

## **Impact des aménagements hydrauliques de résilience des populations face aux changements climatiques sur les ressources en eau en contexte sahélien de socle cristallin : cas de Déou au Burkina Faso**

**Youssef KOUSSOUBE\***, Alain Nindaoua SAVADOGO et Abraham BABINE

*Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre,  
Département des Sciences de la Terre, BP 848 Ouagadougou 09, Burkina Faso*

---

\* Correspondance, courriel : [youssef.koussoube@gmail.com](mailto:youssef.koussoube@gmail.com)

### **Résumé**

La grande sécheresse entamée depuis les années 1970 qui sévit dans la bande Sahélienne d'Afrique a des répercussions néfastes sur les ressources naturelles et les écosystèmes en général. Les solutions de mitigation des effets néfastes de la sécheresse sont proposées. Pour ce qui concerne les ressources en eau de surface et eau souterraine, les digues filtrantes et autres retenues d'eau permettent de concentrer les écoulements des eaux de surface pour les différents usages; ce qui a pour conséquences, une infiltration plus accrue et une recharge plus importante de la nappe souterraine. De nombreux travaux concourent à décrire le paradoxe sahélien, qui désigne le fait que pendant cette péjoration climatique, certaines nappes d'eau souterraine ont vu leur niveau augmenter dans les bas-fonds alors que les pluies sont plus faibles et le ruissellement plus intense. La présente étude montre que dans le Sahel Burkinabé, lorsque le contexte géologique est sub-affleurant et la minéralisation forte, les aménagements hydrauliques comme les barrages et les digues filtrantes entraînent une meilleure recharge de la nappe et améliorent la qualité chimique de l'eau aux fins d'approvisionnement en eau potable des populations. Dans le Sahel Burkinabé, dans la localité de Déou (province de l'Oudalan) comptant aujourd'hui près de 9 000 habitants, le déploiement de techniques de télédétection, de géologie et de l'hydrogéologie de terrain, de la chimie des eaux, a permis de déterminer des plateformes défavorables et des plateformes favorables pour l'exploitation des eaux souterraines en vue de l'alimentation en eau potable de la localité de Déou. Les plateformes favorables du point de vue quantitatif sont situées près des digues filtrantes, alors que les plateformes offrant à la fois une quantité importante d'eau et une meilleure qualité chimique sont situées à l'amont de digue filtrante là où la nappe est mieux rechargée et où les fortes minéralisations géogéniques en fer et en fluor sont diluées et de ce fait, l'eau souterraine se trouve bonne pour l'alimentation en eau potable de la localité de Déou.

**Mots-clés :** *changement climatique, Sahel, digue filtrante, nappe souterraine, géophysique, télédétection, chimie des eaux, Déou, Burkina Faso.*

## Abstract

### Impact of hydraulic installations designed for the resilience against climate change, on water resources in the Sahelian and crystalline basement contexts : case of Déou in Burkina Faso

The drought that began in the 1970s in the Sahel belt of Africa has a negative impact on natural resources and ecosystems in general. Mitigation solutions adverse effects of drought are proposed. Regarding the surface water and groundwater, filter and other dams it is possible to concentrate the flow of surface water for various uses; this has likely consequence, a more increasing of the infiltration and a higher replenishment of the groundwater. Many studies combine to describe the Sahelian paradox, which refers to the fact that during this climatic deterioration, some ground water have seen rising up to the surface while the rains are weaker and more intense is the runoff. This study shows that in the Sahelian zone of Burkina Faso, where the geological setting is sub-outcropping and with a strong mineralization of groundwater, hydraulic projects like dams and filtering dykes lead to better groundwater recharge and improve the chemical quality of the water purposes of drinking water supply of the populations. In this study case at Deou counting now nearly 9000 inhabitants, the use of remote sensing techniques, geology and hydrogeology, water chemistry, has identified adverse platforms and favorable platform for the exploitation of underground water for the drinking water supply. Favourable platforms quantitatively are located near the filtering dykes, while platforms offering both a large amount of water and better chemical quality are located at the upstream of the filter dam where the recharge is better and where strong mineralization of iron and fluoride are diluted and therefore, groundwater is good for drinking water supply.

**Keywords :** *climate change, Sahelian zone, filtering dam, groundwater, geophysics, remote sensing, water chemistry, Deou, Burkina Faso.*

## 1. Introduction

Depuis les années 1970, la bande sahélienne africaine connaît une longue période de sécheresse. Les chroniques pluviométriques les plus anciennes dans la région tendent à montrer, que depuis les années 2000, on note un retour progressif vers des pluviométries de plus en plus humides [1, 2]. Ce changement climatique s'accompagne par des catastrophes naturelles comme les inondations dans beaucoup de localités. Les conséquences de cette longue péjoration climatique sont perceptibles sur les écosystèmes et les ressources en eau. En effet, la désertification s'est accélérée et beaucoup d'espèces végétales se sont vues disparaître progressivement depuis le Sahel Burkinabé en descendant progressivement vers le domaine plus humide. C'est le cas par exemple de *Pterocarpus lucens* dans la région sahélienne [3]. Les sols dénudés et encroûtés se sont étendus, les surfaces cultivables se sont étendues et la qualité des sols s'est dégradée dans le même temps, la végétation s'est réduite progressivement [4]. Pour ce qui concerne les ressources en eau, les plans d'eau de surface subissent les effets négatifs avec la diminution de leur remplissage, l'ensablement et les ruptures de digues consécutives aux fortes crues enregistrées. Beaucoup de puits et forages se sont vus asséchés ou ont enregistrés une baisse importante du niveau de la nappe [5, 6], **Figure 1**. Dans les bas-fonds des cours d'eau intermittents, les eaux de ruissellement sont importantes du fait du sol dénudé et encroûtés en liaison avec la désertification. Ces eaux sauvages se concentrent dans les oueds du domaine sahélien et la nappe phréatique, dans le sens contraire de la diminution des précipitations voient leur niveau se rapprocher de la surface [2, 7 - 9]. Plus généralement, l'ensemble des techniques de résiliences de la sécheresse a un impact sur les ressources en eau.

La sécheresse qui sévit dans le Sahel a amené les populations et les pouvoirs publics à initier des programmes de résiliences tant au niveau de la parcelle de terrain qu'au niveau plus local (village) et régional (techniques de restauration des sols et techniques de conservations des eaux et des sols (paillage, diguettes anti érosives, cordons pierreux isohypses, zai, alternances ou associations des plantes, demi-lunes, digues filtrantes, reboisement villageois, initiative de la bande vertes africaine allant du Sénégal à l'Ethiopie). Ces méthodes de résilience ne sont pas sans conséquences sur la restauration des écosystèmes que sur les ressources en eau de surface et souterraine qu'elles améliorent tant du point de vue physique que du point de vue de l'activité biologique qu'elles augmentent. Dans beaucoup de localités situées sur socle cristallin, le problème de la quantité des ressources disponibles se pose car la démographie est galopante et atteint 3 %. La pression sur les ressources naturelles va de pair avec cette croissance de la population [4]. Dans le cas particulier de Déou, les statistiques de 2005 [10] indiquent une population de près de 10 000 habitants. L'alimentation en eau potable de la ville se pose tant du point de vue qualitatif que du point de vue quantitatif.

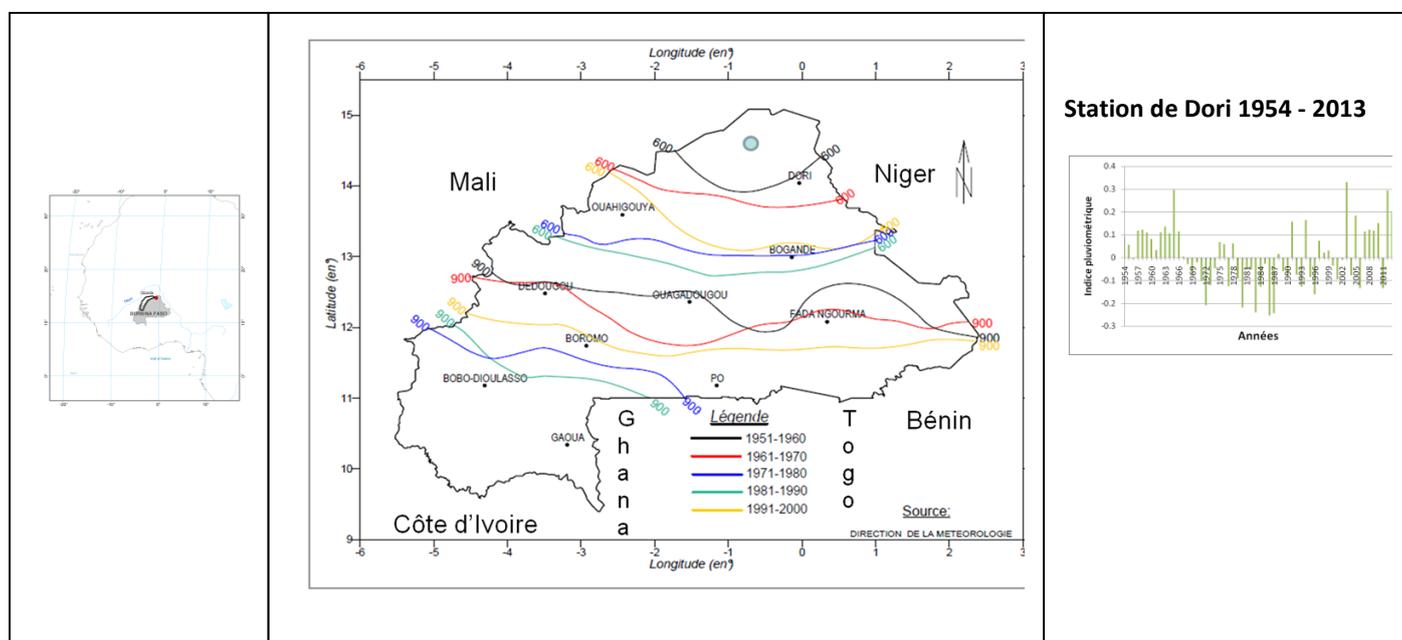
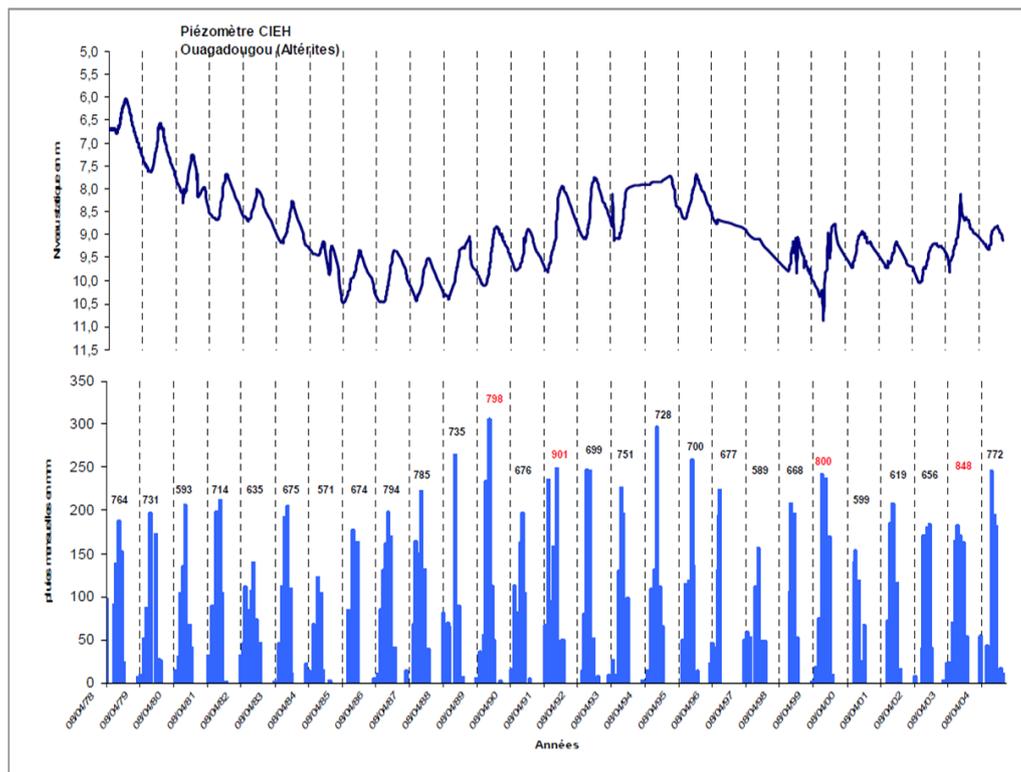


