



CAMEROON



CENTRAL AFRICAN
REPUBLIC



CHAD



NIGER



NIGERIA

Gestion intégrée et durable des systèmes aquifères et des bassins partagés de la région du Sahel

RAF/7/011

LE BASSIN DU LAC TCHAD

2017

NOTE DE L'ÉDITEUR

Le présent document n'est pas une publication officielle de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Le contenu n'a pas fait l'objet d'un examen officiel par l'AIEA. Les opinions exprimées ne reflètent pas nécessairement celles de l'AIEA ni de ses États Membres. L'emploi d'appellations particulières pour désigner des pays ou des territoires n'implique de la part de l'AIEA aucune prise de position quant au statut juridique de ces pays ou territoires, ou de leurs autorités et institutions, ni quant au tracé de leurs frontières. La mention des noms de sociétés ou de produits particuliers (qu'ils soient ou non signalés comme marques déposées) n'implique aucune intention d'empiéter sur des droits de propriété, et ne doit pas être considérée non plus comme valant approbation ou recommandation de la part de l'AIEA.

RAPPORT SUR LE PROJET RÉGIONAL DE COOPÉRATION TECHNIQUE RAF/7/011 APPUYÉ PAR L'AIEA

LE BASSIN DU LAC TCHAD

CONTREPARTIES :

M. Annadif Mahamat Ali ABDELKARIM (Tchad)
M. Mahamat Salah HACHIM (Tchad)
Mme Beatrice KETCHEMEN TANDIA (Cameroun)
M. Wilson Yetoh FANTONG (Cameroun)
M. Sanoussi RABE (Niger)
M. Ismaghil BOBADJI (Niger)
M. Christopher Madubuko MADUABUCHI (Nigeria)
M. Albert Adedeji ADEGBOYEGA (Nigeria)
M. Eric FOTO (République centrafricaine)
M. Backo SALE (République centrafricaine)

EXPERT :

M. Frédéric HUNEAU (France)

Reproduit par l'AIEA
Vienne (Autriche), 2017

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
2. SITES D'ÉTUDE	3
2.1. Situation géographique et topographique	3
2.2. Climatologie de la région	5
2.3. Géologie et hydrogéologie	7
2.4. Hydrologie	12
2.5. Types de végétation et utilisation des terres	16
2.6. Gestion de l'approvisionnement en eau et des ressources en eau dans le bassin	17
3. ACQUISITION DES DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE EMPLOYÉE	20
4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION	26
4.1. Remise en service de la station GNIP de N'Djamena	26
4.2. Mise en place d'une nouvelle station GNIR à N'Djamena	27
4.3. Hydrogéochimie des eaux souterraines	28
4.4. Signature isotopique des eaux souterraines	36
4.5. Temps de séjour des eaux souterraines peu profondes	40
5. CONCLUSIONS	43
6. RÉFÉRENCES	46
ABRÉVIATIONS	49
ANNEXES	50

1. INTRODUCTION

Le bassin du lac Tchad, qui se situe dans la partie orientale de la région du Sahel, en bordure sud du désert du Sahara, est l'un des plus grands bassins hydrogéologiques sédimentaires d'Afrique, couvrant environ 2 381 000 km². La pluviométrie annuelle, fortement contrastée sur l'ensemble du bassin qui s'étend de la Libye à la République centrafricaine, varie de 1 500 mm/a dans le sud à moins de 100 mm/a dans le nord. En raison des températures élevées tout au long de l'année, l'évapotranspiration potentielle dépasse 2 000 mm par an dans le centre du bassin. Ce phénomène restreint fortement la disponibilité des ressources en eau, qui sont inégalement réparties entre le nord, le centre et le sud du bassin. S'il arrive que la disponibilité des eaux de surface soit limitée notamment pendant la saison sèche, les eaux souterraines sont quant à elles présentes dans la quasi-totalité du bassin, à des profondeurs variables.

Malheureusement, l'étendue et la qualité de ces ressources en eaux souterraines sont encore mal connues et le manque d'informations techniques pertinentes sur ce sujet peut être considéré comme un facteur limitant le développement de l'ensemble de la région du bassin du lac Tchad. Les eaux souterraines sont la principale source d'approvisionnement en eau de la région, tant pour la population que pour l'agriculture. En 2013, l'ensemble du bassin du lac Tchad comptait environ 47 millions d'habitants. Les principales activités sont l'agriculture, l'élevage nomade et semi-nomade et la pêche (BGR, 2012). À la suite d'une baisse des précipitations dans les années 70 et 80 et de graves sécheresses en 1973 et 1984, la superficie du lac a diminué, passant d'environ 18 000 km² à moins de 2 000 km². Les années suivantes se sont caractérisées par des précipitations très variables, une hausse de la température d'environ 1°C et une forte croissance démographique. La superficie du lac, près de 4 500 km², est toutefois restée plus ou moins constante depuis 2000.

Le bassin du lac Tchad a pour la première fois fait l'objet d'études d'hydrologie isotopique à la fin des années 60, dans le cadre des travaux précurseurs de Fontes et al. (1969 et 1970) et Roche (1980). Ceux-ci se sont d'abord concentrés sur les eaux du lac Tchad puis sont très rapidement passés à des recherches hydrogéologiques sur les eaux souterraines et aquifères quaternaires peu profonds au sud du lac Tchad et la région de N'Djamena. À la fin des années 80, Ketchemen (1992) a réalisé, dans le cadre des projets CAM/8/002 et RAF/8/012 (1987-1991) appuyés par l'AIEA, la première étude isotopique approfondie sur la zone marécageuse du Grand Yaéré (nord du Cameroun). Il a été suivi dans les années 90 par Djoret (2000) sur la région du Chari-Baguirmi (Tchad) et par Kadjangaba (2007) sur la région de N'Djamena (Tchad). Ces travaux ont été complétés en 2008-2010 par le projet

CHD/8/002, appuyé par l'AIEA, qui portait également sur la région de N'Djamena. À la fin des années 90, des recherches ont pour la première fois été menées dans la région de Diffa (Niger) par Leduc et al. (2000) et Zairi (2008) ainsi que dans le nord-est du Nigeria par Goni (2006) et Maduabuchi (2006). Toutes les études portaient presque exclusivement sur l'aquifère quaternaire peu profond. Il existe très peu d'informations sur l'hydrologie isotopique des eaux souterraines plus profondes du Pliocène inférieur ou du Continental terminal. Les eaux souterraines de la partie centrafricaine du bassin versant du lac Tchad n'ont jamais fait l'objet d'études d'hydrologie isotopique ou de géochimie. Diverses études ont tenté de mesurer les flux des eaux souterraines et les processus d'infiltration de l'aquifère quaternaire au moyen de modélisations, aboutissant à des résultats divers et approximatifs (Eberschweiler, 1993 ; Boronina et Ramilien, 2008 ; Candela et al., 2014 ; Genthon et al., 2015 ; Bouchez et al., 2016). Plus récemment, des études isotopiques et géochimiques détaillées ont été réalisées au Tchad par la coopération allemande (2010-2016) dans le cadre de différents projets entrepris par l'Institut fédéral des géosciences et des ressources naturelles (BGR). Ces études hydrologiques, isotopiques et géochimiques très détaillées portent aussi essentiellement sur les eaux souterraines quaternaires peu profondes des plaines d'inondation du Logone-Chari et des régions du Kanem et du Barh El Gazal. En 2015, Bouchez (2015) et Bouchez et al. (2015) ont proposé une étude détaillée sur les interactions des eaux du lac Tchad et des eaux souterraines quaternaires par des moyens isotopiques et géochimiques, et ont tenté d'évaluer, à l'aide de ^{36}Cl , le temps de séjour des eaux de l'aquifère du Continental terminal dans la région tchadienne du Barh El Gazal.

L'hydrologie isotopique des précipitations a été très peu étudiée dans cette région et la station du Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations (GNIP) à N'Djamena n'a été en service que de 1960 à 1995. Bien qu'isolées et sporadiques, des données complémentaires sur les précipitations ont été publiées par Faure et al. (1970), Joseph et al. (1992) et Leduc et al. (2000). Tous les aquifères du bassin du lac Tchad sont du type transfrontalier et doivent faire l'objet d'une grande attention si l'on veut assurer la mise en valeur durable des ressources. Toutefois, même en prenant en considération les rares études précédemment menées, la disponibilité, les processus de recharge, le temps de séjour et la qualité des eaux souterraines à l'échelle du bassin sont mal connus. Dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA, on tente pour la première fois d'examiner et d'interpréter conjointement les données isotopiques et géochimiques obtenues dans quatre pays voisins (Tchad, Niger, Cameroun et République centrafricaine) pour améliorer la gestion des

ressources en eaux souterraines partagées par les différents pays du bassin du lac Tchad, en se fondant sur une démarche collective.

2. SITES D'ÉTUDE

2.1. Situation géographique et topographique

Le bassin du lac Tchad est une dépression endoréique qui couvre près de 8 % du continent africain (fig. 1) et qui est entourée de huit pays, dont quatre ont un accès direct au lac : le Nigeria, le Niger, le Tchad et le Cameroun. Le Niger et le Tchad sont ceux qui occupent la plus grande partie du territoire partagé, à savoir 29 % et 44 % de la superficie totale du bassin versant (tableau 1). Le Cameroun et la République centrafricaine n'occupent qu'environ 2 % et 9 % de la superficie du bassin, mais les trois quarts des apports en eau du lac proviennent des régions humides de ces deux pays.

Le bassin est une large plaine essentiellement composée de sable moyen à fin, entourée de montagnes culminant à 3 300 mètres dans le nord (massif du Tibesti), à 3 000 mètres dans le nord-ouest (massif du Hoggar) et à 3 300 mètres dans le sud-ouest (Plateau de l'Adamaoua) ; son altitude est de 180 mètres dans les « Pays Bas » (centre du bassin).

La partie centrale du bassin se caractérise par deux paysages différents, délimités par le 14^e parallèle N : les dunes de sable et l'absence de sources d'eaux de surface sont typiques de la partie nord (Kanem), tandis que le sud est composé d'une superposition de sable et d'argile bien irriguée par les deux principales rivières qui se jettent dans le lac :

Le réseau hydrographique du Chari-Logone (Tchad) qui fournit environ 95 % du volume annuel des apports d'eau au lac et le réseau du Komadougou Yobé (Niger) qui fournit environ 3 % de l'apport annuel.

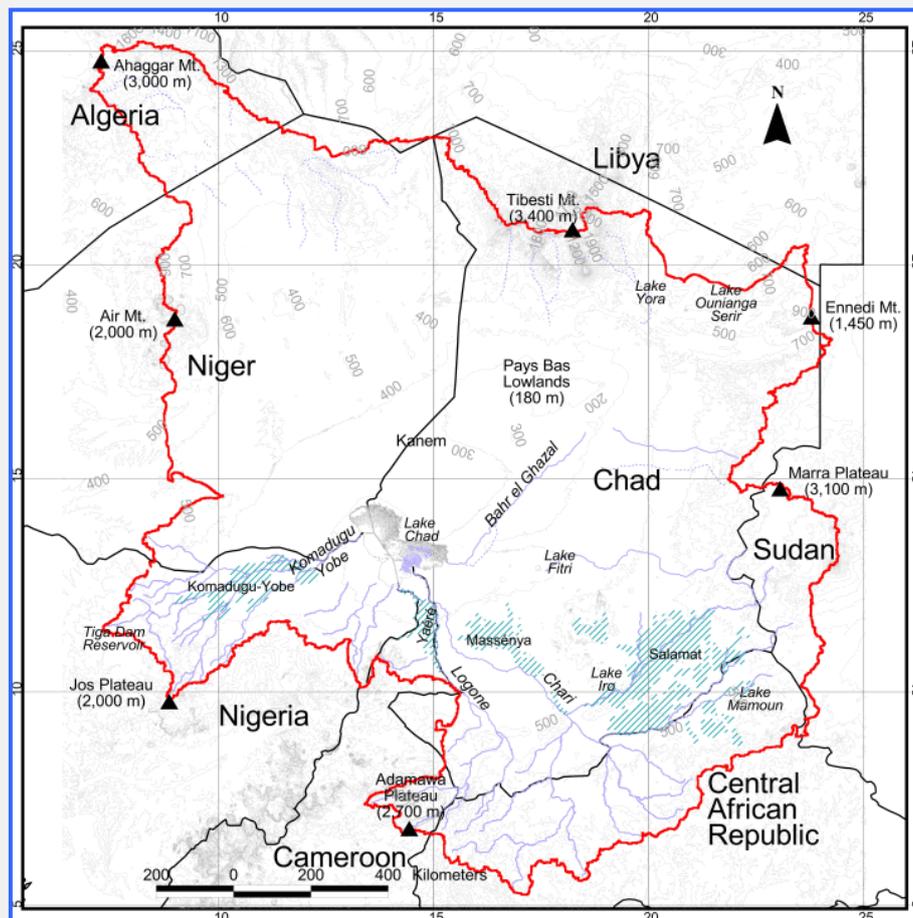


Figure 1 : Étendue du bassin du lac Tchad et principaux pays concernés (BGR, 2010)

Tableau 1 : Pays du bassin du lac Tchad (à l'exception de la Libye, dont le territoire ne contribue pas à l'apport d'eau) (FAO).

Pays	Superficie totale du pays (km ²)	Superficie du pays comprise dans le bassin (km ²)	Superficie du pays comprise dans le bassin en % de la superficie totale du bassin	Superficie du pays comprise dans le bassin en % de la superficie totale du pays	Moyennes pluviométriques annuelles dans le bassin (mm)		
					min	max	médiane
Nigeria	923 770	179 282	7,5	19,4	285	1 330	670
Niger	1 267 000	691 473	29,0	54,6	0	635	105
Algérie	2 381 740	93 451	3,9	3,9	0	135	20
Soudan	2 505 810	101 048	4,2	4,0	70	1 155	585
République centrafricaine	622 980	219 410	9,2	35,2	760	1 535	1 215
Tchad	1 284 000	1 046 196	43,9	81,5	0	1 350	400
Cameroun	475 440	50 775	2,1	10,7	365	1 590	1 010
Bassin du lac Tchad		2 381 635	100,0		0	1 590	415

2.2. Climatologie de la région

Le climat du bassin du lac Tchad, de type tropical, se caractérise par quatre zones climatiques, qui concordent avec les différents types d'isohyètes. Le bassin appartient à la zone sahélienne, où les pluies de mousson diminuent du sud au nord (de moins de 100 mm de précipitations annuelles dans le nord du Tchad, en Libye et en Algérie, à 1 500 mm dans le sud du bassin, le sud du Tchad et la République centrafricaine). Le climat du bassin est classé en quatre catégories (du nord au sud) :

- le climat saharien se caractérise par moins de 100 mm de précipitations annuelles ;
- le climat sahélo-saharien a une moyenne pluviométrique annuelle comprise entre 100 et 400 mm ;
- Le climat sahélo-soudanien, plus humide, a une moyenne pluviométrique annuelle comprise entre 400 et 600 mm ;
- Le climat soudano-guinéen a une moyenne pluviométrique annuelle comprise entre 600 et 1 500 mm.

La région se caractérise par des températures élevées tout au long de l'année et une humidité très faible, sauf pendant la saison des pluies de juin à septembre. Un rayonnement solaire intense et des vents forts entraînent une évapotranspiration potentielle annuelle élevée, soit environ 2 200 mm dans le centre du Tchad (Carmouze, 1976). N'Djamena (la capitale), située au centre du bassin, se caractérise par un climat de steppe sahélienne et de faibles précipitations (fig. 2, tableau 2).

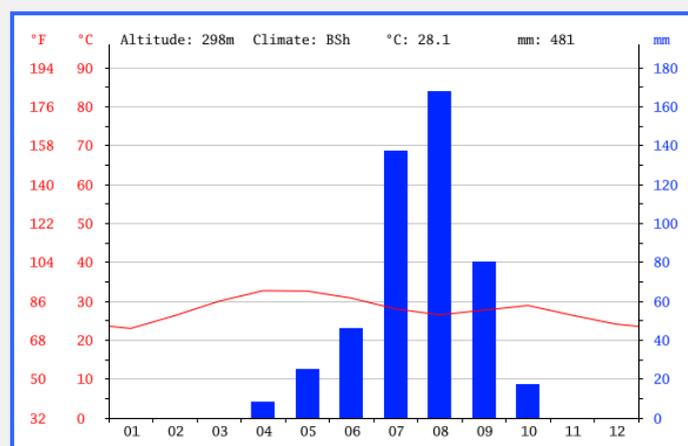


Figure 2 : Températures et précipitations mensuelles à la station de l'aéroport de N'Djamena (1982-2012)

Tableau 2 : Médiane mensuelle des données météorologiques de la station de l'aéroport de N'Djamena (1982-2012)

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Pluies (mm)	0	0	0	8	25	46	137	168	80	17	0	0	481
T (°C)	23,0	26,3	30,0	32,7	32,6	30,8	28,0	26,5	27,7	28,9	26,4	24,1	28,1

La ville de Moundou, dans le sud du Tchad, a un climat soudano-guinéen et une pluviosité très favorable (fig. 3, tableau 3).

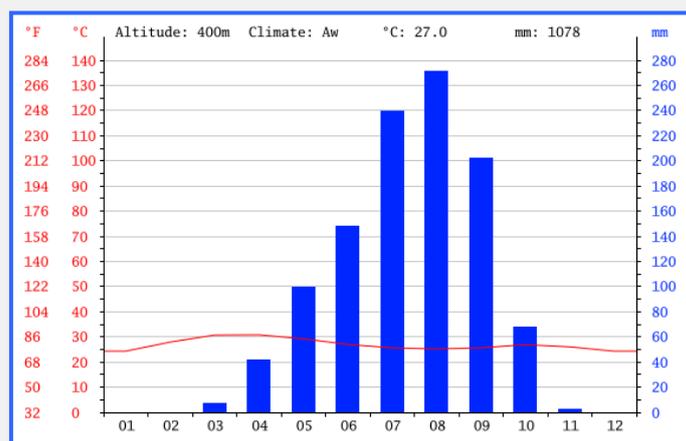


Figure 3 : Températures et précipitations mensuelles à la station de l'aéroport de Moundou (1982-2012)

Tableau 3 : Médiane mensuelle des données météorologiques de la station de l'aéroport de Moundou (1982-2012)

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Pluies (mm)	0	0	7	42	99	148	239	271	202	68	2	0	1 078
T (°C)	24,3	27,9	30,7	30,8	29,2	27,0	25,6	25,2	25,6	26,9	26	24,3	26,9

La région de N'Djamena, et plus généralement l'ensemble de la région du Sahel, ont connu une période humide relativement longue de 1937 à 1961, suivie d'une brève période sèche de 1946 à 1951, puis d'une période de précipitations moyennes jusqu'en 1979, interrompue par 4 années sèches de 1972 à 1975. Par la suite, les précipitations ont diminué et une longue période sèche s'est installée jusqu'en 1997. Depuis, une période humide prédomine (BGR, 2016).

Par le passé, l'ensemble de la région du Sahel a connu différentes phases humides (Beyerle et al., 2003). Jusqu'à 4 500 avant le présent, le climat africain s'est caractérisé par plusieurs périodes humides pendant l'Holocène, avec un optimum dans la région du Sahara autour de 8 500-6 500 avant le présent, interrompues par de brèves périodes sèches (Gasse, 2000). Dans la ceinture sahélienne, la reprise de la mousson après le dernier maximum glaciaire (DMG)

froid et sec (23 000-18 000 avant le présent) s'est effectuée en deux temps vers 15 000 et 11 500 avant le présent (Gasse, 2000), séparés par un retour à des conditions plus sèches correspondant au Dryas récent. Des indices paléoclimatiques venant d'Afrique qui remontent à la période antérieure au DMG indiquent qu'avant 23 000 avant le présent les conditions climatiques humides alternaient avec des phases arides, tandis que les températures moyennes demeuraient inférieures à celles d'aujourd'hui (Gasse, 2000 ; Beyerle, 2003).

2.3. Géologie et hydrogéologie

D'après les travaux de Schneider et Wolff (1992), le bassin du lac Tchad est composé d'une séquence de couches d'âges et d'épaisseurs différents (fig. 4).

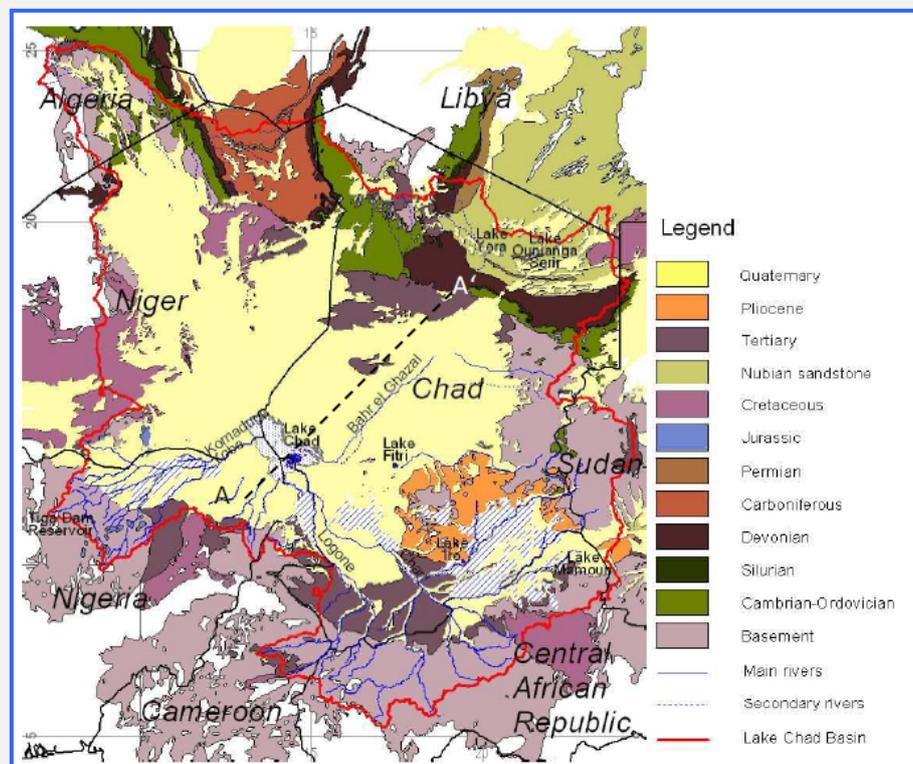


Figure 4 : Géologie du bassin du lac Tchad (BGR, 2012)

La couche la plus profonde connue, qui appartient au Continental terminal (Oligocène/Miocène), est composée de grès ; d'environ 200 m d'épaisseur, elle est située entre 400 et 600 m de profondeur (fig. 5). Elle est recouverte par une couche du Pliocène inférieur composée de sables fluvio-lacustres, puis d'une couche massive d'argile du Pliocène supérieur de 200 à 300 m d'épaisseur. La couche supérieure quaternaire du centre du bassin, composée de sables, présente les sous-formations suivantes (BGR, 2014) :

- La série du Moji (Pléistocène inférieur) est une série fluvio-lacustre argileuse à évaporites (gypse) au nord du Kanem.

- Les dunes sableuses éolisées de l'Ogolien, qui recouvrent la série du Moji, ont été formées entre 20 000 et 13 000 avant le présent (Swezey, 2001). Elles apparaissent principalement au nord du lac Tchad et se composent essentiellement de sables de quartz. Les vallées interdunaires situées jusqu'à 30 km de l'ancien rivage du lac sont composées de carbonate de sodium qui contient des minéraux évaporites comme le natron ($\text{Na}_2\text{CO}_3, 10 \text{ H}_2\text{O}$) encore exploité pour son sel.

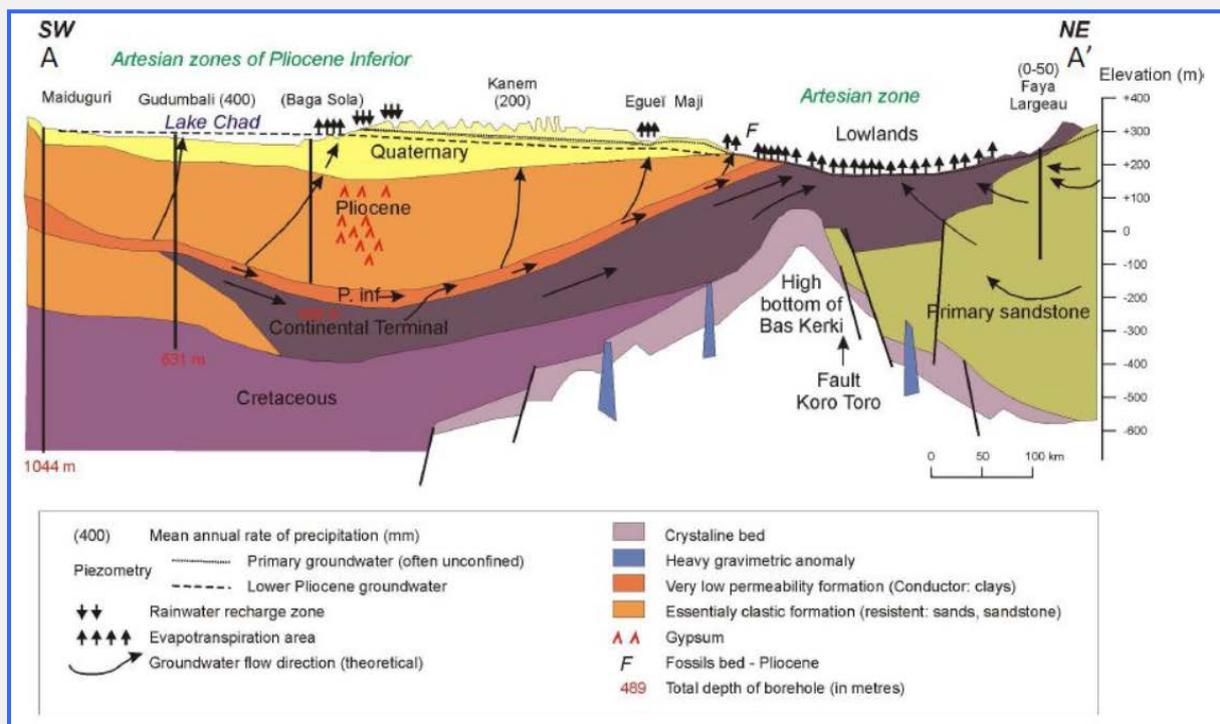


Figure 5 : Coupe (A-A', voir fig. 4) du bassin du lac Tchad de Maiduguri (sud-ouest) à Faya Largeau (nord-est), d'après Schneider et Wolff, 1992 (BGR, 2012)

Au sud du lac, des dépôts quaternaires sont recouverts par les plaines du Yaéré et du Naga, où alternent les couches sableuses, indicateur des conditions passées arides, et les couches argileuses lacustres ou fluviales, qui résultent de périodes plus humides lorsque la taille du lac avait augmenté et que les lits du Logone et du Chari étaient beaucoup plus larges.

