

Apport de la géophysique à la caractérisation des terrains géologiques à l'exutoire de plans d'eau : Cas du bassin versant du lac Bam au Centre Nord du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest

Césard MILLOGO^{1,2*}, Christian BONOGO^{2,3}, Issan KI^{1,2} et Samuel NAKOLENDOUSSE²

¹ *Université Daniel OUEZZIN COULIBALY, UFR Sciences Appliquées et Technologies, Département de Biologie Générale, BP 139, Dédougou, Burkina Faso*

² *Université Joseph KI-ZERBO, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire Géosciences et Environnement (LaGE), Ouagadougou, Burkina Faso*

³ *Université Nazi BONI, UFR Sciences de la Vie et de la Terre, Département de Géologie, 01 BP 1091, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso*

(Reçu le 27 Décembre 2024 ; Accepté le 28 Janvier 2025)

* Correspondance, courriel : cesradmillogo@yahoo.com

Résumé

L'étude montre l'apport de la géophysique des résistivités électriques à la caractérisation des terrains géologiques à l'exutoire de plan d'eau. Pour y parvenir, des investigations géophysiques ont été menées à travers des profils de résistivité à l'exutoire de trois plans d'eau majeurs reposant sur des lithologies différentes. Les résultats montrent la présence de couches d'altération et de franges fissurées plus ou moins importantes selon la nature lithologique des terrains. Les fonds des plans d'eau ayant un recouvrement alluvionnaire sont marqués par des anomalies relativement conductrices sur les profils de traînés réalisés. L'infiltration des eaux n'est pas la cause principale des assèchements observés au vu de la faible fracturation des terrains sous-jacents. L'infiltration joue un rôle mineur dans l'assèchement rapide des plans d'eau en saison sèche contrairement à l'évapotranspiration et les usages agricoles. Cette étude permet de mieux comprendre les dynamiques hydrologiques locales et offre des bases pour une gestion plus durable des ressources en eau dans la région.

Mots-clés : *Infiltration, aquifères, altération, plan d'eau, résistivité géoelectrique.*

Abstract

Contribution of geophysics to the characterization of geological terrain at the outlet of water bodies : Case of the Bam Lake watershed in North-Central Burkina Faso, West Africa

The study shows the contribution of electrical resistivity geophysics to the characterisation of geological terrain at the outlet of water bodies. To achieve this, geophysical investigations were carried out using resistivity profiles at the outlets of three major water bodies based on different lithologies. The results show the presence of alteration layers and fissured fringes of varying extent depending on the lithological nature of the ground. The bottoms of water bodies with an alluvial overburden are marked by relatively conductive

anomalies on the train profiles. Water infiltration is not the main cause of the drying up observed, given the weak fracturing of the underlying ground. Infiltration plays a minor role in the rapid drying up of water bodies in the dry season, unlike evapotranspiration and agricultural use. This study provides a better understanding of local hydrological dynamics and offers a basis for more sustainable management of water resources in the region.

Keywords : *infiltration, aquifers, alteration, water body, geoelectric resistivity.*

1. Introduction

Les eaux souterraines et les eaux de surface, bien que distinctes dans leur localisation et leurs caractéristiques, sont intimement liées dans le processus du cycle hydrologique. Les échanges entre ces deux réservoirs d'eau se produisent à travers des processus complexes, tels que l'infiltration, la percolation et l'évaporation [1 - 3]. La géomorphologie globale du Burkina Faso reflète une ancienne pénéplaine recouverte par une couverture altérée dont l'épaisseur est principalement contrôlée par la lithologie [4]. 80 % de cette couverture repose sur les formations du socle, constituées majoritairement par les granitoïdes et les roches vertes. Cet ensemble a été soumis aux phénomènes tectono-métamorphiques dont l'orogénèse éburnéenne (2150 - 2095 Ma) [5]. Ces roches comprennent donc des fissures décimétriques jusqu'à des fractures qui peuvent atteindre des centaines de km. Elles forment des aquifères discontinus en lien hydraulique direct par endroit avec les eaux de surface, ce qui favorise une recharge importante localement [6, 7]. Les estimations locales peuvent atteindre 250 mm/an [8]. En outre, de l'altération très marquée en climat chaud et humide, résulte un recouvrement d'altérites dont l'épaisseur varie spatialement en fonction des faciès géologiques [9]. Dans le bassin versant du lac Bam, nous avons trois (03) principaux plans d'eau que sont le lac Bam, le barrage de Rollo et le lac de Bourzanga. La satisfaction des besoins en eau pour les cultures de contre saison (saison sèche) repose essentiellement sur ces trois (03) sources. Cependant, ces dernières tarissent précocement en saison sèche, limitant ainsi la productivité et provoque la désaffectation des paysans.

Au regard de ce constat, une étude s'avère nécessaire pour comprendre le tarissement précoce de ces plans d'eau. Cette étude est basée sur l'hypothèse que les discontinuités lithostructurales susceptibles de faciliter l'infiltration des eaux de surface vers la profondeur pourraient être l'une des causes de l'assèchement des plans d'eau si elles sont très importantes et communiquent directement avec ceux-ci. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons réalisé des traînés géophysiques de résistivité électriques à l'exutoire de ces trois plans d'eau reposant sur trois types de terrains différents que sont les granitoïdes, les schistes et les basaltes. Les méthodes géophysiques ont été utilisées dans de nombreuses études pour la caractérisation géoélectriques des terrains en Afrique de l'ouest [10 - 13] et ailleurs dans le monde [14 - 18]. En Côte d'Ivoire par exemple, des travaux ont montré des dissimilitudes au niveau du nombre de couches, de l'épaisseur de chaque couche, de l'épaisseur totale d'altération et de la position des fractures dans le sous-sol entre certaines courbes de sondage et des logs de forages [13]. Il en est de même pour des travaux dans la région du centre nord au Burkina Faso [7]. Ces résultats mettent en lumière l'importance de l'utilisation des méthodes géophysiques dans la caractérisation géoélectriques des terrains. L'objectif de cette étude est de caractériser à travers la géophysique les terrains à l'aplomb des exutoires des plans d'eau situés dans le bassin versant du lac Bam. Il s'agira de façon spécifique de déterminer des zones conductrices et d'estimer les épaisseurs des terrains. L'ensemble des résultats obtenus seront d'un grand apport aux praticiens du domaine de l'eau dans les prises de décision pour une gestion durable de la ressource.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du lac Bam se situe dans le Centre Nord du Burkina Faso. Il est localisé à environ une centaine de kilomètre au Nord de la capitale Ouagadougou. Le bassin est repéré par les coordonnées 13°15 et 13°60 de latitudes Nord, 1°50 et 1°15 de longitudes Ouest. Du point de vue administratif, la zone couvre partiellement les départements de Kongoussi, de Rollo et de Bourzanga. Le lac Bam est l'une des plus grandes réserves naturelles d'eau du Burkina Faso. Drainant un bassin versant de 2623 km² de surface sur 256,6 km de périmètre [19], il mesure une vingtaine de kilomètres de long en moyenne et moins d'un kilomètre de largeur (*Figure 1*). La forme particulière du lac Bam est due au fait qu'il épouse le lit d'un affluent très épisodique du Nakanbé [20].

