

## **Approche géophysique pour évaluer l'épaisseur de la nappe alluviale de la Vallée de Boghol dans le massif de l'Aïr au Niger**

**Maman Bachar IBRAHIMA OUMAROU<sup>1\*</sup>, Mahaman Moustapha ADAMOU<sup>2</sup>,  
Halidou ALASSANE HADO<sup>2</sup> et Souley Tchagam TCHAGAM AGI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Université Djibo Hamani de Tahoua, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Productions Végétales et de l'Irrigation, BP 255 Tahoua, Niger*

<sup>2</sup> *Université Abdou Moumouni, Faculté d'Agronomie, Département de Génie Rural, Eaux et Forêts, BP 10960, Niamey, Niger*

(Reçu le 01 Mars 2024 ; Accepté le 23 Avril 2024)

---

\* Correspondance, courriel : [madja042@yahoo.fr](mailto:madja042@yahoo.fr)

### **Résumé**

En zone aride, compte tenu de l'insuffisance des eaux de surface, les usagers se tournent vers les eaux souterraines. Ces dernières sont les seules utilisées dans la vallée de Boghol pour les différents usages dont l'irrigation qui entraîne le tarissement des ouvrages de captage de la nappe. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'épaisseur de la nappe afin de mieux réussir les ouvrages de captage ainsi que leur exploitation en irrigation. C'est ainsi qu'il a été procédé à la prospection de la vallée sur la base des images aériennes et des missions terrains pour identifier les points à sondés par la méthode électrique. Cette dernière a été faite avec le résistivimètre syscal en saison sèche et en saison humide. Le logiciel IX1D a été utilisé pour l'inversion des données et l'établissement des modèles terrains. Puis une superposition des courbes issues des sondages des deux (2) périodes a été faite sur Grapher 14. Les résultats montrent que les valeurs des résistivités en saison sèche sont supérieures à celles après la saison des pluies. Le même ordre est observé pour les modèles des terrains qui montrent une augmentation de l'épaisseur de la deuxième couche après la saison des pluies. L'épaisseur moyenne de la nappe est de 14,70 m en saison sèche et 21,07 m après la saison des pluies. Le substratum imperméable est atteint à une profondeur maximale de 38,28 m et celle-ci diminue en s'éloignant des berges du koris en direction du plateau. Ces résultats ont donné des informations permettant d'exploiter efficacement la nappe.

**Mots-clés :** *Vallée de Boghol, Nappe alluviale, Géophysique, Aïr, sondages électriques verticaux.*

### **Abstract**

**Geophysical approach to assess the thickness of the Alluvial aquifer of the Boghol Valley in the Aïr massif in Niger**

In arid areas due to the lack of surface water users turn to groundwater. The latter are the only ones used in the Boghol Valley for different uses, including irrigation, which leads to the drying up of groundwater collection works. The objective of this work is to evaluate the thickness of the water table in order to better succeed the catchment works and their exploitation in irrigation. This is how the prospecting of the valley was carried out on the basis of aerial images and field missions to identify the points to be probed by the electric method.

The latter was made with the syscal resistivimeter in the dry season and in the wet season. The IX1D software was used for data inversion and field modeling. Then an overlay of the curves from the two (2) periods was made on Grapher 14. The results show that the values of the resistivities in the dry season are higher than those after the rainy season. The same order is observed for land models that show an increase in the thickness of the second layer after the rainy season. The average thickness of the water table is 14.70 m in the dry season and 21.07 m after the rainy season. The impermeable substrate is reached at a maximum depth of 38.28 m and this decreases by moving away from the banks of the koris towards the plateau. These results have given information to effectively exploit the water table.

**Keywords :** *Boghol Valley, Alluvial water table, Geophysics, Air, vertical electrical soundings.*

## 1. Introduction

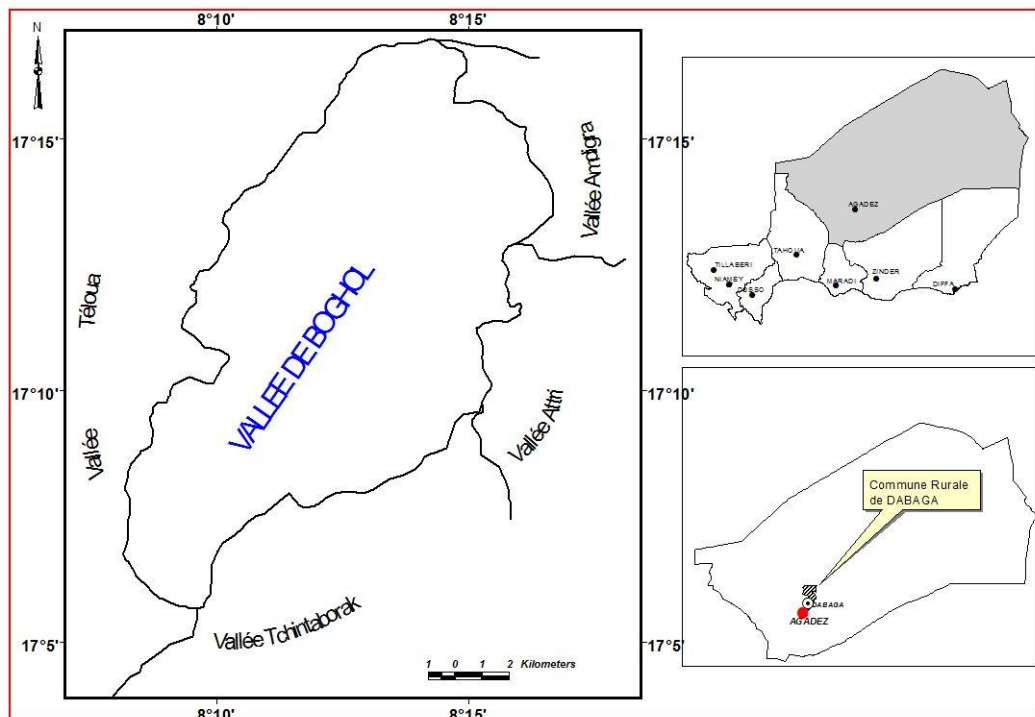
La recherche des eaux souterraines, parallèlement à celle des minerais et hydrocarbures, a donné lieu à des études qui ont abouti à la mise au point de certaines méthodes géophysiques dont l'utilisation est bien répandue [1]. La géophysique est essentiellement la mesure de contrastes dans les propriétés physiques de matériaux constituant le sous-sol et la tentative de déduire la nature et la distribution de ces matériaux responsables de ces observations [2]. Pour l'hydrogéologue, les méthodes géophysiques sont des outils susceptibles de répondre à des questions relatives aux eaux souterraines [3]. Ainsi, elle permet d'imager le sous-sol de manière rapide et non-destructrice. Beaucoup de problèmes en hydrogéologie notamment l'implantation des ouvrages ou la puissance d'un aquifère peuvent trouver leurs solutions au moyen de la géophysique [4]. En effet, une investigation géophysique appliquée à l'hydrogéologie peut fournir de nombreuses informations utiles telles que le type de dépôts, la présence et la localisation d'un aquifère ou d'un aquitard, la géométrie de cet aquifère, la profondeur de la nappe, la profondeur du roc et les structures sédimentaires des dépôts [5]. Le massif de l'Air dans lequel se trouve la vallée de Boghol est une zone qui présente beaucoup de potentialités hydrogéologiques. Cependant, peu d'études hydrogéophysiques ont été conduites dans ce milieu où la principale activité est l'agriculture irriguée. Cette dernière est pratiquée sur toute l'année en utilisant les eaux des nappes alluviales alimentées par les écoulements issus des eaux des pluies. A partir d'apports météoriques faibles et irréguliers, on observe une concentration d'écoulements notables, violents de courte durée [6, 7]. Ces écoulements sont la source de la recharge de la nappe [8] qui connaît une baisse de niveau voire épuisement en certaines périodes d'activités agricoles. Elle a pour corollaire le tarissement précoce des ouvrages de captage exposant de facto les cultures au stress hydrique sévère souvent irréversible. Certes, l'irrigation est la principale activité consommatrice en eau et représente environ 70 % de tous les prélèvements d'eau douce [9 - 11]. Ainsi, pour s'assurer de la disponibilité de l'eau et garantir la durabilité de l'irrigation il est indispensable de connaître les caractéristiques de l'aquifère. Ce qui facilite exploitation et la gestion de la ressource en eau y afférente [12 - 14]. La présente étude s'inscrit dans ce cadre avec pour objectif d'évaluer l'épaisseur de la nappe afin de mieux réussir les ouvrages de captage ainsi que leur exploitation en irrigation.

