

## **Titre du projet : Montage d'une thèse en co-tutelle entre les Universités de Grenoble et de Ngaoundéré (Cameroun)**

*Volet : Formation Internationale*

*Porteur du projet : Marie Boucher*

*Laboratoires impliqués :LTHE*

## **Bilan du projet**

### **Bilan d'activité** (1 page max)

L'objectif de ce projet était de parfaire la formation de l'étudiant Camerounais S. Kemgang sur la technique géophysique RMP (Résonance Magnétique des Protons) et de valoriser ses premiers résultats expérimentaux acquis dans l'Extrême Nord du Cameroun. Ce projet s'inscrivait dans la perspective de monter un projet de thèse en collaboration entre son Université d'origine (Ngaoundéré au Cameroun) et le LTHE via une co-tutelle.

L'étudiant S. Kemgang a été accueilli au LTHE du 15 juin au 15 juillet 2013. Ce séjour lui a permis de traiter ses données RMP déjà acquises sur le terrain et de rédiger un rapport (Kemgang, 2013). Cette pratique a complété sa formation et l'a rendu complètement autonome sur la technique RMP. De retour au Cameroun, la collaboration s'est poursuivie et les résultats ont été valorisés à la conférence de la NAH (*Nigerian Association of Hydrogeologist*) à Abuja en novembre 2014 (Kemgang et al. 2014). Deux articles sont maintenant en préparation pour poursuivre la valorisation : un dans la revue de la NAH pour sensibiliser des scientifiques proches géographiquement de la zone d'étude et un article dans une revue de rang A.

La visite de S. Kemngang au LTHE et les résultats qui en ont résultés ont été un point décisif pour l'obtention d'une bourse de thèse. Cette bourse a été obtenue auprès du SCAC (Service de Coopération et d'Action Culturelle) du Cameroun pour une thèse en co-tutelle entre l'Université de Ngaoundéré au Cameroun et l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin (actuellement lieu d'affectation de M. Boucher) en partenariat avec le LTHE (co-direction). Le détail du projet scientifique de la thèse soumis au SCAC est décrit en annexe. La bourse a débuté en octobre 2014 pour une durée de 3 ans avec 3 séjours de 4 mois prévus au Bénin. Des courts séjours à Grenoble sont également prévus notamment pour les journées de thèse du LTHE en 2016 (2<sup>ème</sup> année de thèse).

**Illustration** - avec légende et crédit (*à envoyer également séparément*)



S. Kemgang réalisant un sondage par Résonance Magnétique des Protons dans l'extrême nord du Cameroun (Photo prise par M. Boucher en 2012 crédit IRD)

### **Production scientifique** (*articles scientifiques, actes de congrès...*)

- Kemgang S., Ngounou-Ngatcha B., Boucher M., Favreau G., Goni I.B. 2014. First experiments of Magnetic Resonance Soundings in the Southern Border of Lake Chad in Cameroon. *Annual Conference of Nigerian Association of Hydrogeologist, 2<sup>nd</sup>-7<sup>th</sup> November 2014, Abuja, Nigeria.*
- Kemgang S. 2013. Essai de calibration des sondages géophysiques par résonance magnétique des protons (RMP) : Maroua – Cordon dunaire Limani-Yagoua (Extrême-Nord du Cameroun). *Rapport de stage au LTHE. 38p.*

### **Bilan financier succinct** (*avec suivant les cas : co-financements éventuels, équipements achetés, missions, recrutements divers, fonctionnements divers...*)

Voyage de S. Kemgang (Ngaoundéré - Grenoble) : 1 000 €

Indemnité pour le séjour à Grenoble du 15 juin au 15 juillet 2013 : 1 900 €

Coût total du projet : 2 900 €

## **Annexe : Résumé du projet de la thèse financée par le SCAC au Cameroun depuis octobre 2014 (rédigé par S. Kemgang)**