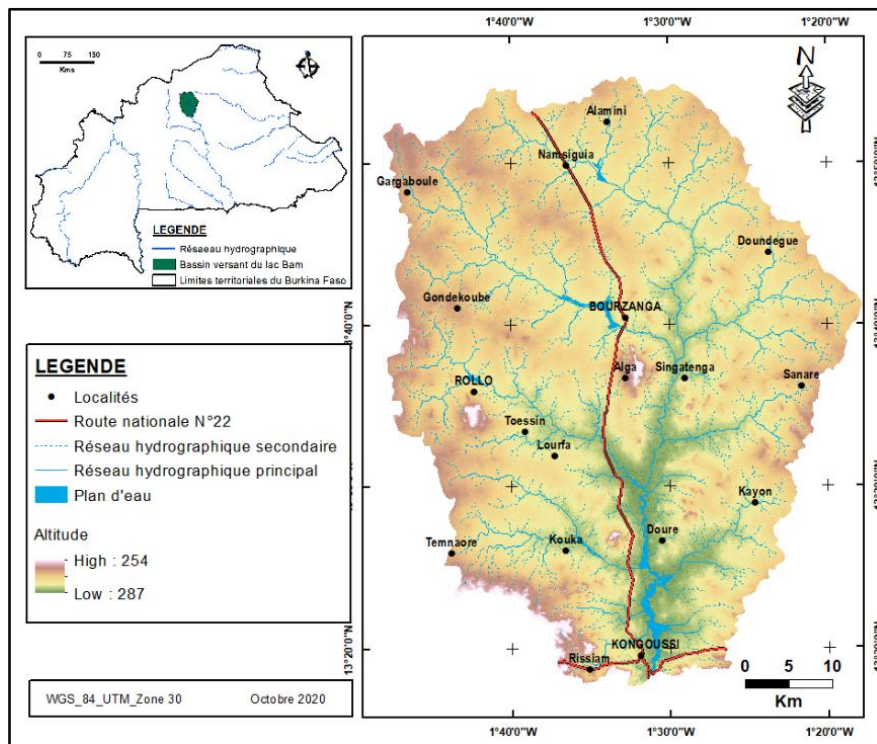


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le climat, de type soudano-sahélien, est caractérisé par deux saisons : une saison de pluie allant de mi-Mai à mi-October et une saison sèche de mi-October à mi-Mai. La saison des pluies atteint son maximum en Juillet-Août. La station pluviométrique de Bourzanga située au cœur du bassin donne des moyennes pluviométriques annuelles variant entre 500 et 700 millimètres. L'évapotranspiration atteint son pic en Mai avant de baisser en saison pluvieuse jusqu'à leur plus bas niveau en Août-Septembre. Une relative constance des moyennes annuelles est observée depuis 1988. Cependant, on constate une légère baisse en 2004 - 2005 liée probablement à la hausse de la pluviosité de ces années [21]. La végétation est clairsemée et se compose essentiellement de plantes ligneuses et d'herbacés qui se concentrent de façon préférentielle dans les vallées et les plaines inondables. Du point de vue géologique, deux grands ensembles (*Figure 2*) caractérisent le bassin versant du lac Bam [5, 22, 23] :

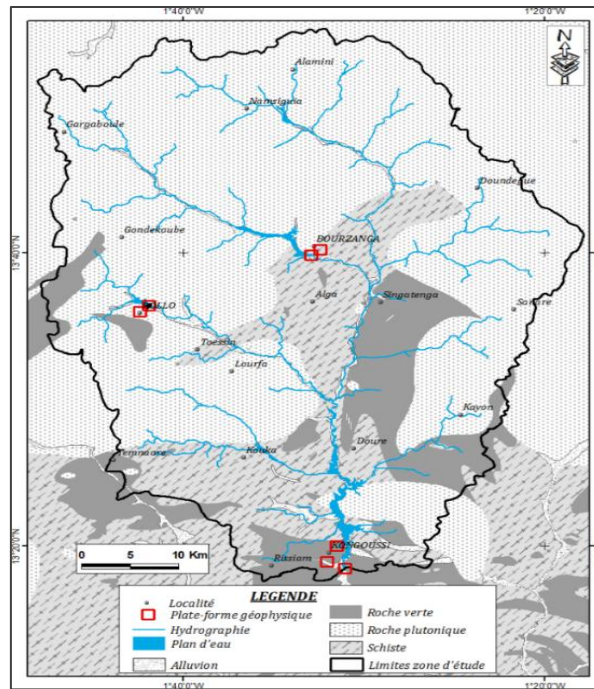


Figure 2 : Carte géologique de la zone d'étude

- L'ensemble volcano-sédimentaire : il est constitué de schistes pélitiques et séricitiques qui affleurent majoritairement dans le Sud et le Centre du bassin versant. Ces formations ont des orientations variant de E-W à NW-SE. L'altération y est très avancée par endroits. On y rencontre des basaltes, qui affleurent dans le Centre, le Sud et à l'Ouest du bassin. Certains affleurements basaltiques présentent souvent des directions N-S concordant avec la direction de la schistosité locale.
- L'ensemble granitoïdique : il présente de rares affleurements dans la partie septentrionale et centrale du bassin. On y rencontre deux types : les plus précoces très fracturés qui constituent d'excellents aquifères tandis que les plus tardifs sont très peu fracturés et le taux de succès des forages dans ces derniers est faible. Cet ensemble est constitué de gabbro, de diorite, de granitoïde (granite, granite hétérogène et rubané, granite porphyroïde à biotite, leucogranite, granodiorite) ainsi que des quartzites.

L'épaisseur de l'altération sur les terrains granitoïdiques est peu importante contrairement à celle des volcano-sédiments [5, 22]. Des intrusions de quartzites et de grès arkosiques très localisées peuvent être observées dans le sud de la zone.

2-2. Choix de la méthode géophysique

Pour mener à bien cette étude, la géophysique des résistivités électriques a été mise à contribution pour l'investigation des zones conductrices et la détermination des épaisseurs des terrains. La résistivité ρ d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à laisser passer le courant électrique [24]. A la suite des pionniers, de nombreux auteurs [12, 25 - 9] ont travaillé à améliorer et à montrer l'apport de ces méthodes géophysiques aux sciences de la terre. Elle consiste à déterminer à partir des profils géophysiques de traînés électriques les variations latérales de résistivités. Les sondages électriques sont réalisés à l'aplomb des anomalies conductrices et des pics résistants. Les profils des traînés électriques ont été réalisés avec le dispositif Schlumberger dont les longueurs de ligne $AB = 180$ m et $MN = 20$ m et des pas de mesure de 10 m. Les plates-formes géophysiques définies sont l'exutoire du bassin versant du lac Bam à Kongoussi, du sous bassin versant du lac de Bourzanga et de la digue du barrage de Rollo reposant

respectivement sur des lithologies de basaltes, de schistes et de granitoïdes (**Figure 2**). Les coordonnées détaillées des profils géophysiques et des sondages électriques Schlumberger sont consignées dans le **Tableau 1** ci-dessous. Les données collectées ont été traitées et interprétées à l'aide d'abaques et de logiciels comme Excel et ArcGIS. De ces données, les épaisseurs approximatives d'altération, la frange fissurée et le toit du socle sain ont été déduits permettant d'avoir la signature géoélectrique des terrains sous-jacents.