En République centrafricaine, à l'extrême sud du bassin, des dépôts quaternaires recouvrent aussi les sédiments du Continental terminal qui émergent directement sur le substrat protérozoïque.

Du point de vue hydrogéologique, l'aquifère du Continental terminal est un aquifère artésien situé autour du lac Tchad qui affleure dans la partie méridionale du bassin, notamment en République centrafricaine, où il peut aussi être dissimulé par des dépôts quaternaires. La couche du Pliocène inférieur contient de l'eau douce et peut aussi être artésienne autour du lac.

L'aquifère quaternaire est le principal aquifère régional transfrontalier, caractérisé par différents systèmes de dépôts. Les aquifères sont captifs ou semi-captifs en fonction de leur position relative et de l'occurrence de couches argileuses. Les sables pléistocènes et contemporains se caractérisent par une assez bonne conductivité hydraulique et des eaux souterraines potables. En l'absence d'influence anthropique, les matières dissoutes totales sont généralement faibles (< 400 mg/l). Les quelques données disponibles sur la transmissivité des aquifères dans la région montrent toutes un bon potentiel aquifère avec des valeurs allant de $1,10^{-2}$ à $7,10^{-2}$ m²/s (Schneider et Wolff, 1992). Cela a été confirmé par Massuel (2001) avec des valeurs de $2,10^{-2}$ m²/s pour le sable pléistocène.

L'essentiel du bassin du lac Tchad est recouvert par des sables quaternaires (fig. 4) avec des dépôts d'origines différentes. Dans le nord du bassin, les dépôts éoliens et les dunes prédominent (région du Kanem). Les dépôts fluvio-lacustres ou deltaïques qui font alterner des séquences de fines strates sablo-argileuses et les sols principalement argileux en surface sont typiques du sud. Au niveau régional, ces sables quaternaires agissent comme un aquifère transfrontalier libre qui se draine vers le lac Tchad et le nord-est le long du Barh El Gazal. Au sud du 14^e parallèle nord, cet aquifère présente une faible conductivité hydraulique, notamment verticale, en raison des séquences sablo-argileuses. En outre, à cause de sa planéité et sa faible inclinaison (en moyenne 0,5 ‰), l'écoulement horizontal est très lent (BGR, 2009).

À environ 75 à 100 m de profondeur, une épaisse couche argileuse de quelque 280 m du Pliocène supérieur (fig. 5) s'intercale entre les sables quaternaires au-dessus et la couche du Pliocène inférieur en dessous. Celle-ci est constituée d'une couche sablo-gréseuse de 30 m d'épaisseur, qui repose sur une couche gréseuse du Continental terminal (Tertiaire) d'environ 150 m d'épaisseur.

La couche du Pliocène supérieur est quasi-imperméable et constitue par conséquent un aquitard entre la couche gréseuse du Pliocène inférieur et du Continental terminal et

l'aquifère quaternaire supérieur, causant ainsi des conditions artésiennes dans toute la partie centrale du bassin. Selon Eberschweiler (1993), les aquifères transfrontaliers du Pliocène et du Continental terminal présentent des propriétés hydrogéologiques favorables semblables et une chimie de l'eau comparable, si bien que l'on peut les considérer comme un seul et même aquifère.

La carte de flux des eaux souterraines de l'aquifère quaternaire (fig. 6) montre la présence de trois dépressions piézométriques importantes : Chari-Baguirmi, Komadougou Yobé et Pays Bas. Dans le sud du bassin, le flux des eaux souterraines est orienté sud-nord en direction du lac Tchad et de la dépression de Chari-Baguirmi. Au nord, les eaux souterraines qui s'écoulent d'est (Tchad) en ouest (Niger) débouchent dans la dépression des Pays Bas. Le flux des eaux souterraines du Pliocène inférieur et du Continental terminal est moins connu et les rares informations disponibles concernent seulement le pourtour du lac Tchad (BGR, 2009).

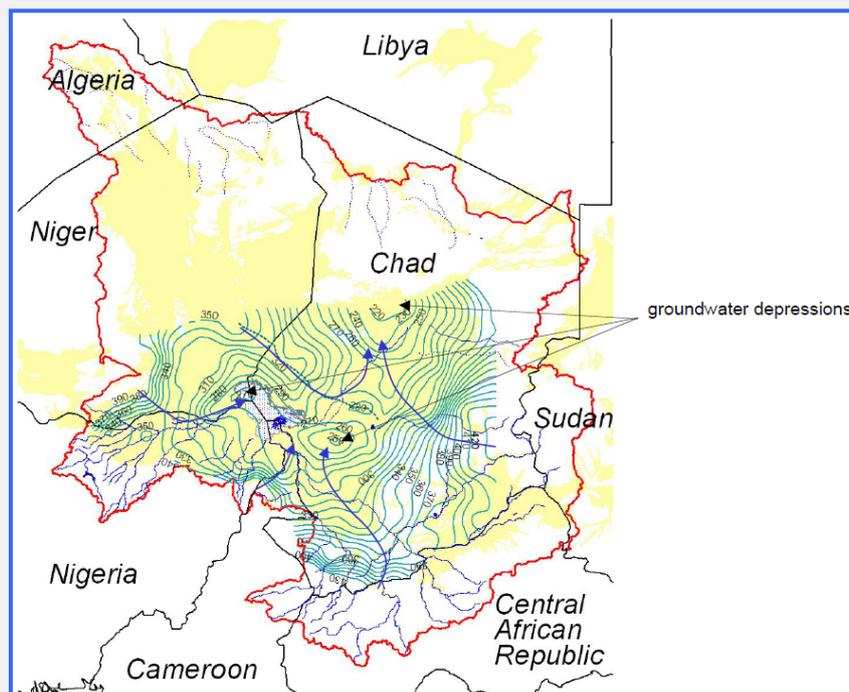


Figure 6 : Carte potentiométrique de l'aquifère quaternaire (BGR ,2009)

S'agissant de l'aquifère du Pliocène inférieur, le flux des eaux souterraines est aussi globalement orienté d'ouest en est et du sud au nord, en direction du lac Tchad. Il n'existe pas d'informations piézométriques sur la région du Tchad oriental pour cet aquifère (fig. 7).

Le flux des eaux souterraines de l'aquifère du Continental terminal est orienté du sud au nord en direction du lac Tchad puis vers le nord-est du lac (fig. 8). À ce jour, il existe très peu

d'informations sur cet aquifère et cette carte potentiométrique doit être considérée comme schématique. Des études récentes, fondées sur ^{36}Cl , de Bouchez (2015) ont évalué le temps de séjour des eaux souterraines du Continental terminal à l'est du lac Tchad à plus de 300 000 ans.

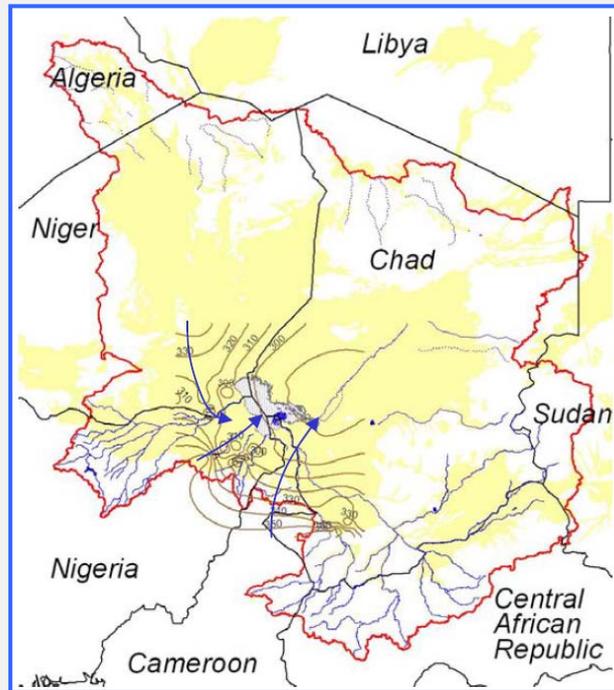


Figure 7 : Lignes de contour des eaux souterraines du Pliocène inférieur (BGR, 2009)

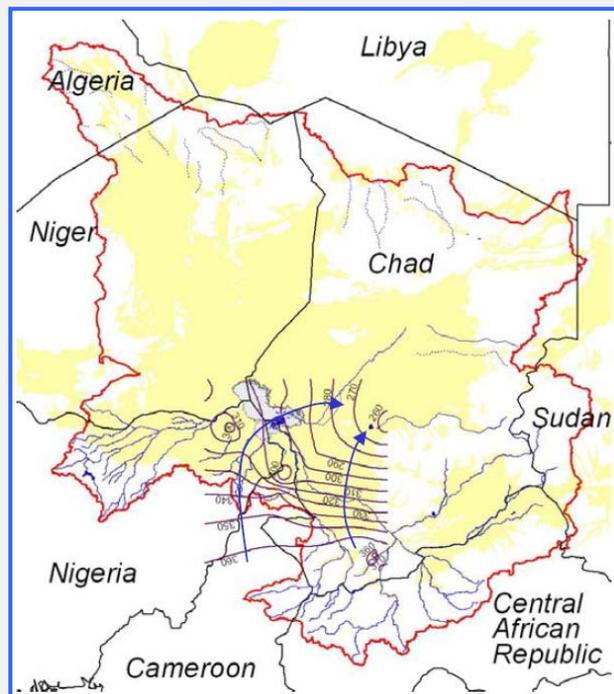


Figure 8 : Lignes de contour des eaux de l'aquifère du Continental terminal (BGR, 2009)

2.4. Hydrologie

Le bassin du lac Tchad se divise en deux principaux sous-bassins hydrologiques :

- Le sous-système du Chari-Logone, qui couvre environ 650 000 km² et comprend la rivière Chari et les plaines d'inondation du Waza-Logone. Il représente environ 95 % du volume annuel d'eau qui se déverse dans le lac.
- Le sous-système du Komadougou Yobé, qui couvre 148 000 km² mais ne représente qu'environ 3 % de l'apport total au lac Tchad.

En surface, les précipitations représentent environ 2 % du volume annuel d'eau de l'hydrosystème. Le bassin compte plusieurs zones de marécages très importantes, telles que le Grand Yaéré tout au nord du Cameroun (Ketchemen, 1992), le lac Tchad, le lac Fitri, Massénya et Salamat au sud-est, et le Komadougou Yobé au nord-est du Nigeria (fig. 9). En raison de sa faible profondeur (au maximum 4 mètres), le lac Tchad peut être considéré comme un marécage dans une grande partie de la cuvette sud et dans l'ensemble de la cuvette nord (BGR, 2012).



Figure 9 : Zones marécageuses dans le bassin du lac Tchad (BGR, 2009)

La principale caractéristique hydrologique de la région reste le lac Tchad lui-même, réceptacle de toutes les eaux de surface et probablement d'une partie des eaux souterraines peu profondes de la région. En fonction de l'alternance des périodes sèches et humides, le lac Tchad s'est étendu ou réduit plusieurs fois dans le passé, mais depuis 4 000 ans le présent,

la superficie du lac n'a cessé de diminuer, correspondant à la progression des zones arides et désertiques provoquée par diverses causes (CBLT, 2008).

Comme indiqué à la figure 10 pour l'époque récente, le lac Tchad a connu de nombreux changements, notamment aux dates clés suivantes (CBLT, 2008) :

- En 50 000 avant le présent, le lac occupe 2 millions de km² ;
- En 20 000 avant le présent, il disparaît complètement en raison de l'aridité des tropiques à la suite du maximum glaciaire ;
- En 9 500 avant le présent, il s'étend en raison d'abondantes précipitations sur le massif du Tibesti et atteint une profondeur de 15 mètres, avant un retour à la situation précédente vers 9 000 avant le présent ;
- En 7 000 avant le présent, le lac atteint une profondeur de 38 mètres, avant de revenir à la taille actuelle vers 5 500 avant le présent ;
- En 4 000 avant le présent, il atteint une profondeur de 65 mètres et une superficie de plus d'un million de km², soit plusieurs centaines de fois sa taille actuelle, avant de revenir à la taille actuelle vers 2 000 avant le présent ;
- En 2 000 avant le présent, il constitue une véritable mer intérieure en Afrique centrale, qui s'est ensuite asséchée et dont le bassin s'est rempli de sable ;
- En 1 000 avant le présent, le lac atteint une profondeur de 17 mètres, avant de revenir à la taille actuelle ;
- En 1908, le lac constitue une simple zone humide composée de deux petits bassins au nord et au sud, puis son niveau monte ;
- En 1963, le lac couvre, selon certaines sources, entre 22 903 et 25 000 km² ;
- En 2001, sa superficie se réduit à 4 000 km² ;
- En 2008, il mesure 30 x 40 km à l'embouchure de la rivière Chari et occupe une superficie de 2 500 km². Le lac Tchad couvre moins de 10 % de la superficie qu'il occupait en 1960.

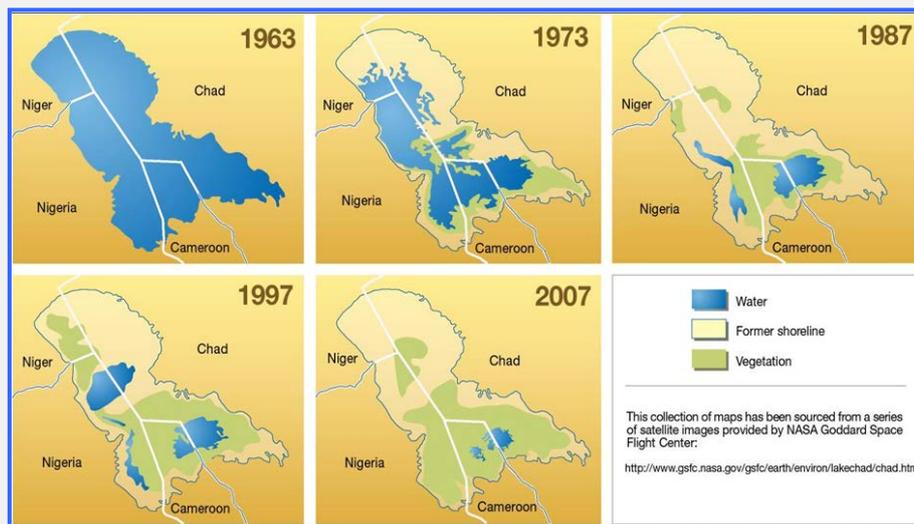


Figure 10 : Évolution du lac Tchad depuis les années 60 (NASA pour CBLT, 2008).

Le système hydrologique Logone-Chari, principal contributeur de l'hydrosystème du lac Tchad, s'écoule du sud du bassin vers le centre. Le Chari et son principal affluent, le Logone, ont leur source dans le nord du Cameroun et le nord-ouest de la République centrafricaine, soit dans la partie soudano-guinéenne du bassin, qui se caractérise par d'abondantes précipitations. Le Logone et le Chari se rejoignent légèrement au sud de N'Djamena, avant que le Chari ne se jette dans le lac Tchad.

La figure 11 montre l'évolution annuelle du débit médian mensuel du Chari après sa confluence avec le Logone. On observe des valeurs élevées de septembre à novembre et des valeurs faibles en avril et mai. On observe également un décalage de deux à trois mois à N'Djamena entre le pic de la saison des pluies en août et la crue du Chari en octobre.

La station météorologique de l'aéroport de N'Djamena a fait partie du Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations (GNIP) de 1963 à 1995, mais les enregistrements ont été interrompus pendant 20 ans, avant de reprendre en 2015 dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA. À la même époque et dans le même cadre, une nouvelle station du Réseau mondial de mesure des isotopes dans les cours d'eau (GNIR) a été déployée sur le Chari à la station hydrométrique Travaux Publics (TP) au nord de N'Djamena. Ces deux stations sont désormais gérées par le Ministère tchadien de l'élevage et de l'hydraulique.

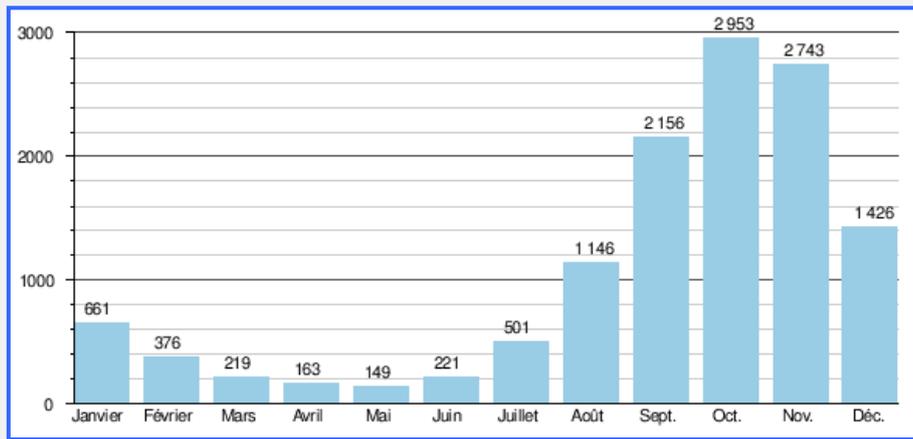


Figure 11 : Débit (m³/s) médian mensuel du Chari à la station hydrologique TP de N'Djamena (1933-1991)

La figure 12 montre la corrélation $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ des précipitations à N'Djamena (1964-1995). À partir de ces données (tableau 4), une droite des eaux météoriques locale est proposée : $\delta^2\text{H} = 6,3 \times \delta^{18}\text{O} + 4,3$.

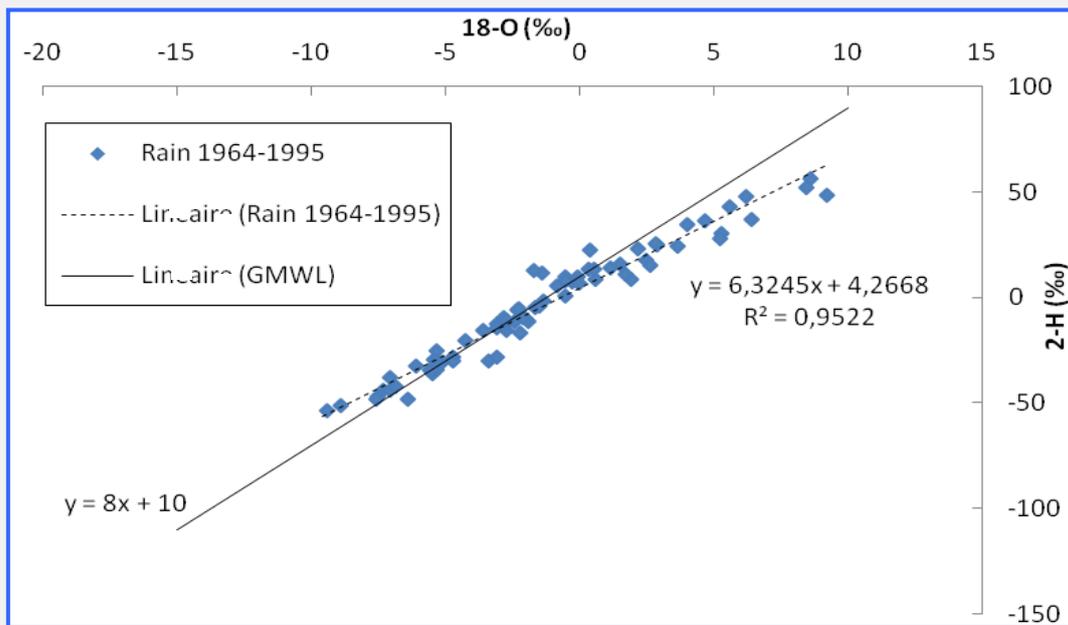


Figure 12 : Diagramme $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ basé sur les données mensuelles de la station GNIP à N'Djamena (1964-1995)

Tableau 4 : Statistiques de la droite des eaux météoriques locale basées sur les données GNIP du système WISER.

Type de régression	a	b	Erreur type	R ²	N
LSR	6,32 ±0,16	4,27 ±0,76	6,18	0,95	73
RMA	6,48 ±0,17	4,47 ±0,75	6,18	0,95	73
PWLSR	6,34 ±0,16	3,84 ±0,80	4,73	0,96	73

Le tritium présent dans les précipitations à N'Djamena a été étudié de manière très irrégulière de 1963 à 1978 (fig. 13). La station GNIP à N'Djamena est la seule présente dans le bassin versant.

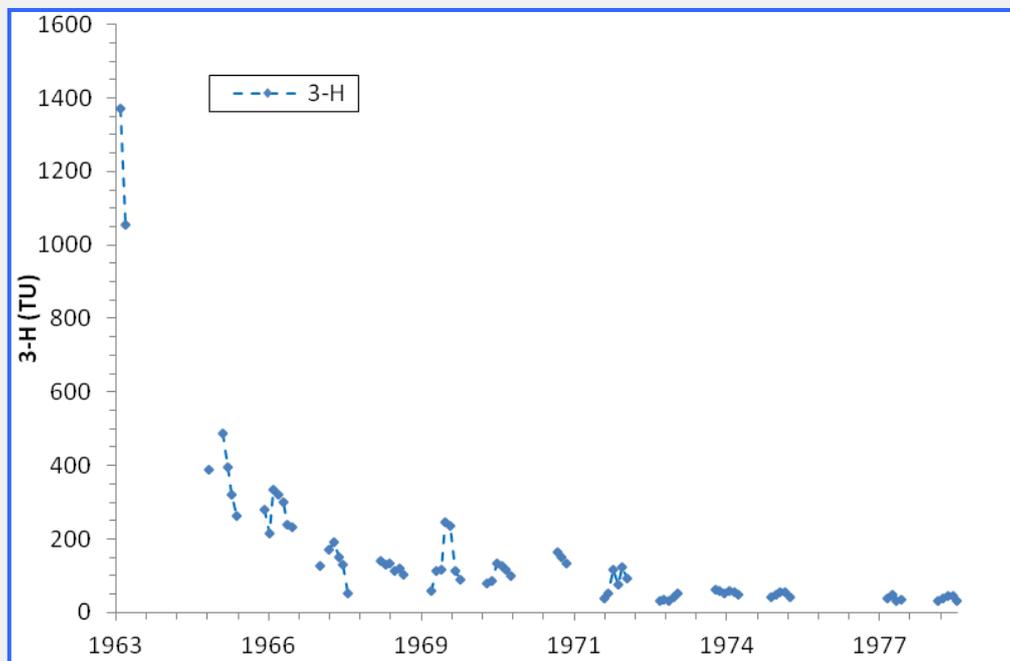


Figure 13 : Évolution de la teneur en ^3H des précipitations à la station GNIP de N'Djamena (1963-1978)

2.5. Types de végétation et utilisation des terres

La végétation du bassin du lac Tchad est très contrastée du nord sec au sud tropical. On peut distinguer trois grandes zones : la zone saharienne au nord, la zone sahélienne au centre et la zone soudanienne au sud. La partie nord du bassin, qui comprend une partie du Sahara et est limitrophe de la Libye et du massif volcanique du Tibesti (3 415 mètres), constitue une partie de la zone nord. La végétation tropicale est prédominante dans la zone sud. Toutefois, une grande partie du bassin est constituée de dunes parsemées de broussailles xérophiles. La zone de transition entre le sud du Sahel et le nord soudano-guinéen est une importante zone humide saisonnière. La zone de la savane soudanienne est une zone essentiellement boisée, dont la végétation alterne entre pâturages édaphiques et acacias.

Malgré son rétrécissement rapide au cours du siècle dernier, la zone du lac Tchad héberge l'une des flores les plus riches du bassin. Autrefois, les sols bien drainés de la région supportaient des zones densément boisées d'ébéniers et de kapokiers, mais l'érosion et la dégradation des sols a entraîné leur diminution. Dans cette zone, la végétation est composée d'acacias, baobabs, dattiers, palmiers, baumiers d'Afrique et jujubiers d'Inde.

L'agriculture est la principale activité de la région, soit essentiellement pluviale au sud, soit de décrue dans les zones d'inondation. On trouve toutefois des cultures commerciales irriguées (principalement riz et coton) le long des rivières. Entre 1983 et 1994, les besoins en eau pour l'irrigation ont augmenté de 200 %, provoquant une surexploitation des ressources en eau, déjà mises à rude épreuve par les fortes sécheresses (PNUD, 2006). L'irrigation par les eaux souterraines se développe dans des zones où les précipitations sont irrégulières (terres peu productives), ce qui est inquiétant compte tenu de son faible rendement.

2.6. Gestion de l'approvisionnement en eau et des ressources en eau dans le bassin

Les pays du bassin du lac Tchad, où vivent 47 millions de personnes, sont parmi les plus pauvres au monde. Parmi les 177 pays qui figurent au classement du développement humain du PNUD, le Cameroun se classe 144^e, le Nigeria 159^e, le Tchad 171^e, la République centrafricaine 172^e et le Niger 177^e. En milieu rural, la pauvreté atteint des niveaux supérieurs aux moyennes nationales déjà élevées.

Selon le PNUD, les taux d'accès à l'eau potable sont faibles et varient entre 26 % de la population au Tchad et 56 % au Niger en 2000. En milieu rural, la plupart des usagers puisent directement l'eau dans les étangs pendant la saison humide ou de puits creusés à la main pendant la période sèche. Les eaux souterraines sont la principale source d'approvisionnement centralisé en eau dans les villes, mais le raccordement est limité notamment en raison des coûts inabordables pour une grande partie de la population. Les conditions sanitaires sont très mauvaises dans tous les pays. Les maladies liées à l'eau comme l'hépatite, le typhus et le choléra sont très répandues. Le paludisme est endémique dans l'ensemble du bassin, sauf dans les pays du nord (Libye et Algérie).

