

ESTIMATION PAR METHODES GEOPHYSIQUES DU FLUX SOUTERRAIN DES AQUIFERES DU BASSIN DES IULLEMMEDEN VERS LE FLEUVE NIGER VIA UNE LARGE VALLEE QUATERNAIRE

ABDOU MAHAMAN R.¹, NAZOU MOU Y.¹, FAVREAU G.^{2,3}, ISSOUFOU OUSMANE B.¹, BOUCHER M.²,
TAYLOR R.G.⁴, LAWSON F.M.A.⁵, ABDOU BABAYE M.S.⁶, GUERO A.⁷, LEGCHENKO A.²

¹Département de Géologie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, rabdoumahaman@gmail.com

²Université Grenoble Alpes, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), CNRS, Grenoble INP, IGE, Grenoble, France

³Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Niamey, Niger

⁴Department of Geography, University College London, United Kingdom (UK)

⁵Institut National de l'Eau (INE), Université Abomey-Calavi, Cotonou, Benin

⁶Département de Géologie, Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi, Niger

⁷Niger Basin Authority, 288 rue du Fleuve Niger, BP 729, Niamey, Niger

RESUME

La gestion durable des eaux souterraines constitue l'un des éléments clés pour assurer la sécurité alimentaire au Sahel. La décharge naturelle des aquifères constitue un flux récupérable pour l'irrigation. Des sondages géophysiques par Résonance Magnétique Protonique (RMP) et des sondages électromagnétiques en domaine temporel (TDEM) ont été réalisés sur trois transects du dallol Maouri, affluent du fleuve Niger, pour quantifier le flux souterrain drainé vers le fleuve à travers les formations quaternaires. Ce flux a été évalué à $\sim 2\,000\text{ m}^3/\text{jour}$, soit $7 \times 10^5\text{ m}^3/\text{an}$ à la section la plus à l'aval et en fin de saison sèche.

Mots clés: Semi-aride, flux environnemental, aquifère alluvial.

GROUNDWATER DISCHARGE TO THE NIGER RIVER FROM A LARGE QUATERNARY VALLEY ESTIMATED FROM SUBSURFACE GEOPHYSICS IN THE IULLEMMEDEN BASIN

Summary

Sustainable management of groundwater is considered a key, climate-resilient approach in alleviating poverty in the Sahel region. Groundwater flow in large alluvial valleys provides a recoverable source of water for irrigation. Magnetic Resonance Sounding (MRS) and Time Domain Electromagnetic (TDEM) geophysical surveys were carried out on three transects of the lower Dallol (valley) Maouri to quantify groundwater flow that contributes to baseflow to the Niger river discharge through Quaternary alluvium. Groundwater discharge evaluated at the Tounouga section, located 10 km from the River Niger, is $2,000\text{ m}^3/\text{day}$, equivalent to $7 \times 10^5\text{ m}^3/\text{year}$.

Keywords: semi-arid region, environmental flow, alluvial aquifer

Introduction

Pays semi-aride avec des précipitations limitées par la courte saison des pluies, le Niger est confronté depuis plus de cinq décennies à une insécurité alimentaire chronique et à la pauvreté. Pour atténuer ces effets, le recours aux nappes d'eau souterraine peu profondes facilement accessibles dans les vallées alluviales pour l'irrigation s'avère une alternative crédible (Nazoumou et al., 2016).

Le bassin hydrographique du fleuve Niger dispose d'importantes ressources en eau souterraine, contenues dans les formations géologiques du bassin des lullemeden et dans les alluvions quaternaires de vallées des affluents fossiles du fleuve (Favreau et al., 2012).

Les ressources en eau souterraine contenues dans les formations quaternaires des vallées fossiles du Niger sont encore sous-exploitées, et l'essentiel du flux hors évaporation a pour exutoire le fleuve Niger. Ce flux souterrain drainé par le fleuve à travers les alluvions quaternaires peut être utilisé pour l'irrigation afin d'assurer une meilleure sécurité alimentaire.

Dans cette optique, la combinaison de deux méthodes géophysiques RMP et TDEM a été utilisée dans la basse vallée du dallol Maouri pour quantifier le flux souterrain drainé par le fleuve Niger à travers les formations quaternaires de la zone d'étude (cf. Fig. 1).

