

SUIVI DES VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DU STOCK D'EAU PRÈS D'UNE MARE ENDORÉIQUE AU SAHEL PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE DES PROTONS ET PAR GRAVIMÉTRIE

BOUCHER M.¹, PFEFFER J.², FAVREAU G.^{3,4}, LEGCHENKO A.¹,
CAPPELAERE B.³, HINDERER J.², NAZOU MOU Y.⁴

¹ IRD, LTHE, Grenoble, France, marie.boucher@ird.fr

² IPGS-EOST, CNRS/UdS, Strasbourg, France, julia.pfeffer@unistra.fr

³ IRD, HSM, Montpellier, France, guillaume.favreau@ird.fr

⁴ Univ. A. Moumouni, Départ. Géologie, Niamey, Niger, nazoumou@gmail.com

RÉSUMÉ

L'infiltration profonde sous les mares temporaires est la principale source de recharge des aquifères libres au Sahel. Au Niger semi-aride, une tomographie et un suivi RMP (résonance magnétique protonique) ainsi que plusieurs campagnes de mesures de gravimétrie absolue et relative ont été réalisés entre 2008 et 2010 pour étudier la sensibilité des deux méthodes géophysiques aux variations spatio-temporelles du stock d'eau souterrain à proximité d'une mare. Les résultats montrent une bonne cohérence et une complémentarité des méthodes, les sondages RMP étant davantage précis pour caractériser les variations verticales et horizontales du stock d'eau et la gravimétrie étant plus performante pour l'estimation des variations temporelles et/ou superficielles.

Mots clés : RMP, Gravimétrie, aquifère libre, recharge de la nappe, climat semi-aride, Afrique de l'Ouest.

ABSTRACT

MAGNETIC RESONANCE SOUNDING AND GRAVITY MONITORING OF SPATIAL AND TEMPORAL VARIATIONS IN WATER STORAGE NEAR AN ENDORHEIC POND IN THE SAHEL

The deep percolation below temporary ponds is a major source of unconfined aquifer recharge in the Sahel. In semiarid Niger, magnetic resonance tomography (MRT), MRS (magnetic resonance sounding) monitoring, absolute and relative gravity measurements were performed in 2008-2010 in order to study the sensitivity of both geophysical methods to the spatial and temporal variations in groundwater storage near a pond. Results showed a good agreement and complementarities between the two methods, MRS being more accurate for characterizing vertical and horizontal variation of groundwater storage and gravity more efficient for temporal and/or superficial variations.

Key words: MRS, Gravity, unconfined aquifer, aquifer recharge, semiarid climate, West Africa.

1. INTRODUCTION

En contexte semi-aride, les mares endoréiques sont la principale source de recharge de l'aquifère. Une estimation des variations saisonnières du stock d'eau souterrain à proximité de ces mares est essentielle pour la gestion durable des ressources en eau. Les piézomètres nous renseignent sur l'évolution des niveaux d'eau, mais une information sur la porosité est nécessaire pour déterminer les volumes mis en jeu. Pour compléter les informations obtenues avec les piézomètres ou pour compenser leur absence, des outils géophysiques peuvent être mis en œuvre. La méthode de résonance magnétique des protons (RMP) mesure un signal directement sensible à la quantité d'eau souterraine. La gravimétrie est sensible au champ de pesanteur qui varie dans le temps en fonction des changements de masses d'eau. L'objectif de cette étude est d'évaluer la capacité de ces deux méthodes géophysiques à quantifier les variations spatio-temporelles des stocks d'eau près d'une mare.