## 2. Méthodologie

### 2-1. Cadre naturel de la zone d'étude

Les bassins versants des vallées de l'Air sont assez semblables puisqu'ils ont tous une pente d'orientation est-ouest. Cette pente conditionne le réseau hydrographique [15]. Il s'ensuit chaque année sur l'Air, au moment de l'hivernage, des précipitations dont le caractère toujours orageux, la répartition très inégale, et les quantités aléatoires, signent bien l'appartenance du massif au milieu subdésertique [16]. Sur le plan

structural, le massif de l’Air est constitué de trois principaux domaines Nord-Sud, formés pendant l’orogénèse africaine et qui sont d’Ouest en Est : (1) le domaine d’Assodé, encadré par deux accidents NS : la faille d’Arlit à l’Ouest et l’accident de Raghane à l’Est ; (2) le domaine de Barghot et (3) le domaine d’Aouzegueur [17]. Outre ces grandes familles d’accidents, d’importantes émissions volcaniques ont été mise en place le long de ces accidents majeurs et sont généralement liées à la phase d’extension crétacée et aux phases tardives tertiaires et quaternaires [18]. Comme l’Ahaggarou, l’Adrar des Ifoghas, l’Air est un témoin du socle ancien, de la vieille pénélaine usée dont on retrouve les affleurements cristallins sous les sables de regs ou à la base des séries gréseuses qui constituent les Tassili [19]. L’Air comprend quatre (4) grandes unités géologiques qui sont du bas en haut : le socle, le complexe subvolcaniques, le volcanisme récent et les formations sédimentaires [20 - 23]. Dans le massif de l’Air, on note la coexistence de deux (2) réservoirs hydrogéologiques. Ils correspondent au socle et aux formations argilosableuses des alluvions des Koris [24]. Les différents aquifères identifiés du bas en haut sont : les aquifères discontinus du socle, les aquifères des altérites et les aquifères des alluvions [23]. Avec les caractéristiques précitées, la vallée de Boghol (**Figure 1**) a un bassin versant de 169,11 km<sup>2</sup> et est localisée dans le massif de l’Air. Elle présente quatre (4) unités physiographiques à savoir : (i) les sommets des plateaux qui constituent l’unité dominante occupant 80 % du bassin, (ii) les hauts glacis qui jonchent les plateaux représentent 2 % de la superficie du bassin, (iii) les bas glacis couvrent 5 % et les bas-fonds qui représentent 12 % de la superficie totale du bassin versant [25]. L’essentiel de l’agriculture irriguée est pratiqué dans le bas-fond.



**Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude**

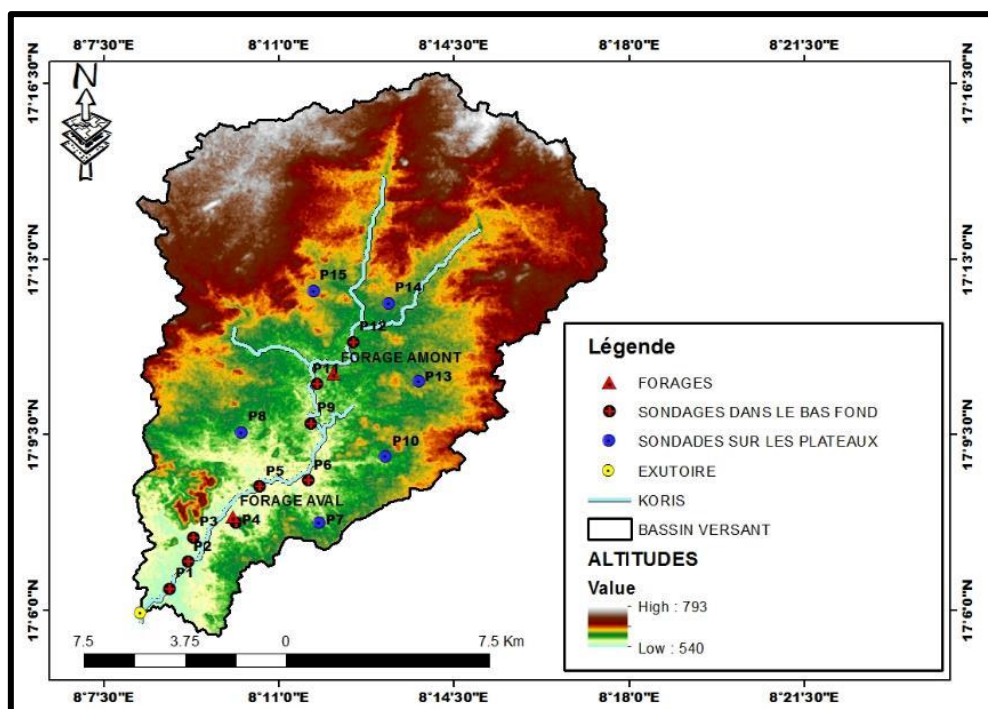
## 2-2. Choix de la méthode de sondage

Il existe plusieurs méthodes géophysiques qui sont utilisées pour répondre aux préoccupations des pratiquants [26, 27] : électromagnétiques (sondage TDEM, sondage RMT, profilage RF-EM et VLF-Gradient), magnétiques, sismiques (Tomographie sismique), Résonance Magnétique de Protons (Sondage RMP) et électriques (Carte et profilage de Polarisation Spontanée, Carte de mise-à-la-masse, Panneau électrique et sondage électrique) et gravimétriques. Parmi toutes ces méthodes, celles électriques et électromagnétiques

sont les plus employées en hydrogéologie, car le principal paramètre cible de ces méthodes (la résistivité ou son inverse la conductivité) est influencé par la nature des roches mais également par la quantité et la qualité d'eau d'imbibition [27]. Le succès de la méthode électrique est dû au fait que la conductivité des roches est liée à leur contenu en eau [28]. Elle permet aussi de déterminer la distribution verticale et horizontale des résistivités électriques dans le sous-sol [29, 30] et par conséquent, de déterminer les limites des aquifères alluviaux [31]. Aussi, la géométrie et la structure d'un aquifère peuvent être déterminées à l'aide de la géophysique de surface en utilisant plus particulièrement les méthodes électriques [32]. Ces dernières ont été testées en utilisant le sondage et trainée comme techniques de mesure dans l'Air donnant ainsi, des résultats satisfaisants dans les vallées de Telwa, Amdigra, Tabélot, etc [33]. Ces études témoignent de son adaptabilité au terrain et cadre avec les objectifs de ce travail.

### 2-3. Choix des points de sondages

Les points de sondages ont été ciblés à partir d'image aérienne (Google earth) afin d'avoir une vue d'ensemble de la vallée. C'est ainsi qu'une mission de vérité terrain a été conduite, au cours de laquelle, des coordonnées ont été prises avec un GPS garmin 64. Les points ciblés ont concerné la zone de bas-fonds et celle des plateaux en maintenant une distance moyenne de deux (2) kilomètres entre deux (2) points. Après exploitation des coordonnées prises, une autre mission a été conduite pour constater l'état du terrain et la faisabilité de réaliser un sondage au niveau des points présélectionnés. Au cours de celle-ci, une réadaptation a été faite pour retenir définitivement les points à sonder. La répartition de ces derniers est présentée dans la **Figure 2**.



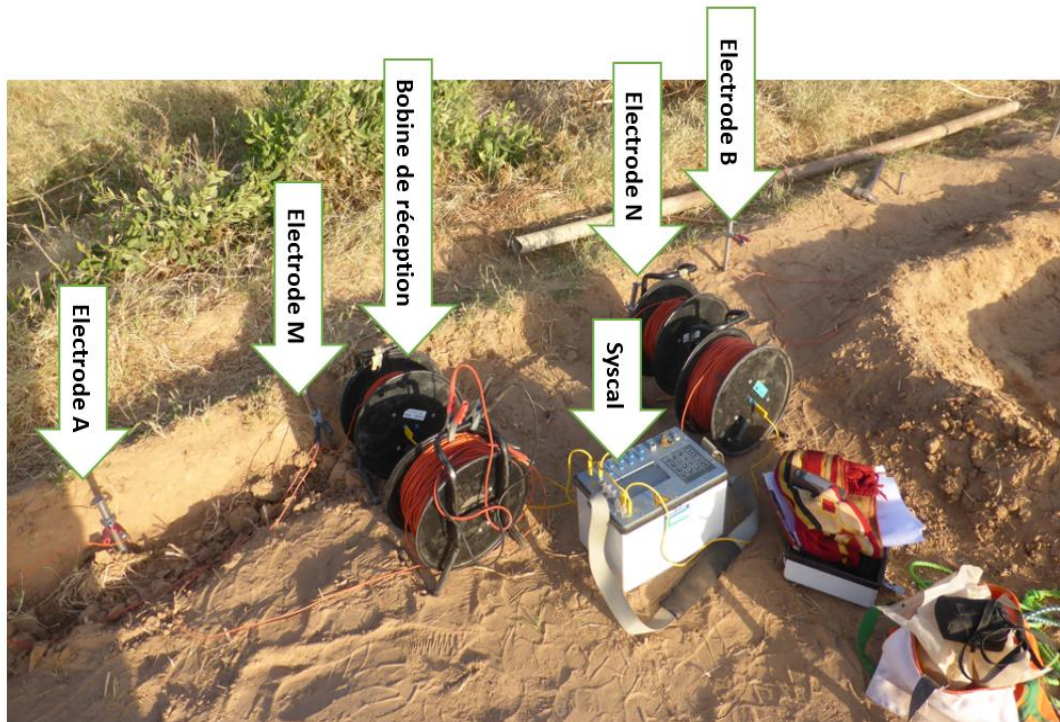
**Figure 2** : Carte d'emplacement des points de sondages électriques verticaux (SEV)