La Commission du bassin du lac Tchad a été créée en 1964 pour améliorer la gestion transnationale de l'eau à l'échelle du bassin. Elle a pour mandat de gérer de façon durable et équitable le lac Tchad et autres ressources en eaux partagées du bassin, de préserver les écosystèmes du bassin conventionnel et de promouvoir l'intégration, la paix et la sécurité régionales dans l'ensemble du bassin.

En 2009, le Conseil des ministres de la Commission a adopté les projets de résolution des Nations Unies sur les aquifères transfrontières comme document de base pour la gestion des eaux souterraines (BGR, 2012). La Commission est sur le point d'adopter la charte de l'eau du bassin qui réglementera la gestion partagée des ressources en eau et des écosystèmes. Bien que les eaux de surface occupent le premier plan, les eaux souterraines ont également leur place. Une quantité maximale d'eau de rivière pouvant être extraite d'un point prédéterminé a été fixée pour chaque état membre sur la base d'un « débit écologique », c'est-à-dire un flux minimum permettant de préserver de bonnes conditions écologiques pour les écosystèmes associés (CBLT, 2011). Les pays doivent négocier pour déterminer le volume d'eau que chacun d'entre eux sera autorisé à prélever de manière à respecter le débit écologique (BGR, 2012).

Malgré l'existence d'une base juridique, la gestion des eaux souterraines ne constitue pas encore un problème majeur dans le bassin, probablement grâce au rôle consultatif de la Commission (BRG, 2012). Tous les États membres prennent des décisions sur les projets d'investissement et de construction d'envergure (barrages, puits profonds) sans prendre en considération les effets possibles sur les pays voisins. Des donateurs internationaux financent ces grands projets, à condition que la Commission ne s'y oppose pas (BGR, 2012).

Grâce à la charte de l'eau, que les États membres doivent signer et adopter, la Commission disposera d'un instrument moderne de gouvernance transfrontalière de l'eau. Si les eaux de surface transfrontalières ont fait l'objet d'études approfondies depuis la création de la Commission, les connaissances sur les eaux souterraines transfrontalières sont très limitées. Seuls quatre projets transfrontaliers portant sur les eaux souterraines ont été répertoriés depuis la création de la Commission (BGR, 2012) :

- le projet de la FAO achevé en 1973, qui étudiait pour la première fois les eaux souterraines transfrontalières dans la région dans le cadre d'un grand programme de forage, notamment.

- le projet du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) achevé en 1993 (Eberschweiler, 1993), qui a modélisé pour la première fois les eaux souterraines régionales, y compris les sables quaternaires, le Pliocène inférieur et le Continental terminal ;

- le projet de l'UNESCO achevé en 2003, qui a étudié la région du Chari-Logone entre le Tchad et le Cameroun ;
- les projets du BGR, qui ont essentiellement porté sur les eaux souterraines quaternaires de la partie tchadienne du bassin, mais dont les recherches devraient être élargies au Cameroun, au Nigeria et au Niger.

3. ACQUISITION DES DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE EMPLOYÉE

Dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA, des activités de terrain ont été menées au Tchad, au Niger, au Cameroun et en République centrafricaine. Différentes régions ont fait l'objet d'études, comme l'indique la figure 14 :

- les régions centrafricaines d'Ouham (autour de Batangafo) et d'Ouham-Pendé (autour de Bossangoa),
- le Grand Yaéré, tout au nord du Cameroun,
- la région de Diffa au Niger,
- le centre du Tchad.

D'importants problèmes d'accès au terrain et des préoccupations majeures concernant la sécurité du personnel technique chargé de l'échantillonnage ont empêché les différentes équipes d'effectuer des recherches dans d'autres régions du bassin versant.

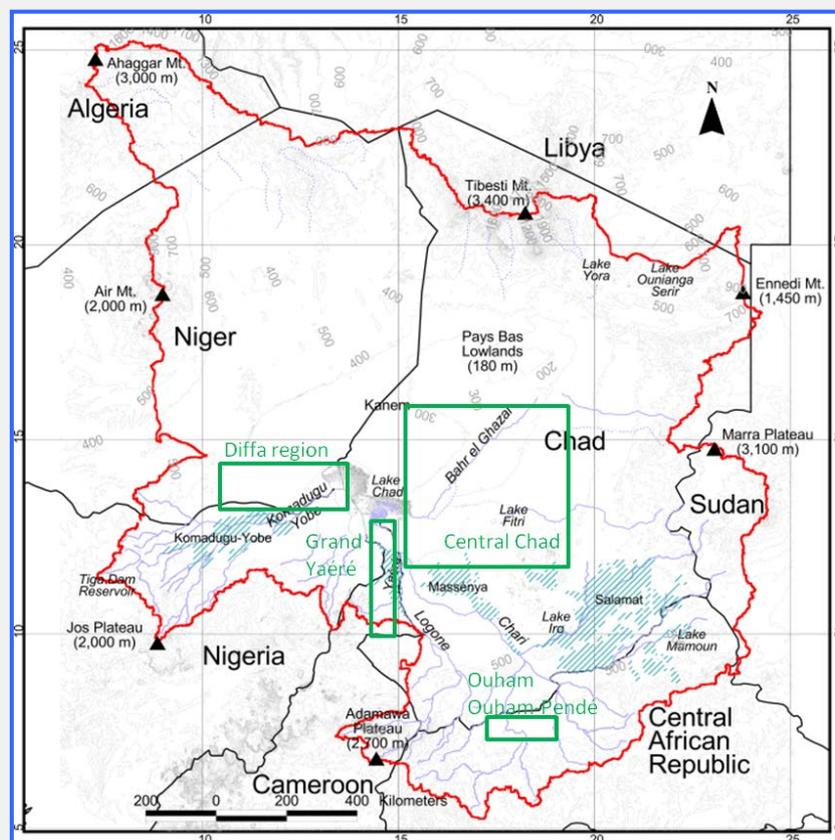


Figure 14 : Régions d'étude du bassin du lac Tchad où des travaux de terrain et des échantillonnages ont eu lieu, dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA.

Les figures 15 à 18 indiquent les différents points d'échantillonnage dans chacune des zones d'étude.

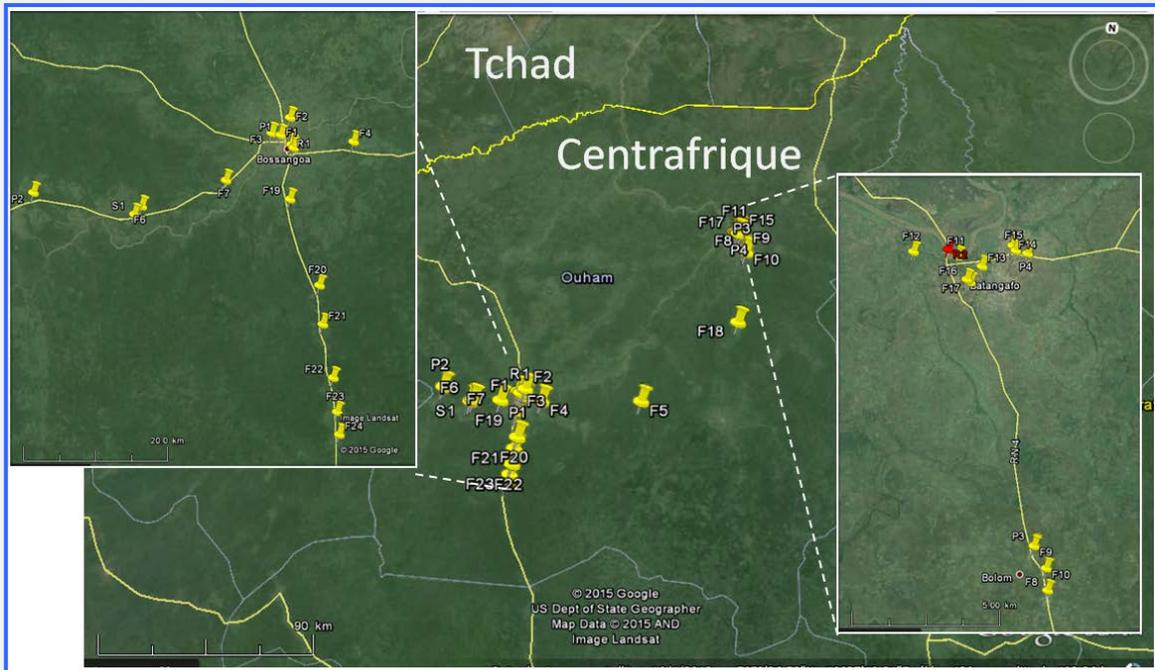


Figure 15 : Site d'échantillonnage en République centrafricaine

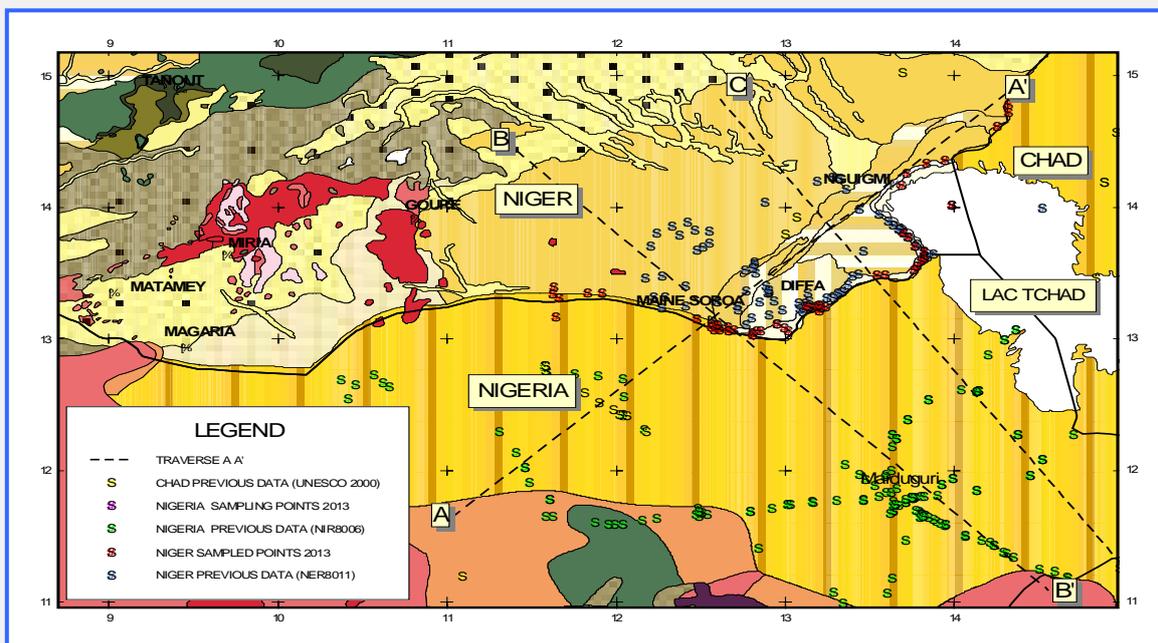


Figure 16 : Sites d'échantillonnage au Niger (points rouges)

Des campagnes d'échantillonnage ont été organisées au mieux, compte tenu des problèmes de sécurité dans la région, dans le cadre de deux campagnes sur le terrain, comme l'indique le tableau 5.

Tableau 5 : Vue d'ensemble des activités nationales de terrain menées par chaque partenaire du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA et des différents laboratoires où des échantillons ont été analysés

	Nombre de campagnes	Date d'échantillonnage	Type d'analyse	Nombre d'échantillons	Laboratoire	Aquifère
République centrafricaine	1	Août-Nov. 2014	Principaux ions ^{18}O - ^2H , ^3H	31 31, 0	Sfax Sfax	CT Métamorphique
République centrafricaine	2	Avril 2015	Principaux ions ^{18}O - ^2H , ^3H	30 30, 12	Sfax Sfax	CT Métamorphique
Cameroun	1	Avril 2013	Principaux ions ^{18}O - ^2H , ^3H	86 86, 0	CNESTEN CNESTEN	Quaternaire Métamorphique
Niger	1	Févr. 2013	Principaux ions ^{18}O - ^2H , ^3H	50 50, 50	Sfax Sfax	Quaternaire
Tchad	1	Juillet 2013 Janv.-Avril 2014	Principaux ions ^{18}O - ^2H , ^3H	400 (136). 120, 88	Tchad IAEA/CzTU Hydrosys	Quaternaire

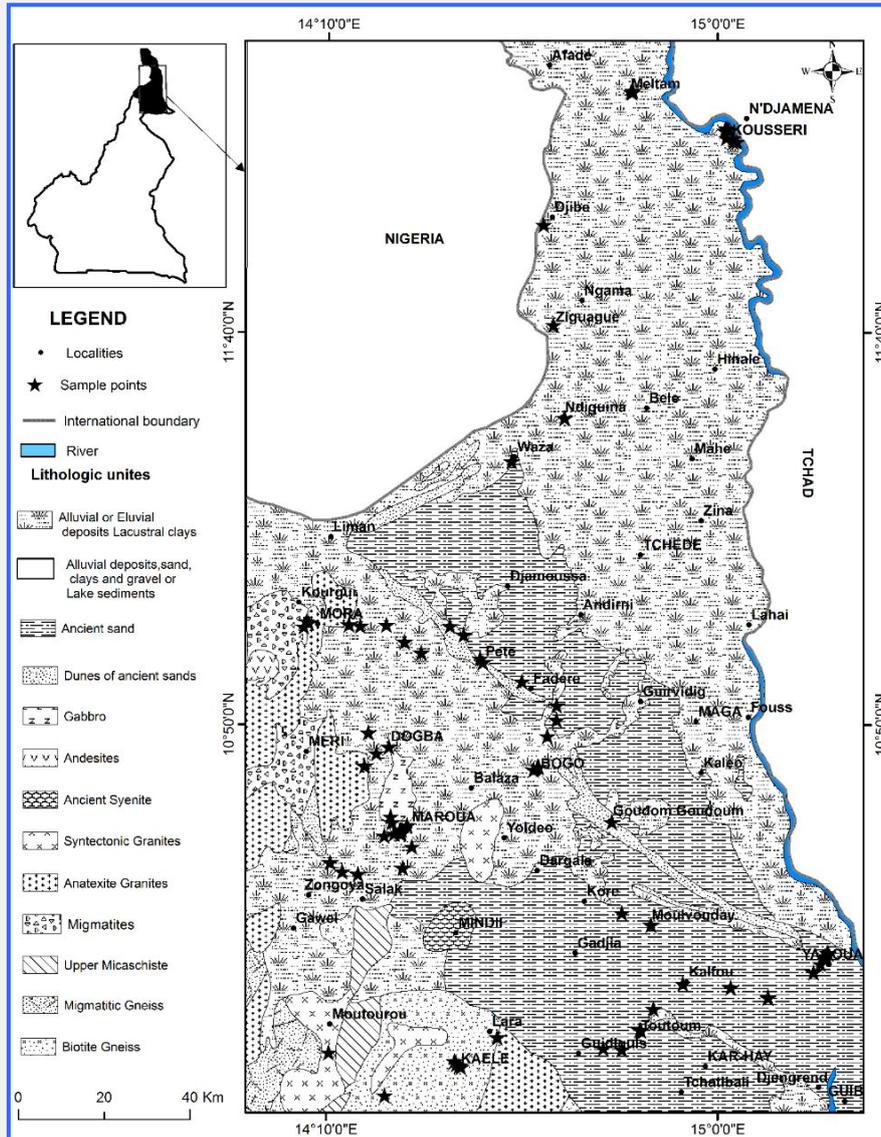


Figure 17 : Sites d'échantillonnage au Cameroun

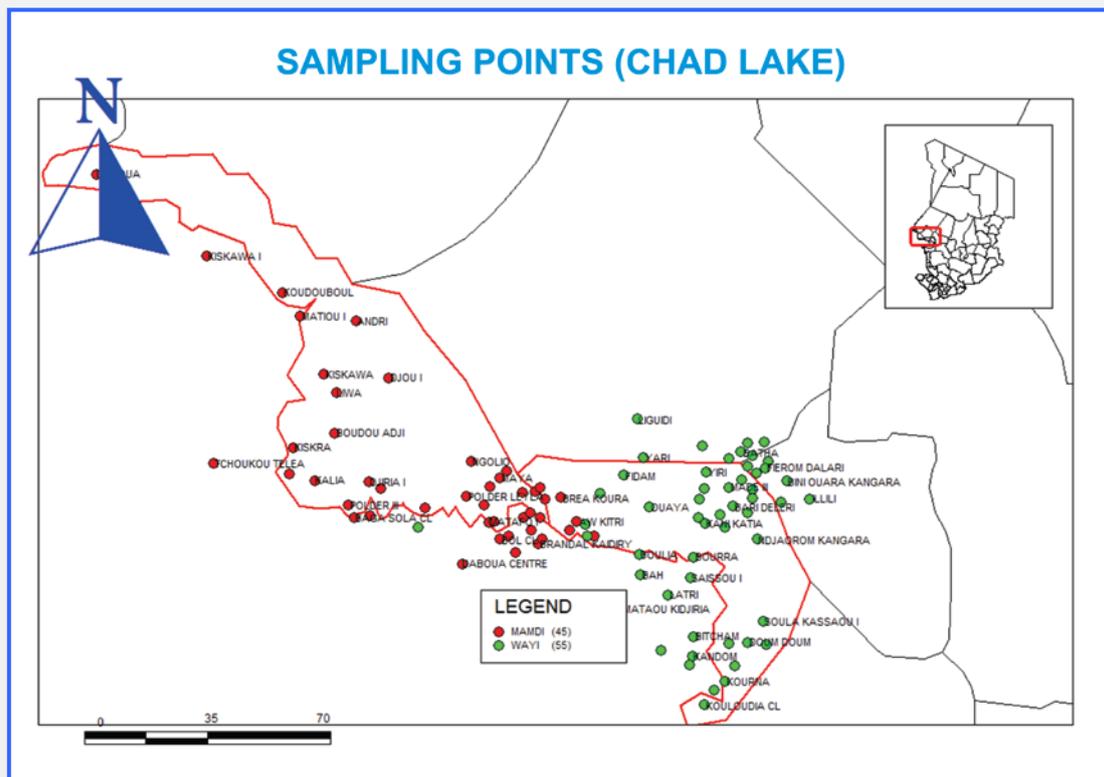


Figure 18 : Sites d'échantillonnage au Tchad

Les partenaires ont tous eu des difficultés à organiser les activités de terrain à cause des problèmes d'accès au site en raison des conditions météorologiques, de moyens d'échantillonnage limités et de problèmes de sécurité des plus préoccupants. Compte tenu de ces graves problèmes, seule la République centrafricaine est parvenue à organiser deux campagnes de terrain dans la partie méridionale du bassin versant, tandis que le Tchad, le Niger et le Cameroun n'ont pu organiser qu'une seule campagne d'échantillonnage. Les campagnes d'échantillonnage de chaque partenaire avaient pour but de prélever des échantillons d'eau pour mesurer différents paramètres comme les principaux ions, l'isotope stable de la molécule d'eau ^{18}O et ^2H et le tritium ^3H sur tout ou partie des échantillons. Le protocole des procédures d'échantillonnage élaboré par l'AIEA a été appliqué par les différents partenaires et comprend les paramètres suivants : conductivité électrique (CE), température (T), pH, alcalinité, coordonnées géographiques et type de point d'échantillonnage. Le contrôle de la qualité de l'analyse géochimique a été assuré par le calcul du bilan ionique. Concernant les données relatives au Tchad, 66 % des données avaient une instabilité supérieure à 10 %, et n'ont pas été prises en compte dans le présent rapport. Seules 136 analyses ont été conservées pour la synthèse. Il convient d'indiquer également que, pour le Tchad, aucune correspondance entre les données géochimiques et les données isotopiques n'a été fournie à l'expert aux fins de l'interprétation. Les deux ensembles de données ont donc été examinés séparément.

4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

4.1. Remise en service de la station GNIP de N'Djamena

L'une des grandes réussites du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA est la remise en service de la station GNIP de N'Djamena après 20 ans d'interruption. En 2015, le premier enregistrement complet a été effectué, mesurant notamment la teneur en tritium les 5 mois de la saison humide. La nouvelle station est implantée dans un bâtiment du Ministère de l'élevage et de l'hydraulique, à proximité de l'ancienne station qui était située à l'aéroport international. La médiane pondérée calculée pour 2015 (tableau 6) est de l'ordre de -1,9 ‰, -3,5 ‰ et 4,4 UT pour $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ et ^3H , respectivement. Il est très difficile de dégager des tendances à partir de données obtenues sur une seule année, en particulier si l'on compare avec les anciennes données de la même station (fig. 19). Par conséquent, pour le moment nous ne pouvons pas tirer de conclusions sur l'évolution de la signature isotopique sur une base temporelle.

Tableau 6 : Composition isotopique mensuelle des précipitations à la nouvelle station GNIP de N'Djamena

sampling date	18O (‰)	2H (‰)	d (‰)	3H (TU)	±	EC(μS/cm)	pH	H (mm)
15/06/2015	2,26	13,33	-4,75	2,70	0,20	13,3	5,47	81,2
15/07/2015	-1,78	-3,65	10,59	4,50	0,30	37,9	6,62	235,7
15/08/2015	-4,13	-22,59	10,45	5,10	0,40	19,6	7,14	162
15/09/2015	-1,94	-3,82	11,7	4,70	0,40	26,3	7,74	81,9
15/10/2015	2,55	23,62	3,22	4,04	0,14	51	7,1	1,1

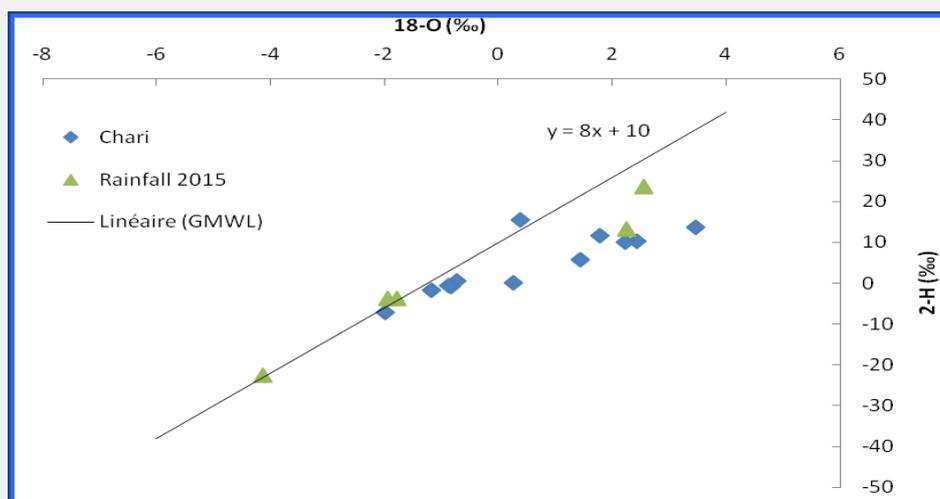


Figure 19 : Diagramme comparant les teneurs en $\delta^{18}\text{O}$ et en $\delta^2\text{H}$ des précipitations mensuelles pour 2015 à la nouvelle station GNIP de N'Djamena et des échantillons mensuels des eaux du Chari en 2015

En 2015, les valeurs obtenues révélèrent une teneur en $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ relativement plus élevée que les anciennes données, mais ce phénomène semble davantage lié à une tendance régionale (en particulier si l'on regarde la station GNIP la plus proche à Bangui, en République centrafricaine, qui se situe dans un contexte climatique différent). L'année 2015 a été assez pluvieuse (562 mm) à N'Djamena et des données sur une période plus longue sont nécessaires pour dégager des tendances solides.

4.2. Mise en place d'une nouvelle station GNIR à N'Djamena

Une autre réussite du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA a été l'installation d'une nouvelle station GNIR sur le Chari à la station de jaugeage de Travaux Publics au nord de la ville après la confluence avec le Logone. Les enregistrements ont démarré en janvier 2015 et comprennent la mesure de la teneur en tritium, $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de la rivière (fig. 20).

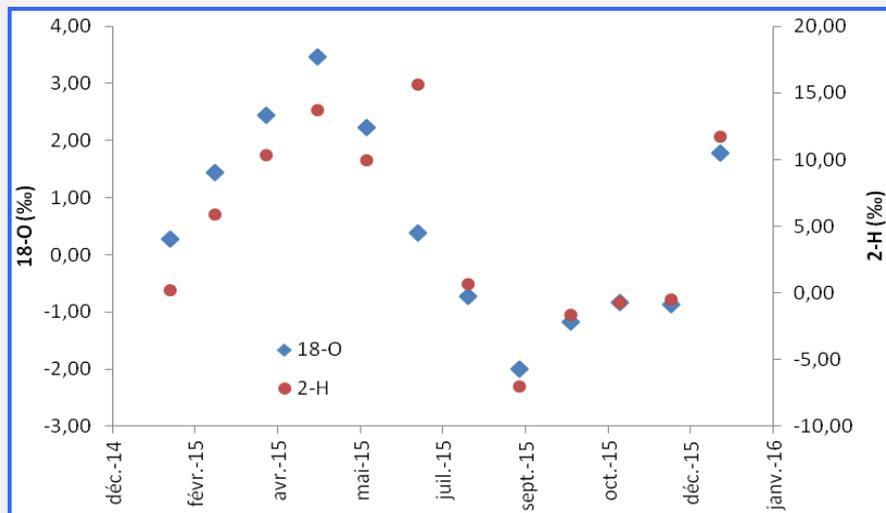


Fig. 20 : Teneur en ^{18}O et en ^2H des eaux du Chari à la station de jaugeage TP à N'Djamena en 2015.