3. Résultats et discussion

3-1. Site de Kongoussi

Le site de Kongoussi (**Figure 3**) à l'exutoire du lac Bam est constitué de basalte recouvert d'alluvions dans le lit du cours d'eau.

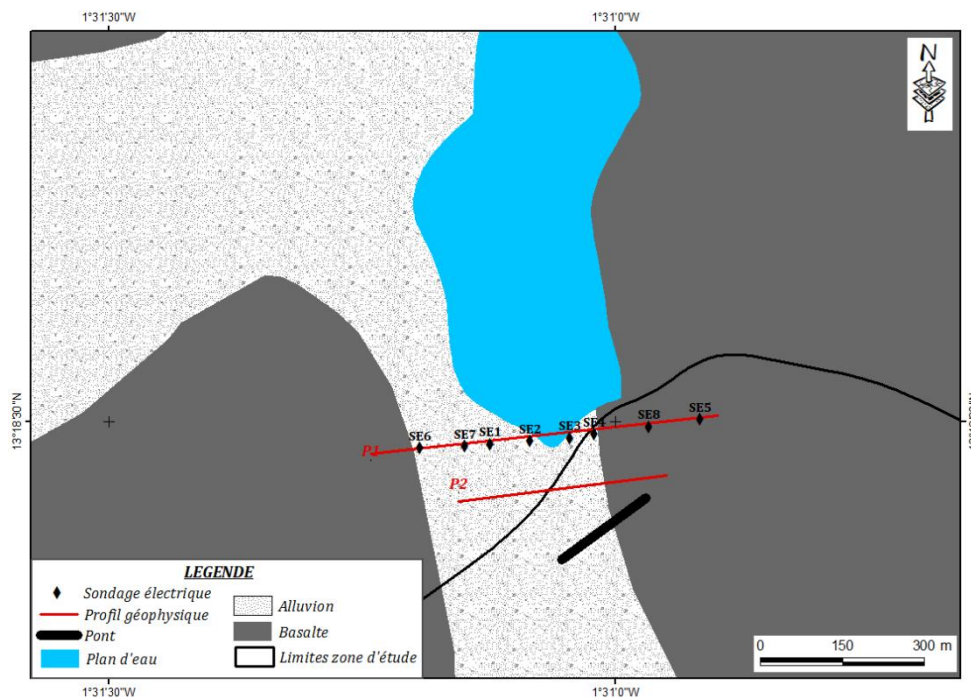


Figure 3 : Travaux géophysiques réalisés à l'exutoire du bassin versant du lac Bam

Sur ce site, deux profils de traînés électriques (P1 et P2) espacés de 100 mètres et parallèles entre eux dans la direction $N85^\circ$ ont été réalisés. Huit (08) sondages électriques à l'aplomb des anomalies conductrices et des pics de résistivité ont été effectués sur le profil P1. Les valeurs de résistivité obtenues en traînés électriques distinguent nettement deux (02) régions. La rive gauche, constituée de terrain basaltique non recouvert d'alluvion présente des valeurs de résistivité plus élevées que le reste de la section ayant un recouvrement alluvionnaire. Le contraste de résistivité très fort distinguant ces régions (**Figure 4**) est lié à l'influence du recouvrement alluvionnaire aquifère très conducteur du courant électrique par rapport au basalte lui-même.

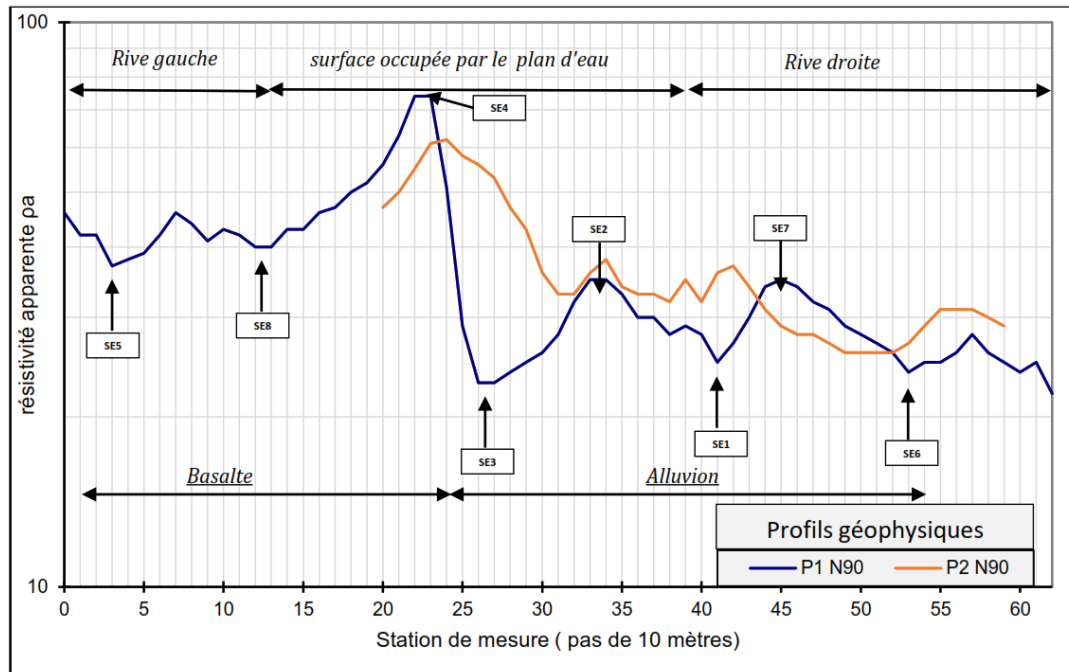


Figure 4 : Profils des traînés électriques réalisés à l'exutoire du bassin versant du lac Bam

En effet, les alluvions sont constituées de graviers, de sables et également d'argiles dans les plaines inondables [23]. Ces alluvions, dotées d'une bonne porosité et perméabilité, sont susceptibles, lorsqu'il y a imbibition, de fournir d'excellentes nappes aquifères. Cet état de fait leur confère ce caractère conducteur. Les courbes de sondage montrent des allures différentes (**Figure 5**). De ces courbes de sondage, ont été déduites l'épaisseur d'altération, l'épaisseur du socle fissuré et la profondeur du toit de la roche saine. Les différences d'épaisseurs obtenues entre ces horizons ont permis de modéliser la coupe géologique sous-jacente de l'exutoire du bassin versant du lac Bam (**Figure 6**). Les courbes de sondage exécutées sur le recouvrement alluvionnaire présentent une stabilité résultant de l'influence des alluvions. L'épaisseur de l'altération à l'exutoire du lac Bam est pratiquement constante. Par contre celle de la frange fissurée devient plus grande lorsqu'on va de la rive gauche à la rive droite. Le socle sain semble être moins profond dans le lit du lac.