### 2-4. Conduite des sondages électriques verticaux

Pour conduire le sondage, les périodes de hautes et basses eaux ont été ciblées. Elles correspondent respectivement à la fin de la saison des pluies (octobre) et à la fin de la saison sèche (juin). Lors de l'exécution du sondage électrique vertical on recherche comment varie, en un point donné de la surface, la résistivité du sous-sol à la verticale. Pour cela il a été exécuté en un même endroit une succession de mesures, en gardant



le centre fixe, et en augmentant chaque fois toutes les dimensions du dispositif et de ce fait la profondeur d'investigation qui leur est proportionnelle. Dans le cadre de la présente étude, les écartements AB varient de 200 à 250 ml selon la disponibilité de l'espace. L'opération dudit sondage a d'abord nécessité le paramétrage (dispositif de Schlumberger) du résistivimètre Syscal avant la collecte des données. Ces dernières ont été validées lorsque l'appareil montre une valeur de « RS check » inférieure à 1 indiquant ainsi un bon couplage entre le sol et les électrodes. Les données ont ensuite été portées dans une fiche préparée à cet effet pour faire l'objet de traitement. Les **Figures 3, 4 et 5** montrent respectivement le dispositif de mise en œuvre du sondage, la conduite de sondage dans le bas-fond en 2 périodes et la conduite de sondage sur le plateau après la saison de pluie.



**Figure 3 :** *Dispositif de mise en œuvre du sondage électrique vertical avec le syscal*



**Figure 4 :** *Réalisation de sondages électriques verticaux avant (A) et après saison de pluie (B) au point 12 dans le bas-fond*



**Figure 5 :** *Opération de sondage au point 10 après saison de pluies*

## 2-5. Traitement des données

Le logiciel IX1D a été utilisé pour inverser les données collectées en suivant le principe de parcimonie avec une valeur de RMS inférieur à 5. Il a permis l'élaboration des courbes de résistivités et des modèles de terrains. Les résultats issus de l'exploitation du logiciel IX1D ont servi à la superposition des courbes avant et après saison des pluies en utilisant Grapher 14.

## 3. Résultats

### 3-1. Sondages électriques verticaux dans le bas fond

#### ▪ *SEV au Point 1*

Les résultats du sondage sont présentés dans la **Figure 6**. L'analyse de cette dernière montre que les courbes de résistivités présentent des variations quasi identiques. Cependant, sur toute la profondeur de prospection, les valeurs de résistivités avant la saison pluvieuse sont supérieures à celles après la saison des pluies. En ce qui concerne les modèles, il est observé quatre (4) terrains distincts selon leurs humidités en saison sèche tandis qu'après la saison pluvieuse on observe trois (3) terrains. Il est constaté que l'importance de l'épaisseur du terrain augmente avec la profondeur.

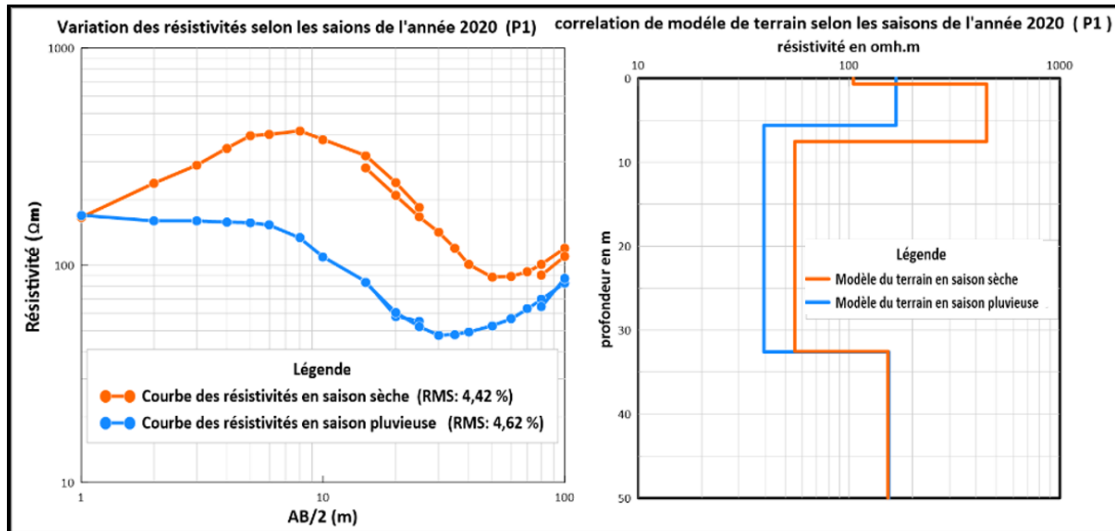


Figure 6 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 1

▪ **SEV Point 2**

Les courbes des résistivités issues des sondages pendant les deux (2) périodes donnent la même allure comme le montre la **Figure 7**. Ces résultats montrent que les terrains sont plus résistants en saison sèche comparée à la saison après pluie. Quant aux modèles issus des sondages, quatre (4) couches ont été identifiées pour chacune des saisons. Aussi, ces modèles montrent qu'à une profondeur de 38 m les couches sont confondues. On observe également après la saison des pluies, une augmentation de l'épaisseur de la deuxième couche.

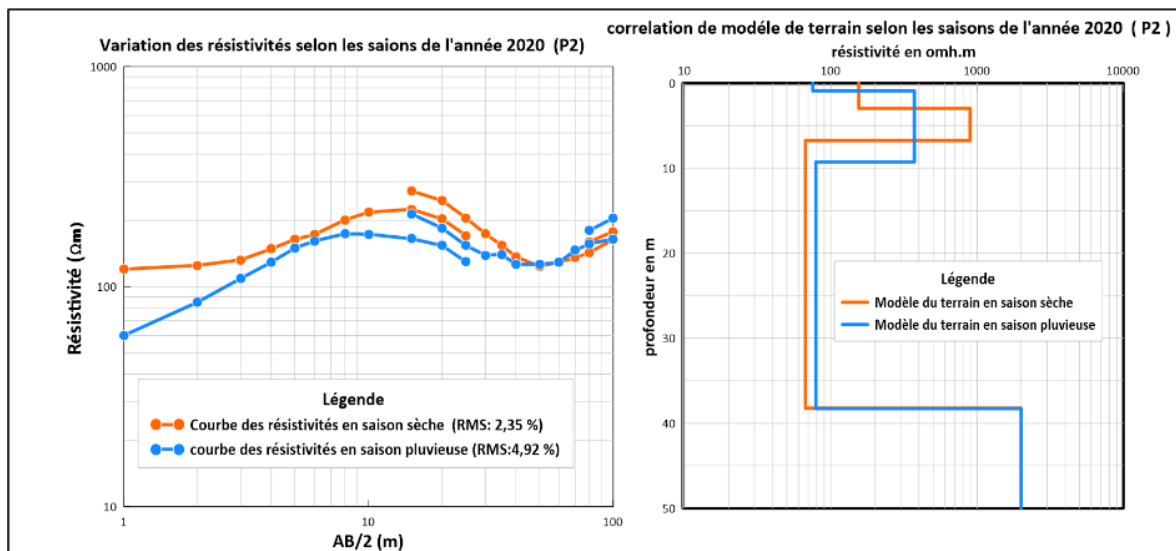


Figure 7 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 2

▪ **SEV au Point 3**

L'analyse de la **Figure 8** montre que sur toute la profondeur de prospection, les valeurs de résistivités avant la saison de pluies sont plus importantes que celles enregistrées après la saison pluvieuse. S'agissant des modèles, ils montrent une succession de quatre couches électriquement distinctes pour les deux (2) saisons. Il est constaté qu'à une profondeur de 35 m les dernières couches des deux (2) modèles sont confondues.