Figure 1 : Situation de la zone d'étude et Indice pluviométrique 1954 - 2013 à la station de Dori



**Figure 2 :** *Fluctuations de la nappe entre 1978 et 2014 au piézomètre de référence de Ouagadougou (Ouandaogo/Yaméogo 2008)*

Les nombreux puits et forages de la localité se sont révélés improductifs ou à débits insuffisants ou tarissables quelques temps après leur mise en exploitation. La population est obligée de s'alimenter en eau potable à plus de 6 km de la ville dans une zone favorable du fait des digues filtrantes construites le long du bas-fond de Ayagorou. De plus, le grand nombre du cheptel (boeufs, moutons et chèvres dont le nombre peut tripler la population humaine) ne fait qu'accroître les besoins en eau pour toute la zone aux alentours de Déou. En plus du problème quantitatif de la ressource en eau s'ajoute celui de sa qualité chimique et bactériologique. La forte évaporation des ressources d'eau de surface et d'eau souterraine a entraîné la forte minéralisation de la nappe, ce qui la rend impropre au-delà de 1000 mg/L car elle affecte la santé : calculs urinaires, etc. De plus, la proximité d'un granite tarditectonique de type granophyre et des roches volcaniques basiques riches en minéraux sulfurés et fluorures, fait que l'eau souterraine est impropre à la consommation (fluorose dentaire et osseuse chez les jeunes enfants). Face à ces difficultés naturelles d'accès à l'eau potable, cette étude a été menée avec pour objectifs :

- de décrire le mode de gisement et d'identifier une nappe souterraine importante et de bonne qualité chimique à même de résoudre l'alimentation en eau potable de la localité de Déou ;
- de montrer l'impact négatif de la sécheresse sur les ressources naturelles et en particulier les ressources en eau souterraine en contexte sahélien ;
- de montrer le rôle bénéfique pour l'environnement et les écosystèmes des techniques de restauration des sols et de conservation des eaux. En particulier, il s'agit de montrer le rôle important tant du point de vue qualitatif que quantitatif que peuvent jouer ces ouvrages de résilience sur les ressources en eau souterraine pour des besoins d'AEP (adduction en eau potable).

## 2. Contexte de l'étude

### 2-1. Situation géographique et climatique

Déou est située à 75 km au Nord-Ouest de Gorom-Gorom chef-lieu de la province de l'Oudalan dans la région du Sahel (*Figure 2*). La pluviométrie qui est celle de la zone climatique sahélienne est faible. Elle est inférieure à 500 mm/an (*Figure 1*). Les pluies tombent entre les mois de juin et octobre seulement. Le reste de l'année est sec et sans pluies, laissant la place au vent et au soleil. L'évaporation sur plan d'eau est d'environ 2 300 mm / an (Météorologie nationale du Burkina Faso). Cette répartition des pluies et ces quantités faibles de pluies font qu'il en résulte une infiltration qui n'autorise pas partout une bonne recharge des nappes souterraines. Seules les zones des oueds (bas-fonds) bénéficient d'une recharge préférentielle quelques fois importante après l'infiltration des eaux ruisselées et concentrées à leur niveau. En dehors de ces zones, les prélèvements par évapotranspiration sont plus importants par rapport aux apports pluvieux. On assiste alors, en zone de socle cristallin, à l'assèchement de nombreuses poches d'eau liées aux fractures qui affectent le substratum. On peut illustrer cette situation par la (*Figure 3*) du piézomètre ancien de Ouagadougou, dont le toit de la nappe baisse et monte selon les quantités de pluie tombée. La plaine du Gondo dont l'une des caractéristiques est sa dépression piézométrique se situe à moins 20 km au nord de Déou. Il est connu aussi qu'à cette dépression sont aussi associées de fortes minéralisations induisant des fortes conductivités des eaux souterraines [2, 11].

### 2-2. Le contexte géologique et hydrogéologique

La ville de Déou repose sur un granite souvent rose et à grain moyen avec de nombreuses diaclases donnant lieu à une altération en boules bien caractéristique. Au Sud de la ville, à Ayagorou, le granite est intrusif dans des rhyodacites passant à des metabasaltes. Les limites sur le terrain des affleurements diffèrent beaucoup souvent de celles indiquées sur la carte géologique. Le passage du granite aux roches vertes se fait dans des zones où l'altération plus importante masque les contacts géologiques. On note sur le sable alluvionnaire déposé le long des bas-fonds, sous forme de bandes sombre, de la limaille de fer à grains très fins, provenant de l'érosion des sulfures et oxydes de fer arrachés des formations rocheuses (granitoïdes, roches vertes). Déou est donc bâtie sur des granites abondamment affleurants ou sub-affleurants. Il s'en suit que du point de vue hydrogéologique, même si le granite était fracturé pour produire un débit supérieur à 5 m<sup>3</sup>/h, l'absence d'une épaisse couche d'arène qui, gorgée d'eau, jouerait la fonction capacitive ne permet pas d'espérer dans les environs immédiats de cette bourgade de gros débits permanents pour alimenter une adduction d'eau. Cette observation de base faite, la recherche hydrogéologique va s'orienter vers la recherche des failles affectant les roches volcanosédimentaires encaissantes ou les contacts faillés entre les formations géologiques. L'environnement géologique général s'y prête bien. En effet, sur la carte géologique au 1/200 000 de Dori [12], on décrit dans la zone de Déou des granites alcalins tarditectoniques (granophyre, granite à gros amphibole et biotite) intrusifs dans les nombreux faciès du géosynclinal du birimien inférieur (orthoigneiss et migmatites à biotite et amphibole, rhyolites et métarhyolites, méta-volcanites, orthoamphibolites) fortement tectonisés contrairement au granite de Déou qui l'est moins et présente une altération en boules caractéristique favorisée par les fentes de retrait liées au refroidissement du magma. La carte tectonique de la région [12, 13] indique à l'Ouest de la localité de Déou une faille associée au réseau hydrographique de direction Nord-Sud. Cette anomalie importante aurait pu être mise à profit dans la recherche d'eau mais, la distance de plus de 40 kilomètres est un facteur limitant. L'analyse géomorphologique découlant de la photo-interprétation effectuée dans le cadre de cette étude, montre que la ville est située sur le flanc ouest d'un massif de granite.

Ce massif constitue le point de départ d'un ruissellement radial des eaux pluviales qui rejoignent très rapidement les oueds nord et sud entourant la ville. Cette morphologie est très défavorable à une bonne infiltration des eaux pluviales qui sont du reste inférieures à 500 mm/an. Sur les photographies aériennes comme à partir de l'image satellitaire LANDSAT ETM+, la cartographie des gros affleurements est possible comme l'est celle des linéaments qui parcourent la zone. Ces derniers épousent trois directions principales : EW, NW-SE et NE-SW.

### 3. Méthodologie

La démarche de notre recherche comprend les étapes suivantes :

- La documentation ;
- La télédétection qui permet de définir les plateformes en fonction de la géomorphologie, de la densité et de l'importance des linéaments ;
- L'analyse géologique et hydrogéologique tant sur carte que sur le terrain ;
- La prospection géophysique multi méthodes (électromagnétisme et électrique) ;
- La chimie des eaux consistant à doser et à analyser et interpréter les dosages des paramètres physico-chimiques, des ions majeurs et mineurs ainsi que de métaux et de métalloïdes.