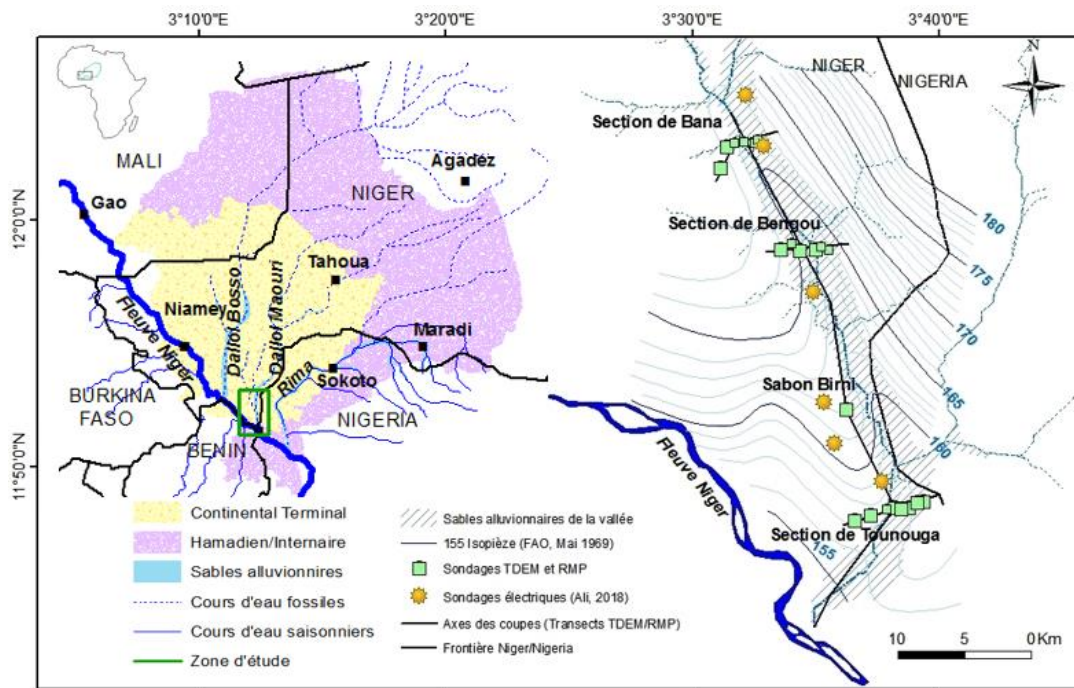


Fig. 1 – Sites de sondages TDEM et RMP et la carte piézométrique de la nappe libre (gradient hydraulique ~ 0,3 ‰)

1. Matériel et méthode

La méthode géophysique TDEM est une méthode de sondage électromagnétique à source contrôlée en domaine temporel, qui permet de déterminer un profil vertical de résistivité de formations géologiques (Fitterman et Stewart, 1986). La RMP permet d'avoir des informations qui sont directement liées à la teneur en eau libre dans le sous-sol et un temps de relaxation lié à la taille des pores (Legchencko et Valla, 2002).

Dans la basse vallée du Dallol Maouri vingt et un sondages TDEM et vingt et un sondages RMP ont été réalisés suivant quatre transects dont un sur l'axe de la vallée et trois transversaux (cf. Fig. 1) afin de déterminer la géométrie et les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère superficiel alluvionnaire. Des nivellements de précision ont été réalisés afin de déterminer le gradient hydraulique, et le flux souterrain (Q) stabilisé en fin de saison sèche, estimé à partir de la Loi de Darcy selon l'équation:

$$Q = K \times S \times (dh/dl) \quad (1)$$

avec K la perméabilité (en m/s), estimé par RMP ; S la section mouillée de l'aquifère de fin de saison sèche (m²), estimé avec la géophysique et les niveaux piézométriques mesurés dans les puits ou

forages ; dh/dl le gradient hydraulique (sans unité), estimé avec la carte piézométrique et la variation amont – aval des charges hydrauliques au niveau des piézomètres de suivi. Une dizaine de logs géologiques contraignent l'interprétation de sondages géophysiques.