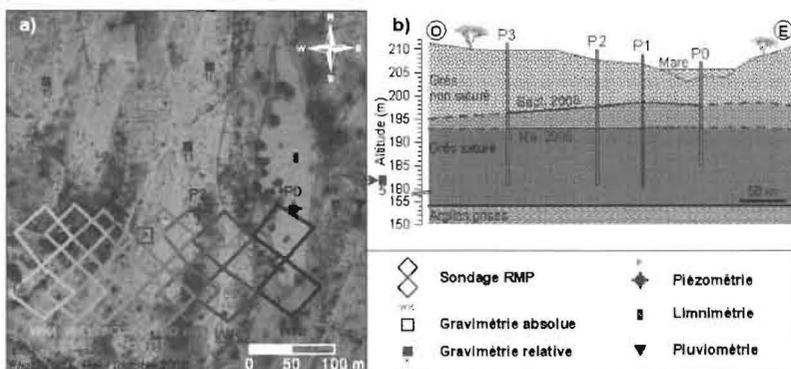


Fig. 1 - Site d'étude. a) Plan de localisation des mesures; b) Coupe hydrogéologique schématique

Le site d'étude se situe dans le village de Wankama à 60 km à l'est de Niamey, capitale du Niger. Il bénéficie depuis les années 1990 d'un suivi hydrologique (CAPPELAERE et al. 2009) (cf. Fig. 1a). Le fonctionnement hydrologique local est directement lié à la mousson ouest africaine (juin à octobre) : après un épisode pluvieux la mare se remplit rapidement puis recharge la nappe. A cette échelle, les niveaux piézométriques sont quasiment horizontaux à la fin de la saison sèche (mai) et forme un dôme qui croît pendant la saison pluvieuse pour atteindre son maximum vers début septembre (cf. Fig 1b).

2. MISES EN ŒUVRE DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES

2.1. Résonance magnétique des protons (RMP)

La distribution spatiale de la teneur en eau a été caractérisée par une tomographie de 8 sondages RMP. Ces sondages ont été mis en œuvre en janvier 2008 lorsque la mare était sèche et les niveaux piézométriques étaient pratiquement horizontaux (gradient EW de ~ 1 ‰). L'équipement NumisPlus© a été utilisé avec des boucles en forme de huit (2 carrés de 50 mètres de côté) se chevauchant (cf. Fig. 1a). Le sondage RMP à la

position WK1 (le plus proche en dehors de la mare) a été répété 6 fois entre sept. 2008 et sept. 2010 pour des niveaux piézométriques variant du minimum (mai 08) au maximum (15 sept. 08, 4 jours après une pluie exceptionnelle de ~100 mm).

2.2. Gravimétrie

Les variations temporelles du stock d'eau ont été suivies par gravimétrie entre 2008 et 2010. Des mesures absolues ont été réalisées chaque trimestre avec un gravimètre FG5. Une campagne intensive de gravimétrie relative (Scintrex CG5) durant la mousson 2009 a permis de spatialiser l'information du gravimètre absolu avec un pas de temps plus fin (mesures chaque semaine). Les différents effets géodynamiques ont été corrigés. Pour la gravimétrie absolue, l'influence des variations hydrologiques de grande longueur d'onde estimée par GRACE a été soustraite pour n'étudier que les variations locales. Pour les mesures relatives, une analyse par double différence (spatiale et temporelle) permet de s'affranchir de la dérive de l'appareil entre 2 dates de mesures.

3. RÉSULTATS

3.1. Variations spatiales

Le résultat de l'inversion RMP 2D montre une distribution de la teneur en eau en accord avec les niveaux piézométriques mesurés et met en évidence des hétérogénéités latérales de porosité au sein de l'aquifère (cf. Fig. 2a). Les différences intra-saisonnnières de gravimétrie présentent une variabilité spatiale (cf. Fig. 2b) qui, d'après la modélisation du signal gravimétrique, serait davantage liée aux hétérogénéités de stock d'eau dans la zone non saturée qu'à celles dans la nappe.