Les données isotopiques montrent une forte évolution saisonnière avec des valeurs fortement enrichies en avril et mai, correspondant à la période de basses eaux, et des valeurs très appauvries de septembre à novembre, correspondant à la période des hautes eaux. De décembre à mai, les eaux de la rivière présentent une nette tendance à l'évaporation. L'activité du tritium dans les cours d'eau est globalement comprise entre 3 et 5 UT, ce qui est relativement élevé, et les valeurs continuent d'augmenter après la saison humide qui se prolonge en raison de la période des crues (fig. 21).

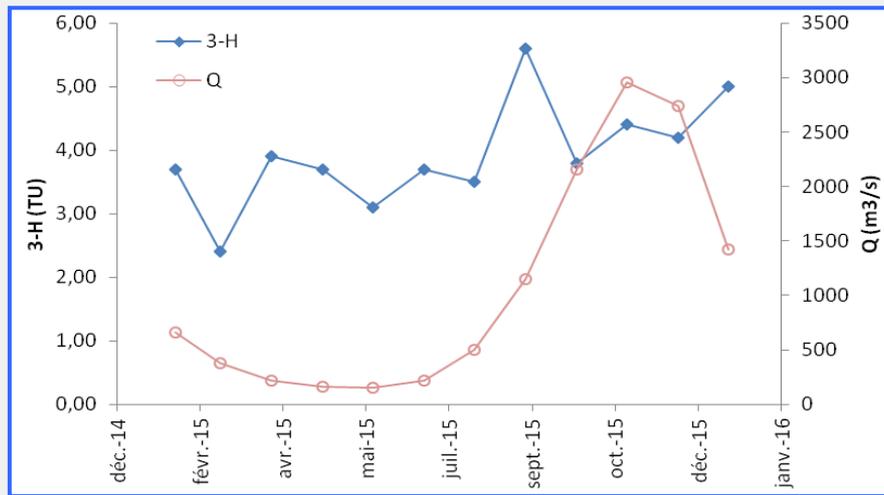


Figure 21 : Teneur en ^3H des eaux du Chari en relation avec le débit mensuel moyen à la station de jaugeage TP de N'Djamena en 2015

4.3. Hydrogéochimie des eaux souterraines

Comme indiqué précédemment, la plupart des échantillons sont prélevés dans les eaux de l'aquifère quaternaire peu profond, dans l'ensemble du bassin du lac Tchad. Quelques échantillons proviennent des roches cristallines souterraines granitiques et métamorphiques, principalement en République centrafricaine et au Cameroun.

Signature géochimique des eaux souterraines

- Paramètres physico-chimiques

Compte tenu de l'étendue de la région d'échantillonnage et des conditions hydrogéologiques contrastées de l'aquifère quaternaire en termes de recharge et d'interaction entre les eaux de surface et les eaux souterraines, les paramètres physico-chimiques reflètent la variabilité relativement élevée de la conductivité électrique, de la température et du pH (tableau 7). Le paramètre le plus pertinent aux fins de comparaisons est probablement la conductivité électrique, dont les valeurs sont assez élevées dans le centre du Tchad, au Niger et dans le nord du Cameroun. On observe en outre une forte variabilité entre les échantillons à faible conductivité électrique prélevés dans des zones humides (reliées aux eaux de surface) et ceux à forte conductivité électrique prélevés dans des contextes arides. Cette observation avait aussi été faite par le BGR (2009) dans le sud du Tchad (régions marécageuses du Chari et de Massénya). La République centrafricaine ne suit pas cette tendance ; les eaux souterraines prélevées présentent une conductivité électrique relativement faible car elles sont à très faible profondeur et les conditions d'humidité sont plus favorables. Les valeurs du pH sont proches de zéro dans le centre du Tchad et au Niger, deux régions situées au cœur même du bassin

sédimentaire. En revanche, les échantillons prélevés dans les eaux souterraines de la République centrafricaine et du nord du Cameroun sont plus acides car ces deux régions sont reliées hydrauliquement aux aquifères du sous-sol cristallin et sont clairement influencées par le mélange avec les eaux souterraines de roche dure faiblement minéralisées. La température des eaux souterraines oscille dans la plupart des cas entre 26 et 38 degrés, ce qui reflète les températures atmosphériques moyennes de la région et, pour les échantillons prélevés dans les eaux moins profondes, les températures des conditions d'échantillonnages (fig. 22).

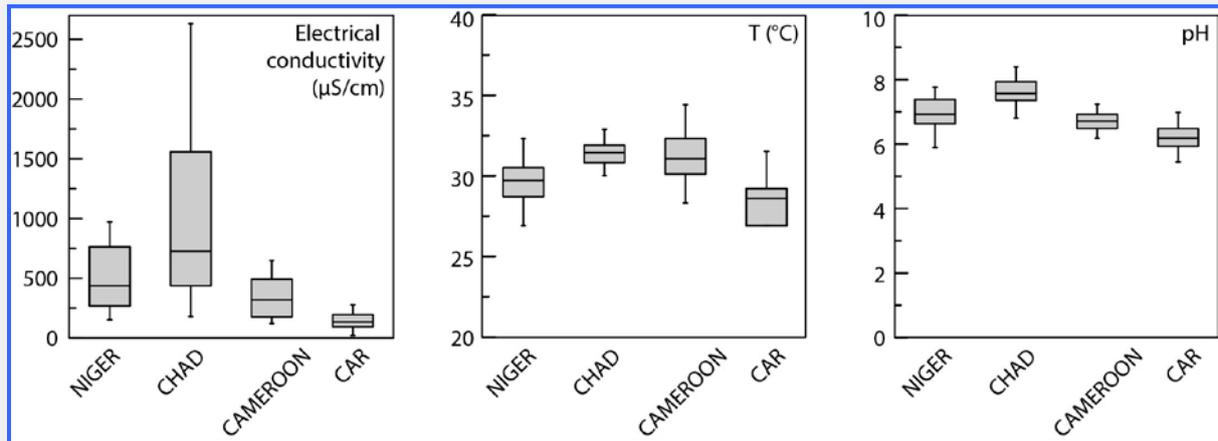


Figure 22 : Diagrammes indiquant les principaux paramètres physico-chimiques du bassin du lac Tchad

Tableau 7 : Récapitulatif des principales caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines quaternaires

	pH	CE (µS/cm)	T (°C)
TCHAD	Min : 5,2 Max : 9,5 Médiane : 7,3 σ : 0,6	Min : 105,0 Max : 8 250,0 Médiane : 1 355,1 σ : 1 526,9	Min : 28,4 Max : 33,5 Médiane : 30,9 σ : 1,1
NIGER	Min : 2,3 Max : 8,5 Médiane : 6,9 σ : 1,1	Min : 149,8 Max : 4 510,0 Médiane : 834,4 σ : 1 064,4	Min : 26,9 Max : 38,3 Médiane : 29,7 σ : 2,2
CAMEROUN	Min : 5,3 Max : 7,4 Médiane : 6,7 σ : 0,4	Min : 16,6 Max : 3 600,0 Médiane : 547,7 σ : 647,0	Min : 26,0 Max : 34,6 Médiane : 31,2 σ : 1,5
RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE	Min : 5,1 Max : 8,0 Médiane : 6,3 σ : 0,6	Min : 21,9 Max : 601,0 Médiane : 168,4 σ : 119,8	Min : 20,6 Max : 31,5 Médiane : 27,2 σ : 3,1

- Types d'eaux souterraines dans le bassin du lac Tchad

Pour les quatre différents secteurs du Tchad, aucun rapport clair entre le type d'eau et l'intensité de la minéralisation n'a été observé. Les types d'eau sont intermédiaires entre

HCO_3^- - Na^+ - K^+ et Cl^- - Na^+ - K^+ (fig. 23). Les conditions d'évaporation et d'interaction eau-roche élevées sont responsables de la signature géochimique des eaux souterraines. Ces deux types d'eau sont caractéristiques de cette région et ont également été observés et décrits par de précédents auteurs, le dernier étant le BGR (2009). Le type d'eau HCO_3^- - Ca^{2+} n'est pas très répandu, ce qui n'est pas surprenant compte tenu du manque d'eau de surface dans cette région et des échanges rapides très limités entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

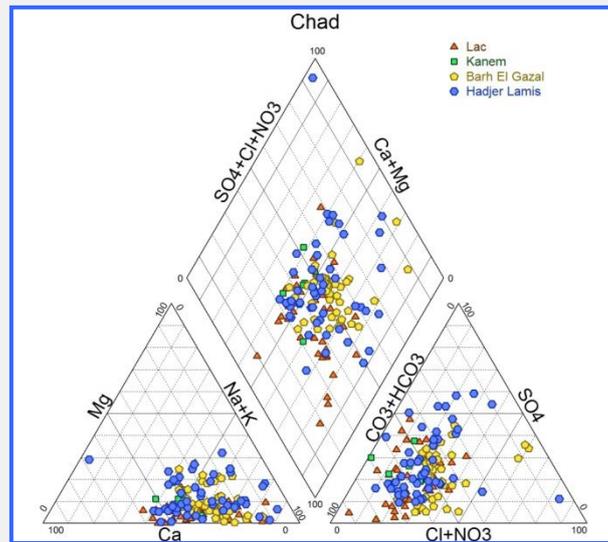


Figure 23 : Diagramme de Piper pour les eaux de l'aquifère quaternaire dans le centre du Tchad

Comme pour les échantillons prélevés au Tchad, ceux prélevés dans le sud-est du Niger ne présentent pas de signature géochimique dominante claire (fig. 24). Une certaine évolution peut être observée le long de la ligne de flux de l'échantillonnage, de HCO_3^- - Ca^{2+} à HCO_3^- - Na^+ - K^+ et aux types d'eau Cl^- - Na^+ - K^+ . Cette évolution est également liée à une augmentation claire de la conductivité électrique des eaux souterraines, avec une plus grande influence de l'évaporation et du temps de séjour (par l'intensité des interactions eau-roche) le long des flux en direction du centre du bassin du lac. On trouve le type d'eau HCO_3^- - Ca^{2+} près des cours d'eau de surface où des échanges avec des eaux souterraines peu profondes peuvent avoir lieu.

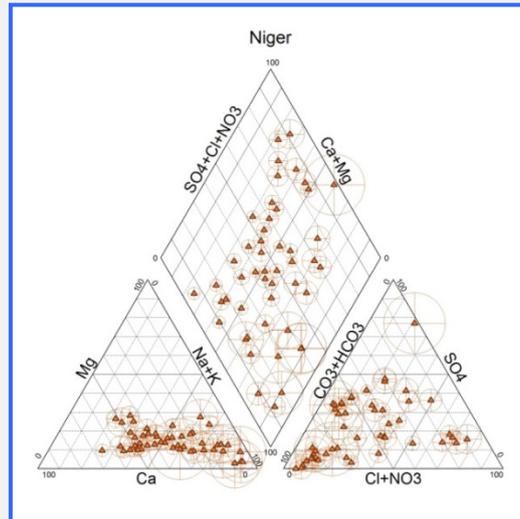


Figure 24 : Diagramme de Piper pour les eaux de l'aquifère quaternaire dans le sud-est du Niger (les cercles qui entourent les points sont proportionnels à la conductivité électrique)

Les eaux souterraines du nord du Cameroun (fig. 25) sont essentiellement du type HCO_3^- - Ca^{2+} , en particulier pour les eaux peu profondes de l'aquifère quaternaire qui sont étroitement reliées aux eaux de surface du Logone et du Chari juste avant qu'ils se rejoignent et se jettent dans le lac Tchad. Les eaux souterraines des sous-sols cristallins sont davantage réparties sur l'ensemble du diagramme de Piper, montrant une tendance au type d'eau HCO_3^- - Na^+ - K^+ en raison de l'interaction eau-roche avec les minéraux silicatés, et au type d'eau Cl^- - NO_3^- - Ca^{2+} en raison de la forte influence anthropique sur les eaux souterraines et en particulier des fortes concentrations de nitrate près des points d'échantillonnage, comme on l'observe souvent en Afrique (Travi et Mudry, 1997 ; Huneau et al., 2011 ; Rajkumar et Xu, 2011 ; Djebebe et al., 2013).

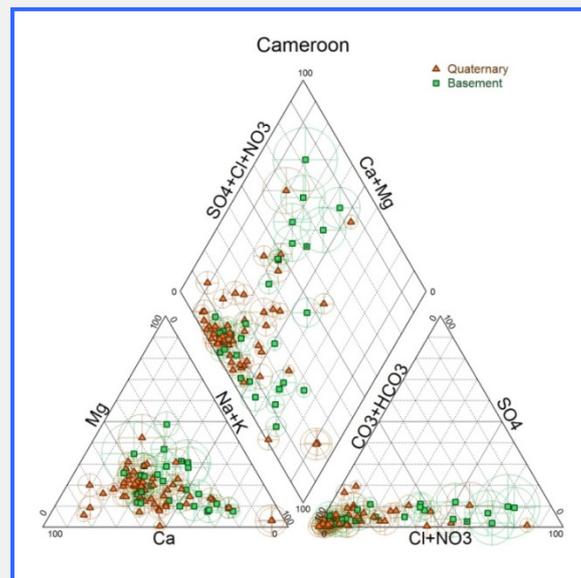


Figure 25 : Diagramme de Piper pour les eaux des aquifères du quaternaire et du socle dans le nord du Cameroun (les cercles qui entourent les points sont proportionnels à la conductivité électrique)

La campagne de 2014 a eu lieu avant la saison des pluies et celle de 2015 après la saison des pluies.

Les eaux souterraines du nord de la République centrafricaine sont essentiellement du type $\text{HCO}_3^- \text{-Ca}^{2+}$, ce qui témoigne de la spécificité de leur origine (tête du bassin versant) et du temps de séjour probablement très court dans une région relativement humide du bassin du lac Tchad.

- Répartition des principaux ions dans les eaux souterraines

Un premier exemple de la concentration des principaux ions est présentée ci-après sur des diagrammes simplifiés (fig. 26) afin d'éliminer l'aspect confus de l'ensemble de données, fortement influencé par les valeurs extrêmes.

La répartition des principaux ions dépend aussi bien de l'intensité des processus d'évaporation que de l'intensité des processus d'interaction eau-roche, qui est liée au temps de séjour des eaux souterraines. Une très forte influence anthropique est également observée pour une grande quantité d'échantillons d'eaux souterraines prélevés pour cette étude et peut être considérée comme un phénomène important.

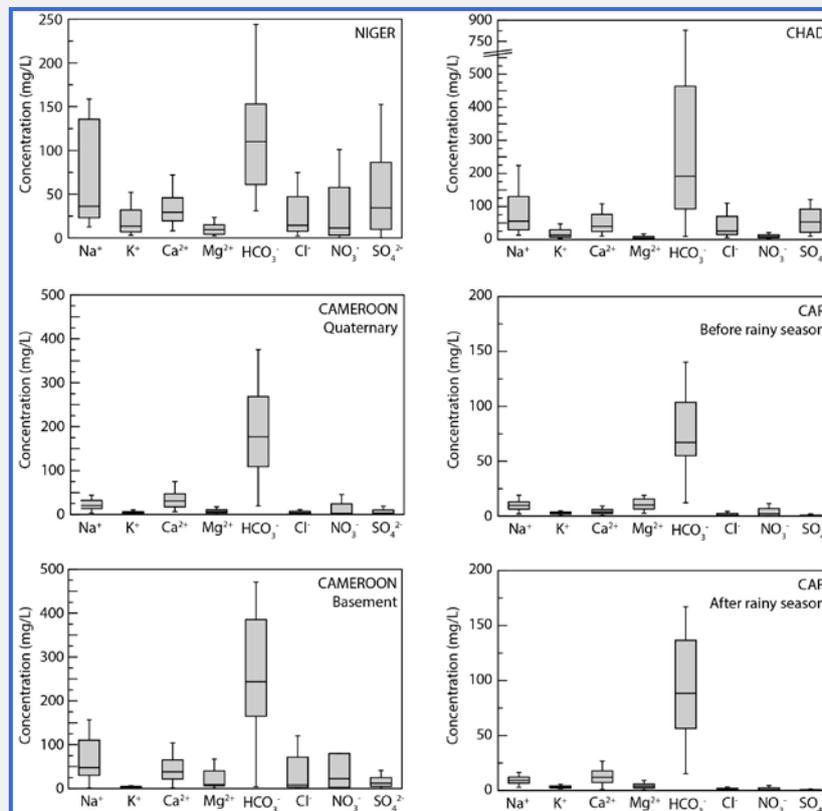


Figure 26 : Diagrammes simplifiés des principaux ions du bassin du lac Tchad

- Évaporation et interaction eau-roche influant sur la géochimie des eaux souterraines

Les échantillons d'eaux souterraines du Tchad (fig. 27) montrent clairement la forte influence de Na^+ et Cl^- sur la minéralisation des eaux souterraines dans la région. Ces ions montrent distinctement l'impact d'une forte évaporation sur les eaux de surface et les eaux peu profondes et la formation de roches évaporitiques dans l'ensemble du bassin du lac Tchad. L'évaporation concentre des espèces minérales dans l'eau mais dans un deuxième temps les roches évaporitiques précédemment formées peuvent se dissoudre et contaminer les eaux peu profondes pendant les processus d'infiltration dans l'aquifère.

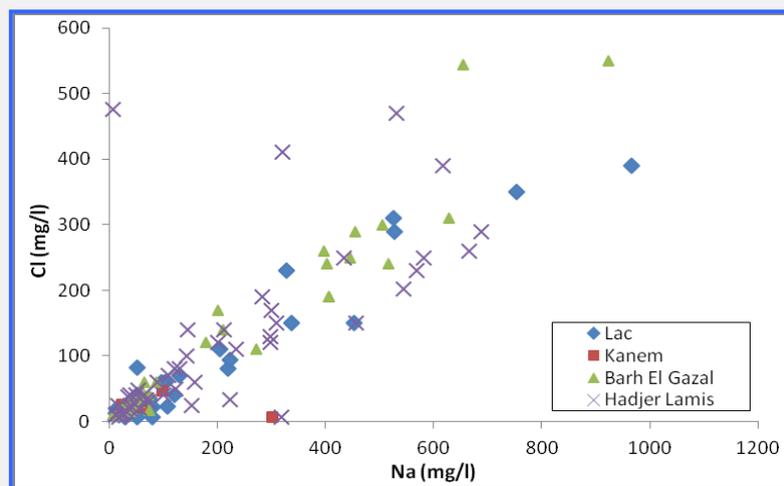


Figure 27 : Comparaison de la teneur en Na^+ et en Cl^- des eaux de l'aquifère quaternaire au Tchad

- Influence des eaux de surface sur la géochimie des eaux souterraines

Concernant les zones les plus humides du bassin du lac Tchad, comme le nord du Cameroun (fig. 28) et de la République centrafricaine, la chimie des eaux souterraines est dominée par Ca^{2+} et HCO_3^- , en raison des interactions avec la matrice rocheuse quaternaire ainsi que des mélanges avec les eaux de surface des marécages et des grands cours d'eau comme le Chari et le Logone qui s'écoulent depuis les régions du sud du bassin du lac Tchad. Dans ce contexte, les interactions entre les eaux souterraines et la matrice rocheuse aquifère sont brèves (comme le montre clairement la sous-saturation de calcite dans les échantillons) et, partant, la signature géochimique est essentiellement imposée par les carbonates tant in situ que via les particules en suspension dans les cours d'eau.

Le long des lignes de flux et selon les processus de vieillissement, des substitutions isomorphiques avec les minéraux argileux se produisent (phénomène d'échanges de bases) et Na^+ et K^+ tendent à augmenter de manière dominante. Ce phénomène est malheureusement

difficile à illustrer à partir de l'ensemble de données même s'il existe beaucoup d'informations à ce sujet dans la littérature, en particulier pour l'est du Niger (Raizi, 2008).

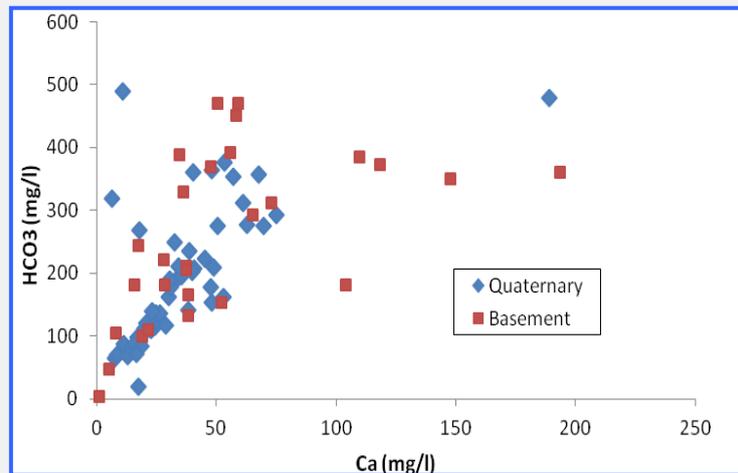


Figure 28 : Comparaison de la teneur en Ca²⁺ et en HCO₃⁻ des aquifères du quaternaire et du socle dans le nord du Cameroun

- Évolution de la géochimie des eaux souterraines le long des lignes de flux

Outre le phénomène d'échange de bases qui entraîne une diminution de Ca²⁺ et Mg²⁺ puis l'augmentation de Na⁺ et K⁺, les sulfates augmentent également le long des lignes de flux en direction du lac Tchad. Comme le montre la figure 29, cette augmentation peut être liée à la dissolution du gypse, que l'on observe peu dans la région, sauf à proximité du lac Tchad et dans quelques dépressions topographiques (Raizi, 2008).

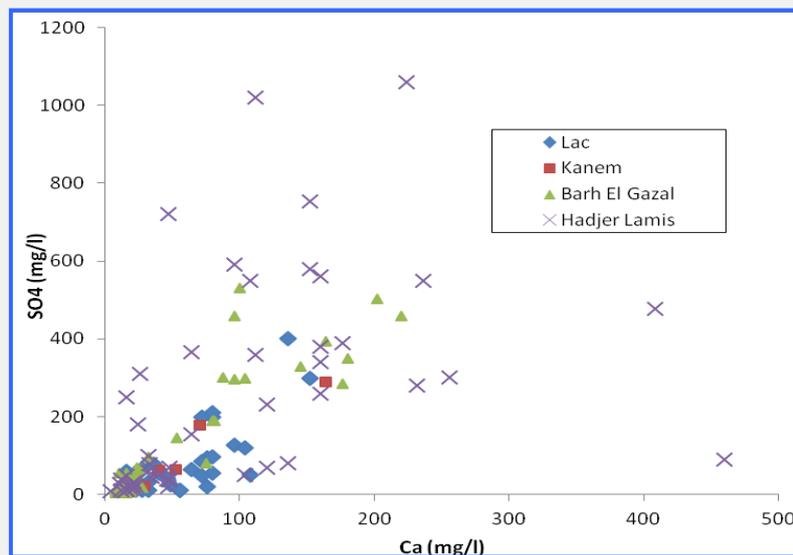


Figure 29 : Comparaison de la teneur en Ca²⁺ et en SO₄²⁻ des eaux de l'aquifère quaternaire du Tchad. Les plus fortes concentrations de sulfate se produisent aux alentours du lac Tchad.

- Empreinte anthropique sur les eaux souterraines

Un important phénomène qui touche les eaux souterraines quaternaires est la forte empreinte anthropique constatée dans l'ensemble du bassin. Les concentrations de nitrate peuvent être extrêmement élevées dans certains puits et forages du bassin du lac Tchad, en particulier dans les zones les plus densément peuplées dans le nord du Cameroun et aux alentours du lac. La figure 30 montre de très fortes concentrations dans des puits de la région du Grand Yaéré, notamment dans des échantillons des eaux souterraines cristallines du socle. Les eaux quaternaires sont moins touchées par la contamination au nitrate dans cette région, mais des concentrations supérieures aux normes de potabilité de l'eau sont courantes et souvent accompagnées par de fortes concentrations de K^+ , SO_4^{2-} , Na^+ et Cl^- .

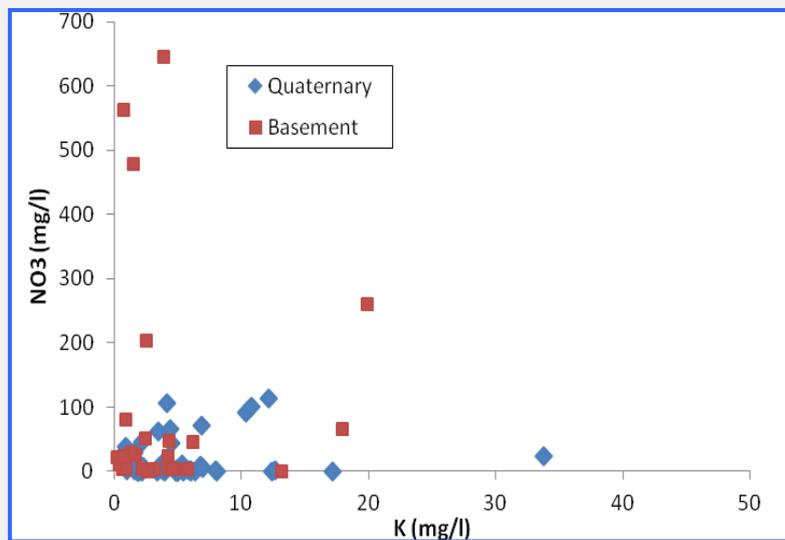


Figure 30 : Comparaison de la teneur en K^+ et en NO_3^- des eaux des aquifères du quaternaire et du socle dans le nord du Cameroun.

La comparaison des teneurs en nitrate et en K^+ (fig. 31) est intéressante car elle permet de déterminer si les sources des éléments sont d'origine anthropique ou proviennent de processus d'évaporation-dissolution. En cas de fortes concentrations de nitrate, on n'observe généralement pas de fortes concentrations de K^+ , et en cas de fortes concentrations de K^+ on ne retrouve pas les teneurs en nitrate élevées correspondantes. Cela signifie que deux processus différents, à savoir naturel et anthropique, peuvent expliquer l'origine de ces éléments. Concernant les échantillons prélevés dans les zones les plus arides, les concentrations de nitrate demeurent assez faibles, à l'exception des puits utilisés pour abreuver les animaux, où l'on enregistre une forte contamination des alentours du puits. Dans les régions les plus arides, K^+ résultant d'une dissolution peut atteindre des concentrations très élevées qui correspondent parfaitement à la conductivité électrique des eaux souterraines. Les informations de terrain fournies par les contreparties du projet ne sont pas suffisamment

pertinentes pour distinguer clairement d'autres origines anthropiques pour des éléments comme Cl^- ou SO_4^{2-} , qui peuvent également résulter d'une évaporation-dissolution terrigène.