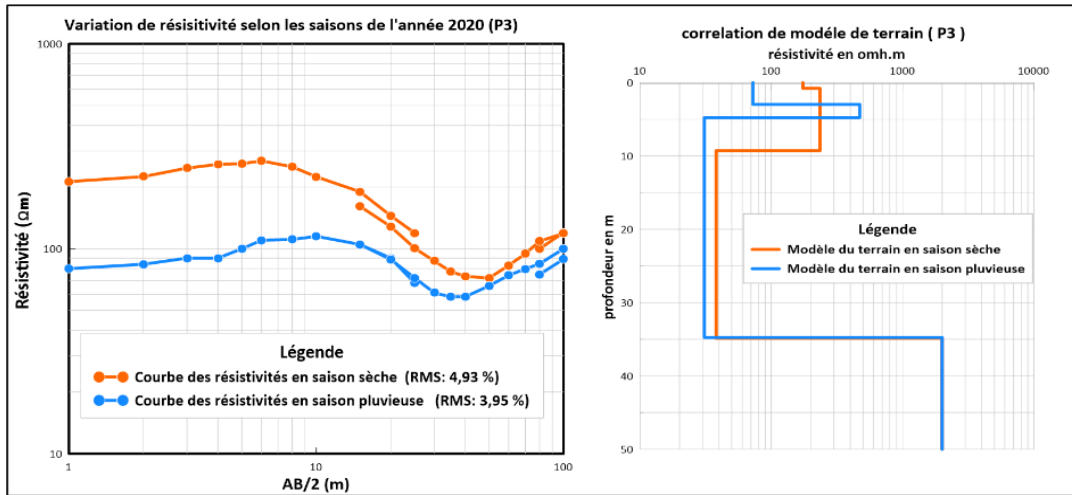


Figure 8 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 3

▪ SEV au Point 4

Après la saison pluvieuse, les résistivités enregistrées sur une profondeur de 20 m à partir de la surface sont inférieures à celles obtenues après la saison pluvieuse (Figure 9). Au-delà de 20 m les courbes sont confondues. Elles présentent également la même tendance sur toute la profondeur de prospection. En ce qui concerne les modèles, quatre (4) terrains après la saison pluvieuse contre trois (3) en saison sèche sont identifiés. Les dernières couches des modèles montrent que le socle est à 16,25 m de profondeur.

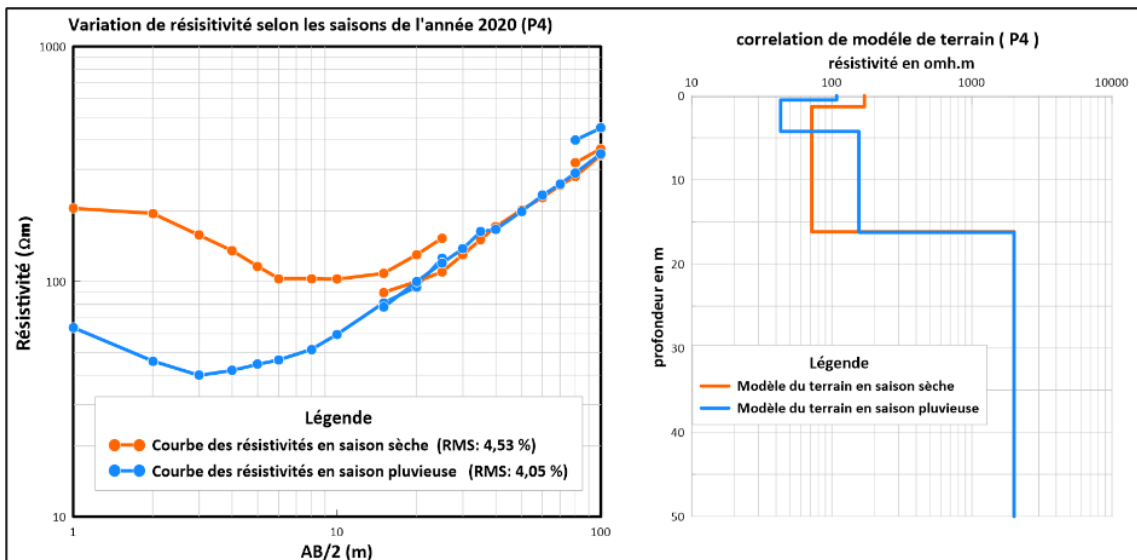


Figure 9 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 4

▪ SEV au Point 5

La Figure 10 qui présente les résultats des sondages montrent une diminution de la résistivité après la saison des pluies comparativement à la saison sèche. Le modèle donne quatre (4) et trois (3) terrains respectivement pour la saison sèche et la saison après pluies. Pendant cette dernière, on remarque l'augmentation de l'épaisseur de la deuxième couche et la diminution de la première. Sur la quasi-totalité de la profondeur prospectée, la tendance des courbes est la même.



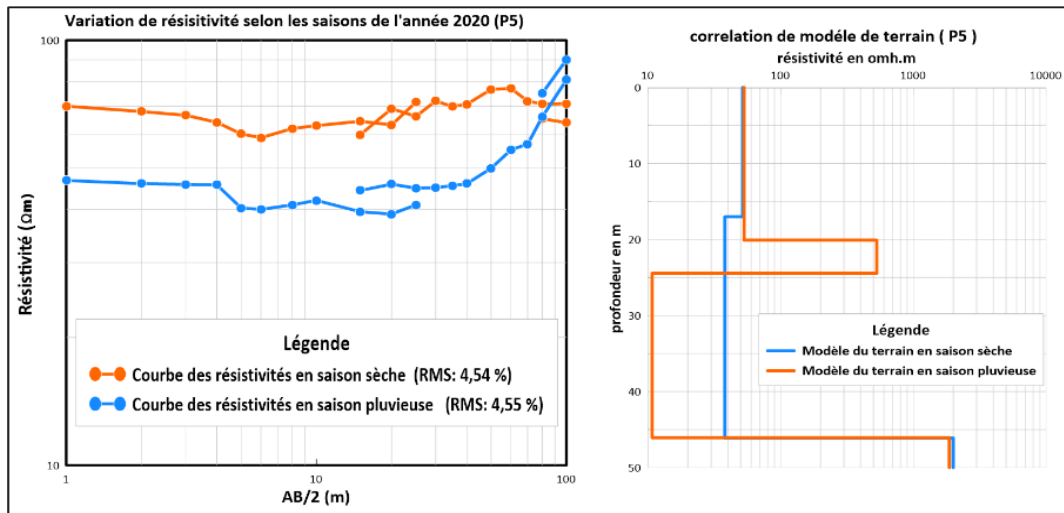


Figure 10 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 5

▪ **SEV au Point 6**

Les résultats des sondages réalisés en ce point sont présentés dans la **Figure 11**. L'analyse de celle-ci montre qu'après la saison pluvieuse les résistivités sont importantes au niveau de la couche superficielle, elles diminuent progressivement vers la profondeur. Aussi, on remarque jusqu'à une profondeur de 15 m que la courbe de résistivités après la saison de pluies est au-dessus de celle obtenue en saison sèche. Cependant après cette profondeur, la tendance est inversée. S'agissant du modèle, quatre (4) terrains électriquement distincts dans les deux (2) saisons.

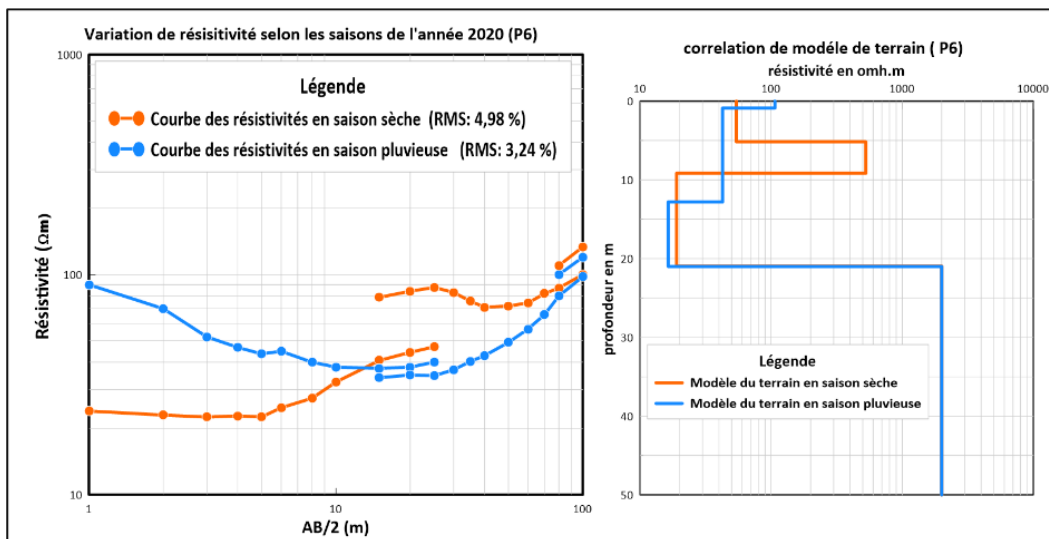


Figure 11 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 6

▪ **SEV au Point 9**

La superposition des courbes de sondages présentée dans la **Figure 12** montre que les valeurs de résistivités diminuent après la saison des pluies. Les courbes de résistivités ont une tendance quasi identique sur toute la profondeur de prospection. Après une profondeur de 25 m, les deux (2) courbes sont confondues. Les modèles montrent deux (2) terrains en saison sèche et un troisième terrain qui apparaît après la saison des pluies.