INTRODUCTION : contexte scientifique, problématique et objectifs

Le bassin du lac Tchad, l'un des plus grands bassins endoréiques du monde, est situé en zone aride et semi-aride. Ce bassin d'environ 2 500 000 Km<sup>2</sup>, est partagé par plusieurs états dont l'extrême-nord du Cameroun constitue sa partie Sud. Les problèmes d'approvisionnement en eau dans ce bassin sont liés au caractère temporaire de ses cours d'eau, accentué par une forte croissance démographique. Les campagnes d'adduction d'eau initiées par l'Etat Camerounais ne sont pas avérées être une solution adéquate. C'est dans ce cadre que plusieurs études hydrogéologiques ont été entreprises et ont permis à Biscaldi et Tillement en 1970 de ressortir les grandes lignes hydrogéologiques du Nord du Cameroun. Ces études ont ressorti dans la région de l'extrême-nord du Cameroun deux ensembles hydrogéologiques, à savoir le domaine de la plaine alluviale tchadienne et le domaine de la plaine de piedmonts des monts mandara. L'étude du domaine de la plaine de piedmont met en évidence d'après Tillement (1970), l'existence d'au moins deux unités hydrogéologiques : un aquifère subrégional au-delà de 40 m et plusieurs nappes perchées locales de faibles étendus. Le domaine de la plaine d'inondation Tchadienne (Yaéré) serait caractérisé d'après Tillement (1970) et Biscaldi (1970) par des anomalies piézométriques. Ces anomalies se traduiraient par des courbes piézométriques fermées et concentriques, des creux très accentués pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres au-dessous du niveau normal de la nappe (Archambault, 1960 in Ngounou Ngatcha et al., 2007). Leur mise en place s'appuierait sur l'hypothèse de forte évapotranspiration potentielle susceptible d'être à l'origine des nappes libres déprimées pour des aquifères peu perméables à recharge faible ou nulle (Ngounou Ngatcha et al., 2007). Ces deux unités hydrogéologiques sont séparées par le cordon dunaire Limani-Yagoua, long de 180 km et d'orientation NW-SE. Ce dernier a fait l'objet de plusieurs études visant à comprendre son rôle hydrogéologique et d'après Schworer et al., (1969) aucune nappe générale dunaire n'a pu être détectée. Pour aller dans le même sens, Biscaldi (1970) le considère comme une barrière hydraulique entre les nappes de la plaine de piedmont et celles de la plaine d'inondation tchadienne. Les travaux de Ngounou Ngatcha et al., (2001) par contre montrent que le cordon dunaire est perméable permettant une infiltration des précipitations efficaces et des eaux des cours d'eau temporaires qui lui font front.

Malgré l'importance et la qualité des résultats obtenus sur ces ensembles hydrogéologiques, la connaissance précise de leur géométrie et leurs propriétés hydrodynamiques restent limitées et insuffisantes pour apprécier le fonctionnement exact des aquifères de cette région. Cette limite et manque d'information seraient liés aux coûts très élevés que nécessite la réalisation de forages et à moindre mesure ceux de piézomètres.

Les insuffisances liées à la compréhension du fonctionnement des aquifères auxquelles s'ajoutent les divergences d'opinions sur le rôle du cordon dunaire Limani-Yagoua orientent notre questionnement scientifique sur la configuration géométrique des aquifères et du cordon sableux ainsi que sur la définition de leurs propriétés hydrodynamiques.

L'objectif général de cette thèse sera d'apporter un éclaircissement sur le fonctionnement hydrodynamique des aquifères de la plaine alluviale quaternaire par une double approche hydrogéologique classique et géophysique dans la partie du bassin sédimentaire située au Sud du 12<sup>ème</sup> parallèle Nord.

Il s'agit plus spécifiquement de définir la géométrie du réservoir et de caractériser les fonctions de stockage et de flux de l'aquifère complexe du grand yaéré dans le secteur situé au Sud du 12ème parallèle Nord. Dans un premier temps, il sera question de faire une étude hydrogéologique traditionnelle complémentaire à partir des informations issues des forages et des pompages d'essai. Dans un second temps, faire une étude hydrogéologique par des méthodes géophysiques (résonance magnétique des protons (RMP) et sondages électromagnétiques en domaine temporel (TDEM)) de façon à réduire les coûts liés à la réalisation de forage, de piézomètres et d'essai de pompage.