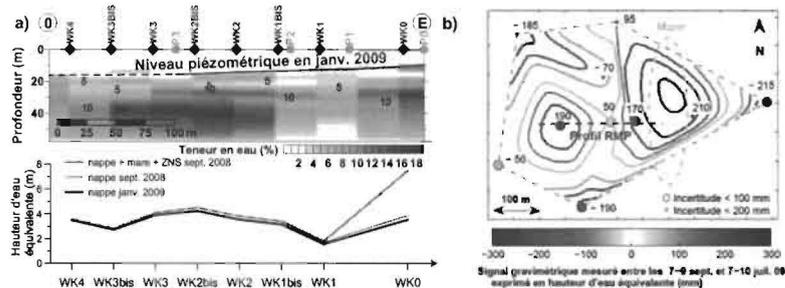


Fig. 2 - Variations spatiales du stock d'eau. a) Profil de teneur en eau RMP ; b) Cartographie par gravimétrie relative

3.2. Variations temporelles

Les variations temporelles de gravimétrie absolue suivent les variations piézométriques (PEFFER et al. 2011). La modélisation qui prend en compte la possibilité que la teneur en eau varie aussi dans les lers mètres de sous-sol (tel qu'observé par sonde capacitive) aboutit à une estimation de la porosité de drainage (2-10%) cohérente avec les teneurs en eau RMP (cf. Fig. 3a et 2a).

D'importantes variations du signal RMP sont observées entre les saisons sèches et pluvieuses (cf. Fig. 3b). La modélisation montre que les variations piézométriques ne

peuvent expliquer à elles seules les variations du signal RMP. Le remplissage de la mare à proximité et l'infiltration sous celle-ci a notamment une influence significative sur le signal RMP.

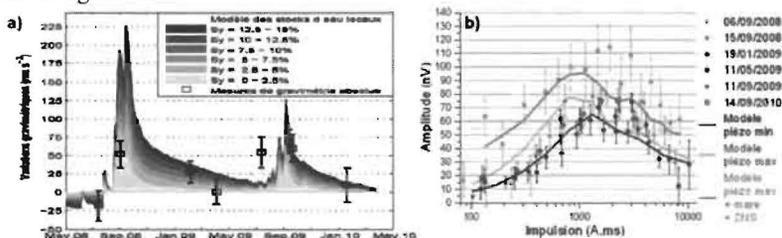


Fig. 3 - Variations temporelles du stock d'eau. a) Chronique de gravimétrie absolue ; b) Suivi du signal RMP

4. CONCLUSION

Cette étude montre la complémentarité des méthodes RMP et gravimétrique pour suivre les variations spatio-temporelles du stock d'eau. La méthode RMP est sensible à la distribution spatiale des teneurs en eau en profondeur mais manque de précision pour une analyse quantitative des variations temporelles des niveaux piézométriques. La gravimétrie est sensible aux variations temporelles du stock d'eau mais les variations spatiales du signal gravimétrique ne sont vraisemblablement liées qu'à des variations très superficielles du stock d'eau.