2. Résultats et discussions

Les résultats des sondages TDEM et RMP ont été comparés aux logs lithologiques des forages du secteur de Bengou (FAO, 1970) pour mieux calibrer l'inversion sur les autres sites. On y distingue quatre terrains dont de haut en bas : 1) les alluvions quaternaires, moyennement résistante (60 à 70 $\Omega.m$), avec une très forte teneur en eau ($\sim 35\%$) ; 2) les sables moyens à grossiers du Continental Hamadien (CH), résistant (200 à 240 $\Omega.m$), avec une teneur en eau RMP légèrement moins élevée que les alluvions ($\sim 30\%$) ; 3) un niveau conducteur de 13 à 20 $\Omega.m$ de résistivité, corrélé aux grès argileux ; 4) un terrain résistant (150 à 200 $\Omega.m$), corréléable aux grès plus ou moins durs à passage tendre du CH.

Ces différents niveaux géologiques deviennent plus argileux d'amont à l'aval (cf. Fig. 2). Toutefois, l'aquifère des sables alluvionnaires quaternaires qui nous intéresse ici varie peu et est caractérisée par une résistivité de 35 à 100 $\Omega.m$ pour une teneur en eau RMP moyenne de $\sim 35\%$ pour une épaisseur de 11 à 18 m. Sa perméabilité moyenne est estimée à 10^{-3} m/s, avec une transmissivité de 2×10^{-2} m²/s.

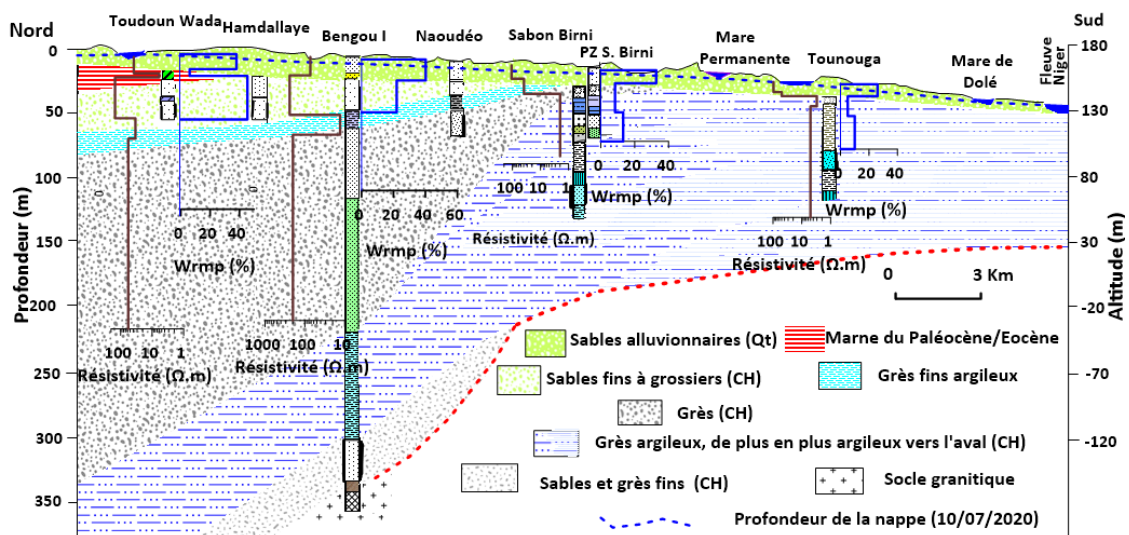


Fig. 2 – Teneur en eau et résistivités des formations géologiques suivant l'axe de la basse vallée du dallol Maouri

Les résultats d'inversions de sondages de la section de Bana, située à 40 Km en amont du fleuve Niger (cf. Fig. 3), montrent une succession de deux strates aquifères concordantes à la géologie de la zone. La première strate aquifère de 11 m d'épaisseur avec une teneur en eau de 20 à 40 % est corréléable aux alluvions quaternaires de la vallée. La deuxième strate aquifère est située entre 15 et 45 m de profondeur avec une teneur en eau variant entre 30 et 40 %, et corréléable aux sables moyens à grossiers du CH.

Le flux souterrain calculé à la section de Bana, révèle un débit de 1 200 m³/j soit $4,5 \times 10^5$ m³/an en direction du fleuve qui constitue l'exutoire de la nappe. Celui calculé à la section de Tounouga, située à 10 Km du fleuve, donne 2 000 m³/j soit un volume de 7×10^5 m³/an. Le flux calculé à la section intermédiaire de Bengou est de 1 000 m³/j. Les différences constatées du flux relèvent de l'incertitude sur les paramètres du calcul pour les sections de Bana et Bengou, et de l'apport de l'aquifère régional (flux convergent) vers la vallée pour la section de Tounouga.