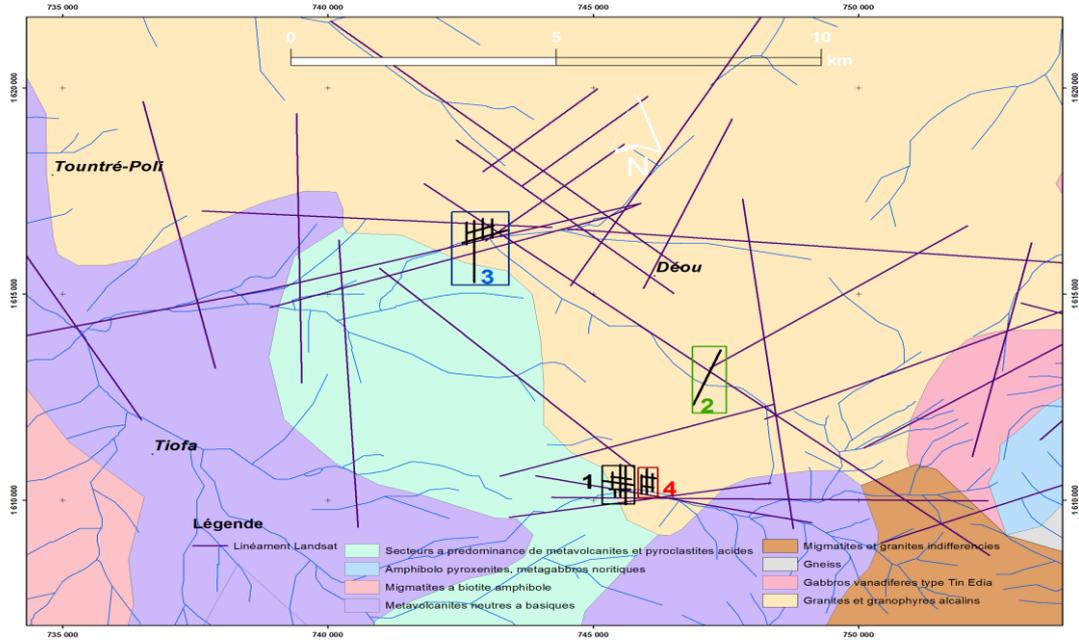
#### 3-1. Documentation

##### *3-1-1. Inventaire des ressources en eau disponibles*

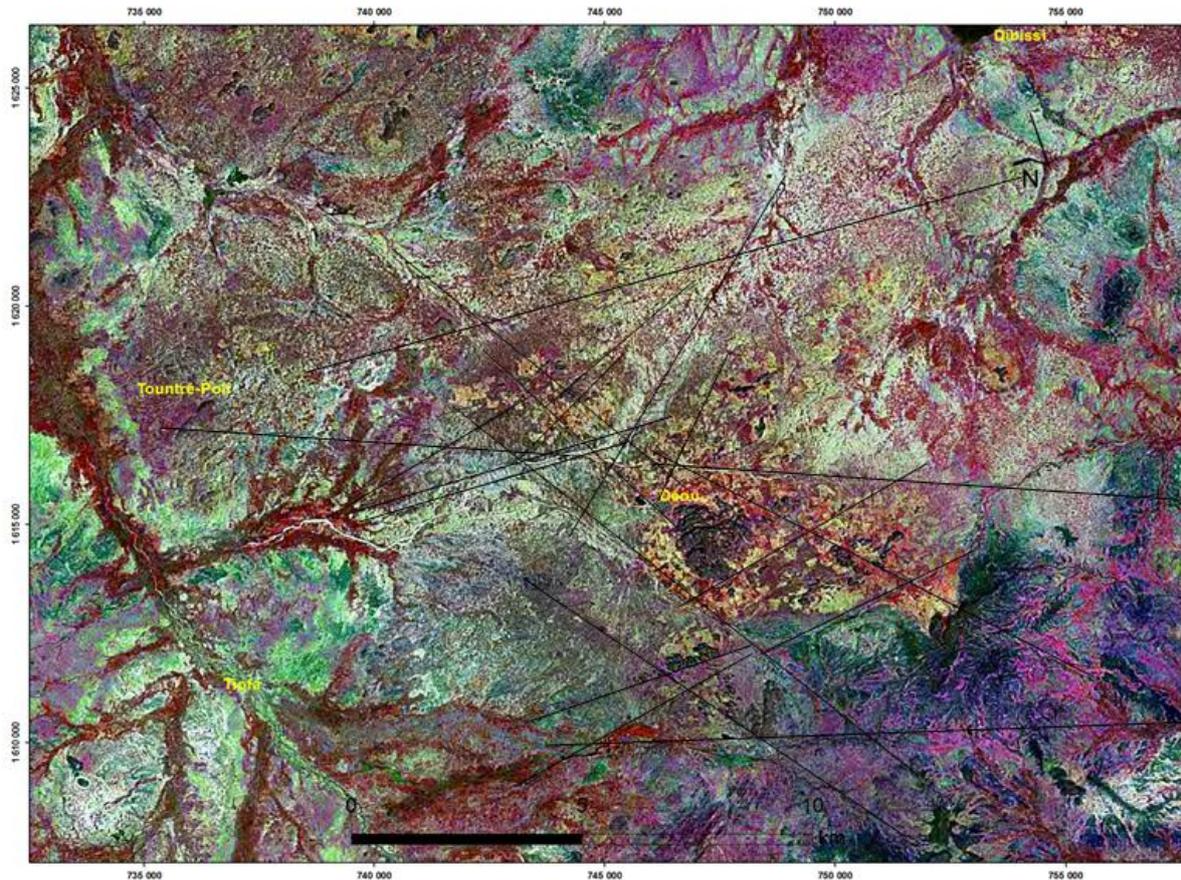
Elle a consisté à réunir les bases de données sur les ressources hydrauliques ainsi que sur la géologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude. Les données récoltées concernent le fichier des points d'eau de la commune de Déou notamment celui de la DGRE et de Plan Burkina qui avait en charge les derniers travaux d'équipement en forages d'eau pour adduction de la ville. On retient que le seul point d'eau pouvant fournir la ressource à une adduction d'eau est le forage du village d'Ayagorou situé à 5km au sud de la ville de Déou. Un débit de 18m<sup>3</sup>/heure lui est attribué mais la qualité des eaux ne répondait point aux normes de potabilité requises. Il y était observé des teneurs excessives en fer, en sulfates et en fluor et une forte minéralisation (supérieure à 1000 mg/L) conduisant à une conductivité supérieure aussi 1000 µs/cm. Le problème de ressource en eau qui est posé ici est donc à la fois quantitatif mais aussi qualitatif.

##### *3-1-2. Géologie et hydrogéologie de terrain*

La carte géologique est un extrait de la carte au 1/200 000 dressée par [12] pour le compte du Bureau de recherches géologiques et minières en 1971 et un extrait de la carte au 1/1 000 000ème du Burkina Faso [13], (**Figure 2**). En outre, une reconnaissance géologique de terrain a été opérée dans le cadre de cette étude, en vue de préciser, à l'échelle des plateformes de prospection, le contexte géologique et les structures tectoniques (directions) en vue de guider le choix des plateformes de prospection géophysique.



**Figure 2 :** Carte géologique de la région de Déou portant indication des plateformes de prospection et des linéaments sur lesquels se fonde le choix des plateformes



**Figure 3 :** Image LANDSAT ETM+ et linéaments principaux du site de Déou

### 3-2. Télédétection satellitaire et aérienne

La télédétection a été utilisée pour illustrer le contexte physio-graphique et géologique de la zone ainsi que pour l'identification des linéaments. Les linéaments sont des structures géologiques linéaires ou courbes, assimilables à des fractures, réceptacles des eaux souterraines en milieu de socle cristallin. La photo-interprétation s'est appuyée sur les photographies aériennes 2016, 2017, 2018 de la mission IGB 81022 HV de décembre 1981. L'image satellitaire analysée est un extrait de la mosaïque LANDSAT ETM+ d'octobre 2000 (bandes spectrales 5, 7 et 2). Le repérage des linéaments et mégalinéaments satellitaires s'est opéré manuellement, sur la composition colorée RGB 572 (*Figure 2*).

### 3-3. Géologie et hydrogéologie de terrain

Cette étape consiste à décrire sur le terrain les roches rencontrées ainsi que les mesures structurales des fractures et filons (signatures directes). Les signatures indirectes de la fracturation sont repérées sur le terrain ainsi que l'inventaire des ouvrages de captages existants est fait.

### 3-4. La géophysique multi méthodes

Pour la productivité, la géophysique multi méthodes a été mise à contribution pour repérer les failles et les contacts faillés (zones de changement de faciès géologiques). Deux méthodes en une dimension ont été utilisées : l'électromagnétisme dipôle multifréquentiels et l'électrique (méthode des résistivités). Ces deux méthodes sont conjointement utilisées, avec d'abord, l'utilisation de l'électromagnétisme Max Min [14 - 16] qui est légère et rapide à mettre en œuvre sur le terrain. L'électrique plus lourde vient à la suite des traînés électromagnétique pour confirmer les plages anormales précédemment identifiées par la méthode électromagnétique. C'est le dispositif Schlumberger qui a été utilisé. Les sondages électriques verticaux sont réalisés dans les zones d'anomalies conductrices. Des cartes isovaleurs sont dressées à partir des mesures en une dimension.

### 3-5. La chimie des eaux

Les forages existants dans la zone d'Ayagorou et les nouveaux forages positifs ont fait l'objet d'échantillonnage pour des analyses physico-chimiques des majeurs (potassium, sodium, calcium, magnésium, sulfates, bicarbonates, nitrates, nitrites) et des mineurs (ammoniac, phosphore, orthophosphates, fluor, fer), ainsi que de métaux et métalloïdes (manganèse, arsenic, zinc, cobalt). Le dosage du pH, de la conductivité électrique, de la dureté permet de se situer sur la minéralisation des eaux et de leur équilibre chimique (type d'aquifère basique ou acide, agressivité des eaux). L'arsenic a été dosé étant donné que dans la zone sahélienne, des concentrations importantes de cet élément sont couramment signalés dans les zones aurifères [17 - 19].

### 3-6. Le choix des plateformes

L'importance des linéaments (longueur multi kilométrique) et leurs nœuds ont guidé le choix des plateformes de prospection géophysique ; mais compte a été tenu aussi de la géomorphologie avec notamment, les bas-fonds, lieux de concentration des écoulements d'eau de surface. En effet nous avons tenu à rester dans les oueds afin d'y bénéficier d'une bonne recharge des nappes en présence.

Nous avons retenu quatre plateformes (*Figure 2 et Figure 3*):

- La plateforme N°1 située dans le village d'Ayagorou à cinq (5) km au Sud de Déou où a été identifié le forage ayant un débit de 18 m<sup>3</sup>/h mais dont la qualité chimique des eaux les rendait impropres à la consommation. Cette plateforme a été étudiée la première pour permettre de comprendre deux choses : les facteurs de la bonne productivité hydraulique et de la qualité chimique des eaux.