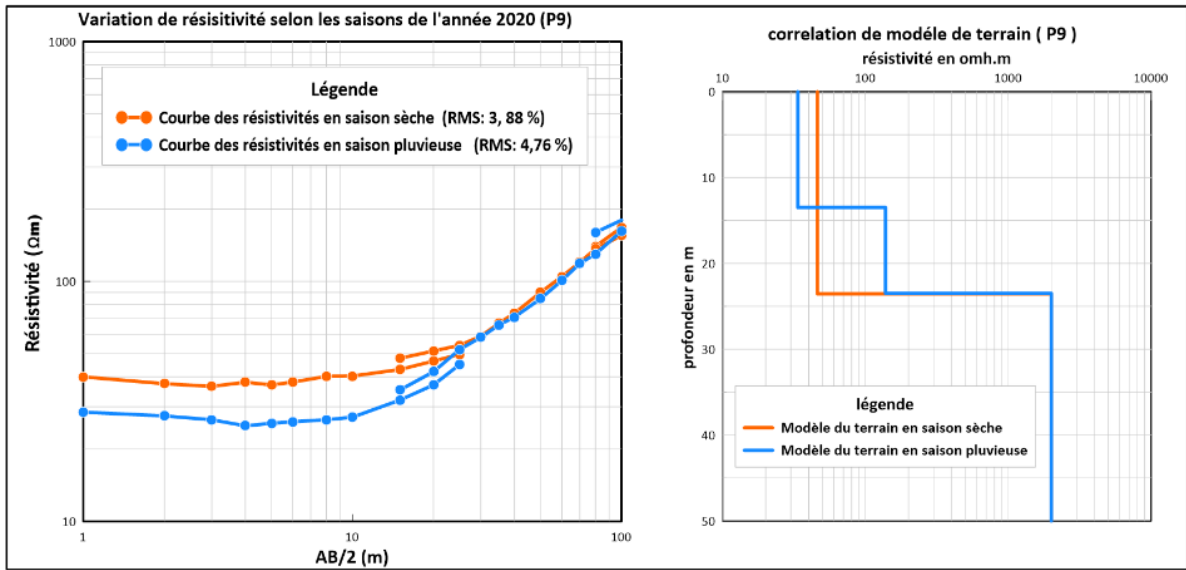


Figure 12 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 9

▪ SEV au Point 11

La Figure 13 fait ressortir la superposition des deux courbes de résistivités et les modèles des terrains. On observe après la saison de pluies, une baisse des valeurs de résistivité sur toute la profondeur de sondage. Les modèles montrent une succession de trois (3) terrains pendant les deux saisons.

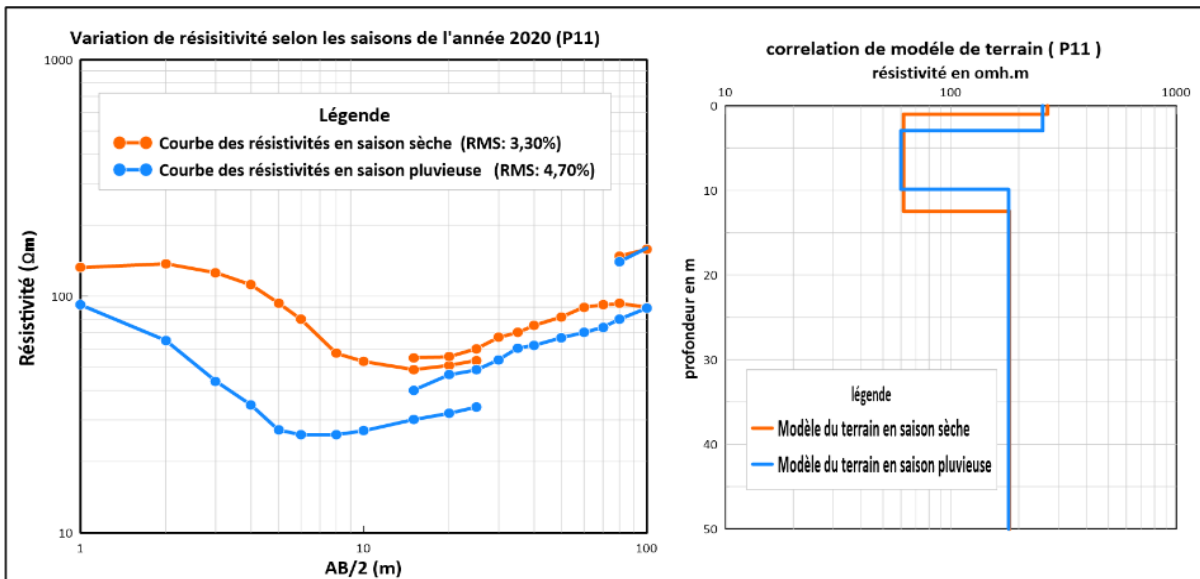


Figure 13 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 11

▪ SEV au Point 12

Les résultats des sondages effectués en ce point laissent observer après la saison des pluies une baisse des valeurs de résistivité sur toute la profondeur de sondage comme le montre la Figure 14. Les modèles font apparaitre quatre (4) terrains différents pour chacune des campagnes. Aussi, une augmentation de l'épaisseur de la troisième couche est observée après la saison des pluies, ce qui réduit la deuxième couche du sondage en saison sèche.

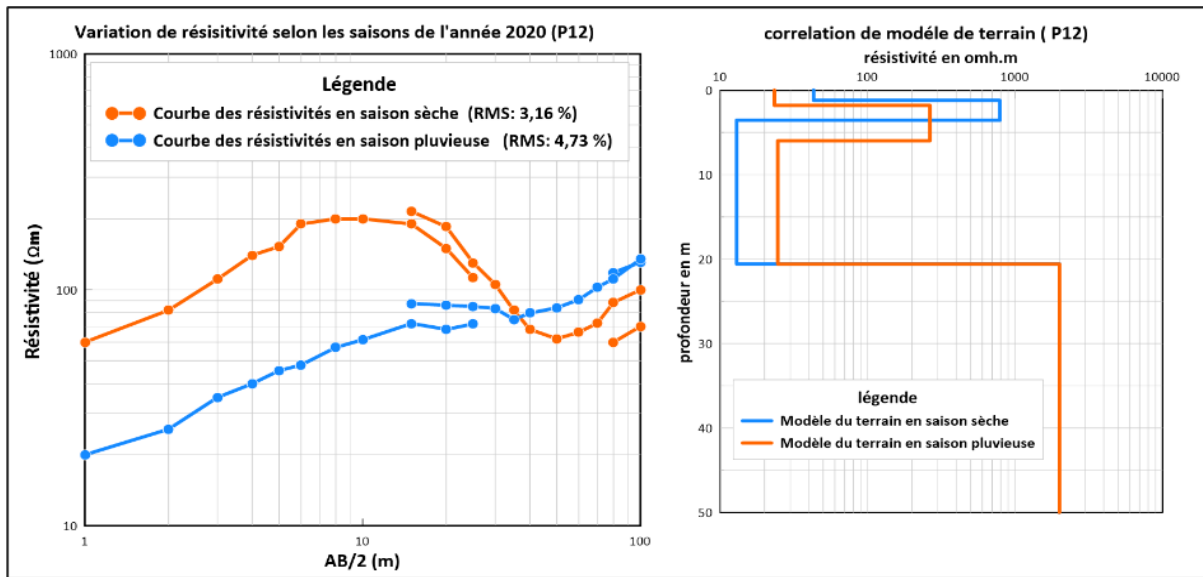


Figure 14 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 12

### 3-2. Sondages électriques verticaux sur le plateau

#### ▪ SEV au point 7

Les résultats qui sont présentés dans la **Figure 15** montrent que la courbe du sondage réalisé avant la saison des pluies est au-dessus de celle du sondage réalisé après la saison des pluies. Les modèles donnent deux (2) profils d'humidité pour le sondage en saison sèche contre cinq (5) en saison humide.

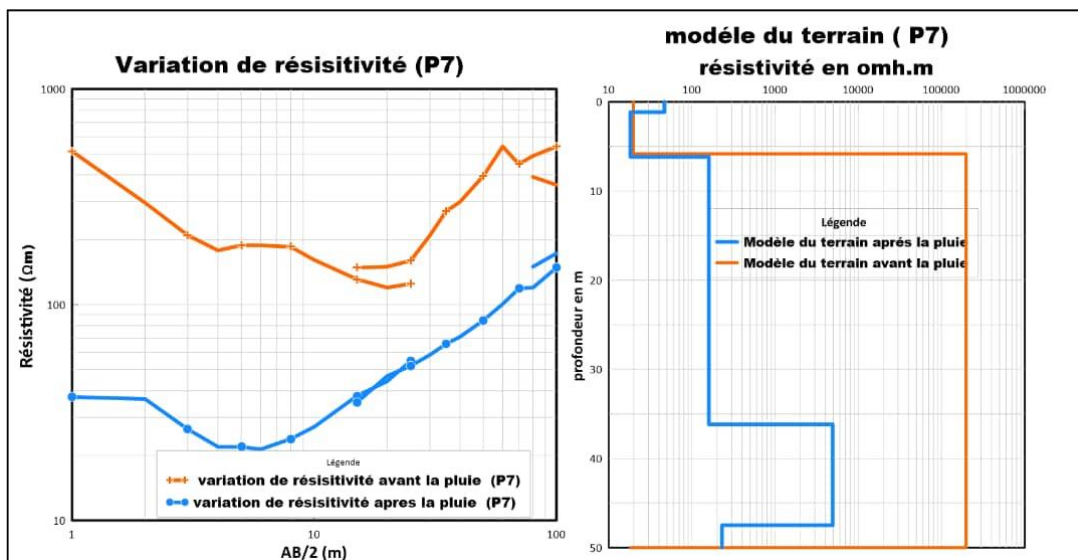


Figure 15 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 7

#### ▪ SEV au point 8

En analysant la **Figure 16**, on constate que les résistivités obtenues à l'issu du sondage réalisé avant la saison des pluies sont supérieures (80 premiers mètres) à celles issues des sondages réalisés en saison sèche. Le modèle de chacune des courbes montre trois (3) profils d'humidités avec des épaisseurs quasi identiques.