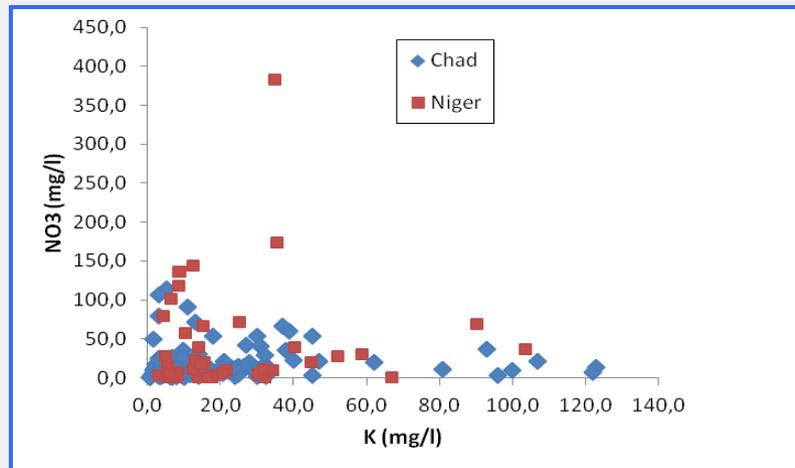


Figure 31 : Comparaison de la teneur en K^+ et en NO_3^- des eaux de l'aquifère quaternaire au Niger et au Tchad.

Les échantillons d'eaux souterraines prélevés en République centrafricaine révèlent des concentrations de nitrate assez faibles et toujours inférieures aux critères de potabilité de l'eau. Le nitrate est présent dans les puits généralement utilisés par la population, mais comme la densité de cette région de la République centrafricaine est faible, les niveaux de contamination sont également très bas.

4.4. Signature isotopique des eaux souterraines

- Origine des eaux souterraines

La signature isotopique des eaux souterraines (fig. 32) couvre un très large ensemble de valeurs, en corrélation avec la vaste région couverte et les processus d'évaporation intenses qui se produisent en Afrique centrale. La moitié des échantillons prélevés au Niger et au Tchad sont positifs, montrant ainsi une forte influence de l'évaporation. Les données sont généralement proches de la droite des eaux météoriques locale à N'Djamena, la déviation étant due à l'influence de l'évaporation. Les données concernant les eaux souterraines du nord du Cameroun et de la République centrafricaine sont toutes proches de la droite des eaux météoriques locale à N'Djamena et de la droite des eaux météoriques mondiale, ce qui n'indique pas d'influence forte de l'évaporation dans les échantillons.

La composition médiane pondérée des précipitations à N'Djamena pour 2015 est également représentée sur le graphique, mais elle ne correspond pas vraiment à la signature des eaux souterraines, ce qui pourrait s'expliquer par la très courte durée de l'étude isotopique des

précipitations, la longue distance entre la capitale tchadienne et la République centrafricaine et la différence de conditions climatiques avec le centre du Tchad et l'est du Niger. Mais si l'on examine de plus près les résultats GNIP, on peut trouver une concordance entre les eaux souterraines et la signature isotopique des précipitations de juillet et août, ce qui montrerait l'importance de ces deux mois de fortes pluies pour les processus de recharge.

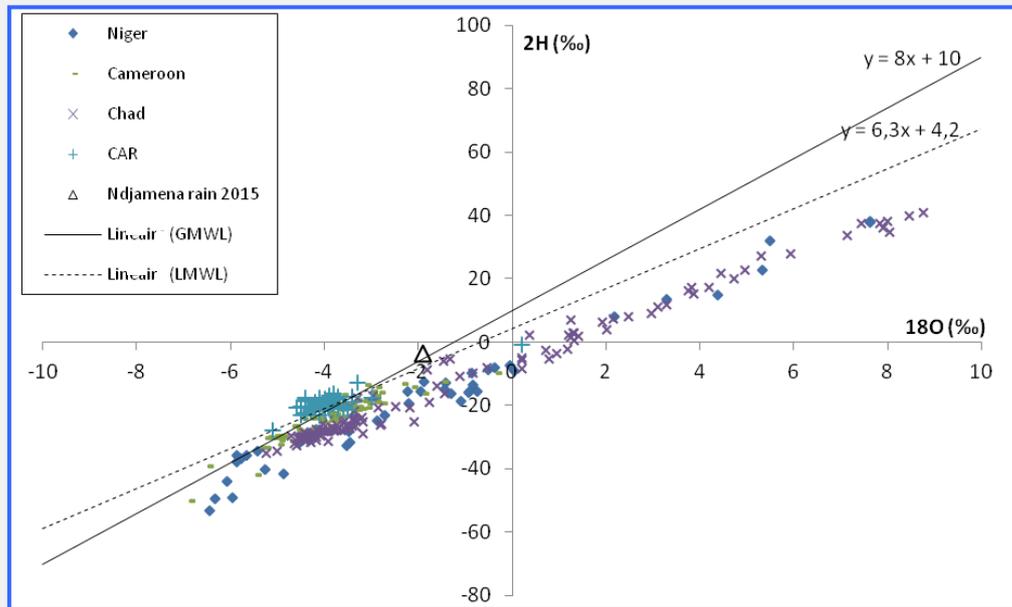


Figure 32 : Comparaison de la teneur en ^{18}O et en ^2H des eaux de l'aquifère quaternaire du bassin du lac Tchad. La droite des eaux météoriques locale est calculée à partir de l'ensemble de données GNIP obtenues de 1964 à 1995.

Un continuum isotopique évident se dégage de ces résultats, de la tête du bassin méridional en République centrafricaine vers les zones humides du Chari et du Logone au Cameroun, puis la zone centrale du bassin au Tchad, où l'évaporation est le principal facteur du cycle hydrologique. Des résultats isotopiques très semblables ont été obtenus par le BGR (2010) au cours de ses recherches dans le centre et le sud du Tchad.

- Influence des processus d'évaporation

Les processus d'évaporation et leur intensité variable sont une importante caractéristique de la signature isotopique des eaux souterraines dans le bassin du lac Tchad. On observe des valeurs très positives qui sont également associées à une forte conductivité électrique des eaux souterraines (fig. 33) et, partant, à une forte minéralisation des eaux souterraines. Cela est essentiellement le cas pour les eaux souterraines du Tchad et du Niger qui n'entrent pas en contact avec les eaux de surface. Concernant les eaux souterraines peu profondes reliées aux eaux de surface par les cours d'eau, les indices d'évaporation sont faibles mais des mélanges avec des eaux fortement minéralisées peuvent également se produire. Les eaux souterraines de la République centrafricaine ne sont pas touchées par l'évaporation et sont faiblement minéralisées. Les eaux souterraines du nord du Cameroun, en contact étroit avec les cours

d'eau, présentent un faible processus d'évaporation, mais une minéralisation variable, qui dépend essentiellement des influences anthropiques. Comme indiqué précédemment, la signature isotopique limpide des eaux souterraines semble davantage liée à celle de la zone humide de la République centrafricaine (quand on la compare à celle de la station GNIP de Bangui par exemple), et à mesure que les eaux de surface et les eaux souterraines s'écoulent vers le nord en direction de la zone centrale du bassin au Tchad, leur signature traduit une plus forte évaporation et minéralisation.

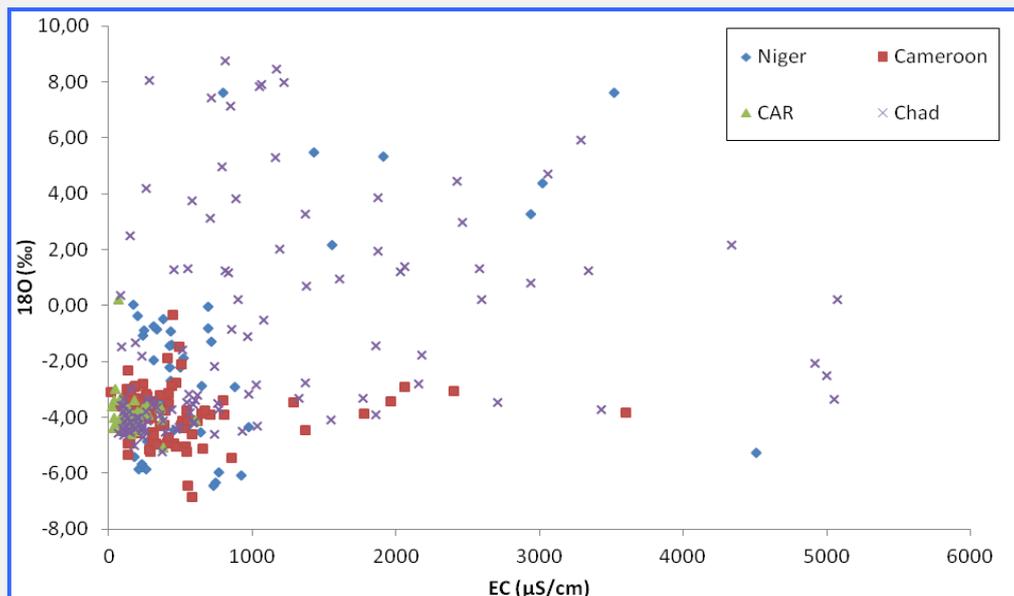


Figure 33 : Comparaison de la teneur en ^{18}O et de la CE des eaux de l'aquifère quaternaire du bassin du lac Tchad

- Interaction entre les eaux de surface et les eaux souterraines

Le rôle majeur joué par les cours d'eau et, plus généralement, par les eaux de surface a déjà été souligné au niveau régional par différents auteurs comme Ketchemen (1992) pour le nord du Cameroun, Djoret (2000) et Kadjangaba (2007) pour la région de N'Djamena, Abderamane (2012) pour la région Chari-Baguirmi, et Raizi (2008) et Genthon et al. (2015) pour la région de Diffa.

Comme le montre clairement l'étude GNIR relative au Chari effectuée en 2015 à la station de N'Djamena, la signature isotopique des eaux de surface évolue fortement selon un cycle hydrologique unique et la période des hautes eaux est la plus favorable pour contribuer à recharger l'aquifère peu profond de septembre à novembre lorsque la signature des isotopes stables des cours d'eau est la plus appauvrie (environ -1 ‰ et -2 ‰ pour ^{18}O et de -5 ‰ à 0 ‰ pour ^2H). Ce phénomène peut également expliquer la dispersion des valeurs

isotopiques des échantillons d'eaux souterraines du centre du Tchad et de l'est du Niger sous l'influence des eaux du Chari et du Komadougou Yobé.

La recharge est également assurée par les épisodes de pluies intenses de la saison humide dans la région, et d'après la figure 34, juillet et août semblent avoir le plus de poids dans les processus de recharge car leur signature est la plus présente dans les eaux souterraines de la région. Cela doit être confirmé en poursuivant les mesures à la station GNIP de N'Djamena. Ces deux modes de recharge ont déjà été observés par Kadjangaba (2007) pour la région de N'Djamena.

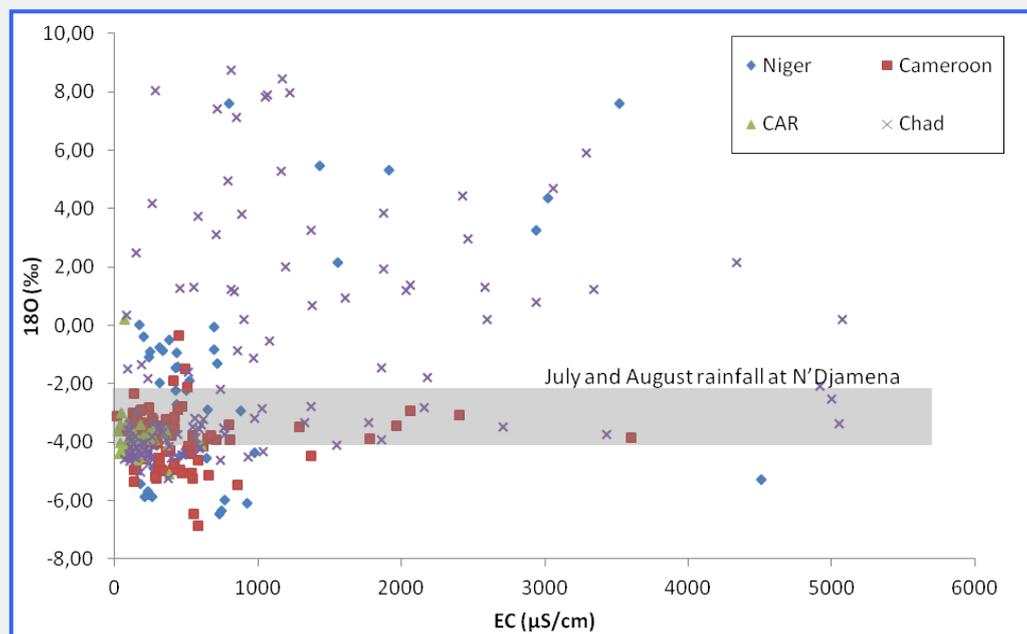


Figure 34 : Comparaison de la teneur en ^{18}O et de la CE des eaux de l'aquifère quaternaire dans le bassin du lac Tchad et signature isotopique des précipitations à N'Djamena en juillet et août.

-Évolution de la signature isotopique le long des lignes de flux

Même si les lignes de flux de l'aquifère quaternaire ont été suivies de manière très imparfaite en raison des problèmes liés aux méthodes de prélèvement d'échantillons, il se dégage une certaine évolution, au moins du sud vers le centre du bassin du lac. Il faut cependant garder à l'esprit que rien ne laisse supposer l'existence d'une connexion hydraulique entre la République centrafricaine et le reste du bassin. On suppose que les eaux souterraines de la République centrafricaine proviennent uniquement du Continental terminal (très probablement des niveaux latéritiques) et du socle cristallin, mais les très rares études géologiques menées dans la région et les incohérences que présentent les anciennes cartes géologiques ne permettent pas de l'affirmer.

L'évolution de la minéralisation constatée précédemment est suivie par des processus isotopiques qui modifient la signature des eaux souterraines selon deux modes combinés qui mélangent les processus d'évaporation et les eaux des rivières. De manière probablement plus marginale, les eaux atmosphériques de la saison des pluies participent directement au processus de recharge, mais une ambiguïté de la signature isotopique des eaux des rivières lors de la période des hautes eaux et au plus fort de la saison humide empêche de différencier les deux phénomènes. Constituant un aquifère libre peu profond, les dépôts du quaternaire subissent des modalités de recharge différentes sur toute l'étendue de l'aquifère qui couvre l'essentiel du bassin versant du lac Tchad.

4.5. Temps de séjour des eaux souterraines peu profondes

Pour évaluer le temps de séjour des eaux souterraines au sein de l'aquifère quaternaire peu profond, des mesures du tritium ont été effectuées au Tchad, au Niger et en République centrafricaine. Aucun échantillon de tritium n'a été analysé pour le Cameroun du fait des restrictions d'accès au terrain pour des raisons de sécurité durant le projet.

Compte tenu des activités du tritium jusqu'à 5 UT maximum observées dans les eaux de pluie et les cours d'eau en 2015 aux stations GNIP et GNIR de N'Djamena, les activités de tritium observées dans l'aquifère quaternaire pour certains puits et forages semblent assez élevées (fig. 35). Il s'agit sans doute d'eaux restées après le pic de tritium résultant des essais nucléaires, qui évoluent lentement vers un environnement hydrogéologique à faible dynamique. Des valeurs allant jusqu'à 16 UT sont en effet surprenantes dans ce contexte.

Des eaux souterraines sans tritium peuvent également être observées, en particulier dans les échantillons tchadiens prélevés dans la zone centrale du bassin. Les échantillons du Niger montrent des activités cadrant avec les précipitations modernes dans la région, et parfois un faible niveau d'activité, ce qui indique un mélange avec des eaux anciennes des niveaux plus profonds de l'aquifère quaternaire. C'est aussi le cas des échantillons prélevés dans le centre du Tchad, avec parfois même l'absence de tritium pour certains puits.

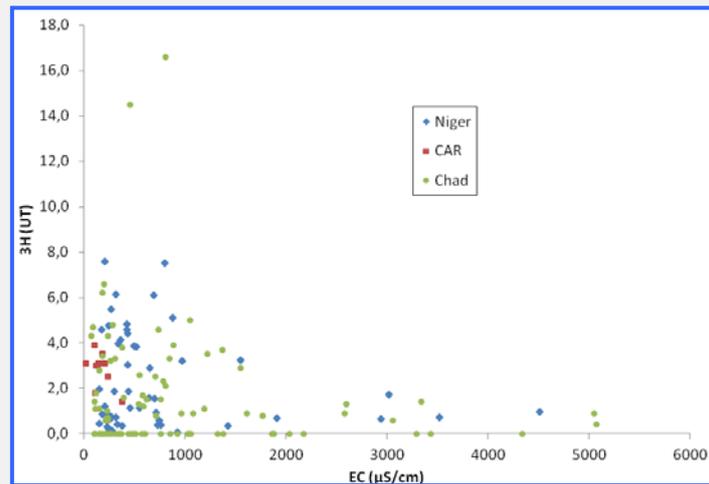


Figure 35 : Comparaison de la teneur en ^3H et de la CE des eaux de l'aquifère quaternaire du bassin du lac Tchad.

Les eaux à teneur faible ou nulle en tritium peuvent parfois être assez minéralisées lorsqu'elles proviennent de dépressions piézométriques ou des alentours du lac Tchad où l'on observe des évaporites. On constate ici des mélanges d'eaux d'origines différentes. Les eaux souterraines du nord du Cameroun contiennent toutes du tritium à des niveaux cadrant avec les précipitations modernes, ce qui concorde avec leur situation en bordure du bassin et leurs fortes interactions avec les eaux de surface.

La figure 36 montre clairement la très grande dispersion des données isotopiques sur le territoire du bassin du lac Tchad. Les échantillons prélevés dans les eaux souterraines de la République centrafricaine peuvent être considérés, même si ces eaux ne sont pas reliées au reste des structures hydrogéologiques peu profondes, comme une illustration de la signature isotopique moderne des eaux souterraines à la tête du sud du bassin versant avec des valeurs de ^{18}O qui varient autour de -4 à -3 ‰ et des activités du tritium entre 2 et 4 UT.

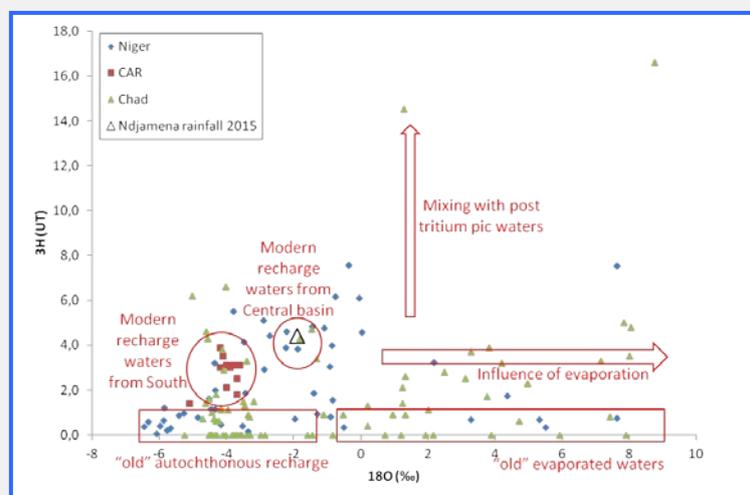


Figure 36 : Comparaison de la teneur en ^3H et en ^{18}O des eaux de l'aquifère quaternaire du bassin du lac Tchad

La signature isotopique des précipitations à N'Djamena pour 2015 est légèrement plus enrichie en $\delta^{18}\text{O}$ et en ^3H par rapport aux échantillons prélevés dans les eaux souterraines de la République centrafricaine, ce qui est logique compte tenu des différences de climat et de la distance entre les deux zones. Les précipitations à N'Djamena peuvent être considérées comme représentatives de la recharge locale de la zone centrale du bassin par les épisodes de pluies.

Les eaux fortement évaporées sans ou presque sans tritium sont également courantes dans le centre du Tchad et dans l'est du Niger ce qui montre que l'aquifère quaternaire peut contenir des eaux souterraines « anciennes » datant de plus de 60 ans et qui se sont précédemment évaporées ou qui se sont mélangées avec des eaux évaporées. En revanche, certains échantillons prélevés au Tchad ont une teneur étonnamment élevée en tritium, ce qui montre clairement une contribution résiduelle du pic de tritium dans certaines parties semi-captives de l'aquifère.

L'essentiel des eaux souterraines du Tchad et du Niger appauvries en $\delta^{18}\text{O}$ présentent également des activités de tritium faibles et peuvent être considérées comme des eaux rechargées localement, à écoulement lent du sud au centre du bassin du lac Tchad, soit directement par des précipitations locales, soit par continuité hydraulique avec les eaux des rivières Logone et Chari.

5. CONCLUSIONS

Ce projet a apporté un nouvel éclairage sur la signature isotopique des eaux de surface et eaux souterraines du bassin du lac Tchad et un volume important d'échantillons et de données connexes. Les précédents travaux sur le bassin avaient été réalisés localement et de façon parcellaire. Pour la première fois, des échantillons prélevés dans quatre pays voisins ont été examinés ensemble. Pour des raisons de sécurité, les activités de terrain n'ont pas été poussées au maximum et les différents partenaires ont concentré leurs recherches sur les niveaux quaternaires dans le cadre d'une seule campagne d'échantillonnage (à l'exception de la République centrafricaine).

Le projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA a mis en avant les principaux processus hydrogéologiques associés aux aquifères peu profonds du bassin du lac Tchad, dont la relation complexe entre les eaux de surface et les eaux souterraines, en particulier dans le sud du bassin entre le Cameroun, la République centrafricaine et le Tchad, où s'étendent d'importantes zones marécageuses qui jouent un rôle écologique majeur de sauvegarde de la biodiversité et de zone tampon entre les eaux de surface et les eaux souterraines. La bordure méridionale du bassin du lac Tchad semble alimenter tous les cours d'eau et donc une partie des eaux souterraines du bassin central.

Ce projet a également souligné et confirmé l'existence, dans les aquifères régionaux, d'énormes quantités d'eaux souterraines provenant de l'aquifère quaternaire du bassin, de bonne qualité et susceptibles de répondre à la demande de la population en matière d'eau potable et d'usage agricole. Toutefois, il existe des contraintes en matière d'accès aux eaux souterraines et de qualité de celles-ci, notamment du fait que, dans certaines zones, les eaux sont fortement minéralisées et à des profondeurs pouvant empêcher leur utilisation. En outre, la contamination locale par le nitrate et autres composants peut poser problème dans les zones les plus densément peuplées car les puits ou forages ne sont pas protégés contre les chutes d'animaux ou les latrines.

Dans les puits et forages plus profonds atteignant les niveaux quaternaires se trouvent des eaux souterraines relativement anciennes dont le temps de séjour est long. Toutefois, comme l'indiquent les isotopes stables et radioactifs, on constate aussi fréquemment des mélanges

avec les eaux de surface évaporées et, parfois, avec les eaux souterraines peu profondes fortement contaminées par les sels et les nitrates.

Dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA, la station GNIP à N'Djamena a été remise en service après 20 ans d'arrêt et une nouvelle station GNIR sur le Chari à N'Djamena a été établie pour permettre d'analyser les signaux isotopiques des eaux de surface dans la région.

Les résultats du projet viennent compléter les recherches approfondies menées par le BGR depuis 2008 dans la région du sud-est du bassin (territoire tchadien). Les résultats du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA s'accordent parfaitement avec les résultats du BGR et couvrent différentes zones du bassin. Les conclusions des deux études vont dans la même direction. L'intérêt principal du projet RAF/7/011 a été d'élargir la zone d'étude de précédents projets régionaux et nationaux appuyés par l'AIEA, tels que les projets RAF/8/012, CAM/8/002 et CHD/8/002.

Recommandations

Sur la base des résultats obtenus lors de la mise en œuvre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA, on peut affirmer que les eaux souterraines du bassin du lac Tchad sont d'assez bonne qualité, conformes aux normes de potabilité en vigueur dans la plupart des cas. Cependant, une attention particulière devrait être accordée aux aspects suivants :

- Améliorer les politiques et les réglementations strictes pour protéger les puits du bassin versant contre les déchets et l'influence des animaux de manière à prévenir la contamination locale (sel et nitrate) dans les eaux souterraines.
- Promouvoir la protection des zones humides reliées hydrauliquement aux aquifères (Tchad, Niger), les zones forestières et les sols de la tête du bassin versant (République centrafricaine et Cameroun). Les régions marécageuses qui bordent les rivières Komadougou Yobé et Chari-Logone doivent également être protégées car elles contribuent à la recharge des aquifères locaux.
- Réaliser davantage d'études de terrain pour évaluer les ressources, car le projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA n'a pas permis de recueillir des informations sur les aquifères profonds de la région, qui sont mal connus et font trop rarement l'objet de

recherches. De nouvelles recherches pourraient porter sur les puits et forages profonds qui atteignent les nappes aquifères du Pliocène et du Continental terminal. Le fort potentiel de ces nappes aquifères et leurs implications transfrontalières doivent être évalués. Outre les recherches sur les eaux souterraines menées à l'aide d'isotopes stables, il convient de déterminer en particulier le temps de séjour car l'écoulement est probablement très lent dans ces aquifères captifs.

- Réaliser davantage d'études pour évaluer les dynamiques du renouvellement des eaux souterraines, notamment les interactions possibles de l'aquifère quaternaire avec les principaux cours d'eau et le lac Tchad, ce qui revêt une importance stratégique pour les processus de recharge. Ce concept relationnel eaux de surface/eaux souterraines devrait être intégré dans le programme de gestion stratégique du bassin.
- Ajouter de nouvelles stations GNIP et GNIR pour recueillir plus d'informations sur les eaux atmosphériques et les eaux de surface afin d'approfondir les processus hydrologiques à l'échelle des différents affluents (Ouham, Chari, Logone et Komadougou Yobé).