La plateforme est traversée par deux importants linéaments de direction est-ouest et nord est-sud et ouest ;

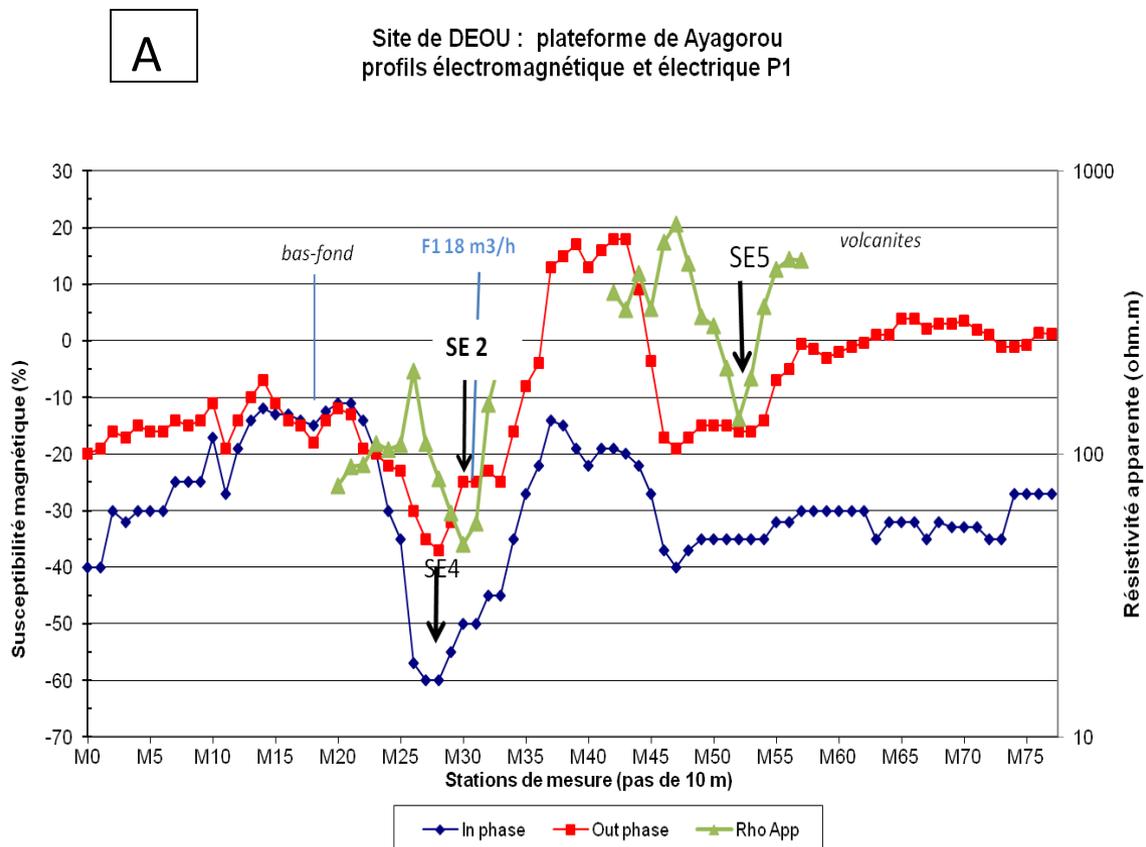
- La plateforme N°2 se situe en pleine zone granitique entre Déou et Ayagorou à cheval sur un méga-linéament long de plusieurs dizaines de kilomètres séparant les deux plus importants massifs granitiques de la zone. Son tracé se superpose à celui du ravin sud de la ville ;
- La plateforme 3 est située à 2,5 km à l'ouest de la ville dans une zone d'oued traversée par au moins cinq méga-linéaments où les granites cèdent la place au Sud-Ouest et à l'extrême Nord à des formations volcano sédimentaires birimiennes. Deux bras de rivière s'y rencontrent. Le choix de cette plateforme visait surtout à rapprocher l'implantation des forages d'eau de la ville ;
- L'identification de la plateforme 4 découle de l'analyse des données d'observations de terrains et de celles de la prospection géophysique et de la chimie des eaux. Elle est située dans l'oued situé à 500 m à l'Est de la plateforme N°1, là où également, une diguette filtrante a été construite.

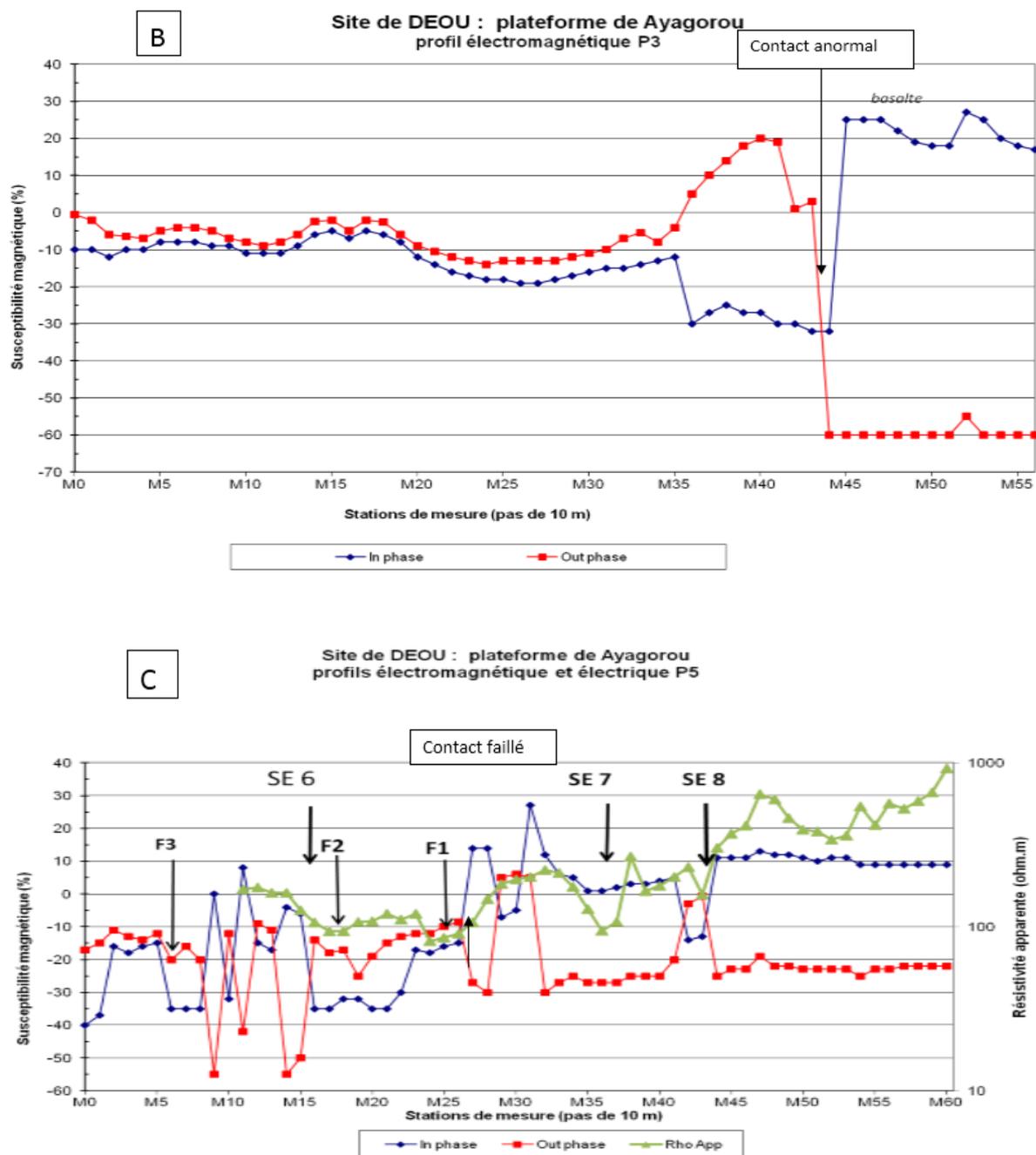
#### 4. Résultats et discussion

Les résultats seront présentés par plateforme selon qu'il y a des aménagements hydrauliques ou pas. On abordera dans chaque cas, les résultats de la géophysique ainsi que de la chimie des eaux souterraines.

##### 4-1. Les plateformes situées dans des zones dotées d'aménagements hydrauliques

###### 4-1-1. Structure et géométrie des aquifères en présence





**Figure 4 : Graphes des profils de traîné (A, B, C)**

La plateforme N°1 (village d'Ayagorou) a été la plus investiguée, puisqu'elle contient le forage le plus productif de la commune ( $18 \text{ m}^3/\text{h}$ ) avec malheureusement des concentrations élevées en certaines substances dissoutes (fer, sulfates et fluor) rendant les eaux impropres à la consommation. Nous avons cherché à expliquer deux phénomènes : la bonne productivité du forage et la forte minéralisation des eaux. Les granites sont relayés par les rhyodacites assez sombres à l'entrée nord de l'oued où se trouve le forage à grand débit. Les cuttings des nouveaux forages montrent bien qu'on est en zones de roches vertes. Sur cette plateforme il a été réalisé six profils de traîné électromagnétique doublés au niveau de certains tronçons par du traîné électrique. Les **Figures 4A, 4B et 4C** présentent les profils les plus significatifs sous forme de graphes, de cartes d'isovaleurs et de bloc-diagrammes.