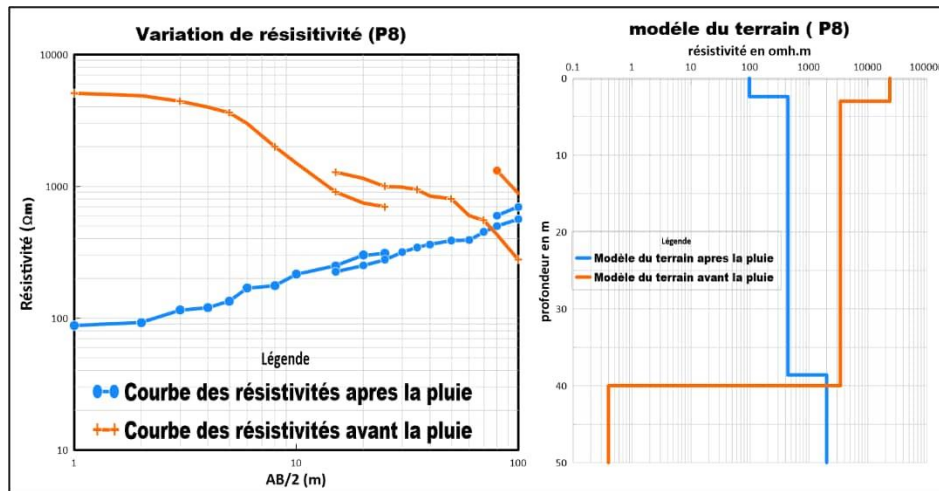


Figure 16 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 8

#### ▪ SEV au point 10

La **Figure 17** présente la superposition des résultats des sondages avant et après la saison des pluies au point 10. Elle donne aussi les épaisseurs des couches selon l'importance de résistivités. L'analyse de ces résultats montre que les résistivités sont plus faibles pour le sondage réalisé après la saison des pluies comparées celles obtenues avant la saison des pluies. La tendance est inversée à partir de 10 m. Quant aux couches, le modèle donne trois (3) et quatre (4) terrains respectivement pour le sondage après et avant la saison des pluies.

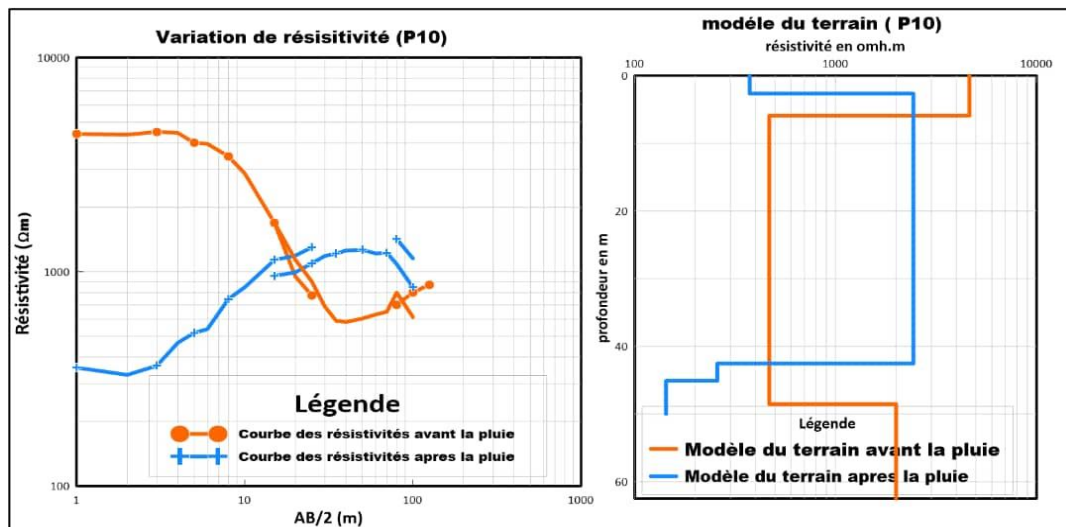


Figure 17 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 10

#### ▪ SEV au point 13

Les résultats des sondages réalisés au point 13 sont présentés dans la **Figure 18**. L'analyse de celle-ci montre que les courbes ont une allure descendante. Les valeurs de résistivités obtenues en saison sèche sont supérieures à celles obtenues en saison humide et cela sur toute la profondeur sondée. Les modèles donnent pour chacun des sondages trois (3) terrains distincts. Les horizons superficiels ont des épaisseurs quasi identiques, tandis que pour les autres horizons, terrains sont différents.



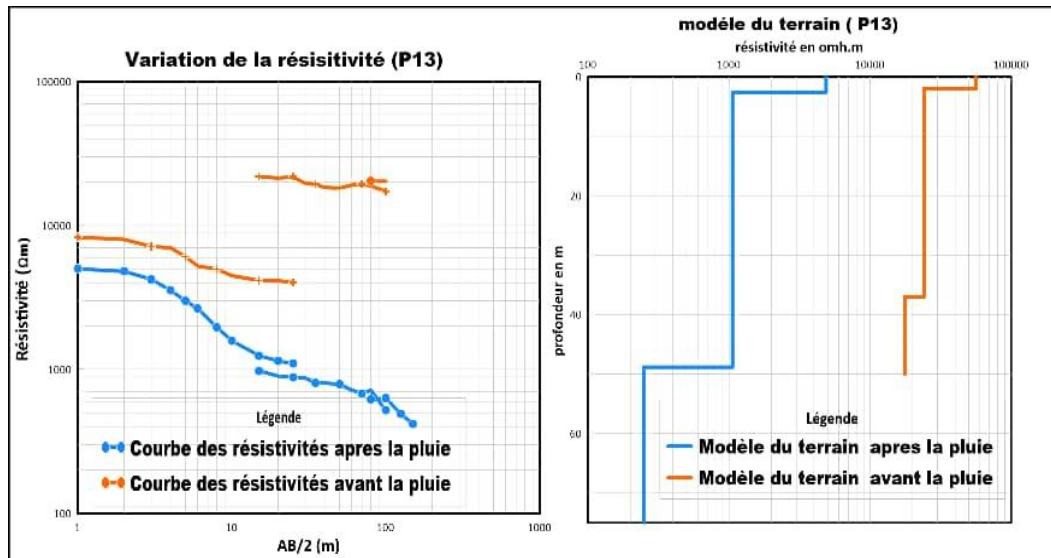


Figure 18 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 13

▪ **SEV au point 14**

Les résultats obtenus à l'issu des deux (2) sondages sont présentés dans la **Figure 19**. L'analyse de celle-ci montre pour les horizons superficiels que les résistivités en saison sèche sont supérieures à celles obtenues en saison humide. Cependant, les deux (2) courbes sont confondues à partir d'une profondeur d'environ deux (2) mètres jusqu'à huit (8) mètres. Après cette profondeur, les courbes présentent des allures différentes où on observe une évolution opposée des courbes. Les modèles donnent trois et quatre (4) terrains respectivement en saison sèche et saison humide.