5. REMERCIEMENTS

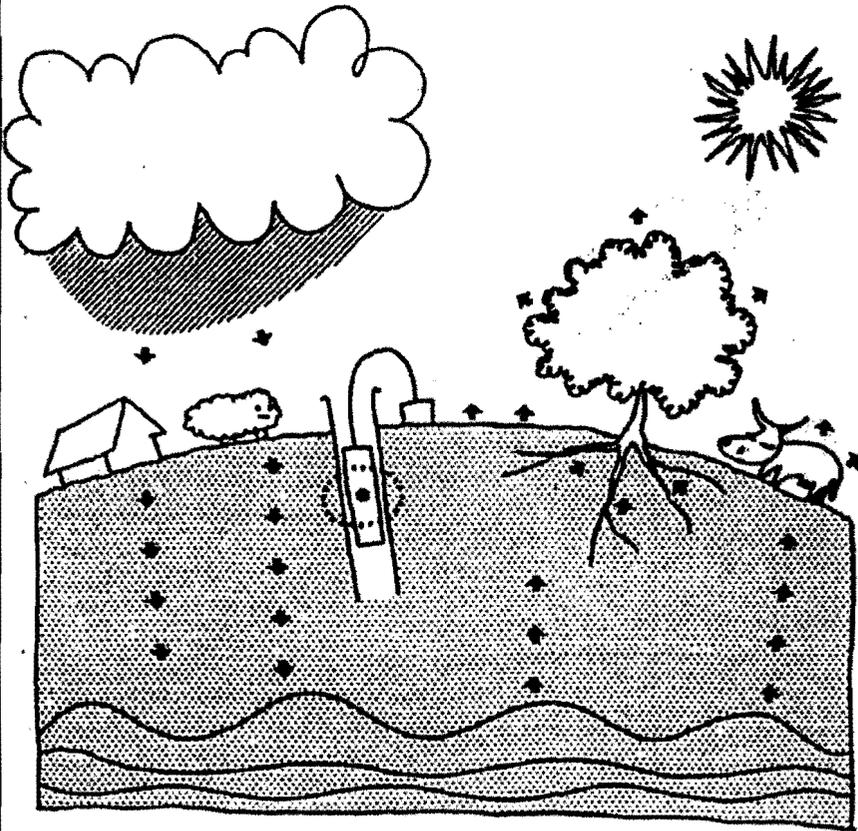
Cette étude a reçu le soutien de l'ANR Ghyraf et du programme AMMA-Catch.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CAPPELAERE B., DESCROIX L., LEBEL T., et al. 2009 – The AMMA-Catch experiment in the cultivated Sahelian area of south-west Niger. Investigating water cycle response to a fluctuating climate and changing environment. *Journal of Hydrology* 375, 34-51.
- PFEFFER J., BOUCHER M., HINDERER J., et al. 2011 – Local and global hydrological contributions to time-variable gravity in Southwest Niger. *Geophysical Journal International* 184, 661-672.

MILIEUX POREUX ET TRANSFERTS HYDRIQUES

BULLETIN DU GROUPE FRANCOPHONE HUMIDIMÉTRIE
ET TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX



**MILIEUX POREUX
ET TRANSFERTS HYDRIQUES**

BULLETIN DU G.F.H.N.

**GROUPE FRANCOPHONE HUMIDIMÉTRIE
ET TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX**

ÉDITION

INRA Orléans
Maud SEGER, Isabelle COUSIN
UR SOLS
2163 avenue de la Pomme de Pin
CS 40001 Ardon
45075 Orléans Cedex 2
France
tél. : +33 2 38 41 80 20
maud.seger@orleans.inra.fr

PUBLICATION

CEMAGREF
Carole ISBERIE
UMR G-EAU
3275, route de Cézanne
CS 40061
13182 Aix en Provence cedex 5
France
tél. : +33 4 42 66 69 67
carole.isberie@cemagref.fr

SECRETARIAT

AgroSup Dijon
Marjorie UBERTOSI
Dép. Agronomie, Agroéquipement,
Élevage et Environnement
26, Bd Dr Petitjean
BP 87999
21079 DIJON cedex, France
tél. : +33 3 80 77 23 46
m.ubertosi@agrosupdijon.fr

SOMMAIRE

JOURNÉES SCIENTIFIQUES GFHN - GEOFCAN - ORLÉANS
29 NOVEMBRE - 1^{er} DÉCEMBRE 2011

MILIEUX POREUX ET GÉOPHYSIQUE

COMPOSITION DU CONSEIL D'ADMINISTRATION DU GFHN	5
COMITÉ D'ORGANISATION ET COMITÉ SCIENTIFIQUE	6
JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU GFHN ET COLLOQUE GEOFCAN	25
ÉDITORIAL	29
RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS	31
BULLETIN D'ADHÉSION	294

CONTENTS

SCIENTIFIC MEETING GFHN-GEOFCAN-ORLEANS
29 NOVEMBER - 1 DECEMBER 2011

POROUS MEDIA AND GEOPHYSICS

GFHN MANAGEMENT COMMITTEE	5
MEETING GFHN-GEOFCAN 2011: ORGANISATION	6
GFHN AND GEOFCAN MEETINGS	25
EDITORIAL	29
ABSTRACTS OF COMMUNICATIONS	31
GFHN REGISTRATION FORM	294