodynamiques. Ils jugent que du fait de la connexion entre les aquifères superficiels (altérites) et les aquifères profonds (fracturés), leurs modalités d'alimentation peuvent être associées car c'est le couplage des altérites et de leur substratum fissuré qui forme des systèmes aquifères exploitables. Pour [10], ils sont généralement de

faible étendue et leurs limites sont mal définies. Cependant, ils sont présents dans tous les massifs de terrains de socle où leur organisation est le plus souvent subordonnée aux structures hydrographiques.

Dans les aquifères décrits, l'épaisseur d'altération en milieu granitique est généralement moins importante que celle des formations schisteuses. Pourtant les horizons altérés au-dessus des différentes roches de la zone d'étude subissent les mêmes cycles d'altération et d'érosion durant les fluctuations climatiques. Selon [9], cette inégalité d'épaisseurs est liée essentiellement à la nature de roche mère. Il pense que la différence d'épaisseur entre les profils d'altération de ces deux types de formations est liée d'une part à l'aptitude au cuirassement de la roche en place (ou du profil d'altération associé) et d'autre part au démantèlement des profils d'altération cuirassés. En effet, les observations de terrain ont révélées que les altérites qui se forment sur les formations granitiques sont généralement de nature arénitique. Elles sont moins cuirassées que sur les schistes. Elles sont donc moins résistantes au démantèlement que les altérites issues des schistes. Les altérites au niveau des formations granitiques subissent plusieurs cycles de démantèlement au cours des épisodes d'érosion. Ce démantèlement est favorisé par l'absence d'horizons cuirassés dans le profil. Elles manquent donc d'horizons superficiels résistants au processus d'érosion. [5] ajoute que la cuirasse joue un rôle important dans la morphologie de la surface du sol. Elle constitue une zone de plus grande résistance à l'érosion mécanique et chimique, par rapport aux manteaux d'altération non protégés et imprime un caractère accidenté au paysage. Il soutient également que les forts horizons altérés observés en milieu de schistes peuvent être dus à la capacité des schistes à s'altérer plus facilement par rapport aux granites. Par manque d'affleurements, les altérites peuvent être un signe indicatif au cours d'une prospection géologique quant à la détermination de la nature de la roche sous-jacente ([11], [5]). C'est le cas, notamment des argiles sableuses blanchâtres observés sur l'axe Tiassalé-N'douci, témoignant la présence de formations granitiques. Les sables rougeâtres rencontrés à Sikensi sont témoins de la présence de formations schisteuses.

Les aquifères d'altérites et de fractures offrent des ressources en eau modestes mais assez largement réparties qui servent à l'alimentation en eau rurale ou pastorale voire à l'irrigation localisée. Ces aquifères entretiennent aussi les réseaux hydrographiques pérennes. La présence d'une nappe superficielle est essentiellement due aux nombreux espaces interstitiels des particules de roches qui quand ils communiquent permettent à l'eau de circuler à travers la roche ([4], [7], [12]). Elle est également commandée par la morphologie du sol et par la puissance des formations altérées. Les altérites assurent en effet une fonction de stockage des eaux souterraines. Pour [13] les stocks d'eau de ces réservoirs dépendent de leur volume (épaisseur et extension spatiale), de la perméabilité verticale des horizons superposés qui contrôle l'infiltration, et du niveau piézométrique des altérites. Elles constituent le premier réservoir contenant généralement une nappe libre et qui est plus accessible au monde paysan. La présence d'une nappe profonde est influencée par les fractures affectant le socle. La productivité des aquifères profonds dépend en partie de la nature des faciès géologiques, de leur minéralogique et des phénomènes tectoniques survenus au cours de l'histoire géologique de la région ([7], [12]). Elle dépend aussi de l'importance des formations superficielles.

L'importante épaisseur d'altérites aura un effet favorable sur la fonction capacitive de l'aquifère d'altérites (et donc la pérennité du débit) ainsi que sur la fonction drainante de l'aquifère de fissures en relation avec les fractures majeures (ce qui conditionne le débit maximum instantané) ([9]). Une importante épaisseur des altérites peut devenir aussi 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. L'accroissement des épaisseurs d'altérites contribuera à obstruer les voies de circulation des eaux dans les fractures. Ce qui constitue un frein à l'alimentation des nappes de fissures ([7], [14]). Avec des épaisseurs d'altérites très faibles, la fonction capacitive, au niveau de l'aquifère superficiel, n'est pas assurée ([11]). La région de Sikensi-Tiassalé, dans son ensemble, est dominée par de faibles épaisseurs d'altération (inférieures à 15 m). En effet, les faibles épaisseurs d'altérites ne peuvent emmagasiner normalement qu'une très faible quantité d'eau et exposeraient la nappe aux fluctuations saisonnières.

Les eaux souterraines sont disponibles et exploitables dans les formations schisteuses et granitiques. Selon les relevés de forages de la région Sikensi-Tiassalé, les débits forts s'observent aussi bien dans les granites que dans les schistes. Cependant, [7], [15], [16], [17], respectivement dans les régions de la Mé, Marahoué, Dabou, Aboisso et Agboville ont montré que dans les forages réalisés dans les schistes les débits sont généralement supérieurs à ceux réalisés dans les granites. Cette productivité est sans doute liée aux fractures créées par l'ouverture des plans de schistosité de la roche, surtout dans le voisinage des intrusions granitiques. Ces fractures peuvent constituer des collecteurs en eau utilisable et jouer un rôle hydraulique important dans les formations schisteuses. Sous certaines conditions (plans de schistosité fracturées et redressées à la verticale) ces formations deviennent également très productrices ([5], [7]). La présence de formations filoniennes (quartz et pegmatite) traversant le socle schisteux constitue également un facteur non négligeable de productivité ([5]). Le fait qu'une formation géologique (granite) ait été déclarée peu productive qu'une autre (schiste) n'exclut pas la possibilité de rencontrer des débits importants dans celle-ci. En revanche, on pourrait également rencontrer dans les roches dites très productrices des débits qualifiés de faibles ([18]).