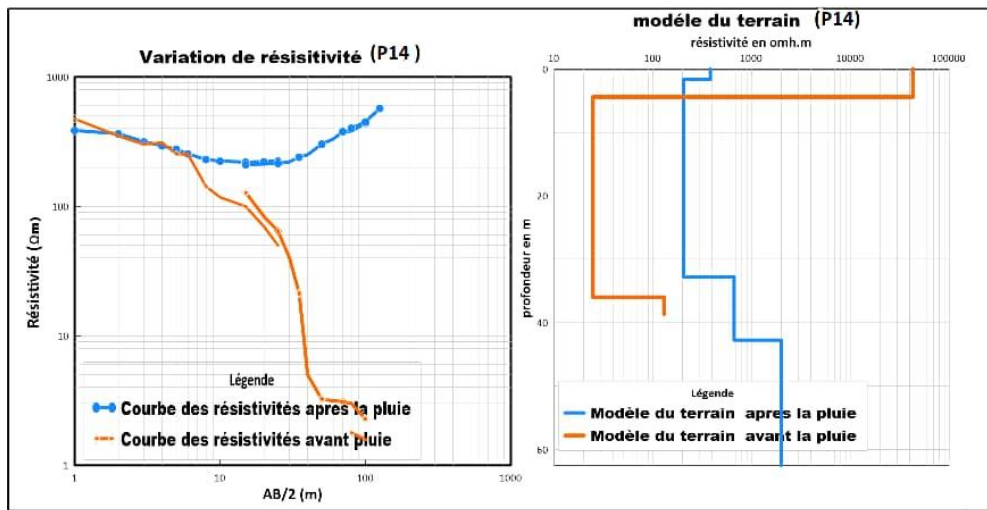
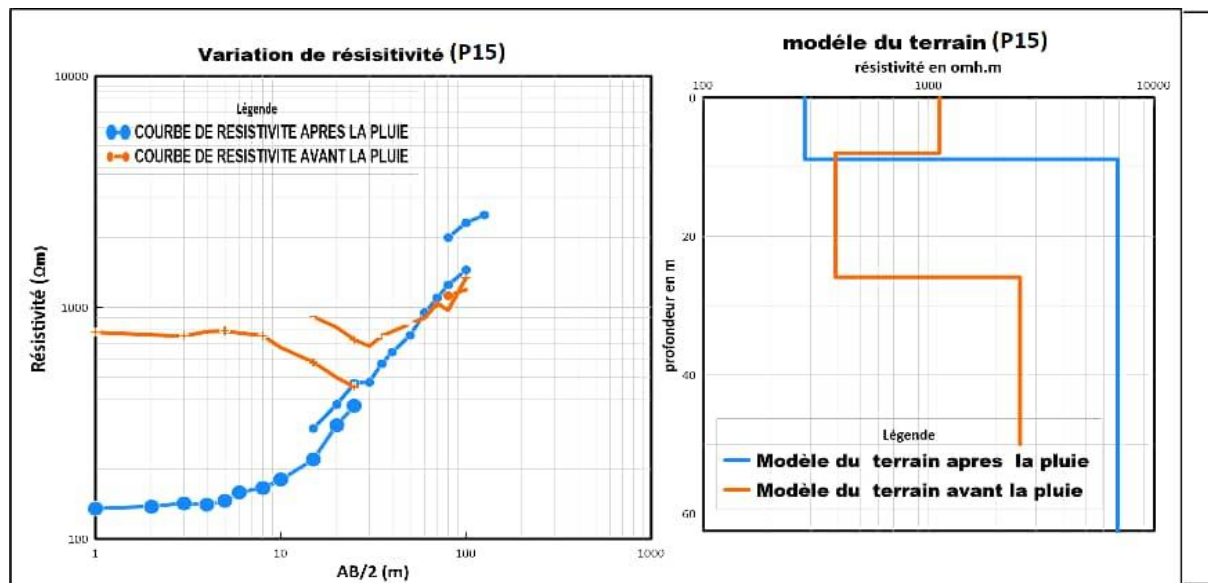


Figure 19 : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 14

▪ **SEV au point 15**

Le sondage en ce point donne des valeurs de résistivité qui varient d'une saison à une autre selon les profondeurs prospectées. Les résistivités sont importantes pour le sondage réalisé avant la saison des pluies. Après la saison des pluies, on a des faibles valeurs de résistivité. A environ 20 m de profondeur, les courbes

de résistivité des deux (2) sondages sont confondues et leurs valeurs augmentent avec la profondeur. Le modèle donne pour les deux (2) sondages et trois (3) terrains distincts respectivement après et avant la saison pluvieuse comme le montre la **Figure 20**.



**Figure 20** : Superposition des courbes des SEV avant et après saison de pluies et corrélation modèle du terrain au point 15

#### 4. Discussion

La superposition des courbes de sondages des deux (2) saisons qui montre une diminution des valeurs de résistivités après la saison des pluies se justifie par les infiltrations d'eau grâce aux pluies. Ainsi, juste après les premières pluies, la résistivité apparente mesurée décroît [34]. Il est à retenir qu'avec les pluies, le sol garde l'humidité malgré les infiltrations qui atteignent la nappe rehaussant du coup son niveau. Par ailleurs, la similitude de l'allure des courbes de résistivités des deux (2) saisons confirment les points sondés. L'interprétation de ces courbes a permis d'identifier différents groupes selon leurs allures. Il y a les courbes "fond de bateau" ou de type H ( $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ ) et concernent les sondages SEV 4, SEV 5 et SEV 6. En général, ces courbes présentent trois (03) couches [35,36]. On note également l'existence des courbes en "cloche puis en fond de bateau" qui sont majoritaires. Elles correspondent respectivement aux SEV 2, 12, 11,3 et 1. Celle en une seule branche montante ne concerne que le SEV 9. Les terrains présentés par les modèles correspondent aux profils d'humidités. Dans la plupart de cas, les modèles présentent trois (3) terrains. Pour chacun de ces derniers, diverses formations géologiques les constituent comme le témoigne la lithologie issue de la réalisation des forages dans la vallée de Boghol [37]. L'apparition des trois (3) terrains s'explique par le fait que la méthode d'inversion admet que la résistivité électrique d'une cellule dans le modèle ne doit pas trop varier par rapport à celle des cellules voisines [32]. En plus de l'épaisseur et de la profondeur, la pseudoanisotropie des couches supérieures, la résistivité de la couche même et celle de la couche inférieure sont aussi des facteurs qui influencent la détectabilité [38]. Au niveau de tous les points de sondages, les couches superficielles ont des valeurs de résistivités relativement élevées. Ces formations s'observent beaucoup plus dans les zones où les sondages sont réalisés à proximité des koris. Les couches supérieures de ces sols sont caractérisées par des valeurs de résistivité électrique très élevées car les sols sont très secs [39]. Les premières couches à faibles épaisseurs (moins de 0,5 m) sont assimilables au sable grossier déposé

par le ruissèlement. En outre, pour les deuxièmes couches, la chute des valeurs de résistivités correspond aux formations imbibées d'eau représentant ainsi l'aquifère. Ce facteur est confirmé par l'augmentation de l'épaisseur de la deuxième couche après saison de pluies au détriment de celle avant les pluies. Avec l'augmentation de l'humidité, le terrain devient facilement conducteur. Ce qui fait que, les sondages électriques verticaux indiquent que les altérations humides sont plus conductrices [40]. Le rehaussement du niveau de la nappe est lié à la recharge elle-même conditionnée par l'importance des précipitations [8]. Dans la partie aquifère, les résistivités trouvées sont inférieures à 100 ohm.m pour la quasi-totalité des sondages. En effet, les résistivités qui varient de 50 à 150 ohm.m correspondent à la gamme de l'eau douce contenue dans des milieux sédimentaires [41]. Les valeurs des épaisseurs d'alluvions en différents endroits confirment celles des vallées de Teloua, Amdigra, Tabélot, Abardokh, Tchirozérine et Afassas toutes dans l'Aïr où les épaisseurs sont comprises entre 16 et 30 m [33, 42]. En ce qui concerne les derniers terrains, les valeurs des résistivités observées sont très élevées atteignant 2000 ohm.m, elles caractérisent les résistivités des socles [14]. La quasi-uniformité de la succession des couches des modèles montre que l'aquifère présente un caractère homogène. En ce qui concerne la zone des plateaux, le contexte géologique aussi complexe, rend les sondages électriques difficiles à exploiter. En effet, la géophysique a besoin d'informations primaires, afin d'avancer avec précision sur l'interprétation des données acquises sur le terrain. Sans elles, les résultats obtenus risquent de ne pas correspondre à la réalité géologique [27]. Cette situation rend compliquée l'interprétation des résultats des sondages sur le plateau du moment où il n'existe aucun ouvrage permettant de faire une corrélation. En plus, les travaux réalisés dans cette zone n'ont concerné que le bas-fond [33, 42]. Malgré ces difficultés, les sondages ont permis de voir la différence des valeurs de résistivités entre les deux (2) saisons dans cette zone.

## 5. Conclusion

La vallée de Boghol constitue un grand bassin de productions agricoles irriguées qui alimentent la ville d'Agadez au Niger. Les cultures sont régulièrement confrontées au stress hydrique lié au tarissement précoce des ouvrages de captage. Cette variation de l'état de la nappe entraîne la baisse voire la perte de la production. Les résultats montrent que les valeurs de résistivités obtenues en saison sèche sont supérieures à celles obtenues en saison de pluie. En outre, les résistivités ont des valeurs plus importantes sur le versant que dans le bas fond et cela quel qu'en soit la saison. Ce qui a permis d'identifier pour les deux (2) saisons, trois (3) tranches d'humidités qui correspondent du haut vers le bas à la partie superficielle, l'aquifère et au substratum. L'épaisseur moyenne est de 14,70 m en saison sèche et 21,07 m après la saison des pluies. Le substratum imperméable est atteint à une profondeur maximale de 38,28 m. L'application de la géophysique en deux (2) périodes distinctes a permis de déterminer la profondeur et l'épaisseur de la nappe. Ce travail constitue une base pour l'exploitation de la nappe et servira de référence pour d'autres études comme la quantification des eaux de l'aquifère.