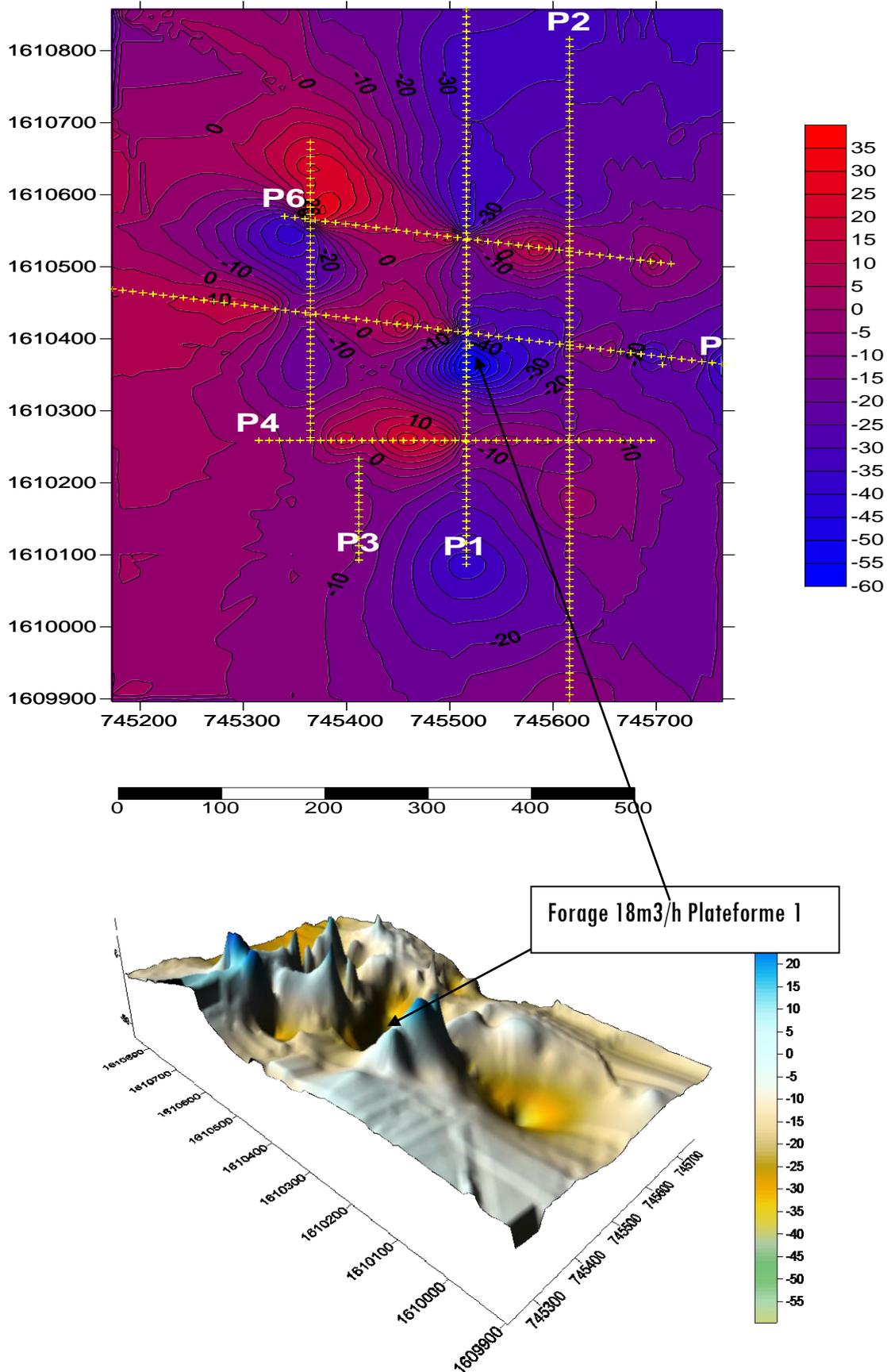
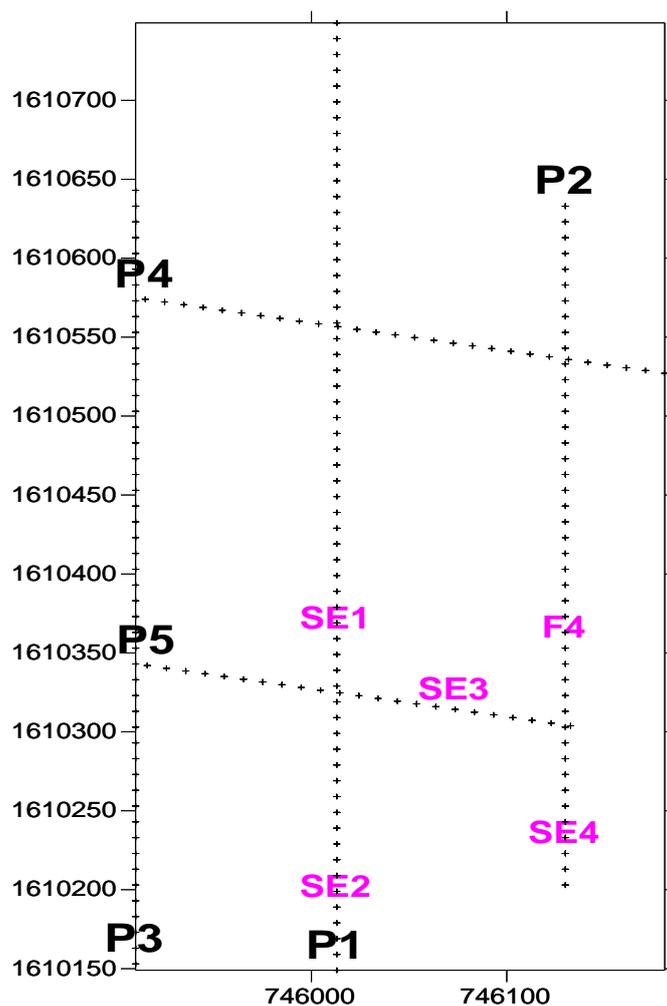


Figure 5 : Carte d'isovaleur et bloc-diagramme de la plateforme N°1

La carte d'isovaleurs et le bloc-diagramme (*Figure 5*) montrent bien que le forage productif est sur nœud de failles donnant lieu néanmoins à des poches nord-sud et est-ouest boudinées plus ou moins isolées les unes des autres. Les courbes des deux traînées y présentent leurs plus basses valeurs avec cependant un léger décalage de 20 m entre les points bas des deux courbes de l'électromagnétisme et de l'électrique. Ce type de décalage est souvent observé entre les anomalies conductrices du Max Min et de l'électrique en raison des différences de profondeur d'investigation (Koussoubé 2010). Nous avons réimplanté sur la plus basse valeur de l'électromagnétisme. La plateforme N°4 se situe à l'Est de la plate-forme N°1 donc à l'amont de la première digue antiérosive dans le village d'Ayagorou. Elle est donc supposée bénéficier comme le forage N°3 d'une bonne recharge de sa nappe. Quatre profils y ont été réalisés. Leur spatialisation est donnée par la *Figure 6* ci-dessous.



**Figure 6 :** Positionnement des quatre profils de la plateforme 4

L'implantation retenue et forée se situe au début du profil P1 et correspond à un contact anormal faillé (*Figure 7 et Figure 8*). Le débit obtenu après soufflage de fin de foration est de 18 m<sup>3</sup>/h.

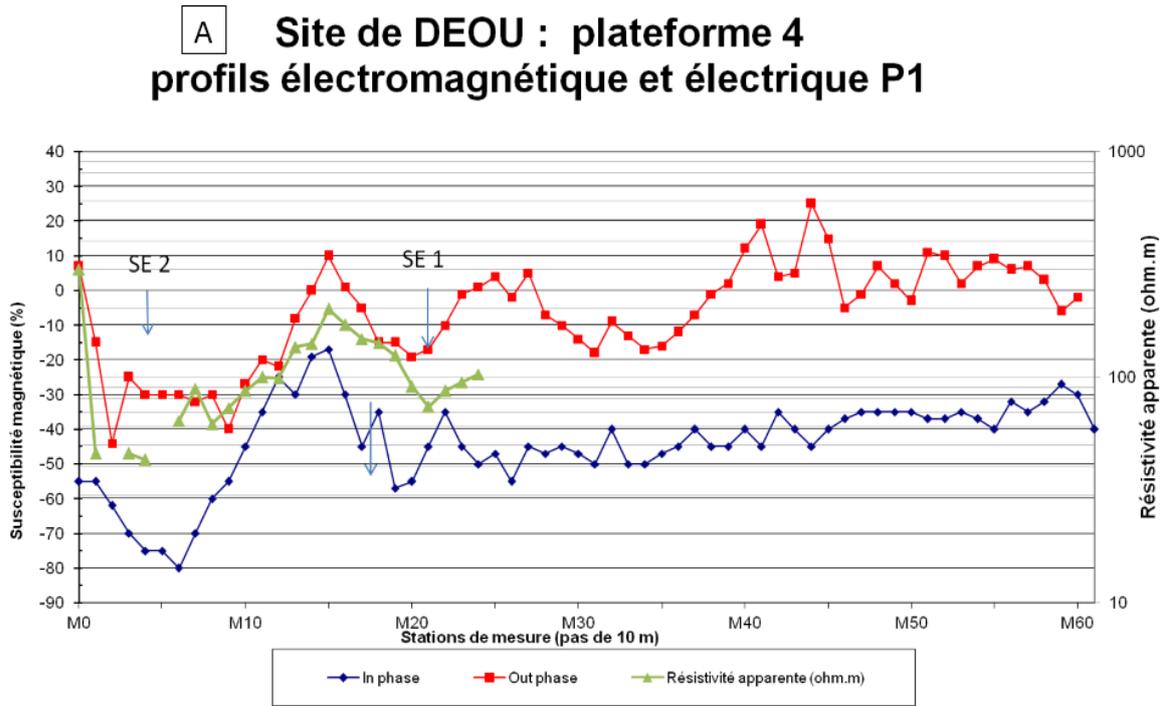


Figure 7 : Courbes des profils de la plateforme N°4

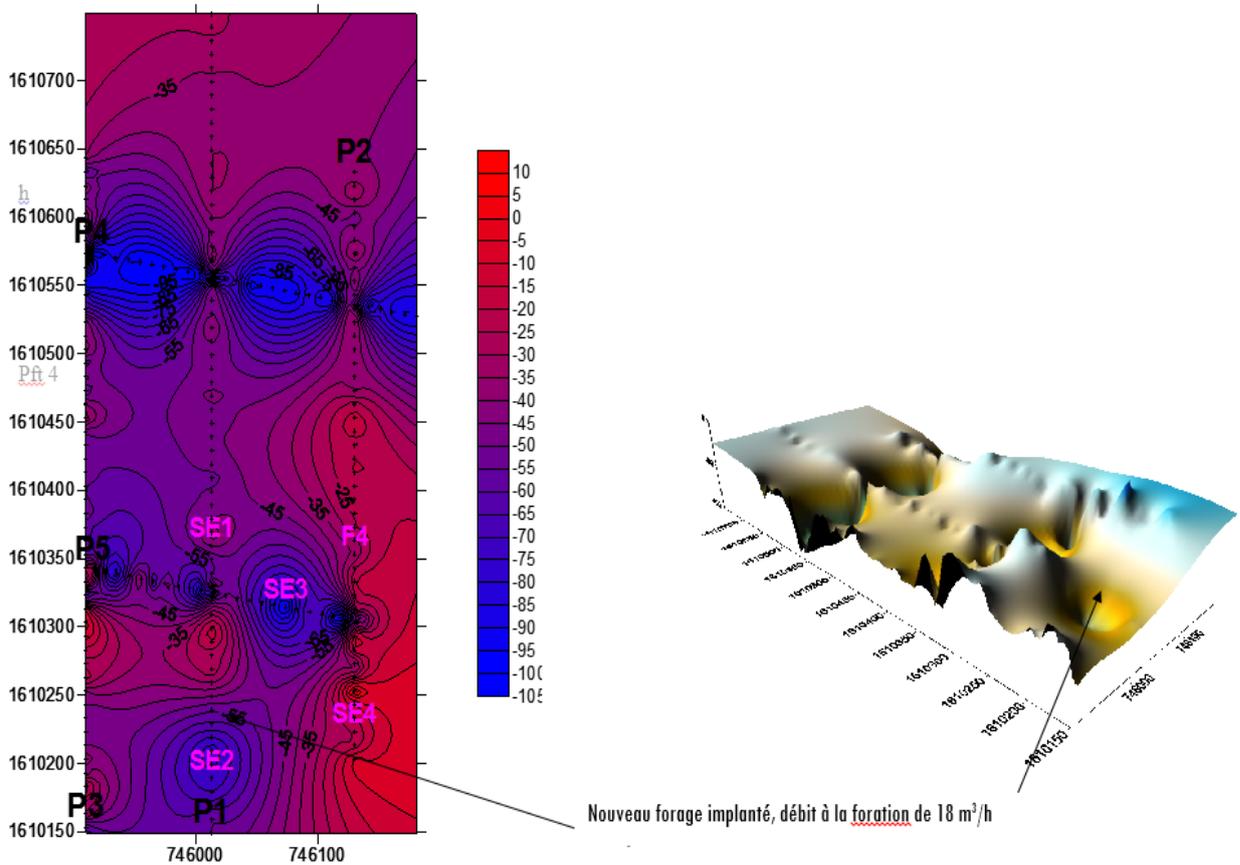


Figure 8 : Carte d'isovaleurs et bloc diagramme (plateforme 4)

#### 4-1-2. Qualité des eaux souterraines

La qualité de l'eau étant en cause nous avons cherché à trouver une explication à la surconcentration observée des ions en faisant des prélèvements d'eau sur le forage de 18m<sup>3</sup>/h de débits (F1) et sur deux autres forages (F2 et F3) situés respectivement à 80 et 190 m du forage à gros débit. Les résultats obtenus sont très remarquables (**Tableau 1**): les deux premiers forages ont des résidus secs voisins de 1000 mg alors que le troisième affiche un résidu sec de 258 mg/L. L'explication de ces différences de teneurs est à rechercher dans les aménagements hydrauliques existants. En effet, le forage N°3 se situe à l'amont d'une longue digue filtrante antiérosive qui freine les écoulements de surface, enraie le ravinement et favorise l'infiltration des eaux pluviales. Nous en déduisons que :

- La surconcentration minérale observée à l'aval est liée à la reprise évapotranspiratoire non compensée ;
- La faible concentration constatée pour le forage N°3 est due à une forte dilution des eaux souterraines par celles pluviales infiltrées grâce à l'effet de la digue antiérosive.