6. RÉFÉRENCES

- BEYERLE U., RUEEDI J., LEUENBERGER M., AESCHBACH-HERTIG W., PEETERS F., KIPFER R. (2003)** : Evidence for periods of wetter and cooler climate in the Sahel between 6 and 40 kyr BP derived from groundwater. *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 4, p. 1173.
- BGR (2009)** : A review of the groundwater situation in the Lake Chad Basin. Report, 18 pages.
- BGR (2012)** : Groundwater needs assessment in the Lake Chad Basin. Report, 14 pages.
- BGR (2013a)** : Discharge Measurements at Chari, Logone and Koumbou River, Chad (July 2013). Report, 18 pages.
- BGR (2013b)** : 2nd Mission on Discharge Measurements at Chari, Logone and Koumbou River, Chad (December 2013). Report, 21 pages.
- BGR (2014a)** : Groundwater quality investigations in the Kanem and Bahr el Ghazal regions, Chad. Report, 41 pages.
- BGR (2014b)** : Groundwater quality investigations in the Lower Logone floodplain in April-May 2013.
- BGR (2016)** : Groundwater-Surface Water interaction in the Lower Logone floodplain. Report, 49 pages.
- BORONINA A., RAMILLIEN G. (2008)** : Application of AVHRR imagery and GRACE measurements for calculation of actual evapotranspiration over the Quaternary aquifer (Lake Chad Basin) and validation of groundwater models. *Journal of Hydrology*, vol. 348, p. 98 à 109.
- BOUCHEZ C. (2015)** : Bilan et dynamique des interactions rivières-lac(s)-aquifères dans le bassin hydrologique du lac Tchad. Approche couplée géochimie et modélisation des transferts. Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille.
- BOUCHEZ C., DESCHAMPS P., GONCALVES J., HAMELIN B., SYLVESTRE F., DOUMNANG J.C., MAHAMAT NOUR A., BABA GONI I., FAVREAU G., GENTHON P., SEIDEL J.L. (2015)** : Investigation of ³⁶Cl distribution : towards a new estimation of groundwater residence times in the confined aquifer of the LCB ? *Procedia Earth and Planetary Science*, vol. 13, p. 147 à 150.
- BOUCHEZ C., GONCALVES J., DESCHAMPS P., VALLET-COULOMB C., HAMELIN B., DOUMNANG J.C., SYLVESTRE F. (2016)** : Hydrological, chemical, and isotopic budgets of Lake Chad: a quantitative assessment of evaporation, transpiration and infiltration fluxes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 20, p. 1599 à 1619.
- BOULVERT Y. (1987)** : Importance réduite du Continental Terminal en Centrafrique. Doc. ORSTOM.
- BRG (2010)** : Investigation on water quality in the southeastern part of the Lake Chad Basin. Report, 35 pages.
- CARMOUZE J.P. (1976)** : Les grands traits de l'hydrologie et de l'hydrochimie du Lac Tchad. Cahier ORSTOM., sér. Hydrobiologie, vol. X, n° 1 (1976), p. 33 à 56.

CANDELA L., ELORZA F.J., TAMOH K., JIMENEZ-MARTINEZ J., AURELI A. (2014) : Groundwater modelling with limited data sets : the Chari-Logone area (Lake Chad Basin, Chad). *Hydrological Processes*, vol. 28, p. 3714 à 3727.

DJORET D. (2000) : Étude de la recharge de la nappe du Chari Baguirmi (Tchad) par les méthodes chimiques et isotopiques. Thèse Doct. Univ. Avignon.

DJEBEBE-NDJIGUIM C.L., HUNEAU F., DENIS A., FOTO E., MOLOTO-A-KENGUEMBA G., CELLE-JEANTON H., GAREL E., JAUNAT J., MABINGUI J., LE COUSTOMER P. (2013) : Characterization of the aquifers of the Bangui urban area as an alternative drinking water supply resource. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 58, p. 1760 à 1778.

EBERSCHWEILER C. (1993) : Monitoring and management of groundwater resources in the Lake Chad Basin: mapping of aquifers water resource management-final report. R 35 985, CBLT-BRGM, Orléans (France).

FANTONG W.Y., SATAKE H., AYONGHE S.N., AKA F.T., ASAI K. (2009) : Hydrochemical controls and usability of groundwater in the semi-arid Mayo Tsanaga River Basin: far north province, Cameroon. *Environ. Geol.*, vol. 58, p. 1281 à 1293.

FAURE H., FONTES J.C., GISCHLER C.E., MOOK W.G., VOGEL J.C. (1970) : Un exemple d'étude d'hydrogéologie isotopique en pays semi-aride, le bassin du lac Tchad. *Journal of Hydrology*, vol. 10, p. 141 à 150.

FONTES, J.C., MAGLIONE G., ROCHE M.A. (1969) : Éléments d'hydrologie isotopique dans le bassin du lac Tchad. *IAEA Proceedings, Vienna*, p. 209 à 219.

FONTES J.C., GONFIANTINI R., ROCHE M.A. (1970) : Deutérium et oxygène-18 dans les eaux du lac Tchad. *IAEA Proceedings, Vienna, IAEA-SM-129/23*, p. 377 à 404.

GASSE F. (2000) : Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quat. Sci. Rev.*, vol. 19, p. 189 à 211.

GENTHON P., HECTOR B., LUXEREAU A., DESCLOITRE M., ABDOU H., HINDERER J., BAKALOWICZ M. (2015) : Groundwater recharge by Sahelian rivers-consequences for agriculture development: example from the lower Komadugu Yobe River (Eastern Niger, Lake Chad Basin). *Environ. Earth Sci.*, vol. 74, p. 1291 à 1302.

GONI I.B. (2006) : Tracing stable isotope values from meteoric water to groundwater in the southwestern part of Chad basin. *Hydrogeology Journal*, vol. 14, p. 742 à 752.

HUNEAU F., DAKOURE D., CELLE-JEANTON H., VITVAR T., ITO M., COMPAORE N.F., TRAORE S., JIRAKOVA H., LE COUSTOMER P. (2011) : Flow pattern and residence time of groundwater within the south-eastern Taoudeni sedimentary basin (Burkina Faso, Mali). *Journal of Hydrology*, vol. 409, p. 423 à 439.

JOSEPH A., FRANGI J.P., ARANYOSSY J.F. (1992) : Isotope characteristic of meteoric water and groundwater in the Sahelo-Sudanese zone. *J. of Geophysical Research*, vol. 97, p. 7543 à 7551.

KADJANGABA E. (2007) : Étude hydrochimique et isotopique du système zone non saturée-nappe dans la zone urbaine de N'Djamena : impact de la pollution. Thèse Doct. Univ. Avignon.

KETCHEMEN B. (1992) : Étude hydrogéologique du Grand Yaéré (extrême nord du Cameroun), synthèse hydrogéologique et étude de la recharge par les isotopes de l'environnement. Thèse 3^e cycle, Univ. Cheikh Anta Diop (Dakar).

LEDUC C., SABLJAK S., TAUPIN J.D., MARLIN C., FAVREAU G. (2000) : Recharge of Quaternary water table in the northwestern Lake Chad basin (southeastern Niger) estimated from isotopes. C.R. Acad. Sci. Paris, Earth and Planetary Sciences, vol. 330, p. 355 à 361.

MADUABUCHI C., FAYE S., MALOSZEWSKI P. (2006) : Isotope evidence of paleorecharge and palaeoclimate in the deep confined aquifers of the Chad Basin, NE Nigeria. Science of the Total Environment, vol. 370, p. 467 à 479.

MASSUEL S. (2001) : Modélisation hydrodynamique de la nappe phréatique quaternaire du bassin du lac Tchad. Mémoire DEA Sciences de l'Eau, Univ. Montpellier-2.

NGOUNOU NGATCHA B., MUDRY J., ARANYOSSY J.F., NAAH E., SARROT REYNAULT J. (2007) : Apport de la géologie, de l'hydrogéologie et des isotopes de l'environnement à la connaissance des « nappes en creux » du Grand Yaéré (Nord Cameroun). Revue des Sciences de l'Eau, vol. 20, p. 29 à 43.

OLIVRY J.C., CHOURET A., VUILLAUME G., LEMOALLE J., BRICQUET J.P. (1996) : Hydrologie du Lac Tchad. Éditions ORSTOM (Paris), 266 pages.

RAIZI R. (2008) : Étude géochimique et hydrodynamique de la nappe libre du Bassin du Lac Tchad dans les régions de Diffa (Niger oriental) et du Bornou (nord-est du Nigeria). Thèse Doct. Univ. Montpellier (France), 212 pages.

RAJKUMAR Y., XU Y. (2011) : Protection of borehole water quality in Sub-Saharan Africa using minimum safe distances and zonal protection. Water Resour. Manage., vol. 25, p. 3413 à 3425.

ROCHE (1980) : Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique de lac Tchad. Travaux et documents de l'ORSTOM (Paris), 383 pages.

SCHNEIDER J.L., WOLFF J.P. (1992) : Carte géologique et carte hydrogéologique au 1/1500000 de la République du Tchad, Mémoire Explicatif. Document BRGM n°209, vol. 1 et 2, 689 pages.

SWEZEY C. (2001) : Eolian sediment responses to late Quaternary climate changes : temporal and spatial patterns in the Sahara. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, vol. 167, p. 119 à 155.

TRAVI Y., MUDRY J. (1997) : Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères de socle de la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest. Hydrogéologie, vol. 1, p. 13 à 21.

WALLIN B., GAYE C., GOURCY L., AGGARWAL P. (2005) : Isotope methods for management of shared aquifers in Northern Africa. Ground Water, vol. 43, p. 744 à 749.

WIRMVEM M.J., OHBA T., FANTONG W.Y., AYONGHE S.N., SUILA J.Y., ASAAH A.N.E., ASAI K., TANYILEKE G., HELL J.V. (2014) : Monthly $\delta^{18}\text{O}$, δD and Cl^- characteristics of precipitation in the Ndop plain, Northwest Cameroon: Baseline data. Quaternary International, vol. 338, p. 35 à 41.

ABRÉVIATIONS

BGR : Institut fédéral des géosciences et des ressources naturelles (Allemagne)

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières (France)

CBLT : Commission du bassin du lac Tchad

CE : Conductivité électrique

DGM : dernier maximum glaciaire

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

GNIP : Réseau mondial de mesure des isotopes dans les précipitations

GNIR : Réseau mondial de mesure des isotopes dans les cours d'eau

PNUD : Programme des Nations Unies pour le développement

T : Température

TP : Travaux publics

UT : Unité de tritium

ANNEXES

Annexe 1

Données relatives au Tchad produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA -
données géochimiques

Données relatives au Tchad produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA -
données isotopiques

Annexe 2

Données relatives au Niger produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA

Annexe 3

Données relatives au Cameroun produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par
l'AIEA

Annexe 4

Données relatives à la République centrafricaine produites dans le cadre du projet RAF/7/011
appuyé par l'AIEA

Annexe 1 : Données relatives au Tchad produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA - données géochimiques

	N°	Id. de l'échantillon	Site	Longitude	Latitude	T (°C)	pH	CE µS/cm	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	HCO3-	CL-	SO42-	NO3-
1	1	Ergueye	Barh El Gazal	16°38'35"	13°41'59"	30,8	7,4	486,0	24,0	2,4	55,4	7,2	109,8	29,0	58,0	6,0
2	2	Goz billah	Barh El Gazal	16°32'11"	14°04'38"	31,4	9,4	3 284,0	96,0	4,9	407,0	37,0	463,6	190,0	459,0	66,9
3	19	Moura 3	Barh El Gazal	16°32'09"	13°39'44"	31,5	7,9	446,0	16,0	1,0	42,7	3,2	9,8	15,0	46,0	79,0
4	20	Ergueye I	Barh El Gazal	16°38'25"	13°41'49"	32,2	8,0	613,0	10,4	1,5	74,1	5,2	29,3	17,0	56,0	114,0
5	21	Moura 2	Barh El Gazal	16°31'24"	13°39'57"	31,1	7,3	425,0	27,2	11,7	34,8	3,1	14,6	19,0	67,0	107,0
6	26	Moussoro Anas Ibn	Barh El Gazal	16°28'54"	13°38'45"	30,5	7,5	298,0	20,8	2,9	31,7	4,6	73,2	20,0	34,0	7,8
7	30	Moussoro Marché	Barh El Gazal	16°29'28"	13°38'41"	28,6	7,8	264,0	20,0	2,4	22,9	3,0	63,4	14,0	33,0	2,0
8	31	Moura	Barh El Gazal	16°32'14"	13°40'41"	30,4	7,8	341,0	17,6	2,9	41,3	2,6	102,5	29,0	9,0	5,0
9	38	Tororo II	Barh El Gazal	16°45'16"	13°22'45"	30,2	7,2	189,0	17,6	3,9	22,7	2,2	78,1	12,0	8,0	17,0
10	39	Kawachou	Barh El Gazal	16°52'32"	13°20'58"	33,5	8,0	105,0	8,0	1,0	20,0	4,2	46,4	13,0	5,0	8,0
11	40	Grantessi	Barh El Gazal	16°41'40"	13°56'06"	32,9	6,8	1379,0	88,0	87,5	402,0	8,6	805,2	240,0	302,0	29,0
12	42	Kérimatori	Barh El Gazal	15°57'18"	13°09'56"	30,0	6,8	3 125,0	176,0	14,6	505,0	27,0	927,2	300,0	285,0	42,0
13	43	Delep Droussou	Barh El Gazal	16°19'05"	13°19'40"	30,0	6,8	183,0	13,6	1,5	16,9	4,1	48,8	10,0	20,0	9,0
14	44	Bindiri	Barh El Gazal	16°00'15"	13°12'55"	28,9	7,8	222,0	16,0	1,2	22,0	9,7	58,6	14,0	5,0	35,0
15	48	Riglass	Barh El Gazal	16°00'17"	13°15'01"	30,0	7,4	204,0	13,6	1,5	28,0	3,3	53,7	16,0	35,0	1,7
16	49	Trawarou	Barh El Gazal	16°11'46"	13°17'00"	30,7	7,5	111,0	8,0	1,0	7,6	3,8	24,4	10,0	7,0	1,2
17	50	Gara I	Barh El Gazal	15°58'15"	13°11'20"	29,9	6,9	569,0	24,0	4,9	65,0	7,4	158,6	40,0	54,0	6,2
18	52	Tchoukou	Barh El Gazal	16°15'32"	13°33'32"	31,3	6,5	219,0	13,6	1,9	23,4	7,5	73,2	15,0	5,0	17,0
19	53	Wadi Wowi	Barh El Gazal	16°03'49"	13°28'41"	30,1	6,1	198,0	13,6	1,5	20,0	5,3	65,9	13,0	4,0	9,0
20	55	Tororo Kaleri	Barh El Gazal	15°58'08"	13°21'56"	29,0	6,9	337,0	20,8	1,9	26,0	12,0	85,4	22,0	14,0	9,0
21	60	Koumagaye Obi	Barh El Gazal	16°02'00"	13°30'23"	29,1	6,4	1 338,0	104,0	29,2	271,0	31,0	512,4	110,0	299,0	41,0
22	62	Katé Katé	Barh El Gazal	16°00'44"	13°23'10"	28,4	5,2	468,0	24,0	9,7	46,0	8,5	119,6	40,0	38,0	18,0
23	64	Gontour	Barh El Gazal	16°15'57"	13°16'34"	29,9	7,3	140,0	8,0	1,2	12,0	4,7	31,7	10,0	10,0	6,0
24	65	Mouzagui	Barh El Gazal	15°59'03"	13°19'48"	29,8	7,2	426,0	16,0	9,7	45,0	9,1	97,6	26,0	55,0	14,0
25	68	Liguédjémé	Barh El Gazal	15°57'05"	13°15'06"	29,2	7,4	849,0	24,0	14,6	72,0	14,0	170,8	40,0	68,0	30,2
26	69	Mouzarag	Barh El Gazal	15°58'07"	13°17'17"	29,5	7,4	311,0	17,6	8,7	28,0	18,0	75,6	20,0	28,0	53,0
27	72	Hanga	Barh El Gazal	15°39'59"	13°54'16"	32,3	7,4	230,0	15,2	1,2	20,0	6,6	73,2	13,0	9,0	0,0

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

	N°	Id. de l'échantillon	Site	Longitude	Latitude	T (°C)	pH	CE µS/cm	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	HCO3-	CL-	SO42-	NO3-
28	76	Djasllali Toutoumanga	Barh El Gazal	15°42'30"	13°48'25"	30,8	7,3	638,0	32,0	9,7	87,0	14,0	146,4	60,0	96,0	23,0
29	79	Safa Djoula	Barh El Gazal	15°49'54"	13°38'27"	31,0	6,6	2 177,0	180,0	7,3	406,0	40,0	780,8	190,0	350,0	22,0
30	82	Diguine 1	Barh El Gazal	15°45'32"	13°48'24"	31,9	7,1	3 432,0	202,4	1,2	628,0	93,0	1 049,2	310,0	504,0	37,0
31	0	Michemiré	Barh El Gazal	15°44'42"	13°49'20"	30,8	7,3	1 403,0	164,0	21,9	516,0	21,0	902,8	240,0	394,0	21,0
32	84	Diguine 2	Barh El Gazal	15°44'38"	13°48'04"	31,3	7,3	3 400,0	145,6	16,0	654,0	81,0	1 073,6	544,0	330,0	11,0
33	85	NGali Taher	Barh El Gazal	15°48'54"	13°54'52"	32,8	7,6	354,0	28,0	7,3	39,8	6,6	122,0	30,0	19,0	25,5
34	88	Boukoua 1	Barh El Gazal	15°43'30"	13°50'54"	31,9	7,4	252,0	19,2	3,4	24,0	8,6	73,2	24,0	7,0	19,2
35	90	Birtoum	Barh El Gazal	15°54'27"	13°52'40"	29,6	7,1	2 868,0	220,0	41,3	455,0	45,0	878,4	290,0	460,0	53,7
36	91	Bem Bem	Barh El Gazal	15°54'44"	13°51'30"	30,8	7,1	2 822,0	100,0	82,6	446,0	28,0	707,6	250,0	530,0	19,3
37	92	Tritroné	Barh El Gazal	15°50'34"	13°52'56"	30,7	7,9	1 056,0	75,2	1,2	201,0	14,0	439,2	170,0	80,0	13,3
38	95	Younga	Barh El Gazal	15°57'30"	13°50'06"	31,0	7,2	1 156,0	81,6	33,0	178,0	20,0	414,8	120,0	190,0	13,2
39	96	Salal	Barh El Gazal	17°13'11"	14°50'51"	30,5	9,5	8 250,0	1 080,0	63,2	924,0	107,0	3 586,8	550,0	957,0	21,0
40	97	Saf	Barh El Gazal	17°04'49"	14°37'24"	30,9	7,3	4 074,0	96,0	34,0	397,0	32,0	683,2	260,0	297,0	29,0
41	99	Mandjoura Cl	Barh El Gazal	17°04'43"	13°49'13"	33,2	7,6	920,0	80,0	38,9	211,0	19,0	463,6	140,0	190,0	8,0
42	100	Andrabate	Barh El Gazal	16°41'40"	13°56'30"	32,1	7,1	512,0	53,6	12,6	64,5	11,5	122,0	60,0	145,0	5,0
43	1	MOYTO	Hadjer Lamis	163 336	123 456	28,8	7,0	561,0	20,8	2,4	16,6	24,0	75,6	25,0	22,0	11,0
44	6	AMSAKINE	Hadjer Lamis	163 359	125 252	30,4	7,5	2 713,0	96,0	24,3	283,0	5,0	185,4	190,0	590,0	10,0
45	7	ARADAH	Hadjer Lamis	164 211	125 650	29,5	7,52	590,0	32,8	8,3	34,8	1,4	75,6	38,0	79,0	5,0
46	9	DARASSALAM	Hadjer Lamis	162 112	124 844	28,8	7,1	4 920,0	112,0	43,7	581,0	11,0	488,0	250,0	1020,0	13,0
47	10	BISNEY	Hadjer Lamis	161 014	124 049	29,0	7,2	5 000,0	176,0	9,7	300,0	5,0	592,9	170,0	390,0	21,0
48	11	GAMBIR	Hadjer Lamis	164 501	123 158	30,5	7,66	878	48,0	9,7	151,8	4,2	409,9	24,0	69,0	12,0
49	15	AB IREBI	Hadjer Lamis	164 541	121 756	30,2	7,4	463,0	21,6	2,4	25,0	1,2	87,8	12,0	15,0	5,0
50	16	GRELKA	Hadjer Lamis	164 933	121 130	31,4	7,4	379,0	18,4	1,2	22,5	0,7	83,0	9,0	17,0	1,0
51	17	AMFINEDIK	Hadjer Lamis	164 910	120 630	30,7	7,3	217,0	16,0	1,0	13,2	0,8	43,7	11,0	11,0	0,0
52	19	AMBRORAYE	Hadjer Lamis	162 821	120 621	31,7	7,2	579,0	11,2	6,8	31,0	1,6	73,2	16,0	28,0	9,0
53	20	Andreb	Hadjer Lamis	162 736	120 951	29,9	7,2	576,0	16,0	14,6	72,0	2,3	170,8	30,0	47,0	14,0
54	23	AMGIOTTO	Hadjer Lamis	162 152	121 231	30,9	7,3	1 060,0	12,0	12,2	55,0	1,9	170,8	20,0	38,0	7,0
55	41	Djarmaya	Hadjer Lamis	150 400	122 344	31,1	6,8	768,0	48,0	11,2	89,0	8,0	239,1	60,0	36,0	22,0

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

	N°	Id. de l'échantillon	Site	Longitude	Latitude	T (°C)	pH	CE µS/cm	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	HCO3-	CL-	SO42-	NO3-
56	42	Djimeze Al Himdé	Hadjer Lamis			32,1	6,9	2 650,0	256,0	77,8	320,0	10,0	780,8	410,0	300,0	0,0
57	44	Amsinet	Hadjer Lamis			30,8	6,7	2 170,0	236,0	1,2	223,0	11,0	610,0	33,0	550,0	22,2
58	49	Kinebor Fadjé	Hadjer Lamis			31,2	6,8	697,0	46,6	2,3	65,0	6,8	167,1	40,0	39,0	27,0
59	50	Naala	Hadjer Lamis			32,0	6,6	4 100,0	408,0	43,7	618,0	3,1	1 512,8	390,0	478,0	25,0
60	51	Am Soukar 1	Hadjer Lamis			31,0	6,9	529,0	40,0	14,6	39,4	7,0	146,4	40,0	51,0	3,2
61	52	Am Soukar 2	Hadjer Lamis			30,2	7,0	838,0	24,8	33,5	101,0	10,0	219,6	40,0	180,0	3,2
62	53	Djoumarassi	Hadjer Lamis			29,8	7,1	677,0	34,4	9,2	68,0	1,5	151,3	33,0	45,0	49,3
63	55	Kilmé	Hadjer Lamis			29,3	6,6	437,0	23,2	11,7	39,0	3,8	131,8	25,0	23,0	17,0
64	57	Amdedoua	Hadjer Lamis			30,4	6,3	798,0	32,0	9,7	54,0	6,0	85,4	48,0	100,0	1,6
65	58	Karmé	Hadjer Lamis			30,7	6,7	7 221,0	224,0	38,9	532,0	11,0	244,0	470,0	1 060,0	90,5
66	59	Andjane	Hadjer Lamis			29,8	6,8	1 870,0	160,0	9,7	145,0	9,0	292,8	140,0	380,0	4,5
67	63	Guitté	Hadjer Lamis			28,9	7,1	1 253,0	64,0	29,2	158,0	8,0	414,8	60,0	155,0	6,0
68	65	Mani Cl	Hadjer Lamis			30,1	7,2	306,0	21,6	12,6	38,0	4,2	146,4	19,0	33,0	3,7
69	67	Irack	Hadjer Lamis			29,4	7,0	962,0	48,0	9,7	109,0	8,0	268,4	70,0	38,0	14,0
70	68	Rigueyek	Hadjer Lamis			31,2	6,8	552,0	47,2	0,5	50,0	7,6	170,8	40,0	21,0	9,4
71	70	Tourba Ecole	Hadjer Lamis			30,9	6,7	2 465,0	160,0	34,0	213,0	9,0	378,2	140,0	560,0	3,0
72	71	Amdogo	Hadjer Lamis			29,8	6,7	2 064,0	152,0	53,5	201,0	7,0	439,2	120,0	580,0	6,0
73	73	Hillé Adjid	Hadjer Lamis			30,5	7,0	1 320,0	120,0	9,7	121,0	6,0	463,6	80,0	70,0	2,4
74	74	Sidjé	Hadjer Lamis			31,1	7,3	1 778,0	136,0	9,7	143,0	8,0	500,2	100,0	80,0	1,9
75	75	Hadjer Lamis	Hadjer Lamis			30,8	8,3	2 083,0	160,0	4,9	298,0	9,0	658,8	120,0	260,0	3,8
76	78	Tharé	Hadjer Lamis			29,8	8,0	1 544,0	104,0	9,7	130,0	2,0	463,6	80,0	50,0	12,0
77	79	Bachom	Hadjer Lamis	153 918	125 045	32,1	6,8	2 936,0	232,0	29,2	310,0	9,0	1 024,8	150,0	280,0	26,0
78	80	Amra	Hadjer Lamis			31,9	7,1	1 160,0	32,0	7,8	122,0	8,0	292,8	50,0	60,0	9,5
79	81	Kara Maloumoudary	Hadjer Lamis			30,8	7,1	170,0	4,0	0,5	25,0	3,0	26,8	11,0	9,0	23,0
80	82	Kieri Kouka	Hadjer Lamis	153 353	130 548	31,3	7,4	142,0	16,0	4,9	18,0	2,0	78,1	7,0	14,0	6,0
81	83	Karassa	Hadjer Lamis	154 220	130 214	30,4	6,9	2 347,0	112,0	14,6	319,0	8,0	683,2	6,0	360,0	14,0
82	86	Mouloumary	Hadjer Lamis	153 914	125 057	30,5	7,0	2 425,0	160,0	24,3	234,0	8,0	710,0	110,0	340,0	6,0
83	87	Massakory	Hadjer Lamis	154 259	125 828	31,4	6,9	1 165,0	460,0	120,0	6,0	38,9	56,0	475,8	90,0	60,0