Dans les forages de la région de Sikensi-Tiassalé les débits forts sont les plus représentés. Le pourcentage élevé de ces débits peut s'expliquer par l'utilisation certaine, dans ces deux dernières décennies d'une prospection hydrogéologique combinant les méthodes géophysiques, de photo-interprétation et/ou de télédétection ([5]). Ces outils modernes adaptés à la recherche de fractures souterraines en zone de socle sont utilisés pour révéler la position exacte au sol de la fracture susceptible de fournir un gros débit. Les débits faibles enregistrés peuvent être attribués aux forages implantés seulement sur des considérations géomorphologiques, ne reflétant pas le plus souvent la réalité du sous-sol. Ces débits peuvent également être dus à la présence d'un horizon très argileux, restituant faiblement l'eau emmagasinée. L'absence de zone pouvant stopper la descente progressive des argiles superficielles dans les fissures peut considérablement réduire les débits dans les forages, suite à un colmatage des fissures.

## 5 CONCLUSION

L'étude des logs de forages dans la région de Sikensi-Tiassalé a permis de mettre en évidence un profil d'altération qui obéit à une structuration verticale. Partant de la surface du sol le profil est constitué : (i) de cuirasse latéritique et/ou de terre arable ; (ii) d'horizons argilo-sableux ; (iii) d'une frange fissurée du substratum. L'ensemble repose sur un socle sain. Les nappes d'eau souterraine captée à partir des forages réalisés dans la région de Sikensi-Tiassalé sont contenues dans les horizons fissurés quel que soit la nature du substratum. En effet, les arrivées d'eau sont signées uniquement dans cette partie du sous-sol. La frange fracturée du socle constitue une zone à potentiel aquifère important.

## REFERENCES

- [1] S. S. D. Foster, "African groundwater development, the challenges for hydrogeological science, challenges in African Hydrology and water resources" (*Proceeding of the Harare Symposium, July 1984*). IAHS publ., no. 144, pp. 3-12, 1984.
- [2] J.C. Maréchal, B. Dewandel, and K. Subrahmanyam, "Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered fractured layer of a hard rock aquifer" *Water resour. Res.*, 40, W11508, doi: 10.1029/2004WR003137, 2004.
- [3] P. H. Giao, A. Weller, D.H. Hien, and K. Adisornsupawat, "An approach to construct the weathering profile in hilly granitic terrain based on electrical imaging", *Journal of Applied Geophysics* no. 65, pp. 30-38, 2008.
- [4] P. Lachassagne, et R. Wyns, "Application à la prospection et la gestion de la ressource en eau", *Géosciences*, no.2 septembre 2005, pp. 32-37, 2005.
- [5] A. P. Sombo, "Application des méthodes de résistivités électriques dans la détermination et la caractérisation des aquifères de socle en côte d'ivoire. Cas des départements de Sikensi et de Tiassale (sud de la cote d'ivoire)", *Thèse unique de doctorat*, Université de Cocody, Côte d'Ivoire. 203p, 2012.
- [6] B. Dewandel, P. Lachassagne, R. Wyns, J. C. Marechal, and N. S. Rishnamurthy, "A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering", *Journal of Hydrology*, Vol. 330, N°1-2, pp. 260-284, 2006.
- [7] J. Biémi, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Sub-sahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)", *Thèse d'Etat*, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 480 p, 1992.
- [8] I. Savané, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest) de la Côte d'Ivoire). Apport de la télédétection et un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. *Thèse d'Etat*, Université de Cocody, 396 p, 1997.
- [9] M. Koïta, "Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimbokro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire)", *Thèse unique de doctorat*, Université de Montpellier II. 220 p, 2010.
- [10] J. Margat, *Les eaux souterraines dans le monde*. BRGM éditions, 2008.
- [11] D. Same, "Hydrogéologie en zone de socle cristallin et cristallophyllien du Sénégal oriental. Application de la méthode électrique 1D et 2D à la localisation et à la caractérisation des aquifères de batholites de Saraya et ses environs, *Thèse Doctorat 3ème cycle*, Université Cheik Anta Diop, Dakar, 133 p, 1999.
- [12] M. Youan Ta, "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 côte d'Ivoire), *Thèse de doctorat*, Université de Cocody, 237p, 2008.

- [13] K. T. Yao, "Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du sud-ouest de la côte d'ivoire : cas du département de Soubré. Apports de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie", *Thèse de Doctorat*, Université de Cocody (Côte d'Ivoire) et du Conservatoire National des Arts et Métiers (France), 284 p, 2009.
- [14] J. P. Faillat, "Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest)", *Thèse*, Université Languedoc (Montpellier), 534 p, 1986.
- [15] N. Soro, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Sud-Est de la Côte d'Ivoire (bassin versant de la Mé)", *Thèse de Doctorat. 3è cycle*, Université de Grenoble 1, Institut Dolomieu, 239 p, 1987.
- [16] B. Dibi, D. Inza, B. T. A. Goula, I. Savané et J. Biémi, "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, pp22-31, 2004.
- [17] Y. A. N 'go, D. L. Goné, I. Savané et 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* no.1, pp127–144, 2005.
- [18] T. Lasm, F. Kouame, M. S. Oga, J. R. P. Jourda, N. Soro et H. B. Kouadio, "Etude de la productivité des réservoirs fracturés des zones de zones socle. Cas du noyau archéen de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire)", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, no.5 pp8, 2004.