**Tableau 1 : Données des analyses chimiques des forages des plateformes 1 et 4**

Paramètres	Unités	Valeurs limites	Forage étalon	F2	F3	F4 (plateforme 4)
Température	°C		32.0	29.5	29.3	34.1
PH			6.73	6.78	6.77	7.27
Conductivité à 20°C	µS/cm		1298	1462	361	423
Turbidité	NTU	5	1.16	9.89	3.04	287
Titre alcalimétrique (TA)	°F		0	0	0	0
Titre alcalimétrique complet (TAC)	°F		60.5	62.5	17.6	22.1
Dureté Totale (TH)	°F	50	49.9	45.0	15.4	20.8
Dureté calcique	°F		28.0	32.7	10.4	12.4
Résidu sec à 105°C	mg/L	1000	984.59	1108.99	258.44	302.83
Calcium Ca <sup>2+</sup>	mg/L		112.6	130.9	41.8	49.6
Magnésium Mg <sup>2+</sup>	mg/L		52.5	29.7	11.9	20.4
Sodium Na <sup>+</sup>	mg/L	200	101.2	140.20	16.20	18.20
Potassium K <sup>+</sup>	mg/L		9.30	3.50	2.10	0.40
Fer total (Fe)	mg/L	0.3	0.02	0.71	0.42	0.69
Manganèse (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0.5	0.034	0.001	0.001	0.093
Ammonium (NH <sup>4+</sup> )	mg/L	1.5	0.01	0.10	0.01	0.35
Arsenic (As)	µg/l	10	0	0	0	0
Carbonates (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0		0	0	0
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> )	mg/L		738.1	762.5	214.7	269.6
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250	4.0	5.73	0.91	2.57
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250	47.0	50.0	9.0	22.0
Nitrites (NO <sub>2</sub> )	mg/L	3	0.007	0.432	0.066	0.003
Nitrates (NO <sub>3</sub> )	mg/L	50	6.16	7.48	10.12	11.0
Orthophosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L		0.35	0.27	0.18	0.48
Phosphore (P)	mg/L		0.11	0.09	0.06	0.16
Fluor (F)	mg/L	1.5	1.18	1.22	0.60	0.01
Zinc (Zn)	mg/L	3	0.03	0.01	0.01	0.05

En effet, la sécheresse a pour effet de diminuer les niveaux des nappes. En raison de la baisse de la pluviométrie depuis ces 50 dernières années, il y a un déficit entre la pluie et l'évapotranspiration qui reste intense (on projette une augmentation de la température dans le cadre du changement climatique [20, 21]), signale un effet de transpiration et d'évaporation pour un niveau piézométrique de moins de 30 m de profondeur. A cela, il faut ajouter la ponction des racines de certaines espèces d'arbres sahéliens qui peuvent soutirer de l'eau à plusieurs dizaines de mètres (*Acacia albida* par exemple). Beaucoup d'ouvrages dans le Sahel ont vu leur niveau statique s'abaisser progressivement au fur et à mesure que cette sécheresse s'installe. Le piézomètre de Gorom-Gorom est aujourd'hui tari. Il en est de même de nombreux puits modernes dont le curage saisonnier n'arrive pas à rattraper le niveau statique devenu bas. L'autre conséquence de la sécheresse au niveau des nappes souterraines, est la surconcentration chimique du fait de l'évaporation intense. Le cas des eaux saumâtres signalés dans la dépression piézométrique du Gondo au-delà du 13ème parallèle [2] en est une illustration. Dans le Sahel, à Déou, non loin de la plaine du Gondo, on rencontre encore ce phénomène de surconcentration avec des résidus secs de plus de 1 000 mg/L dans des sites de prélèvement situés en aval des digues filtrantes. Cette explication est corroborée par les données chimiques des eaux du nouveau forage de la plateforme N°4 (**Figure 9**) et constitue un des résultats les plus importants de cette étude parce qu'elle a permis d'opérer un nouveau choix judicieux pour la plateforme N°4. Les analyses chimiques des plateformes 1 et 4 du village d'Ayagorou 4 (**Tableau 1**) donnent la qualité des eaux des différents forages et autorise une comparaison. On remarque bien que les données hydrochimiques des forages F3 (Plateforme 1) et F4 (Plateforme 4) sont comparables (**Figure 10**). Elles diffèrent énormément des données des trois premiers forages. Au total, le forage F4 de la plateforme 4 remplit toutes les conditions de débit et de qualité pour servir de source d'approvisionnement à l'adduction d'eau de la ville de Déou.

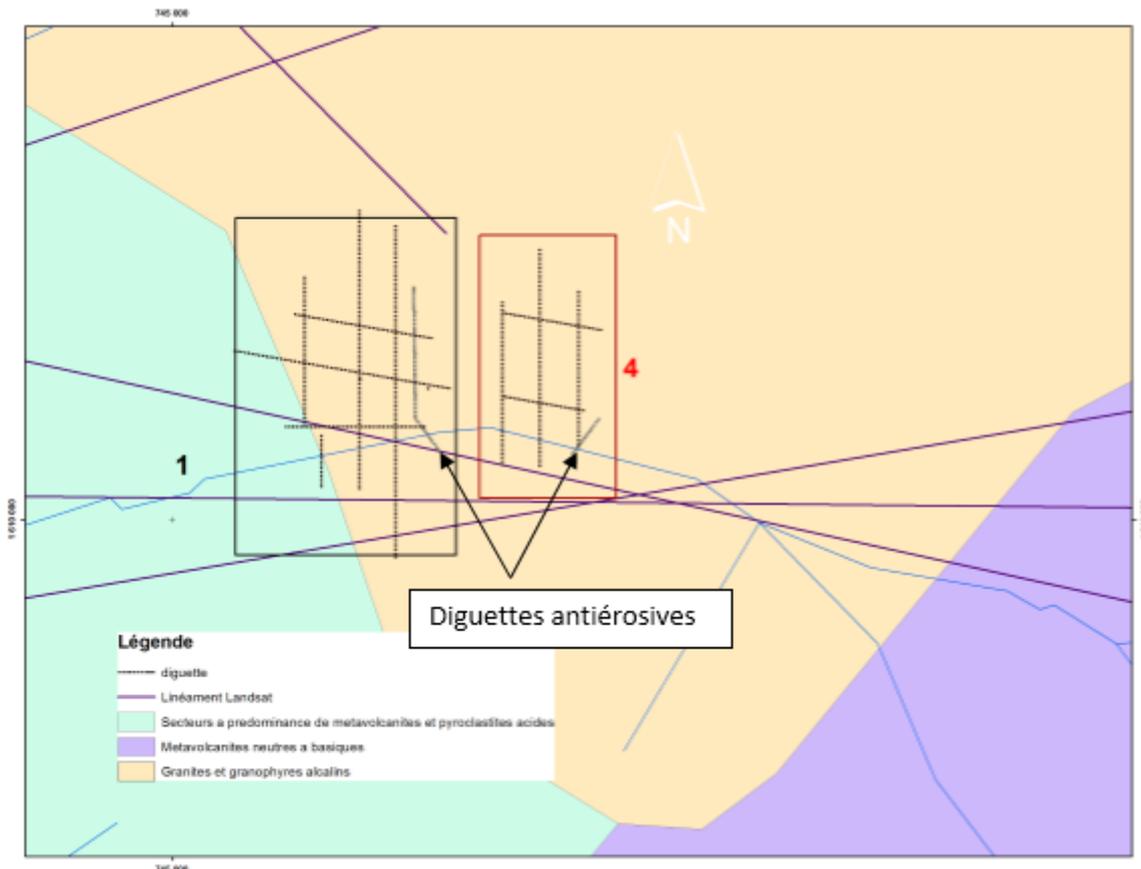
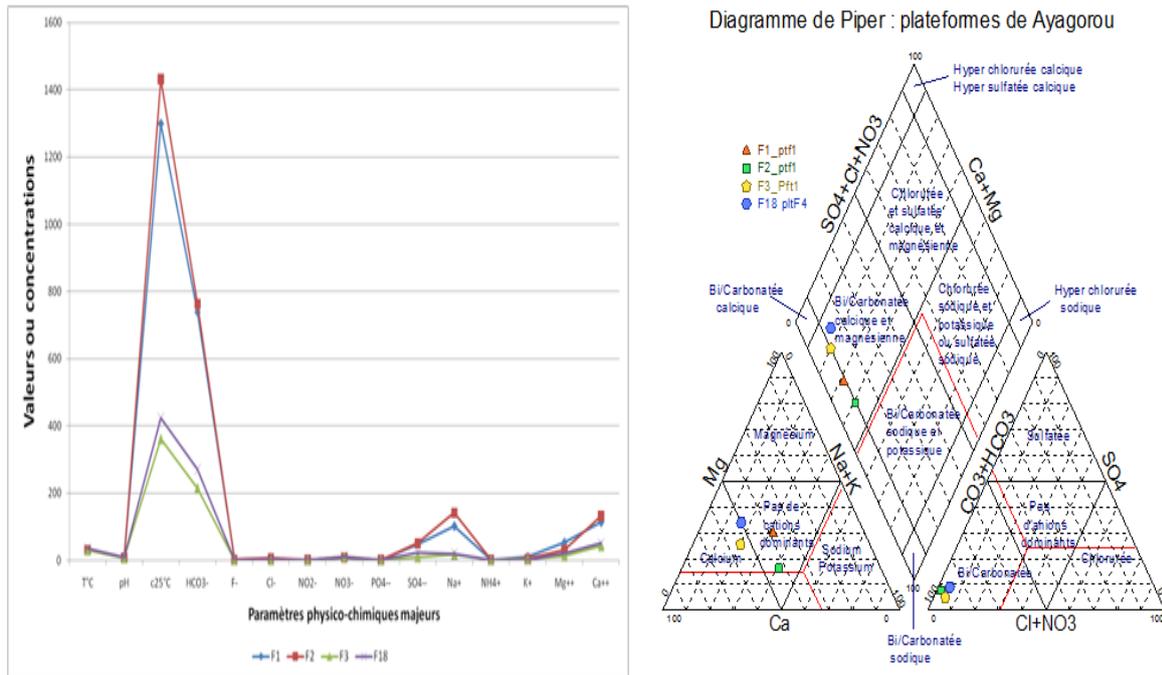


Figure 9 : Carte de situation de la plateforme 1 et 2 et des diguettes antiérosives traversant le ravin



**Figure 10 :** Variation des teneurs minérales dans les eaux des différents forages et leurs positions dans le diagramme de Piper

Les eaux sont fortement bicarbonatées et sodiques pour les ouvrages aval et bicarbonatées magnésiennes pour les ouvrages amont de la diguette. On observe que les teneurs en fer restent hors normes pour tous les ouvrages excepté le forage étalon (ancien forage de 18 m<sup>3</sup>/h). Les teneurs en métaux lourds et métalloïdes (Mn, Zn, As dont notamment l'arsenic, sont toutes en deçà des normes OMS.