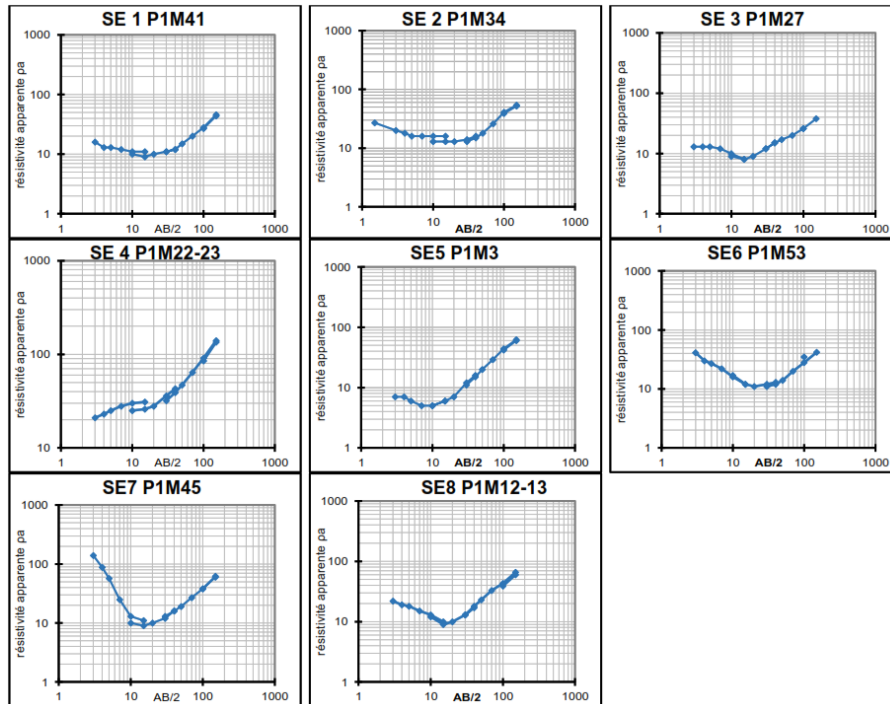


Figure 5 : Sondages électriques Schlumberger réalisés à l'exutoire du bassin versant du lac Bam

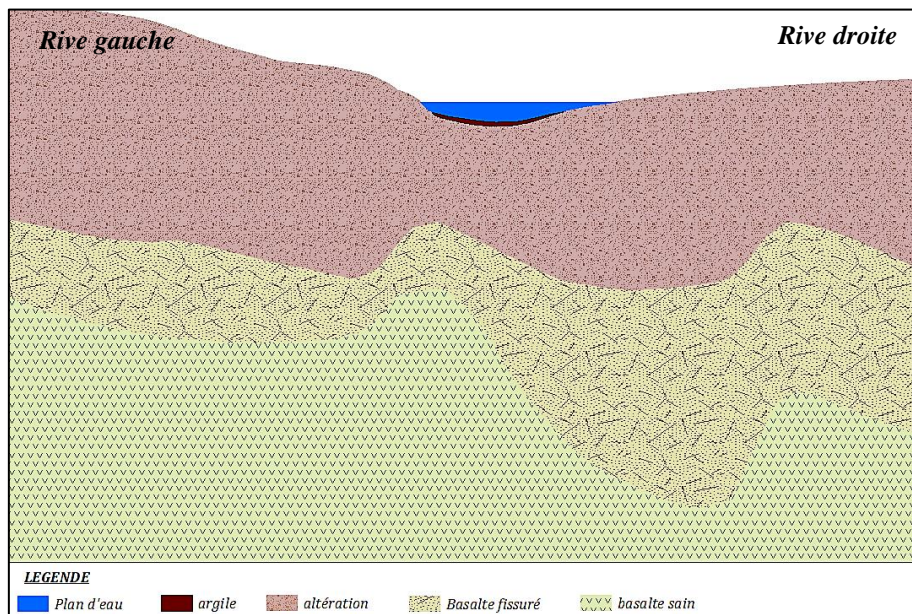


Figure 6 : Coupe géoélectrique des terrains à l'exutoire du bassin versant du lac Bam

3-2. Site de Bourzanga

Le site de Bourzanga à l'instar de celui de Kongoussi se trouve à l'exutoire du sous bassin versant du lac de Bourzanga. Il repose sur un socle schisteux dont le lit du cours d'eau est tapissé d'alluvions et recouvert par endroit d'argile, réduisant ainsi l'infiltration. Sur ce site, deux profils de traînés électriques (P1 et P2) espacés de 50 mètres et de direction N45°, sécants à la direction du cours d'eau furent réalisés. Dix (10) sondages électriques à l'aplomb des anomalies du profil P2 ont été également exécutés (Figure 7).

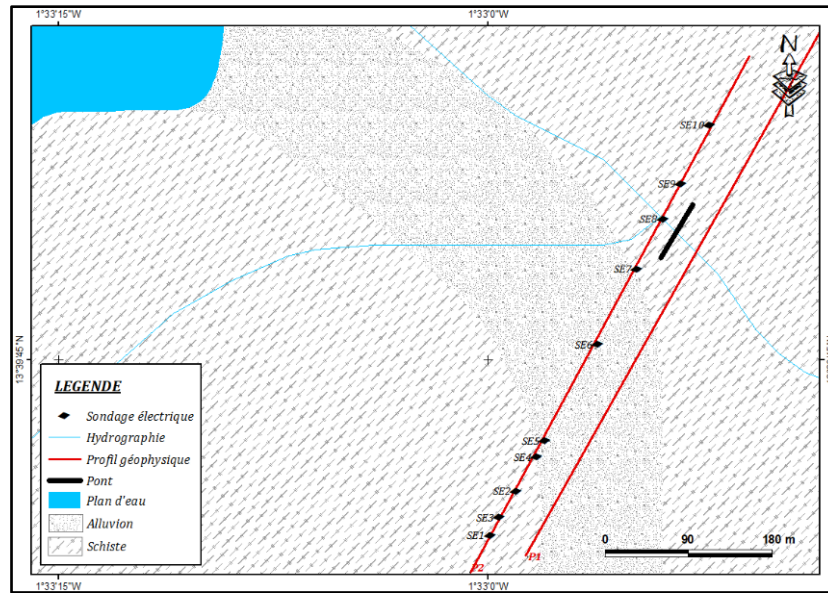


Figure 7 : Travaux géophysiques réalisés à l'exutoire du bassin versant du lac de Bourzanga

On a des courbes de traîné présentant des allures sporadiques. L'influence du recouvrement alluvionnaire sur l'allure de la courbe de traîné est bien marquée par une anomalie conductrice qui s'exprime par une légère baisse des valeurs de résistivité. Le sondage SE6 a été réalisé au centre de cette anomalie (**Figure 8**). A l'aplomb de certaines anomalies, dix sondages électriques Schlumberger ont été réalisés. Les courbes de sondages présentées à la **Figure 9** indiquent clairement des variations de profondeur des différentes entités géologiques. La majorité de ses courbes en « fond de bateau » indique la puissance des altérites dans ce contexte géologique schisteux. Les épaisseurs d'altération et du socle sain déduites de ces courbes ont permis de présenter ci-dessous le modèle géoélectrique des terrains sous-jacents à l'exutoire du lac de Bourzanga (**Figure 10**).