## Références

- [1] - J. J. BRETISSE, La prospection géophysique des eaux souterraines, *La houille blanche*, 4 (1963) 407 - 413
- [2] - D. CHAPELIER, Prospection électrique de surface : Cours online de géophysique. Institut Français de Pétrole, Université de Lausanne, Suisse, (2001) 97 p.
- [3] - R. GUERIN, Borehole and surface-based hydrogeophysics, *Hydrogeology*, 13 (2005) 251 - 254
- [4] - A. M. KOUASSI, D. COULIBALY, Y. B. KOFFI et J. BIEMI, 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), *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2 (3) (2013) 324 - 334
- [5] - R. FORTIER, Investigation géophysique appliquée à l'hydrogéologie, Université Laval, Canada, (2017) 8 p.
- [6] - P. CARRE, Vallée de Tchirozérine, bordure Sud-Ouest de l'Aïr (République du Niger) : Caractères des écoulements de surface en 1973, *ORSTOM*, (1974) 8 p.
- [7] - A. YACOUBA, Etude d'aménagement des vallées de Tabelot et Afassas. Mémoire d'ingénieur. EIER-ETSHER, Ouagadougou, Burkina Faso, (2004) 47 p.
- [8] - L. A. A. AGUIAR, M. GARNEAU, A. M. LEZINE et P. MAUGIS, Evolution de la nappe des sables quaternaires dans la région des Niayes du Sénégal (1958-1994) : relation avec le climat et les impacts anthropiques, *Sécheresse*, 21 (2) (2010) 97 - 104
- [9] - AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB et IGRAC, L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique, Manuel de formation, module 9, (2015) 18 p.
- [10] - DE G. MARSILY et M. BESBES, Les eaux souterraines, *Responsabilité & Environnement*, 86 (2017) 25 - 30
- [11] - FAO, L'État des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde : Des systèmes au bord de la rupture, Rapport de synthèse, (2021) 71 p.
- [12] - DGPRE (Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau), Étude hydrogéologique de la nappe des sables alluvionnaires entre Bakel et Kidira & l'étude hydrologique de la Falémé dans la Zone de Kidira. Rapport final de l'étude, Ministère de l'hydraulique et de l'assainissement. République du Sénégal, (2015) 63 p.
- [13] - Y. NAZOUYOU, G. FAVREAU, M. M. ADAMOUM et I. MAÏNASSARA, La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger ? *Cah. Agric.*, 25 (15003) (2016) 1 - 7
- [14] - M. OUEDRAOGO, Caractérisation des aquifères de socle pour l'amélioration de la productivité des forages d'hydraulique villageoise dans le bassin versant du Bandama blanc amont (Nord de la Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat, Université Paris Saclay, France, (2016) 199 p.
- [15] - F. GIAZZI, Ressources en eau, milieux naturels et aménagement des vallées d'oued en zone endoréique sub-désertique : étude des inter-relations anthropiques et naturelles dans trois vallées du sud-ouest du massif de l'Aïr (Niger), Thèse de doctorat, Université de Grenoble 1, France, (1990) 434 p.
- [16] - R. GALLAIRE, Hydrologie en milieu subdésertique d'altitude : Le cas de l'Aïr (Niger), Thèse de doctorat, Université de Paris-sud, France, (1995) 215 p.
- [17] - S. CAVELLEC, Evolution diagénétique du bassin de Tim Mersoï et conséquences pour la genèse des minéralisations uranifères dans les formations carbonifères du Guezouman et du Tarat (district Arlit-Akokan, Niger), Thèse de doctorat, Université de Paris-sud XI, France, (2006) 373 p.
- [18] - A. K. H. SALEY, Évaluation des ressources en eau de l'aquifère du Continental Intercalaire/Hamadien de la Région de Tahoua (bassin des lullemeden, Niger) : impacts climatiques et anthropiques. Thèse de doctorat, Université Paris Saclay et Université de Niamey, Orsay, (2018) 197 p.
- [19] - M. CHAIBOU, Productivité zootechnique du désert : Le cas du bassin laitier d'Agadez au Niger, Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France, (2005) 251 p.
- [20] - M. RAULAIS, Esquisse géologique sur le massif cristallin de l'Aïr (Niger). *Bull. Soc.géol.Fr.*, 7e série, 1 (2) (1959) 207 - 223



- [21] - R. BLACK, Carte géologique du massif de l'Aïr, République du Niger, (1967)
- [22] - C. MOREAU, Les complexes annulaires anorogéniques à suites anorthositiques de l'Aïr Central et septentrional (Niger), Thèse d'état, Nancy, (1982) 356 p.
- [23] - I. ALHASSANE, Evaluation des ressources en eau souterraines du bassin de Timia (Massif de l'Aïr, Nord du Niger) : Impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques, Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, (2018) 238 p.
- [24] - A. JOSEPH, Recharges et paléo recharges des nappes en région sub désertiques au Niger. Thèse de l'université Paris VI, France, (1992) 163 p.
- [25] - PromAP, Schéma d'aménagement de la vallée de Boghol, Rapport d'étude, (2018)
- [26] - K. YOUSOUF, Application de la géophysique (électrique) à l'étude des aquifères alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal (Nord-Guiers, Dagana, Bas-Ferlo), DEA de géologie appliquée, mention hydrogéologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, (1992) 75 p.
- [27] - K. CHALIKAKIS, Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, (2006) 211 p.
- [28] - H. BOUIKBANE, M. BOUALOUL et A. BENAMARA, Prospection par méthode de Sondages électrique au niveau du piedmont du Causse Moyen Atlasique D'el Hajeb-Ifrane (Maroc). *Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, 4 (4) (2016) 42 - 52
- [29] - BRGM, Etude méthodologique par méthodes électrique et électromagnétique sur le site pilote de Lufiac (Ille et Vilaine), (1983) 38 p.
- [30] - M. BOUCHER, Estimation des propriétés hydrodynamiques des aquifères par Résonance Magnétique des Protons dans différents contextes géologiques, de l'échantillon à l'échelle hydrogéologique, Thèse de doctorat, Université d'Orléans, France, (2007) 186 p.
- [31] - F. RADSTAKE et Y. CHERY, Prospection géophysique pour la recherche de l'eau souterraine en Haiti, *Hydrological Sciences Journal*, 37 (1) (1992) 1 - 12
- [32] - Y. HACINI, Application des méthodes géophysiques à l'étude de deux sites (Kappelen et grenchen) de l'aquifère poreux complexe du Seeland, Thèse de doctorat, Université de Lausanne, Suisse, (2006) 173 p.
- [33] - C. ARMAND, Programme d'hydraulique villageoise et agricole dans les départements de Tahoua et Agadez (Niger), Rapport de synthèse, République du Niger, (1987) 91 p.
- [34] - M. Descloitres, Aquifères, recharges et transferts d'eau en zone non-saturée : Caractérisation par spatialisation et suivi temporel géophysique, Synthèse des travaux de recherche, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Joseph Fourier de Grenoble, (2010) 251 p.
- [35] - G. K. E. KOUAKOU, L. DOSSO, L. N. KOUAME, A. P. SOMBO et B. C. SOMBO, Contribution des méthodes de résistivité électrique à la recherche d'eau en milieu cristallin : cas de Yakassé-Attobrou et d'Abié, région de la Mé, Côte d'Ivoire, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 26 (2015) 194 - 211
- [36] - K. G. H. LOUKOU, K. E. G. KOUAKOU, L. N. KOUAME et B. C. SOMBO, Prospection des eaux souterraines dans la localité de Bondoukou (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) : apport de la méthode électrique, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 32 (2018) 172 - 187
- [37] - BUNEC, Pour l'implantation, suivi et contrôle des travaux de réalisation de dix-huit (18) forages piézométriques au niveau de certaines vallées dans le département de Tchirozérine (Région d'Agadez), Rapport de la mission, (2018) 65 p.
- [38] - C. L. ANNY, Application de la méthode des sondages électriques à la caractérisation des aquifères et des dépôts meubles, Basses-Terres du St-Laurent, région Nord de Montréal, Mémoire de maîtrise, Institut National de la Recherche Scientifique, Québec, (1998) 92 p.

- [39] - G. BELLIER, N. GAALOUL, J. O. JOB, J. P. MONTOROI et P. ZANTE, Interprétation pédologique de données électromagnétiques et électriques. Application au bassin versant d'El Gouazine (Tunisie Centrale). Géophysique des sols et des formations superficielles. Colloque GEOFCAN du 11-12 septembre, Bondy, France, (1997) 17 - 22
- [40] - M. S. A. BABAYE, Evaluation des ressources en eau en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako-Niger). Thèse de Doctorat, Université de Liège et Université Abdou Moumouni de Niamey, Belgique, (2012) 265 p.
- [41] - M. J. CARLA, Etude de l'interaction surface - souterrain du système aquifère Tumbaco - Cumbaya en Equateur, avec une approche hydrodynamique et géochimique, Thèse de doctorat, Université Montpellier 2, (2014) 231 p.
- [42] - A. DODO, Etude des Circulations Profondes dans le Grand Bassin Sédimentaire du Niger : Identification des Aquifères et Compréhension de leurs Fonctionnements, Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, (1992) 101 p.