#### 4-2. Plateformes situés en dehors des zones d'aménagements hydrauliques

Il s'agit des plateformes 2 et 3. La plateforme N°2 est située au Sud de Déou (**Figure 11**) entre deux massifs de granite séparés par un méga-linéament d'orientation SE. Nous n'y avons fait qu'un seul long profil électromagnétique et aussi un seul sondage électrique au regard des résultats obtenus. On y a bien recoupé la seule faille recherchée mais l'état de sub-affleurement indiquait que le site était défavorable. La plateforme N°3 est située à l'Ouest de la ville (**Figure 12**); elle était sensée nous permettre de rapprocher le site de production de la ressource de la ville à desservir. Six profils électromagnétiques y ont été réalisés (**Tableau 2**) dont de premier prospectif sensé mettre en évidence une zone de contact géologique ou les failles recherchées est long 1400 m parce qu'il a commencé et demeuré dans une zone de sub-affleurement rocheux sur plus de 1000 m (**Figure 13**).

Site de DEOU : plateforme 2  
profil électromagnétique P1

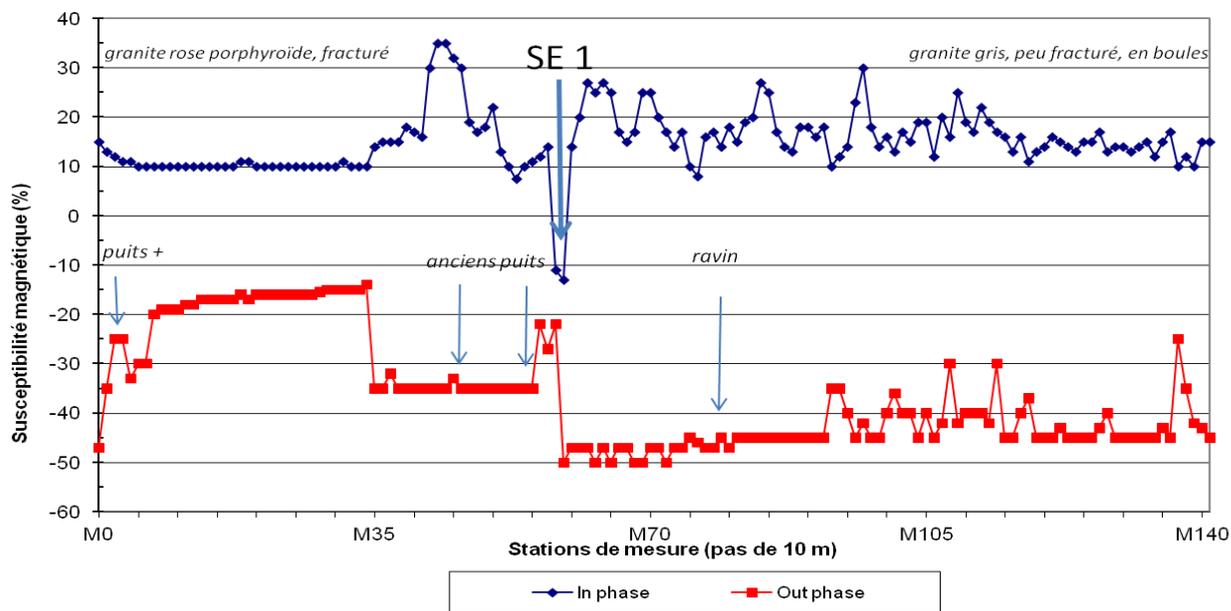


Figure 11 : Profil électromagnétique MaxMin de la plateforme 2

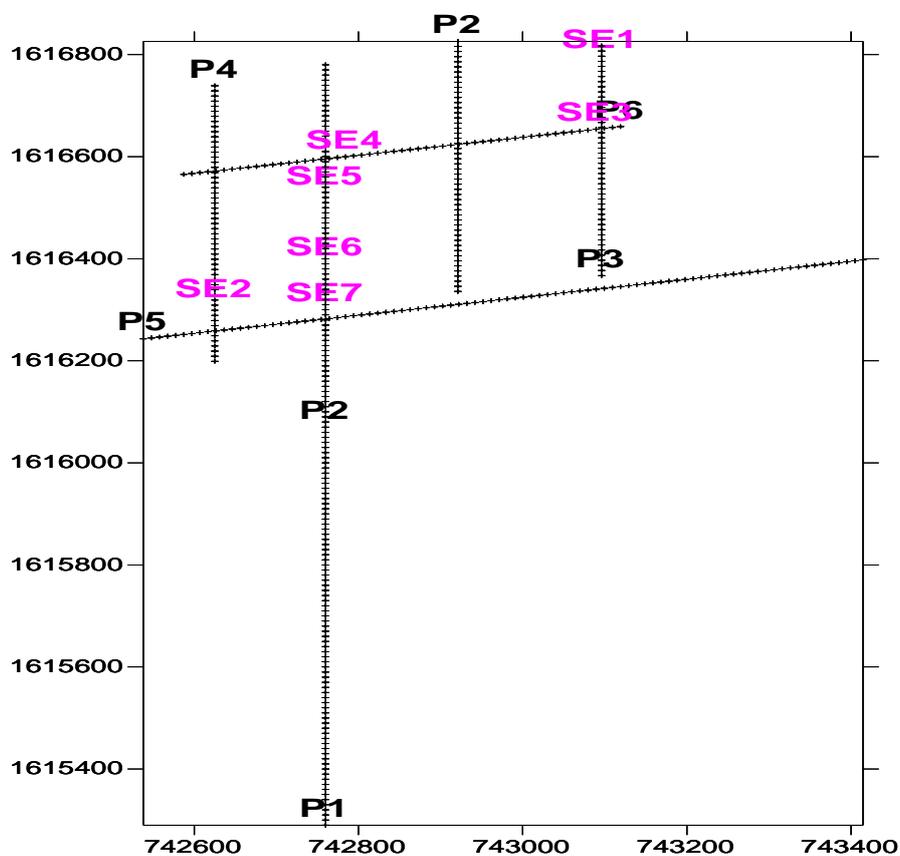


Figure 12 : Spatialisation des profils géophysiques de la plateforme N°3

### Site de DEOU : plateforme 3 profils électromagnétique et électrique P1

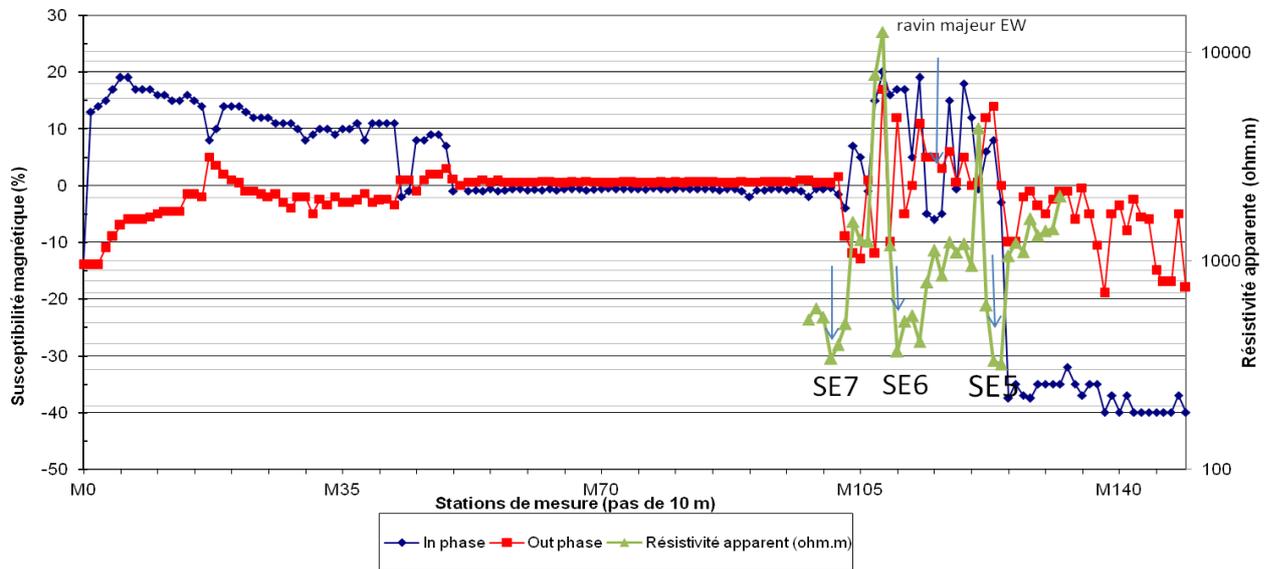


Figure 13 : Profils de la plateforme N°3 (A, B, C, D)