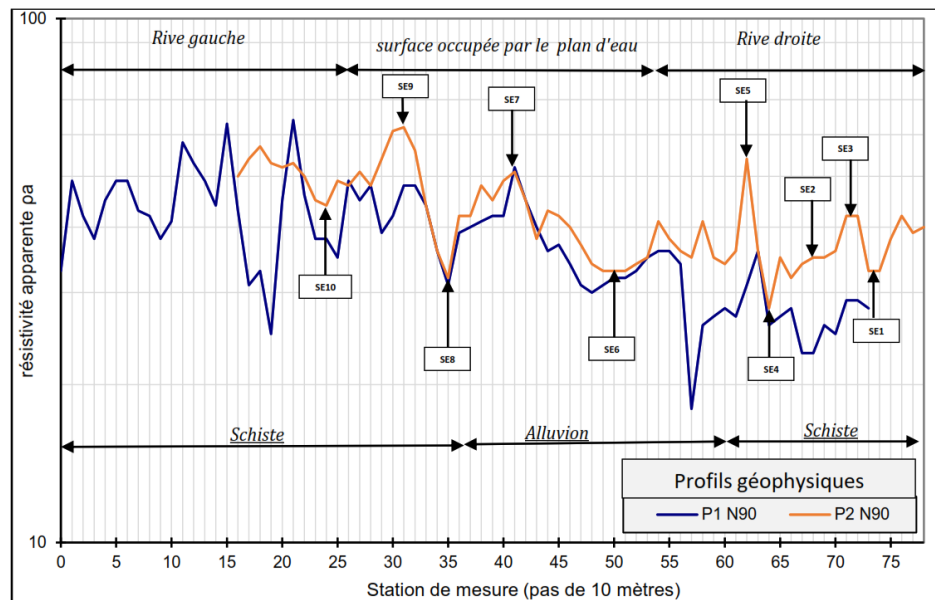


Figure 8 : Profils des traînés électriques réalisés à l'exutoire du bassin versant du lac de Bourzanga

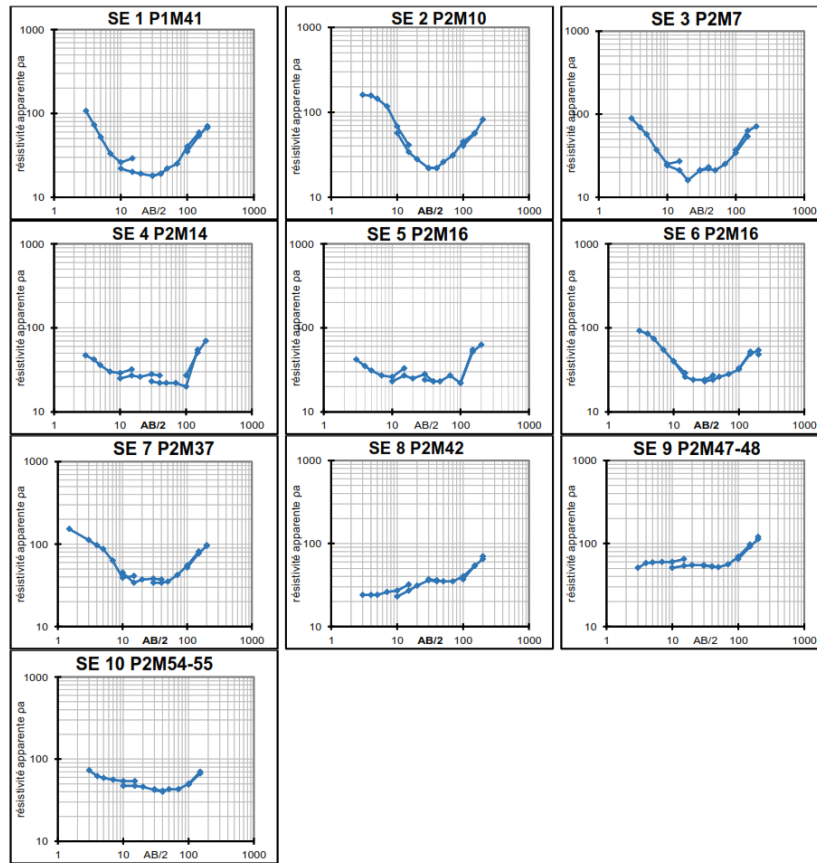


Figure 9 : Sondages électriques Schlumberger réalisés à l'exutoire du bassin versant du lac de Bourzanga

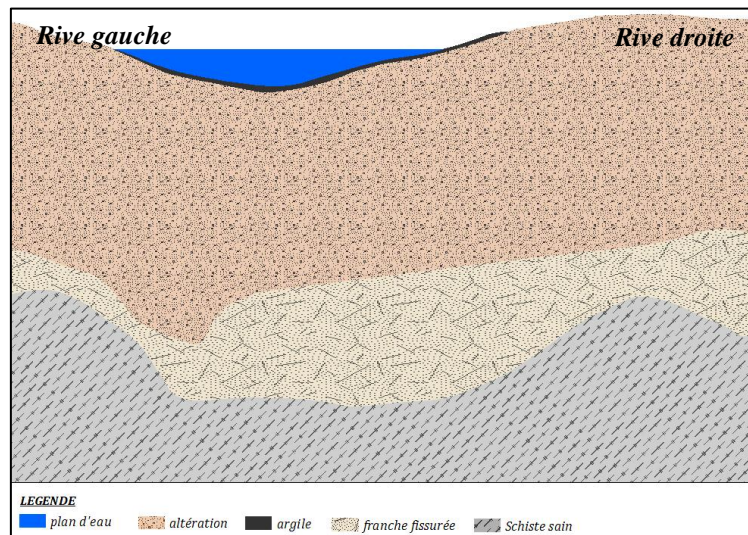


Figure 10 : Coupe géoélectrique des terrains à l'exutoire du bassin versant du lac Bourzanga

3-3. Site de Rollo

A la différence des deux sites précédents qui sont des lacs naturels, celui de Rollo est une retenue d'eau artificielle à vocation agropastorale. Il est situé en terrains granitiques dont le lit est recouvert d'alluvions. Sur ce site, deux (02) profils électriques (P1 et P2) espacés de 30 mètres et de direction $N40^\circ$ furent réalisés. Aussi, six (06) sondages électriques à l'aplomb des anomalies identifiées ont été effectués sur le profil P1 (Figure 11).