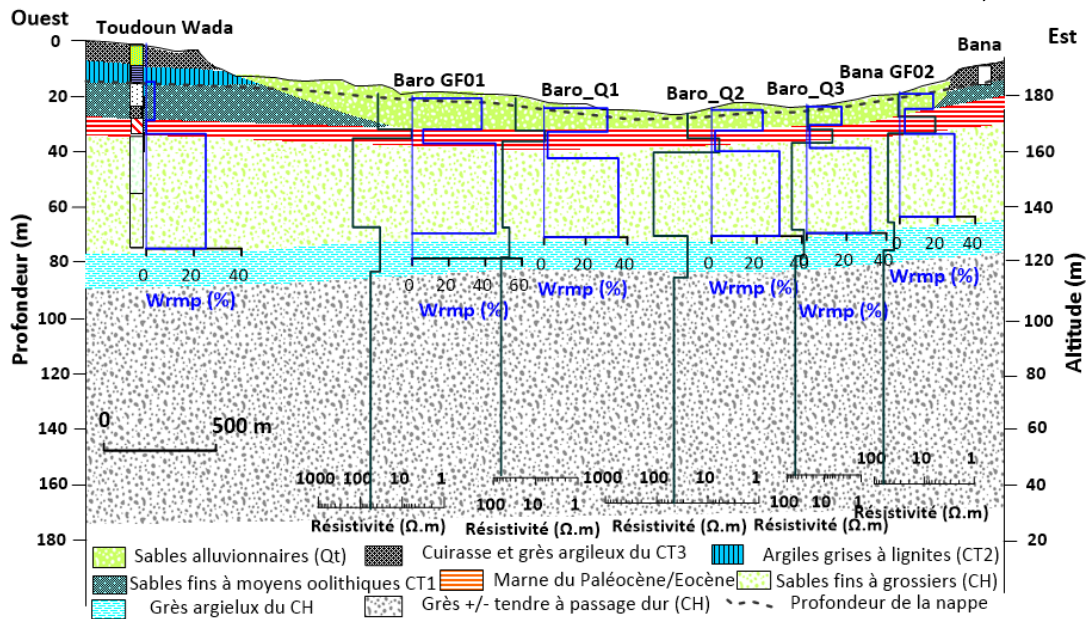


Fig. 3 – Teneur en eau et résistivités des formations géologiques suivant le transect transversal de Bana (cf. Fig. 1, pour la localisation)

Conclusion

Les sondages géophysiques RMP et TDEM ont permis de préciser la géométrie et les propriétés hydrodynamiques des alluvions de la basse vallée du dallol Maouri et ainsi d'évaluer quantitativement le potentiel hydrique de la zone d'étude. Ainsi, nous avons estimé de l'ordre de $\sim 4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{an}$ le flux environnemental contribuant au débit d'étiage du fleuve Niger. Ce débit est potentiellement utilisable pour d'autres usages, notamment agricoles.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au financement du Projet de Recherche « GroFutures », www.grofutures.org, financé par le Gouvernement du Royaume-Uni (Ref. NERC-ESRC-DFID NE/M008576/1).

Références bibliographiques

- FAO, 1970** – Etude en vue de la mise en valeur des dallol Bosso et Maouri : Synthèse hydrogéologique, rapport et graphique, *Rapport FAO, Rome, 98pp.*
- Favreau V., Nazoumou Y., Leblanc M., Guéro A., Goni I.B., 2012** – Groundwater resources increase in the Iullemeden Basin, West Africa. In *Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations* (Pp. 113-128). CRC Press
- Fitterman D. V., Stewart, M. T., 1986** – Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics*, 51(4), 995–1005. <https://doi.org/10.1190/1.1442158>
- Legchenko A., Valla P., 2002** – A review of the basic principles for proton magnetic resonance sounding measurements. *Journal of Applied Geophysics* 50, 3-19. [http://doi.org/S0926-9851\(02\)00127-1](http://doi.org/S0926-9851(02)00127-1)
- Nazoumou, Y., Favreau, G., Adamou, M. M., Mainassara, I., 2016** – La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger ? *Cahiers Agricultures*, 25(1). <https://doi.org/10.1051/cagri/2016005>