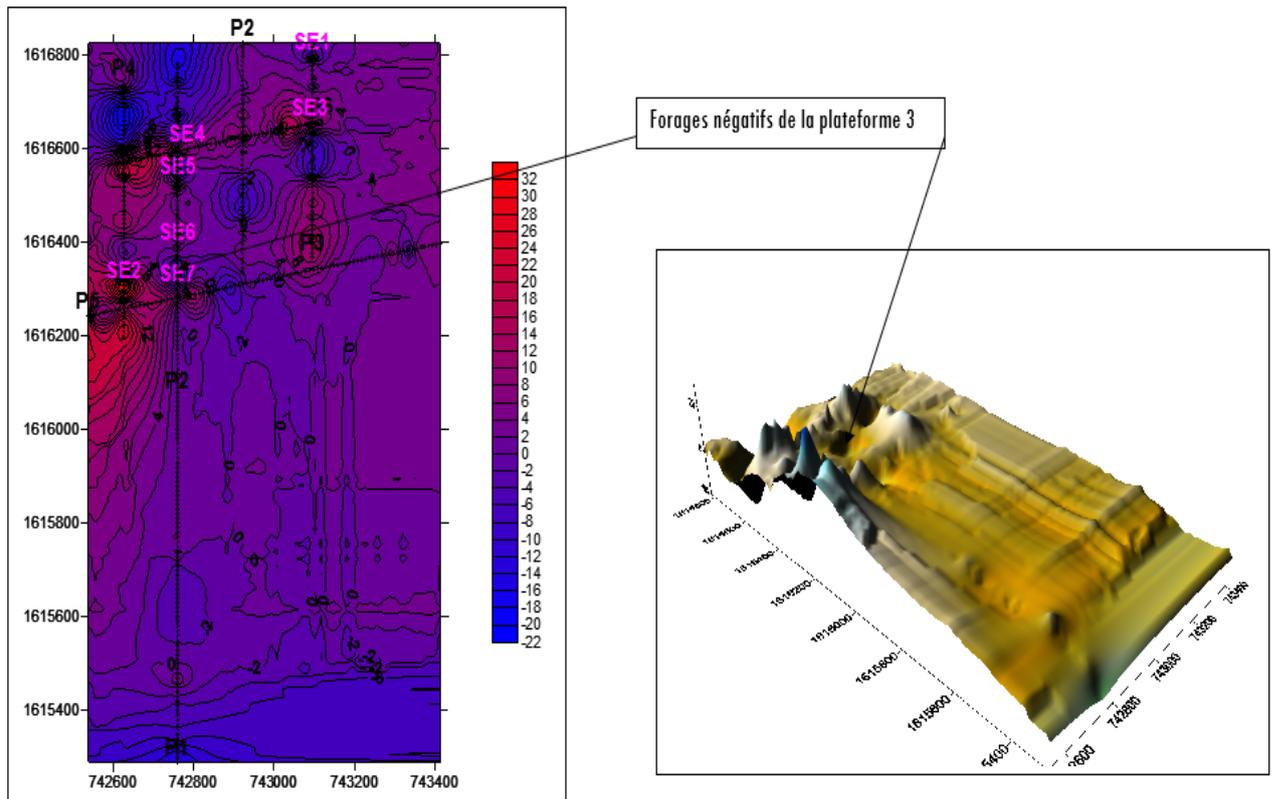


Figure 14 : Carte d'isovaleurs et bloc-diagramme de la plateforme N°3

**Tableau 2 : Récapitulatif des travaux de prospection géophysique**

Plateforme	Profils							SEV			Observations
	N	Longueur (m)	Direction	Coordonnées projetées (projection UTM, zone 30 N)				SE	Coordonnées UTM		
				Début du profil		Fin du profil			X	Y	
				X	Y	X	Y				
1	1	1060 m	N0°	745516	1610087	745533	1610842	SE1 (M28) SE2 (M28) SE5 (M52) SE4 (M28)	745622 745517 745525 745515	1610321 1610389 1610587 1610370	11m³/h (zone de bas-fond ; 100 m en aval de digue filtrante)
	2	1110 m	N0°	745583	1610816	745660	1609885	SE3(M37)	746611	1610449	2,5m³/h
	3	560 m	N0°	745412	1610093	745401	1610676				
	4	490 m	N90°	745315	1610259	745695	1610294				
	5	1090 m	N290°	745744	1610365	745169	1610466	SE7(M36) SE8(M43)	745408 745338	1610419 1610429	
	6	500 m	N100°	745340	1610535	745711	1610463	SE6(M10)	745436	1610516	
2	1	1410 m	N200°	747400	1613635	747072	1612445	SE1(M60)	747265	1613249	Sec, oued situé à l'ouest de Déou, granite porphyroïde fracturé, absence de digue filtrante
3	1	1970 m	N0°	742760	1615290	742768	1616552	SE5 (M124) SE6(M111) SE7(M102)	742765 742760 742759	1616557 1616416 1616313	Sec, oued situé à l'ouest de Déou, granite porphyroïde fracturé, absence de digue filtrante
	2	490 m	N180°	742921	1616826	742943	1616371				
	3	520 m	N0°	743096	1616367	743073	1616819	SE1 (M43)	743073	1616799	
	4	700	N180°	742625	1616739	742609	1616195	SE3(M3) SE2(M43)	743070 642607	1616652 1616306	
	5	890 m	N70°	742538	1616243	743349	1616620				
	6	910 m	N250°	743119	1616659	742606	1616476	SE4(M34)	742796	1616544	
4	1	840 m	N0°	746013	1610149	746023	1610759	SE1(M21) SE2(M4)	746014 746015	1610366 1610192	18m³/h (oued, forage situé à 300 m à l'amont de digue filtrante).
	2	620 m	N180°	746130	1610683	746110	1610194	SE4(M41)	746115	1610209	
	3	570 m	N0°	745910	1610153	745920	1610648				
	4	270 m	N110°	745915	1610574	746186	1610531				
	5	340 m	N110°	745916	1610342	746129	1610280	SE3(M16)	746070	1610296	
<b>TOTAL</b>		14340 m						20			

## 5. Conclusion

Cette étude a permis de comprendre l'hydrogéologie de la commune de Déou. Nous avons réalisé pour atteindre cet objectif 14 340 mètres de trainé et 20 sondages électriques repartis sur les quatre plateformes investiguées. Comme résultats, on retiendra essentiellement que :

- Le granite tarditectonique sur lequel est bâti la ville de Déou est peu favorable à l'obtention de débits élevés pouvant couvrir durablement les demandes d'une adduction d'eau potable ;
- Des débits importants peuvent être obtenus dans les formations géologiques encaissantes des granites. Il s'agit de rhyodacite, de basalte et d'amphibolite ;
- Le nouveau forage réalisé sur la plateforme 4 remplit les conditions de productivité (débit de 18 m<sup>3</sup>/h) et de potabilité pour être exploité pour l'adduction d'eau de la localité Déou. La seule concentration forte est la teneur en fer qui est au-dessus de la normale. Mais la faible hausse du fer par rapport à la normale ne devrait pas nuire à la santé des populations.
- Toutes les eaux sont bicarbonatées calciques et magnésiennes. Leur pH légèrement basique les rend non corrosives et indique qu'elles ont un contenant géologique basique (roche verte) ;
- Les fortes concentrations minérales observées au niveau des eaux des formations encaissantes résultent d'une surconcentration par évaporation d'eaux souterraines peu ou pas renouvelées par les apports pluviométriques actuels. Ces eaux sont donc presque fossiles et leur exploitation se ferait de manière minière si des aménagements comme les digues filtrantes antiérosives qui existent déjà à l'amont de l'ancien forage productif ne venaient pas freiner les eaux de ruissellement pour favoriser l'infiltration et la recharge des nappes. Ce qui veut dire que le premier forage à gros débit identifié et celui que nous venons de faire réaliser à vingt mètres peuvent voir la minéralisation de leurs eaux baisser si à l'aval de ces forages étaient construits des ouvrages de conservation des eaux et des sols comme les digues filtrantes qui encadrent les forages F3 et F4 ;
- Les investigations sur la plateforme 3 sont restées infructueuses parce que les failles repérées n'étaient alimentées. Le deuxième forage de ce site a traversé à son sommet une faille inclinée et sèche. Ces échecs confirment l'importance des aménagements hydrauliques de surface favorisant l'infiltration des eaux pluviales dans cette région sahélienne.

## Références

- [1] - L. LE BARBÉ and T. LEBEL, *Journal of Hydrology*, 188 (1997), 43-73.
- [2] - Y. KOUSSOUBE, *Thèse de doctorat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris (2010)*, 285p. + annexes.
- [3] - M. B. HIEN, *Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieurs des Eaux et forêts. Institut du Développement Rural, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso (2000)*.
- [4] - P. DIELLO, *Thèse de Doctorat. Univ. Montpellier II (2007)*, 267 p. + annexes.
- [5] - S. OUANDAOGO/YAMEOGO SUZANNE (2008). *Thèse de doctorat Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse, (2008)*, 254 p.
- [6] - Ministère de L'Environnement et de L'Eau (MEE), *Politique et stratégies en matière d'eau. juillet 1998*.
- [7] - G. FAVREAU, Y. NAZOU MOU, M. LEBLANC, I. B. GONI IN H. TREIDEL, J. L. MARTIN-BORDES, J. J. GURDAK (Eds.), *International Contributions to Hydrogeology (27)*, 7 (2012), 113-128, CRC Press Inc., Leiden, The Netherlands.
- [8] - G. FAVREAU, B. CAPPELAERE, S. MASSUEL, M. LEBLANC, M. BOUCHER, N. BOULAIN, C. LEDUC, *Water Resources Research*, vol. 45 (2009), W00A16, doi:10.1029/2007WR006785.
- [9] - G. FAVREAU, C. LEDUC, C. MARLIN, A. GUÉRO, *Comptes rendus Geosciences* 334 (2002), 395-401.

- [10] - Institut National de la Démographie, Recensement général de la population du Burkina Faso (2006).
- [11] - Laboratoire d'Hydrogéologie, rapport technique, (2007).
- [12] - M. JEAMBRUN, BRGM éditions, 1970.
- [13] - C. CASTAING, J. LE METOUR, M. BILLA (coordonnateurs) et M. DONZEAU, P. CHEVREMENT, E. EGAL (BRGM), B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, B. E. KABORE, C. OUEDRAOGO (BUMIGEB), D. THIEBLEMONT, C. GUERROT, A. COCHERIE, M. TEGYEY, J.P. MILESI, Y. ITARD (BRGM), Projet Sysmin « Cartographie géologique au Burkina Faso ». N° 7.ACP.BK.074, (2003).
- [14] - C. M. DE STADELHOFEN, Techniques & Doc (1993).
- [15] - S. NAKOLENDOOUSSE, Thèse de doctorat unique, Université Joseph Fourier de Grenoble (1991).
- [16] - Y. KOUSSOUBE, Thèse de doctorat 3ème cycle, Université Cheikh Anta Diop Dakar (Sénégal) (1996).
- [17] - I. T. SOME, A. K. SAKIRA, M. OUEDRAOGO, T. Z/ OUEDRAOGO, A. TRAORE, B. SONDO, P. I. GUISSOU, Interdisciplinary Toxicology, Vol 5(1): 38-41 (2012).
- [18] - I. T. SOME, A. K. SAKIRA, A. KABORE, A. TRAORE, Journal of Environment Protection, (5), 1406-1410 (2014).
- [19] - T. EBANGA, Mémoire Master 2 (2010), Institut international de l'eau et de l'environnement, Ouagadougou.
- [20] - R. T. WATSON, I. R. NOBLE, B. BOLIN, N. H. RAVINDRANANTH, D. J. VERARDO, D. J. DOKKEN, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC), (eds), (2000).
- [21] - COUDRAIN-RIBSTEIN, B. PRATX, A. TALBI, C. JUSSERAND, Académie des sciences/Elsevier, hydrologie/hydrogéologie, Paris, (1998).