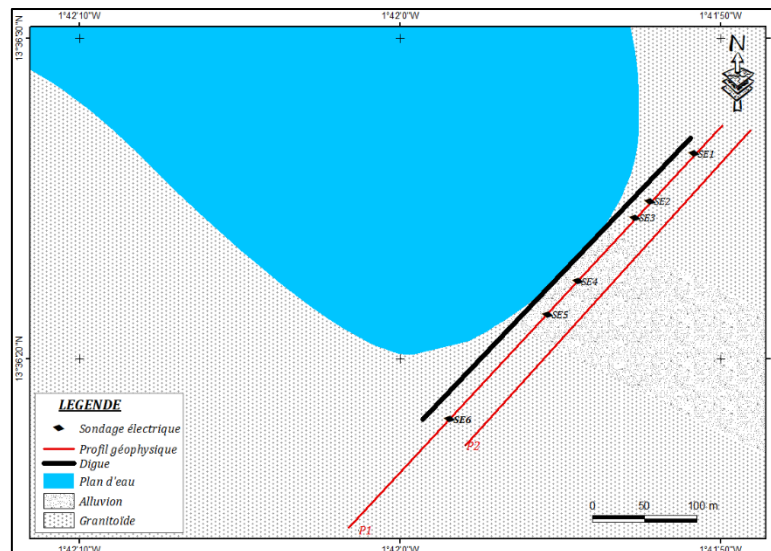


Figure 11 : Travaux géophysiques réalisés en aval de la digue du barrage de Rollo en terrain granitique

Les profils de traîné électrique sécants à la direction du cours d'eau et parallèle à la digue du barrage montrent un couloir géoélectriquement conducteur correspondant à la section du recouvrement alluvionnaire. Ce couloir est encadré de part et d'autre par de grandes valeurs de résistivité où ont été réalisés les sondage SE2 et SE6. Cependant l'influence du recouvrement alluvionnaire n'est pas très nette surtout en rive gauche (**Figure 12**). Les courbes de sondage électrique (**Figure 13**) ont mis en évidence des proportions variables des terrains sous-jacents comme présentées dans le modèle à la **Figure 14**. Les sondage SE4 et SE5 réalisés sur le recouvrement alluvionnaire ont des formes identiques entre elle et nettement différent des quatre (04) autres réalisés sur les granitoïdes. Ces quatre (04) derniers sondages présentent aussi entre eux des similitudes de forme.

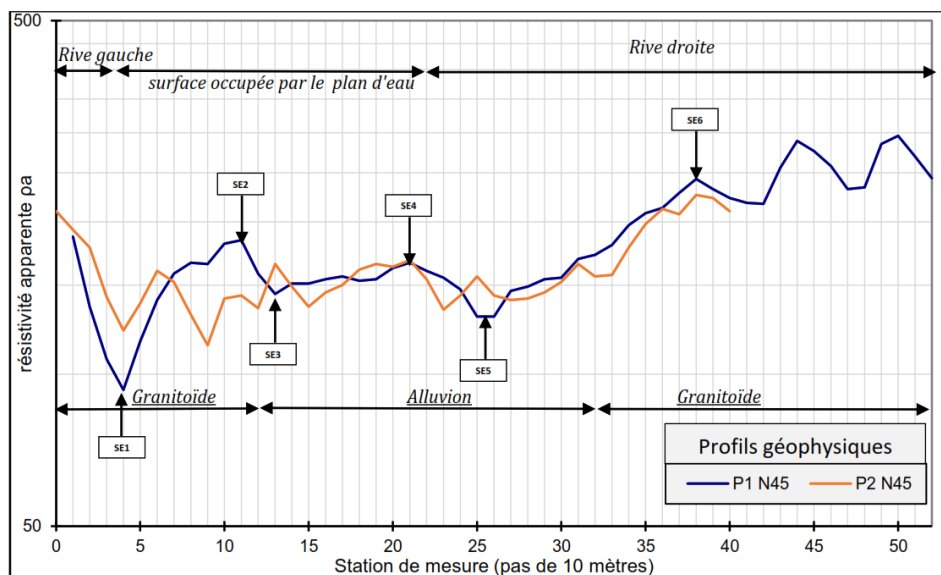


Figure 12 : Profils des traînés électriques réalisés à l'aval de la digue du barrage de Rollo

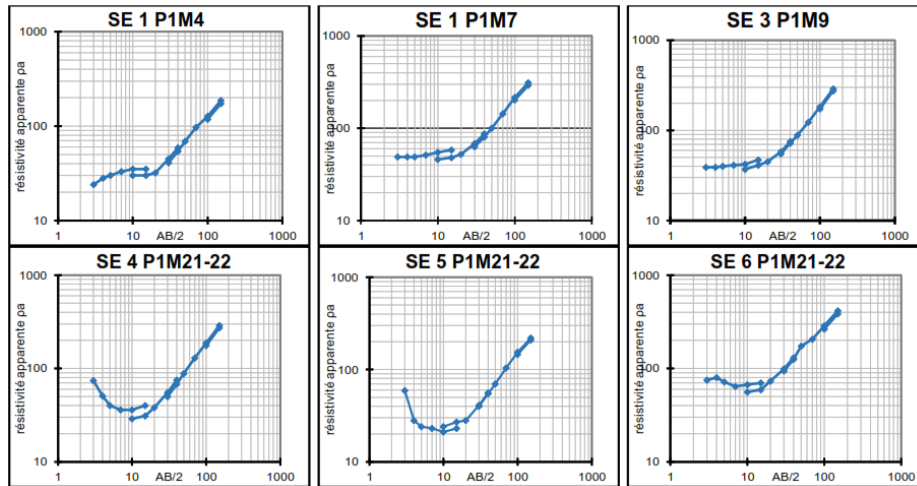


Figure 13 : Sondages électriques Schlumberger réalisés à l’aval du barrage de Rollo

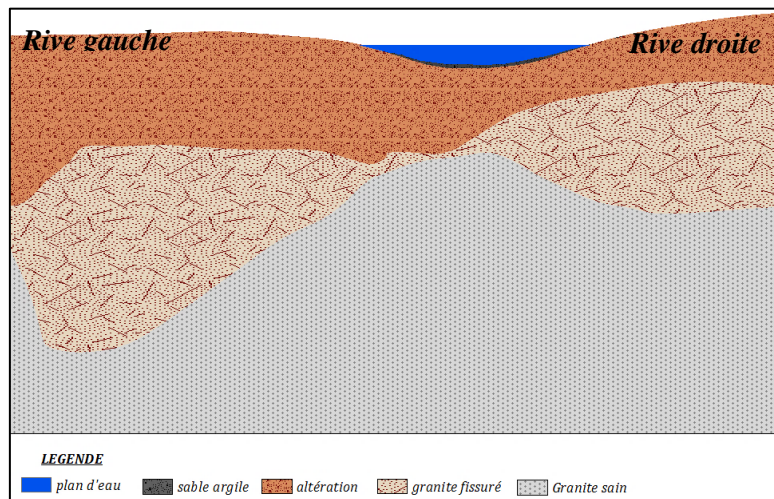


Figure 14 : Coupe géoélectrique des terrains à l’aval de la digue du barrage de Rollo

Sur l’ensemble des trois sites, un profil d’altération type se dégage malgré la différence de lithologies selon que l’on soit sur les granitoïdes de Rollo, les schistes de Bourzanga et les basaltes de Kongoussi. Il montre une succession de couches allant des altérites de la couverture à la frange fissurée [7, 30, 31]. De la surface vers la profondeur, nous avons :

- (i) une couche argileuse d’épaisseur et de nature variable qui tapis le fond des cuvettes des différents plans d’eau. Cette couche est visible depuis la surface et repose sur une frange altérée.
- (ii) un ensemble d’altérites dont les épaisseurs varient globalement de 10 à 50 mètres dans l’ensemble granitoïde et parfois plus de 60 mètres en terrains schisteux. Les réservoirs d’altérites sont la plupart du temps exploités par des puits et puisards, dont les parois sont soutenues par des maçonneries de moellons latéritiques ou des buses pour éviter leur éboulement. Le niveau statique et la pérennité de ces nappes d’altérites sont fonction de la pluviométrie.
- (iii) une frange fissurée située à la base des altérites, ces nappes occupent des réservoirs de blocs de taille variable (gros à la base). On y distingue souvent des altérites qui constituent le matériau de remplissage des fissures de ces blocs. L’épaisseur de la zone fissurée dépend de la nature de la roche mère et de l’intensité de la fracturation. Leur productivité est liée souvent à la fonction capacitive des altérites sus-jacentes.