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

	N°	Id. de l'échantillon	Site	Longitude	Latitude	T (°C)	pH	CE µS/cm	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	HCO3-	CL-	SO42-	NO3-
84	89	Kieki I	Hadjer Lamis	153 314	125 413				26,4	18,0	457,0	27,0	683,2	150,0	310,0	15,0
85	90	Achip Kermai	Hadjer Lamis	155 051	130 502				108,0	34,0	545,0	13,0	707,6	202,0	550,0	72,0
86	91	Marabari	Hadjer Lamis						12,0	1,2	12,3	3,0	36,6	10,0	11,0	6,4
87	92	Amdjamena	Hadjer Lamis	153 222	124 609				16,0	38,9	298,0	24,0	585,6	130,0	250,0	2,0
88	93	Abkarno	Hadjer Lamis	154 953	130 129				47,2	78,2	665,0	25,0	829,6	260,0	720,0	4,1
89	94	Djouroup	Hadjer Lamis	153 436	130 138				64,0	4,9	568,0	26,3	732,0	230,0	365,0	15,0
90	95	Hachim Angalti	Hadjer Lamis	155 013	130 755				120,0	24,3	435,0	24,0	805,2	250,0	232,0	12,0
91	98	Afono	Hadjer Lamis	154 128	125 722				152,0	53,5	689,0	38,0	1 024,8	290,0	754,0	36,0
92	11	Tchio I K.	Kanem	151 822	140 512	31,7	6,8	420,0	24,0	3,9	28,0	5,0	92,7	22,0	25,0	5,2
93	20	Moto Mao	Kanem	151 812	140 732	31,1	7,0	437,0	29,6	3,9	24,0	3,0	78,1	26,0	22,0	14,0
94	56	Sassanga	Kanem	154 255	141 850	32,9	7,4	1 105,0	40,0	9,7	53,0	6,0	170,8	30,0	62,0	2,0
95	73	Djokou Samaraye	Kanem			30,0	6,7	1 028,0	70,4	14,1	98,0	3,7	292,8	46,0	178,0	5,4
96	75	Mourdjigui	Kanem			30,0	7,3	837,0	52,8	14,6	60,0	2,3	244,0	21,0	65,0	7,0
97	77	Tchoroganti	Kanem	154 907	134 437	32,8	7,2	4 222,0	164,0	9,7	301,0	8,0	854,0	6,0	290,0	3,4
98	74	Mathiou I	Lac	141 007	140 420	30,7	7,7	5 070,0	96,0	63,2	967,0	123,0	2 220,4	390,0	127,0	14,0
99	2	Boultou	Lac	151 510	133 455	31,2	7,8	738,0	24,0	4,9	80,0	13,9	187,9	22,0	59,0	2,0
100	6	koulouhoubazo	Lac	150 021	133 713	31,2	7,4	316,0	24,0	1,0	25,0	11,7	85,4	20,0	25,0	11,2
101	7	Kounda	Lac	150 021	133 713	31,4	7,5	343,0	25,6	0,5	27,0	17,3	90,3	23,0	20,0	9,0
102	73	Gabdji	Lac	140 646	140 805	30,9	7,9	4 340,0	108,0	17,0	753,0	96,0	1 878,8	350,0	51,0	3,4
103	10	Ndjaoromki	Lac	152 338	133 213	31,1	8,2	618,0	32,0	4,9	75,0	7,4	195,2	35,0	31,0	10,0
104	72	Kiskawa	Lac	135 504	141 425	31,1	8,0	3 340,0	76,0	2,4	453,0	122,0	1 256,6	150,0	20,0	7,0
105	12	kourna 1	Lac	151 826	133 157	31,3	7,4	1 319,0	80,0	9,7	130,0	45,0	292,8	70,0	200,0	3,4
106	13	Kani-Katia	Lac	151 600	133 058	31,6	7,6	602,0	36,0	2,4	55,0	9,1	134,2	13,0	78,0	6,7
107	14	karoua	Lac	151 443	133 213	31,8	7,6	242,0	14,4	1,9	15,0	14,5	48,8	20,0	27,0	7,7
108	15	Bara Badeleri	Lac	152 027	133 346	31,7	7,7	410,0	16,0	4,9	29,0	30,0	92,7	6,0	60,0	2,3
109	16	Ouné 1	Lac	152 348	133 506	31,6	7,7	2 580,0	80,0	29,2	328,0	100,0	829,6	230,0	54,0	9,0
110	17	kirdjorom	Lac	152 844	133 502	32,4	7,9	1 206,0	64,0	9,7	205,0	32,4	512,4	110,0	65,0	2,4
111	18	Iski	Lac	153 036	133 511	32,4	8,4	478,0	16,0	3,4	53,0	17,6	112,2	21,0	53,0	8,2

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

	N°	Id. de l'échantillon	Site	Longitude	Latitude	T (°C)	pH	CE µS/cm	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	HCO3-	CL-	SO42-	NO3-
112	19	koulkouruom	Lac	152 345	133 622	30,3	8,0	1 167,0	46,4	5,8	104,0	62,2	341,6	60,0	42,0	20,0
113	39	Saoua B	Lac	144 510	132 627	31,8	7,3	2 030,0	76,0	2,4	338,0	18,5	707,6	150,0	92,0	4,0
114	56	Malmairie	Lac	140 826	133 900	31,9	7,9	1 874,0	76,0	2,4	220,0	30,0	536,8	80,0	95,0	53,4
115	26	Bini Ouara	Lac	152 915	133 752	31,5	7,9	3 060,0	80,0	9,7	527,0	47,0	839,4	290,0	210,0	21,0
116	43	Toutou	Lac	144 916	133 154	32,0	7,3	1 769,0	104,0	9,7	120,0	25,0	463,6	40,0	121,0	15,0
117	53	Polder Tala	Lac	144 003	133 353	30,8	7,5	1 558,0	152,0	4,4	224,0	20,5	478,2	94,0	298,0	6,0
118	11	kioua	Lac	151 443	133 213	30,0	7,8	1 190,0	56,0	4,9	97,0	7,0	292,8	60,0	10,0	14,0
119	40	Maar Saker	Lac	143 113	133 046	32,8	7,4	1 082,0	72,0	4,9	108,4	7,8	244,0	23,0	200,0	1,2
120	60	Bagassola	Lac	141 900	133 200	28,4	7,2	884,0	72,0	4,9	80,0	13,8	317,2	6,0	85,0	19,0
121	51	Boulerom	Lac	145 413	133 017	31,5	7,3	730,0	56,0	4,9	52,0	15,1	292,8	6,0	12,0	6,0
122	45	Douboulboul N.	Lac	144 628	133 230	32,5	7,5	436,0	20,0	1,9	18,0	5,7	73,2	10,0	21,0	7,0
123	46	Dolé I	Lac	144 612	133 243	32,0	7,4	1 001,0	80,0	4,9	51,0	10,6	126,9	82,0	96,0	10,5
124	48	Karaka	Lac	144 741	132 853	31,4	7,5	2 630,0	136,0	14,6	526,0	15,5	805,2	310,0	400,0	13,0
125	50	Meromkoura	Lac	144 934	132 832	32,1	8,0	371,0	40,0	1,0	31,0	5,4	122,0	9,0	56,0	4,0
126	58	Kalia	Lac	141 229	133 754	31,2	8,3	708,0	28,0	7,3	76,9	29,4	219,6	25,0	67,0	7,6
127	52	Ngarangou	Lac	144 954	133 421	30,7	7,8	335,0	32,0	0,0	25,0	10,7	109,8	19,0	10,0	9,0
128	77	Djou I	Lac	142 437	135 419	31,3	7,5	604,0	48,8	4,4	51,0	13,0	195,2	40,0	25,0	9,0
129	44	konkia	Lac	144 741	133 245	32,4	7,2	592,0	23,1	0,5	22,9	7,3	73,2	12,0	35,0	12,0
130	55	Dané Koné	Lac	144 111	133 330	30,6	7,6	267,0	16,0	9,7	25,0	9,9	122,0	12,0	11,0	8,0
131	9	Djigdata	Lac	150 937	133 339	31,8	8,1	255,0	23,2	0,0	15,0	15,4	73,2	18,0	11,0	6,0
132	67	Maya	Lac	144 248	133 829	30,8	7,5	723,0	72,0	4,9	45,0	32,0	244,0	35,0	48,0	17,0
133	70	Dodou K.	Lac	144 238	133 609	30,7	7,5	439,0	28,0	7,3	29,0	16,0	146,4	15,0	12,0	15,8
134	1	Souya	Lac	145 848,0	132 855,0	31,9	8,6	180,0	16,0	0,0	13,0	3,3	39,0	13,0	10,0	10,5
135	78	Liwa CL	Lac	141 600	135 158	31,7	8,0	462,0	24,0	2,4	40,0	5,4	97,6	27,0	32,0	13,6
136	79	Doudou Adji	Lac	141 550	134 534	31,8	8,1	452,0	23,2	1,5	38,0	12,0	97,6	31,0	21,0	3,8

Données relatives au Tchad produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA - données isotopiques

Id.	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Date d'échantillonnage	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
Adoumari	13,171944	15,753889	295	26/7/2013	-3,36	-24,4		
Al Bakhas	11,970556	17,073056	316	10/7/2013	-3,81	-27,1		
Ambassatna	12,408611	16,514722	300	12/7/2013	-3,18	-28,9		
Ambatchaye	12,718056	16,531389	294	12/7/2013	-3,91	-31,4		
Amchouraba	11,831944	17,250278	328	10/7/2013	-3,58	-25,0		
Amdogo				28/7/2013	1,41	2,0		
AMSAKINE	12,881111	16,566389	294	12/7/2013	-3,46	-27,1		
Aradah	12,947222	16,703056	290	12/7/2013	-4,21	-28,7		
Arma				26/7/2013	5,31	27,2		
Bachom	12,85	15,66	290	27/7/2013	0,79	-5,4		
Bisney	12,680278	16,170556	291	13/7/2013	-2,49	-20,5		
Darassalam	12,812222	16,353333	288	13/7/2013	-2,08	-25,2		
Dongoura	12,070556	16,983611	313	10/7/2013	-4,40	-31,2		
Dorora				28/7/2013	1,17	-2,2		
Douililio	11,915556	16,903611	321	10/7/2013	-3,81	-27,9		
Gama	11,791944	17,164167	328	10/7/2013	-3,36	-21,7		
Gambir	12,532778	16,750278	294	12/7/2013	-2,17	-20,6		
Halloufa	12,486944	16,505000	296	12/7/2013	-2,78	-26,0		
Hille Moustapha	11,915833	17,216111	320	10/7/2013	-4,03	-27,7		
Kara Maloumoudary				26/7/2013	-3,53	-26,4		
Kouka Kermari				26/7/2013	0,21	-5,7		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Id.	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Date d'échantillonnage	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
Massaakory	12,974444	15,716389	288	27/7/2013	8,45	39,9		
Mouloumari	12,849167	15,653889	291	27/7/2013	4,45	21,7		
Moyto	12,582222	16,560000	293	12/7/2013	-3,18	-25,2		
Nahala	12,018611	16,990278	315	10/7/2013	-4,30	-30,1		
Siridajye	12,466944	16,589722	296	12/7/2013	-2,81	-26,3		
Tourba Ecole	12,870556	15,280000	288	28/7/2013	2,97	8,9		
Lac Tchad/Guite	12,903516	14,622910	284	22/1/2014	0,36	2,3		
Amerom	13,353889	15,260556	297,4	3/2/2014	7,84	37,4	5,00	±0,4
Andri	14,058056	14,321389	294,1	29/1/2014	-4,30	-31,5	<0,4	
Bachom	12,845833	15,655000	290	5/2/2014	0,20	-8,4	1,30	±0,2
Bagassola_a	13,533333	14,316944	296,7	30/1/2014	3,82	17,1	3,90	0,30
Bagassola_b	13,534167	14,311667	285,5	30/1/2014	4,19	17,3	3,20	0,30
Bini Ouara	13,631944	15,487500	296,2	1/2/2014	4,72	20,0	0,60	0,20
Bol	13,475278	14,711389	294,3	31/1/2014	1,29	2,8	14,50	0,60
Boudoukoura	13,602778	14,710556	292,5	30/1/2014	-3,71	-27,2	<0,4	
Boulia	13,433333	15,088889	291,3	3/2/2014	8,00	38,1	3,50	±0,3
Brandal	13,461944	14,815833	292,2	31/1/2014	-4,60	-32,7	4,60	0,40
Daboua	14,408889	13,610556	285,4	29/1/2014	5,93	27,7	<0,4	
Dané Koné	13,558333	14,686389	289,3	31/1/2014	-4,11	-28,8	<0,4	0,40
Djigdada	13,560833	15,160278	299,2	31/1/2014	-4,49	-30,5	<0,4	
Djou I	13,905278	14,410556	298,7	29/1/2014	-3,40	-26,5	<0,4	
Doum-doum	13,195833	15,386944	285,3	3/2/2014	-4,53	-30,2	1,60	±0,3
Fiérom Daléri	13,671667	15,416944	297,6	2/2/2014	-4,24	-29,0	0,60	±0,2
Forage Am	12,384800	15,042217	296	22/1/2014	-0,84	-9,9	<0,5	

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Id.	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Date d'échantillonnage	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
Goundjo								
Forage Dandi				22/1/2014	-3,35	-26,7	0,90	0,30
Forage Douguia	12,645650	14,824650	287	22/1/2014	-1,32	-5,4	3,40	0,40
Forage Etena	11,931111	15,174222	300	23/1/2014	-2,98	-17,0	<0,5	
Forage Guite	12,902633	14,622600	295	22/1/2014	1,25	6,9	2,10	0,30
Forage Iraque	12,479300	14,964500	288	22/1/2014	-1,11	-10,8	0,90	0,30
Forage Kondoul	11,973639	15,152500	300	23/1/2014	-3,46	-20,4	1,30	0,30
Forage Kournari	11,847972	15,192972	302	23/1/2014	-3,51	-26,9	1,50	0,30
Forage Lougoun/Gana	11,558750	15,148528	311	23/1/2014	-3,30	-17,6	<0,5	
Forage Mailao	11,584817	15,280383	317	23/1/2014	-1,47	-5,9	4,70	0,40
Forage Mandelia	11,729194	15,244778	302	23/1/2014	-4,03	-25,7	<0,5	
Forage Mani- Kosam	12,741167	14,707083	286	22/1/2014	-1,82	-8,7	4,30	0,40
Forage Toukoura	12,032333	15,097278	301	23/1/2014	-3,73	-26,1	<0,5	
Fourkourlom	13,604167	14,134167	294,6	29/1/2014	1,33	2,8	2,60	0,30
Gabджи	14,134444	14,112778	291,5	29/1/2014	2,16	7,4	<0,4	
Galla Sangada I	13,724167	15,258889	318,5	2/2/2014	-4,56	-30,2	4,30	±0,3
Kalérom	13,191111	15,431667	292,1	3/2/2014	-4,50	-29,9	<0,4	
Kalia	13,465000	14,208056	292,9	29/1/2014	3,11	11,0	2,50	0,30
Kermarom	13,688611	15,435556	299,6	2/2/2014	-4,71	-29,5	0,70	±0,2
Kery Kouka	13,119722	15,513056	285,8	4/2/2014	-4,17	-27,5	1,10	±0,2

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Id.	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Date d'échantillonnage	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
Khachkhachaye	12,779444	15,618333	287,9	5/2/2014	0,94	-3,7	0,90	±0,2
kioua	13,536944	15,393611	296,5	31/1/2014	2,02	3,9	1,10	0,20
Kiskawa	14,240556	13,918056	290,9	29/1/2014	1,24	1,6	1,40	0,20
Kondjilia	13,179167	15,458333	287	3/2/2014	-4,12	-27,9	3,80	±0,3
konkia	13,545833	14,794722	298,2	31/1/2014	-4,18	-31,1	1,20	0,30
Landé	13,651667	15,400833	292,2	1/2/2014	-4,45	-29,8	<0,4	
Leyla Guidi	12,791111	15,563056	287,3	4/2/2014	8,75	40,8	16,60	±0,6
Maar	13,559722	14,507778	286,5	30/1/2014	-1,59	-13,9	<0,4	
Madé III	13,609722	15,333611	302,6	1/2/2014	-4,32	-29,4	0,60	0,20
Madirom	13,483889	14,946111	300,9	31/1/2014	3,29	11,9	3,70	0,40
Malmairie	13,650000	14,139444	291	29/1/2014	3,88	15,3	<0,4	
Massakory	12,974444	15,716667	287,2	5/2/2014	7,90	35,9	<0,4	
Matafo	13,523056	14,683333	285,3	31/1/2014	8,05	34,7	4,80	0,40
Matiou I	14,072222	14,168611	297,3	29/1/2014	0,20	-4,8	0,40	0,20
Mbodou Kaolery	13,185556	15,508889	286,3	4/2/2014	-2,85	-20,7	<0,4	
Méléa	13,530278	14,571944	294,6	30/1/2014	3,75	16,1	1,70	0,30
Merkerom	13,519167	14,732778	292,5	31/1/2014	7,14	33,6	3,30	0,30
Merom Koura	13,475556	14,826111	294,9	31/1/2014	-5,25	-35,3	<0,4	
Ndjaorom	13,474722	15,407778	288,8	31/1/2014	-3,20	-23,7	1,50	0,20
Ngarangou	13,573333	14,831111	300,7	31/1/2014	-3,64	-27,8	<0,4	
Ngodorom	13,594444	14,364167	286,5	30/1/2014	7,43	37,3	0,80	0,20
Ngolio	13,686667	14,597778	296,2	30/1/2014	-4,63	-31,9	1,40	0,30
Ngouri	13,643611	15,368889	301,7	1/2/2014	-4,37	-29,2	0,70	0,20

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Id.	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Date d'échantillonnage	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
Ngourtou I	13,673056	15,381944	308,3	2/2/2014	-4,43	-28,7	1,00	±0,2
Ouné I	13,585000	15,396667	307,5	1/2/2014	1,32	0,5	0,90	0,20
Saouo Boudouma	13,440833	14,752778	297	31/1/2014	1,20	2,4	<0,4	
Souya	13,482222	14,980000	297,2	31/1/2014	-5,02	-34,2	6,20	0,40
Taou Nord	13,541667	14,912778	299,3	31/1/2014	-4,08	-29,6	2,90	0,30
Toutou	13,531667	14,821111	294,8	31/1/2014	-3,32	-24,7	0,80	0,20
Yiri	13,661667	15,281111	304,8	1/2/2014	-4,48	-29,9		
Fleuve Chari/Dougoia	12,639967	14,827467	290	22/1/2014	-0,84	-4,2		
Fleuve Chari/Mailao	11,583883	15,284067	300	23/1/2014	-0,47	-1,6		
Fleuve Lougoun/Gana	11,560515	15,143651	302	23/1/2014	-1,63	-8,0		
Maar Saker	13,508730	14,516946	285	30/1/2014	-0,53	-8,0	0,90	0,20
Polder III	13,563056	14,294722	282,6	30/1/2014	4,97	22,8	2,30	0,30
polder Tchoukou	13,694103	14,097152	277,3	29/1/2014	2,49	8,1	2,80	0,30
Amkoua Sal	13,316667	16,615556	304	7/4/2014	-3,96	-28,4	1,10	0,20
Boudassari	13,412778	16,056944	294	7/4/2014	-4,43	-30,0	<0,4	
Chaddra	13,435833	16,048889	297	7/4/2014	-3,59	-25,4	<0,4	
Diguine 1	13,806667	15,758889	288	7/4/2014	-3,73	-27,9	<0,4	
Fourtchoueskou	13,451111	16,439167	307	7/4/2014	-4,02	-28,2	6,60	0,40
Gara I	13,188889	15,970833	293	7/4/2014	-3,84	-26,9	<0,4	

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Id.	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Date d'échantillonnage	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
Goutchouwo	13,259444	16,385833	307	7/4/2014	-4,31	-29,6	1,80	0,30
Grantessi	13,935000	16,694444	293	7/4/2014	0,71	-2,8	<0,4	
Hissab	13,931667	15,680000	315	7/4/2014	-3,79	-27,9	<0,4	
Kantara	13,602500	17,021111	303	7/4/2014	-4,52	-30,8	<0,4	
Katé Katé	13,386111	16,012222	290	7/4/2014	-4,42	-29,9	<0,4	
Kokoye 1	13,821944	15,869167	301	7/4/2014	-1,45	-16,2	<0,4	
Koréti	13,280000	16,529167	307	7/4/2014	-4,49	-29,9	<0,4	
Koumagaye	13,506389	16,033333	291	7/4/2014	1,93	6,3	<0,4	
Miché Chada	13,646389	16,428056	298	7/4/2014	-3,54	-27,7	<0,4	
Moussoro	13,644722	16,491111	291	7/4/2014	-4,34	-30,1	<0,4	
Mouzarag	13,288056	15,968611	293	7/4/2014	-3,40	-24,6	3,30	0,30
Ngali Taher	13,914444	15,815000	308	7/4/2014	-3,92	-28,4	<0,4	
Safa Djoula	13,640833	15,831667	300	7/4/2014	-1,77	-19,2	<0,4	
Trawarou	13,283333	16,196111	306	7/4/2014	-4,18	-30,0	<0,4	

Annexe 2 : Données relatives au Niger produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE $\mu\text{S/cm}$	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±	
YOGO	14,864611	13,792556	313	19/2/2013	233	29,7	6,4	9,4	2,4	20,1	5,9	6,6	31,6	40,0	5,3	-	-	35,7	0,3	0,2
LIBOUSS	14,795556	13,794139	318	19/2/2013	208	29,5	6,7	16,0	3,8	23,3	5,5	9,0	33,8	55,0	14,8	-	-	35,7	1,2	0,3
DJANDIGA	14,693806	13,728389	317	19/2/2013	263	30,1	6,9	34,9	4,0	23,1	8,1	10,1	37,1	92,0	4,5	-	-	37,8	0,6	0,2
LARI KANORI	14,334333	13,191028	291	20/2/2013	1 428	29,7	7,4	53,2	70,9	258,1	67,0	47,2	48,8	685,0	0,0	5,50	31,9	0,3	0,2	
MANDARA KAÏRAM	14,409222	13,304389	295	20/2/2013	3 520	28,3	7,5	114,1	57,5	875,7	103,4	162,4	151,8	1 342,0	36,6	7,63	38,0	0,7	0,3	
BILABRIN	14,430222	13,414278	298	20/2/2013	1 552	27,0	7,8	44,8	34,5	335,7	90,2	50,5	163,9	580,0	68,9	2,17	7,9	3,2	0,2	
DORO LELEWA	14,094583	13,457833	295	20/2/2013	2 940	27,8	8,2	71,9	14,9	806,2	16,5	62,8	446,7	1 007,0	0,0	3,28	13,6	0,7	0,2	
DORO LELEWA	14,089927	13,461654	283	20/2/2013	299	33,3	8,2	41,7	11,7	12,7	12,2	2,5	20,9	122,0	3,2	1,37	-2,1	5,6	0,3	
KIME GANA	14,240389	13,159528	277	21/2/2013	745	34,1	6,7	37,5	11,2	145,0	17,5	62,8	170,0	145,0	0,0	-	-	49,5	0,6	0,3
BARWA	13,879611	13,172444	295	21/2/2013	733	35,7	6,6	25,0	10,0	135,4	14,0	53,1	152,7	122,0	0,0	-	-	53,4	0,4	0,3
TCHOUKOU DANI	13,842972	13,200333	302	21/2/2013	798	28,9	7,3	16,8	23,5	106,2	34,4	7,4	9,1	183,0	9,0	7,62	37,7	7,5	0,3	
TOUBARAM	13,777639	13,239167	299	21/2/2013	3 020	29,3	7,5	27,7	46,5	828,4	52,1	92,8	403,3	1 068,0	28,3	4,37	14,8	1,7	0,3	
YEBI	13,737528	13,292389	296	21/2/2013	1 910	27,1	8,5	30,6	12,6	556,7	25,1	30,6	92,4	1 007,0	71,5	5,32	22,7	0,7	0,3	
BOSSO	13,700167	13,295556	290	22/2/2013	763	27,3	6,4	23,2	14,9	158,7	17,3	64,7	103,6	183,0	0,0	-	-	49,1	0,4	0,2
BLAGANA	13,678444	13,294556	293	22/2/2013	432	26,9	7,5	25,8	10,2	57,3	13,0	13,7	38,0	61,0	22,9	-	-	16,0	3,0	0,3
GAMGARA	13,665556	13,272583	297	22/2/2013	711	27,8	7,8	11,5	12,4	140,7	14,7	8,1	1,5	366,0	17,9	-	-	16,3	0,9	0,3
ABADAM	13,627222	13,253222	302	22/2/2013	424	28,8	6,5	35,3	11,5	43,7	44,7	19,4	27,0	122,0	20,3	-	-	14,8	4,8	0,3