## METHODES

Pour atteindre les objectifs de travail plus hauts définis, une méthodologie appropriée divisée en trois étapes sera utilisée. Elle comprend : les méthodes hydrogéologiques traditionnelles et les méthodes géophysiques.

Les méthodes hydrogéologiques traditionnelles sont basées sur : la collecte d'informations préexistantes consignées sur les fiches techniques de forages, les campagnes de mesures de niveau statique, la réalisation de coupe litho-stratigraphiques, la réalisation de quelques essais de pompages pour l'estimation de paramètres hydrodynamiques.

Les méthodes géophysiques sont basées sur la réalisation et l'interprétation de sondages électromagnétiques (résonance magnétique des protons et sondage électromagnétique en domaine temporel) et électrique (tomographie de résistivité apparente et montage schlumberger). Des travaux récents sur la combinaison de la méthode RMP et d'autres méthodes géophysiques ont montrés une amélioration des informations sur la typologie des réservoirs (Vouillamoz, 2003 ; Boucher, 2007). En effet, le signal RMP a tendance à s'affaiblir en profondeur alors que dans le cas de méthodes TDEM permettront, à grande profondeur d'apprécier les contrastes de résistivités importants entre la couverture argileuse, la formation aquifère et le substratum (Vouillamoz, 2003 ; Vouillamoz et al., 2007). Les méthodes électriques, selon différents montages seront utilisées de façon conjointes au sondage électromagnétique en domaine temporel, de manière à restituer les meilleures données géophysiques.

## RESULTATS ESCOMPTES

A la fin de ce travail nous attendons les résultats relatifs à la configuration du réservoir et aux paramètres hydrodynamiques qui permettront de comprendre le fonctionnement des aquifères de la plaine alluvial de l'Extrême-Nord du Cameroun.

La configuration du réservoir sera précisée par : les épaisseurs de la zone non saturée; l'estimation de la qualité des formations qui constituent l'aquifère (perméable ou argileux imperméable) ; les épaisseurs et les profondeurs des niveaux aquifères et des substratums.

La quantification des propriétés de flux et de stockage concernera : la porosité efficace et le coefficient d'emmagasinement ; la perméabilité, la transmissivité et le débit théorique, la conductivité électrique de l'eau.

Le fonctionnement hydrodynamique sera basée sur : le battement de la nappe ; les cartes piézométriques ; les sens d'écoulement de l'eau dans les nappes ; les relations hydrauliques qui existent entre les différents niveaux aquifères.



Ce projet est soutenu par le Laboratoire d'Excellence OSUG@2020 (ANR10 LABX56) financé par le programme d'Investissements d'Avenir lancé par l'Etat et mis en oeuvre par l'ANR.



Une modélisation du comportement hydrodynamique de l'aquifère sera proposée si les conditions de travail y sont favorables (importance de la banque de données acquises pendant les campagnes de terrains).

#### ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

A ce jour, deux campagnes de terrain ont été réalisées dans la plaine de piedmont. Elles avaient pour objectifs de maîtriser les techniques de réalisation des sondages géophysiques, d'évaluer la faisabilité et de densifier les sondages en se rapprochant du cordon sableux Limani-Yagoua. Les techniques d'interprétation de ces sondages ont été effectuées lors d'un stage au sein du Laboratoire d'études des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE) de l'université Joseph Fourier de Grenoble 1. Le rapport scientifique a été rédigé, et le projet d'article est en cours de rédaction. Les nappes superficielles de la zone étudiée ont été caractérisées sur le plan hydrodynamique. Les paramètres tels que la teneur en eau, le stock d'eau libre disponible et la transmissivité ont été évalués.