Les profils de traînés réalisés indiquent un sous-sol moins fracturé. Cette absence de lithostructures majeures ne favorisera pas donc l'infiltration des eaux de surface vers les grandes profondeurs. Cela explique les forages négatifs obtenus à proximité des cours d'eau malgré les épaisseurs d'altération et de frange fissurée importantes [31]. Ainsi, à l'aplomb des lits des cours d'eau, les épaisseurs d'altération et de frange fissurée ne sont pas forcément en communication directe avec le plan d'eau. Les lits des plans d'eau aux exutoires sont fortement tapissés d'une couche argileuse réduisant considérablement l'infiltration des eaux de surface. A cela s'ajoute l'épaisse couche d'altérites sous-jacente. L'infiltration serait donc considérablement réduite malgré la présence d'alluvions de nature poreuse et donc conductrice influençant les valeurs de résistivité constatée le long des profils. L'hypothèse selon laquelle l'infiltration serait la principale cause de l'assèchement des plans d'eau en saison sèche n'est donc pas vérifiée. Au vu de cela, nous pouvons affirmer que les infiltrations sont mineures et ne sont pas la principale cause de l'assèchement des plans d'eau en saison sèche.

4. Conclusion

L'étude menée dans le bassin versant du lac Bam met en lumière les interactions complexes entre les eaux de surface et souterraines. Les résultats montrent la présence de couches d'altération et de franges fissurées plus ou moins importantes selon la nature lithologique des terrains. Ces travaux n'ont pas identifié la présence de structures majeures capables de favoriser la perte des eaux de surface vers les grandes profondeurs. L'infiltration des eaux de surface vers les nappes souterraines est limitée par des couches argileuses à la base des plans d'eau. L'hypothèse initiale selon laquelle l'infiltration serait la principale cause de l'assèchement des plans d'eau en saison sèche n'a pas été confirmée. Par conséquent, les pertes par évapotranspiration et les prélèvements à usage agricole en seraient les causes. Ces résultats soulignent l'importance d'intégrer les processus géophysiques dans la gestion des ressources en eau. Une gestion plus ciblée et une surveillance accrue des ressources en eau seront essentielles pour la pérennité des ressources disponibles.

Tableau 1 : Récapitulatif des travaux géophysiques réalisés sur le terrain

Exutoire du lac Bam					Exutoire du lac de Bourzanga				Exutoire du barrage de Rollo			
Type de mesure	ID	X (UTM)	Y (UTM)	Z	ID	X (UTM)	Y (UTM)	Z	ID	X (UTM)	Y (UTM)	Z
Profils électriques	P1 rive gauche	660851,97	1471723,39	313	P1 Rive gauche	657214,96	1511297,7	318	P1 rive droite	640667,8	1504406,98	321
	P1 rive droite	660236,01	1471638,96	317	P1 Rive droite	656870,23	1510658,65	321	P1 rive gauche	640944,14	1504711,11	322
	P2 rive gauche	660763,24	1471615,33	306	P2 Rive gauche	657092,04	1511193,64	315	P2 rive gauche	640962,16	1504700,48	321
	P2 rive droite	660392,26	1471580,48	308	P2 Rive droite	656810,29	1510641,8	319	P2 rive droite	640697,29	1504396,63	321
Sondages électriques	BAM SE1	660448,17	1471670,31	305	BOURZANGA SE1	656830,39	1510680,97	318	ROLLO SE1	640909,38	1504676,63	318
	BAM SE2	660519,21	1471675,82	305	BOURZANGA SE2	656857,69	1510728,49	320	ROLLO SE2	640868,61	1504630,84	316
	BAM SE3	660589,38	1471681,66	307	BOURZANGA SE3	656840,12	1510700,39	318	ROLLO SE3	640854,52	1504614,95	316
	BAM SE4	660633,11	1471689,34	307	BOURZANGA SE4	656878,78	1510765,45	318	ROLLO SE4	640800,97	1504553,82	316
	BAM SE5	660821,46	1471717,01	308	BOURZANGA SE5	656887,12	1510782,76	318	ROLLO SE5	640773,33	1504521,92	316
	BAM SE6	660322,11	1471662,04	298	BOURZANGA SE6	656941,99	1510886,64	353	ROLLO SE6	640721,97	1504461,95	317
	BAM SE7	660402,37	1471665,95	304	BOURZANGA SE7	656982,73	1510967,64	324	---	---	---	---
	BAM SE8	660729,45	1471702,96	306	BOURZANGA SE8	657009,77	1511021,23	317	---	---	---	---
	---	---	---	---	BOURZANGA SE9	657028,15	1511059,18	313	---	---	---	---
	---	---	---	---	BOURZANGA SE10	657057,63	1511122,63	312	---	---	---	---

Références

- [1] - T. C. WINTER, "Numerical simulation of steady state three-dimensional groundwater flow near lakes ", *Water Resour. Res.*, Vol. 14, (1978) 245 - 254
- [2] - A. SOBAGA, "Observations et modélisations de la recharge des aquifères dans le Grand-Est de la France à l'aide de données lysimétriques ", Thèse de doctorat, Université de PSL, Paris, France, (2023) 236 p.
- [3] - H. ABBO, U. SHAVIT, D. MARKEL and A. RIMMER, "A numerical study on the influence of fractured regions on lake/groundwater interaction; the Lake Kinneret (Sea of Galilee) case ", *J. Hydrol.*, Vol. 283, (2003) 225 - 243 p., doi: 10.1016/S0022-1694(03)00273-7
- [4] - N. COURTOIS, P. LACHASSAGNE, R. WYNS, R. BLANCHIN, F. D. BOUGAÏRÉ, S. SOMÉ et A. TAPSOBA, "Large-Scale Mapping of Hard-Rock Aquifer Properties Applied to Burkina Faso ", *Ground Water*, Vol. 48, N° 2 (2010) 269 - 283 p., doi: 10.1111/j.1745-6584.2009.00620.x
- [5] - C. CASTAING, M. BILLA, J. P. MILESI, D. THIEBLEMONT, J. LE METOUR, E. EGAL, M. DONZEAU, C. GUERROT, A. COCHERIE, P. CHEVREMONT, M. TEGEY, Y. ITARD, B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, B. E. KABORE, C. OUEDRAOGO, J. C. KI et C. ZUNINO, "Notice explicative de la carte géologique et minière à 1/1 000 000 du Burkina Faso " *Bur. Rech. Géologiques Minières, Orléans, France*, (2003) 148 p.
- [6] - I. KI, "Evaluation de la recharge des nappes souterraines du bassin de Tamassari (Bassin de Taoudéni) par l'utilisation des techniques spatiales (Géomatique), hydrogéochimiques et isotopiques ", Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis de l'Université Tunis El Manar et l'Université Joseph KI-ZERBO du Burkina Faso, Tunis et Ouagadougou, (2023) 341 p.
- [7] - C. BONOGO, S. KAFANDO and S. NAKOLEDOUSSE, "Mapping of Aquifer Potential in the Northeast Basement Rock of Burkina Faso: Using Remote Sensing and Geophysical Methods ", *J. Geogr. Environ. Earth Sci. Int.*, (2023) 18 - 28, doi: 10.9734/jgeesi/2023/v27i1657
- [8] - P. PAVELIC, M. GIORDANO, B. KERAITA, V. RAMESH and T. RAO, "Groundwater availability and use in sub Saharan Africa a review of 15 countries, *International Water Management Institute, Sri Lanka* ", (2012) 289 p.
- [9] - G. COMPAORE, "Evaluation de la fonction capacitive des altérites ", Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, Académie d'Aix-Marseille- France, (1997) 292 p.
- [10] - M. B. I. OUMAROU, M. M. ADAMOU and H. A. HADO, "Approche géophysique pour évaluer l'épaisseur de la nappe alluviale de la Vallée de Boghol dans le massif de l'Air au Niger ", *Afr. Sci.*, Vol. 24, N° 4 (2024) 69 - 86
- [11] - K. A. MICHEL, C. DRISSA, K. Y. BLAISE and B. JEAN, "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) ", *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, Vol. 2, N° 3 (2013) 324 - 334
- [12] - C. MILLOGO, S. NAKOLEDOUSSE, S. SAWADOGO and J. NIKIEMA, "New approach of interpretive method of hydrogeological prospecting and electrical resistivity geophysics data: improvement of water drilling siting techniques in the field of crystalline soils of Burkina Faso (West Africa) ", *ASJ Int. J. Adv. Sci. Res. Rev. IJASRR*, Vol. 5, N° 02 (2019) 89 - 102
- [13] - E. G. K. KOUAKOU, A. P. SOMBO, G. R. BIE and L. N. KOUAME, "Etude comparative de résultats de sondages électriques et des coupes lithostratigraphiques de forages en region de socle (Nord de la Côte d'Ivoire) ", *Larhyss J.*, N°25 (2016) 101 - 119
- [14] - G. GRANDJEAN *et al.*, "Caractérisation hydrogéologique d'un glissement de terrain côtier par approche multi-géophysique ", presented at the 12e Colloque GEOFCAN, Grenoble, (2021)
- [15] - A. P. AFANASENKOV and D. V. YAKOVLEV, "Application of electrical prospecting methods to petroleum exploration on the northern margin of the Siberian Platform ", *Russ. Geol. Geophys.*, Vol. 59, N° 7 (2018) 827 - 845, doi: 10.1016/j.rgg.2018.07.008

- [16] - A. AYDI, A. MHIMDI, I. HAMDI, S. TOUAYLIA and A. SDIRI, "Application of electrical resistivity tomography and hydro-chemical analysis for an integrated environmental assessment", *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.*, Vol. 14, (2020) 100351, doi: 10.1016/j.enmm.2020.100351
- [17] - S. CHANDRA, S. AHMED, A. RAM and B. DEWANDEL, "Estimation of hard rock aquifers hydraulic conductivity from geoelectrical measurements : A theoretical development with field application", *J. Hydrol.*, Vol. 357, N° 3 (2008) 218 - 227, doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.05.023
- [18] - B. REDHAOUNIA, H. AKTARAKÇI, B. O. ILONDO, H. GABTNI, S. KHOMSI and M. BÉDIR, "Hydro-geophysical interpretation of fractured and karstified limestones reservoirs: A case study from Amdoun region (NW Tunisia) using electrical resistivity tomography, digital elevation model (DEM) and hydro-geochemical approaches", *J. Afr. Earth Sci.*, Vol. 112, (2015) 328 - 338, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2015.09.020
- [19] - C. MILLOGO, S. NAKOLENDOUSSE and S. SAWADOGO, "Cartographie des accidents géologiques par imagerie satellitaires et géophysique aéroportée, et analyse statistique des réseaux de fractures du socle birimien du bassin versant du lac Bam (centre nord du Burkina)", *J. Sci.*, Vol. 18, N° 2 (2018) 33 - 43
- [20] - B. POUYAUD, "Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libre en climat tropical sec : exemples du lac de Bam et de la mare d'Oursi (Burkina-Faso), du lac Tchad et d'Açudes du nordeste brésilien", Editions de l'ORSTOM, in Collection Etudes et thèses. Paris, France, (1986) 244 p.
- [21] - DGMB, "Données météorologiques du Burkina Faso", (2018)
- [22] - C. CASTAING, J. LE METOUR, M. BILLA, M. DONZEAU, P. CHEVREMONTE, E. EGAL, B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, B. E. KABORE, C. OUEDRAOGO, D. THIEBLEMONT, C. GUERROT, A. COCHERIE, M. TEGYEY, J. P. MILESI, Y. ITARD, "Carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1 000 000", Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, France, (2003)
- [23] - E. EGAL, M. DONZEAU, C. CASTAING, J. LE METOUR, D. THIEBLEMONT, M. TEGYEY, C. GUERROT, M. BILLA, Y. YTARD, G. DELPONT, J.-C. KI, C. ZUNINO, P. CHEVREMONTE, "Notice explicative de la carte géologique à 1/200 000. Feuille ND-30-XI de Kaya, Bureau de Recherches Géologiques et Minières", Orléans, France, (2003)
- [24] - D. CHAPPELLIER, "Prospection électrique en surface", Université de Lausanne, (2000)
- [25] - G. E. ARCHIE, "The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics", *Pet. Technol.*, Vol. 146, N°01 (1942) 54 - 62, doi: 10.2118/942054-G
- [26] - E. A. COLMAN and T. M. HENDRIX, "The fiberglas electrical soil-moisture instrument", *California Forest and Range Experiment Station*, Californie, Etats Unis, (1949) 425 - 438
- [27] - M. SATO and H. M. MOONEY, "The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials", *GEOPHYSICS*, Vol. 25, N° 1 (1960) 226 - 249, doi: 10.1190/1.1438689
- [28] - W. M. TELFORD, L. P. GELDART and R. E. SHERIFF, "*Applied geophysics*", 2nd Edition. in 2. Cambridge University Press, (1990)
- [29] - P. KEAREY, M. BROOKS and I. HILL, "*An Introduction to Geophysical Exploration*", 3rd Ed. Blackwell Science, (1991)
- [30] - N. A. SAVADOGO, "Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta : étude régionale du bassin versant de la Sissili ", Thèse de doctorat, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France, (1984) 352 p.
- [31] - C. MILLOGO, "Caractérisation hydrologique et hydrogéologique du bassin versant du lac Bam au centre nord du Burkina Faso (Afrique de l'ouest) : Perspectives d'amélioration des techniques d'implantation de forages d'eau en terrains cristallins ", Thèse de doctorat, Université Joseph KIZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso, (2019) 307 p.