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE $\mu\text{S/cm}$	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	\pm
BOULAYI	13,601056	13,230278	300	22/2/2013	695	29,9	8,4	8,1	3,5	150,6	31,9	7,6	8,6	244,0	11,3	-	-	1,6	0,3
DAGAYA	13,555167	13,064333	300	22/2/2013	496	32,6	7,7	24,0	13,7	73,2	17,8	4,7	57,4	128,0	3,1	-	-	3,9	0,3
DJABALAM	13,559167	13,013778	307	22/2/2013	381	28,7	7,6	14,8	7,7	36,0	20,6	8,6	5,5	125,0	6,0	-	-	0,3	0,3
BOUGOUMALOUMDI	13,463944	11,096889	344	23/2/2013	972	28,5	6,3	124,3	37,1	54,1	34,9	90,6	86,4	61,0	383,4	-	-	3,2	0,3
KODJIMERI	13,411778	11,094694	346	23/2/2013	180	30,7	6,2	13,4	4,0	20,3	5,9	6,4	31,1	65,0	0,0	-	-	0,9	0,3
AKAMARI	13,241028	11,114333	340	24/2/2013	150	27,7	6,7	19,2	6,6	12,7	4,9	8,9	16,6	57,0	28,0	-	-	2,0	0,3
MADOU KAOUDI	13,382250	11,130000	339	24/2/2013	242	29,7	6,8	16,3	4,1	31,7	7,0	7,8	41,6	85,0	0,0	-	-	0,2	0,3
N'GUELKAYA	13,425194	11,299861	332	24/2/2013	453	28,2	6,6	46,0	17,8	28,3	8,7	33,5	32,2	61,0	136,3	-	-	1,2	0,3
CHERI	13,422167	11,385917	352	24/2/2013	276	32,3	6,5	29,5	6,2	19,6	10,3	7,5	35,3	61,0	57,8	-	-	0,1	0,2
GARGARIRAM	13,221639	11,946250	325	25/2/2013	430	28,9	5,9	50,1	15,7	17,6	12,4	31,2	42,2	45,0	144,6	-	-	4,4	0,3
ABASSIRI PEULH	13,185639	12,032361	319	25/2/2013	4 510	29,1	6,8	354,7	74,1	787,5	32,0	399,2	1 965,5	61,0	0,0	-	-	1,0	0,3
ABASSIRI	13,160472	12,030778	347	25/2/2013	360	30,6	7,0	27,2	6,3	36,7	8,4	16,3	27,1	31,0	117,9	-	-	4,1	0,3
GADORI	13,145139	12,049500	341	25/2/2013	296	30,9	7,1	30,8	4,1	26,0	4,4	8,0	18,8	61,0	79,6	-	-	1,9	0,3
GOURSOUGOURAM	13,156750	12,078778	334	25/2/2013	267	30,9	6,8	19,8	4,0	36,2	4,1	10,0	49,6	85,0	2,7	-	-	0,8	0,3

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE $\mu\text{S/cm}$	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (%)	2H (%)	3H (UT)	\pm
N'GAOURIRAM	13,143861	12,080333	332	25/2/2013	552	30,1	6,9	75,2	9,4	44,3	6,5	25,9	103,3	92,0	101,0	4,33	30,8	1,1	0,3
YABAL	13,182639	12,065944	330	25/2/2013	651	29,6	6,8	70,1	10,3	56,8	8,6	39,0	117,1	61,0	136,3	2,88	24,7	2,9	0,2
KOUBLE MALLAM SIDDI	13,166500	12,129889	326	26/2/2013	152	30,1	7,4	13,9	2,7	16,8	3,0	2,9	24,9	61,0	3,0	4,17	27,5	0,5	0,2
TAM	13,134444	12,134944	340	26/2/2013	334	32,1	6,6	27,5	7,6	27,6	7,6	13,4	56,7	95,0	0,0	3,53	32,9	0,4	0,3
GREMADI	13,142500	12,168639	332	26/2/2013	692	29,8	6,9	55,7	15,4	57,9	35,4	74,8	44,8	61,0	173,5	0,05	-7,6	6,1	0,3
DJANDJERI	13,121778	12,274944	330	26/2/2013	175	31,0	7,1	19,6	3,3	18,6	6,4	3,7	1,8	115,0	3,6	0,04	-9,1	4,6	0,2
ABARI	13,106222	12,277694	321	26/2/2013	335	29,3	7,1	40,1	5,3	31,2	15,4	15,3	8,1	122,0	20,1	0,86	-9,9	4,0	0,3
MARIDI	13,133389	12,301306	321	26/2/2013	242	27,6	6,8	28,8	6,9	17,5	8,1	6,4	4,3	96,0	4,6	1,08	18,6	4,8	0,3
BLAMARI KIARI	13,131444	12,325389	330	26/2/2013	313	29,2	6,9	30,3	5,3	21,2	14,1	18,4	24,8	85,0	38,9	0,75	15,6	6,2	0,3
KAYAWA	13,307417	12,683917	315	27/2/2013	521	30,4	7,1	25,3	5,4	38,5	58,8	7,3	18,5	153,0	29,9	1,89	12,4	3,8	0,3
KOULO KOURA	13,282250	12,669028	312	27/2/2013	877	29,7	7,0	34,4	15,2	135,7	15,3	51,0	52,4	183,0	66,8	2,90	17,7	5,1	0,3
DOUROUM	13,326611	12,661806	310	27/2/2013	247	30,0	7,1	42,3	3,7	13,7	7,6	3,1	0,0	122,0	1,9	0,90	15,5	0,8	0,2
MADOU KAUDI	13,334972	12,671028	313	27/2/2013	313	30,5	7,1	46,0	4,7	27,4	8,2	27,0	4,7	122,0	6,7	1,96	15,5	0,7	0,2
ASSAGA	13,314083	12,707806	310	27/2/2013	269	28,9	2,3	24,5	7,4	26,3	12,4	38,7	12,5	105,0	11,5	3,79	23,8	5,5	0,3
CHETIMARI	13,186944	12,423000	314	28/2/2013	644	30,0	7,3	47,1	15,1	29,1	40,3	41,0	56,4	122,0	39,3	-	-	1,6	0,3

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE $\mu\text{S/cm}$	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (%)	2H (%)	3H (UT)	\pm
																4,53	31,8		
WALADA	13,128278	12,487028	323	28/2/2013	424	29,7	6,9	45,4	11,0	29,0	30,3	8,0	8,5	153,0	4,7	-	-	4,6	0,3
MOREY	13,157750	12,466944	324	28/2/2013	205	29,9	6,6	23,5	2,9	18,9	5,5	2,3	6,6	61,0	1,7	0,37	-8,0	7,6	0,3
COMMUNE URBAINE DIFFA	13,315417	12,612556	330	28/2/2013	925	38,3	6,1	54,9	12,9	157,7	21,7	99,5	167,5	122,0	9,6	-	-	0,1	0,3
ADJIMERI	13,319139	12,598583	316	28/2/2013	443	28,4	7,4	19,0	9,6	36,3	6,2	11,6	9,8	122,0	4,7	-	-	1,9	0,2

Annexe 3 : Données relatives au Cameroun produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (%)	2H (%)	3H (UT)	\pm
CMBW1	10,136960	14,172110	443	4/4/2013	667	29,9	5,3	36,1	6,3	92,5	1,6	14,4	26,4	329,4	26,4	-	-		
CMBW2	10,515980	14,233800	436	6/4/2013	315	30,9	6,8	15,6	4,3	47,6	2,7	8,8	5,9	180,6	1,8	-	-		
CMBW3	10,597290	14,289740	405	6/4/2013	184	28,8	6,5	21,6	2,1	21,1	2,0	2,5	5,3	112,2	2,2	-	-		
CMBW4	10,626080	14,305700	426	6/4/2013	294	31,0	6,8	37,3	7,4	23,5	4,6	2,2	2,2	206,2	2,6	-	-		
CMBW5	10,638560	14,303030	437	6/4/2013	547	31,7	7,0	34,5	40,4	40,6	0,4	2,2	9,5	388,0	10,8	-	-		
CMBW6	10,602080	14,310510	400	6/4/2013	1 290	30,6	6,8	147,8	46,4	94,6	19,9	120,3	86,6	350,1	260,2	-	-		
CMBW7	10,604790	14,325200	390	6/4/2013	1 964	29,6	6,4	189,2	126,3	101,0	14,3	170,9	117,6	479,5	538,1	-	-		
CMBW8	10,619250	14,338550	404	6/4/2013	545	29,5	7,4	47,6	33,1	51,7	1,4	4,7	5,2	369,7	29,4	-	-		
CMBW9	10,610700	14,326820	407	6/4/2013	2 400	30,9	6,9	109,8	79,2	214,3	0,7	218,9	75,3	385,5	562,3	-	-		
CMBW10	10,611210	14,326560	411	6/4/2013	2 060	29,8	6,8	104,2	67,1	201,6	1,5	239,0	85,0	180,6	478,4	-	-		
CMBW10'	10,610300	14,323290	410	6/4/2013	17	30,8	6,7	1,0	0,7	1,1	0,9	1,6	0,2	4,3	4,0	-	-		
CMBW11	10,745740	14,247180	451	7/4/2013	217	30,4	6,8	19,2	2,9	28,2	0,8	3,6	5,2	100,0	22,8	-	-		
CMBW12	11,049500	14,127450	471	7/4/2013	798	30,8	6,8	65,5	12,0	126,7	0,9	71,7	41,2	292,8	80,0	-	-		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE µS/cm	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
CMBW13	12,072830	15,040470	291	8/4/2013	184	31,6	6,6	21,7	6,2	8,0	2,2	3,0	1,3	109,6	3,0	-	-		
CMBW14	11,045930	14,213100	370	9/4/2013	278	30,1	6,6	35,3	8,1	14,1	12,7	4,4	3,3	195,2	2,2	-	-		
CMBW15	11,043490	14,237410	365	9/4/2013	535	29,8	7,2	40,5	10,7	73,7	0,9	5,3	3,6	361,1	37,8	-	-		
CMBW16	11,045500	14,293320	354	9/4/2013	293	28,3	6,9	34,0	8,8	20,8	1,0	2,0	1,7	211,1	0,8	-	-		
CMBW17	10,986720	14,367770	355	9/4/2013	286	29,5	7,0	40,1	9,4	19,7	6,9	1,6	2,1	201,3	4,4	-	-		
CMBW18	11,043270	14,428800	334	9/4/2013	138	29,3	6,2	14,4	3,4	6,6	5,8	3,1	1,1	80,5	1,9	-	-		
CMBW19	10,925530	14,582400	324	9/4/2013	135	30,6	7,0	15,8	2,1	13,7	1,9	0,6	1,1	87,8	0,2	-	-		
CMBW20	10,809840	14,636840	332	9/4/2013	338	31,1	6,7	38,5	6,3	31,8	3,6	1,7	1,3	235,5	5,5	-	-		
CMBW21	10,743850	14,618220	340	9/4/2013	149	31,1	6,4	18,5	0,1	18,4	1,7	3,1	4,0	83,0	8,9	-	-		
CMBW22	10,627270	14,774250	341	9/4/2013	552	30,5	6,8	75,0	5,6	15,2	2,0	6,4	2,9	292,9	0,8	-	-		
CMBW23	10,434330	14,795880	342	9/4/2013	547	30,4	6,6	40,1	10,7	25,9	4,3	1,7	10,7	203,8	7,5	-	-		
CMBW24	10,349110	15,234160	317	9/4/2013	300	28,0	6,6	28,9	3,8	13,4	33,8	15,6	11,2	115,9	24,4	-	-		
CMBW25	10,325810	15,218630	326	9/4/2013	147	29,8	5,9	16,8	1,3	7,4	8,0	2,8	6,1	71,0	1,8	-	-		
CMBW26	10,307990	15,204150	333	9/4/2013	268	30,2	6,1	17,3	3,2	22,8	10,8	9,2	1,1	19,5	101,5	-	-		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE µS/cm	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
CMBW27	10,253780	15,107400	335	9/4/2013	709	29,9	6,88	48,1	29,5	63,1	12,2	12,4	12	364	113,0	-	-		
CMBW28	10,275180	15,027820	336	9/4/2013	391	31,5	6,65	48,9	7,2	22,7	4,5	8,0	11	209	43,6	-	-		
CMBW29	10,185660	14,834370	333	9/4/2013	360	32,2	6,89	17,9	5,0	73,1	0,4	0,7	1	268	0,2	-	-		
CMBW30	10,109010	14,449910	370	9/4/2013	1 366	29,8	6,85	118,5	43,8	111,9	2,5	151,5	25	372	202,8	-	-		
CMDW01	6,681590	14,203200	1029	3/4/2013	177	26,0	6,74	19,9	6,4	5,9	4,9	1,5	1	112	0,09	-	-		
CMDW02	6,680000	14,201240	1008	3/4/2013	199	26,0	6,85	38,5	1,7	3,9	6,4	1,9	2	141	0,2	-	-		
CMDW03	10,540630	14,174340	448	6/4/2013	436	29,2	6,58	52,1	6,6	31,0	6,2	34,7	25	153	46,3	-	-		
CMDW04	10,521330	14,199930	440	6/4/2013	658	30,8	6,98	50,5	17,0	110,3	4,8	4,6	14	470	3,0	-	-		
CMDW05	10,594360	14,331480	409	6/4/2013	416	30,9	6,77	48,1	10,7	31,6	6,9	34,3	18	153	70,6	-	-		
CMDW06	10,529208	14,328990	409	6/4/2013	258	31,8	6,58	24,3	6,5	28,2	1,4	11,0	10	115	26,4	-	-		
CMDW07	10,619560	14,338070	412	6/4/2013	578	32,6	6,67	56,1	22,4	39,2	0,2	4,8	5	392	21,0	-	-		
CMDW08	10,603560	14,324840	393	6/4/2013	3 600	31,2	6,55	428,8	199,1	157,2	94,5	272,3	197	461	1 433,5	-	-		
CMDW09	10,601300	14,324130	408	6/4/2013	417	31,5	6,60	38,2	7,5	16,8	17,9	19,5	16	132	66,7	-	-		
CMDW10	10,574680	14,348320	397	6/4/2013	273	31,0	6,86	28,4	5,2	34,7	0,6	1,9	2	182	2,6	-	-		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE µS/cm	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
CMDW11	10,816610	14,255260	413	7/4/2013	469	32,0	6,60	17,6	4,9	70,8	2,6	8,4	3	244	0,7	-	-		
CMDW12	10,772850	14,272400	415	7/4/2013	215	30,6	5,86	8,0	2,0	34,8	2,7	13,4	12	105	0,09	-	-		
CMDW13	10,786400	14,299250	397	7/4/2013	85	32,0	6,26	5,0	0,8	10,6	3,2	3,0	1	46	2,76	-	-		
CMDW14	11,053320	14,122940	456	7/4/2013	518	34,6	6,89	38,2	9,9	30,2	4,3	24,0	10	165	46,65	-	-		
CMDW15	11,041360	14,117060	473	7/4/2013	327	34,6	6,86	28,1	9,2	45,3	5,8	4,3	5	221	2,65	-	-		
CMDW16	11,393670	14,560040	308	7/4/2013	152	33,2	6,27	7,7	2,5	19,7	5,5	2,3	13	65	1,28	-	-		
CMDW17	11,48542	14,672220	308	7/4/2013	584	32,8	6,46	6,4	2,6	132,1	6,0	21,6	32	318	1,12	-	-		
CMDW18	11,485420	14,673500	308	7/4/2013	855	32,0	6,94	10,8	4,0	210,9	5,3	30,8	43	489	9,93	-	-		
CMDW19	11,683710	14,648570	301	7/4/2013	492	32,5	6,94	32,7	10,8	40,2	6,0	5,8	6	249	0,42	-	-		
CMDW20	11,896060	14,627910	296	7/4/2013	449	31,4	6,90	61,3	8,7	43,0	8,0	5,0	6	311	0,09	-	-		
CMDW21	12,096110	15,015330	301	8/4/2013	128	32,8	6,76	15,2	3,3	9,1	2,2	1,9	2	80	0,09	-	-		
CMDW22	12,101080	15,018360	296	8/4/2013	121	30,5	6,22	8,5	2,7	12,3	1,9	1,1	1	69	0,09	-	-		
CMDW23	12,099080	15,022320	290	8/4/2013	158	30,4	6,29	16,9	5,4	12,8	3,4	4,2	3	98	0,15	-	-		
CMDW24	12,079850	15,033220	297	8/4/2013	133	29,6	7,05	15,3	2,7	4,5	1,8	0,4	0	81	0,44	-	-		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE µS/cm	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
CMDW25	12,072500	15,033640	301	8/4/2013	125	31,5	7,23	15,3	3,1	4,7	4,0	2,0	0	78	0,49	-	-		
CMDW26	12,080670	15,018660	289	8/4/2013	305	33,1	6,49	30,1	6,5	20,0	5,0	3,2	26	162	0,09	-	-		
CMDW27	12,177170	14,817310	299	8/4/2013	190	33,0	6,86	25,0	6,3	5,3	12,4	2,2	1	136	0,15	-	-		
CMDW28	12,181180	14,818290	301	8/4/2013	176	33,0	6,64	22,9	3,3	3,5	5,0	1,5	0	109	0,37	-	-		
CMDW29	12,178420	14,814540	298	8/4/2013	237	32,4	7,38	30,9	10,0	7,1	17,2	0,8	1	187	0,18	-	-		
CMDW30	10,045660	14,291280	343	9/4/2013	304	30,7	6,77	37,4	6,7	16,8	13,2	1,3	1	211	0,09	-	-		
CMDW31	11,009660	14,332050	351	9/4/2013	414	30,5	6,86	33,0	8,6	20,4	3,4	2,3	3	188	5,13	-	-		
CMDW32	11,024780	14,458000	324	9/4/2013	507	34,4	6,65	69,8	11,8	9,3	1,6	6,3	2	275	28,57	-	-		
CMDW33	10,974480	14,493290	326	9/4/2013	458	32,0	6,83	62,8	17,5	29,9	2,2	6,1	19	277	45,06	-	-		
CMDW34	10,966060	14,498750	333	9/4/2013	329	31,3	7,10	40,8	15,5	15,8	3,9	5,1	11	207	15,80	-	-		
CMDW35	10,874670	14,65645	320	9/4/2013	413	32,1	6,32	52,9	7,7	23,3	4,4	14,5	23	161	65,39	-	-		
CMDW36	10,843970	14,656450	336	9/4/2013	308	32,2	6,95	26,5	4,4	15,6	5,0	2,5	3	137	2,72	-	-		
CMDW37	10,744690	14,616090	340	9/4/2013	150	32,2	6,18	11,2	4,6	15,7	1,6	2,6	1	87	1,63	-	-		
CMDW38	10,738250	14,607380	336	9/4/2013	153	31,0	6,29	13,1	2,0	13,1	3,6	3,4	2	68	7,93	-	-		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE μS/cm	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
CMDW39	10,408700	14,857710	339	9/4/2013	418	30,7	7,18	45,2	5,0	44,1	3,4	7,3	7	223	61,97	-	-		
CMDW40	10,339900	15,228170	338	9/4/2013	359	29,7	6,03	20,8	7,0	56,7	4,2	23,3	4	120	106,02	-	-		
CMDW41	10,342080	15,231250	321	10/4/2013	466	28,8	6,52	47,5	12,8	36,1	10,3	29,8	1	177	91,47	-	-		
CMDW42	10,347870	15,235390	318	10/4/2013	210	30,4	6,49	23,3	4,9	22,4	5,4	5,1	1	139	0,09	-	-		
CMDW43	10,255330	15,107170	330	10/4/2013	396	30,8	6,55	50,5	11,4	19,2	6,8	1,6	5	275	8,51	-	-		
CMDW44	10,283960	14,925760	343	10/4/2013	410	31,5	6,73	30,9	7,0	15,3	4,9	0,8	5	177	0,09	-	-		
CMDW45	10,230250	14,863110	344	10/4/2013	516	32,4	6,64	67,7	15,1	37,5	5,4	4,1	2	357	2,87	-	-		
CMDW46	10,184560	14,836650	342	10/4/2013	525	30,8	6,83	57,0	14,2	32,3	3,8	1,4	6	354	1,08	-	-		
CMDW47	10,144170	14,795910	345	10/4/2013	507	32,3	6,68	30,5	12,9	21,2	2,3	7,1	3	189	7,95	-	-		
CMDW48	10,146500	14,756610	353	10/4/2013	649	32,6	6,75	53,6	21,4	36,2	1,2	4,0	5	375	9,13	-	-		
CMDW49	10,169460	14,530990	386	10/4/2013	620	32,1	6,98	58,2	19,3	60,8	4,3	4,5	22	451	3,04	-	-		
CMDW50	10,112650	14,444350	375	10/4/2013	1 781	31,9	6,59	193,8	60,5	126,6	3,9	157,6	21	360	646,15	-	-		
CMDW51	10,118390	14,440020	370	10/4/2013	804	31,8	6,86	59,2	29,4	66,5	4,3	16,2	18	471	23,58	-	-		
CMDW52	10,106490	14,453420	378	10/4/2013	513	33,8	6,79	73,0	9,4	51,6	2,5	3,4	13	311	51,07	-	-		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE μS/cm	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
CMSW1	7,406243	13,548995	1 069	3/4/2013	51	22,4	7,04	4,7	2,2	1,6	1,7	0,9	0	31	1,71	1,89	-7,8		
CMSW2	12,075523	15,039477	290	8/4/2013	72	30,4	7,75	6,2	2,6	4,1	2,7	1,2	0	45	0,76	0,17	-1,9		

Annexe 4 : Données relatives à la République centrafricaine produites dans le cadre du projet RAF/7/011 appuyé par l'AIEA

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
GONGUE_katanga4e Ar	6,472700	17,452580	456	31/7/2014	107	28,4	5,8	3,9	10,2	6,4	4,1	3,4	0,01	54,9	11,39	-4,10	-19,1		
BONDILI (Axe NANA BAKASSA 2e Ar)	6,509017	17,455900	470	1/8/2014	118	27,0	6,0	2,3	6,9	10,8	3,2	2,5	0,64	61,0	5,20	-4,10	-17,8		
Lycee Moderne 3e Ar)	6,495617	17,429420	491	1/8/2014	148	28,9	6,1	3,1	14,3	11,5	4,6	0,8	0,01	103,7	0,01	-4,10	-19,5		
BOFANGO (Axe Bouca pK10)	6,463967	17,527470	500	1/8/2014	196	28,6	6,2	4,3	16,6	12,9	6,0	2,0	0,01	97,6	6,08	-4,40	-17,8		
SODECA (Bossangoa)	6,498300	17,424620	504	1/8/2014	179	27,6	6,2	6,0	13,9	11,3	2,6	1,9	0,01	97,6	5,57	-4,20	-20,6		
BODIKI (Axe UA- Bac)	6,444450	17,251480	520	2/8/2014	361	28,3	6,9	9,1	43,1	16,5	6,4	1,8	1,94	213,6	0,01	-3,70	-21,0		
BODIKI (Axe UA- Bac)	6,452650	17,361350	492	2/8/2014	277	28,0	6,6	5,9	33,6	14,1	3,8	0,4	1,00	164,7	0,01	-3,90	-20,1		
Bolhome I	7,210317	18,325430	445	8/11/2014	371	21,2	8,0	19,4	31,6	15,9	3,1	0,6	1,52	237,8	0,01	-4,10	-21,3		
Boyo	7,222817	18,319280	444	9/11/2014	179	22,4	6,3	7,9	15,7	7,1	0,9	0,5	0,01	109,8	1,18	-3,40	-18,9		
Boyo	7,216767	18,324020	444	9/11/2014	216	20,6	6,3	10,2	17,0	12,2	2,1	0,4	0,01	140,3	0,01	-4,10	-23,0		
Bolhome II	7,304950	18,282880	430	11/11/2014	159	28,4	5,9	3,0	9,9	13,0	3,4	4,5	0,76	67,1	10,48	-4,60	-20,7		
Sous-Préfecture	7,304350	18,269180	400	11/11/2014	95	29,4	5,7	1,2	6,2	8,9	2,5	1,0	0,01	54,5	0,54	-4,30	-20,4		
Nago 1	7,303056	18,289056	430	11/11/2014	126	29,3	5,8	3,8	9,3	8,6	1,6	0,4	0,01	79,3	0,01	-4,10	-20,5		
Arabe	7,310700	18,298950	418	11/11/2014	114	29,8	5,8	3,8	7,3	10,8	2,7	1,0	0,01	67,1	2,05	-4,00	-20,6		
Bercaïl	7,309367	18,300130	429	11/11/2014	94	29,9	5,4	1,1	5,9	4,9	0,9	0,7	0,01	18,3	16,86	-4,40	-18,7		
ECAC	7,298567	18,286720	442	11/11/2014	93	29,7	6,0	2,2	6,4	8,9	2,1	0,5	0,01	61,0	0,01	-4,50	-20,3		
Ecole BASSA	7,297883	18,287830	443	11/11/2014	92	29,2	6,0	1,5	5,6	9,7	3,0	0,01	0,01	57,0	0,01	-4,30	-21,7		
Gbakaya	6,880517	18,305220	471	14/11/2014	216	21,2	6,7	3,8	11,2	19,1	2,0	13,1	23,51	58,0	5,34	-3,90	-17,0		
Lenga-Ketté	6,413617	17,434920	516	16/11/2014	214	21,4	6,4	9,0	15,0	14,7	2,8	1,3	0,01	134,2	0,01	-4,10	-18,4		
Koudjou	6,305333	17,449050	527	16/11/2014	131	21,7	6,0	4,7	9,9	8,1	2,8	1,8	0,01	73,2	5,61	-3,80	-16,2		
KANA	6,258950	17,443180	510	16/11/2014	138	21,5	6,1	6,0	10,9	6,7	2,2	0,4	0,01	85,4	3,39	-4,00	-18,0		
GBEKEKOTA	6,193783	17,442330	535	16/11/2014	149	21,4	5,9	6,0	13,1	5,3	0,6	4,3	0,01	54,9	22,62	-3,80	-17,6		
GBAKABA	6,152817	17,438450	556	16/11/2014	134	22,4	6,1	4,3	11,8	9,8	2,8	0,5	0,01	85,4	0,01	-3,90	-18,3		
NDOWKETTE	6,125983	17,435270	600	16/11/2014	134	22,7	6,1	3,9	10,0	10,4	2,9	1,2	1,01	79,3	6,86	-3,80	-16,7		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE $\mu\text{S/cm}$	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (%)	2H (%)	3H (UT)	\pm
GONGUE_katanga4e Ar	6,472700	17,452580	456	18/4/2015	123	28,6	6,1	11,0	4,3	7,0	2,8	3,2	0,20	61,0	13,91	-4,20	-18,9	3,0	0,3
BONDILI (Axe NANA BAKASSA 2e Ar)	6,509017	17,455900	470	18/4/2015	108	28,8	6,2	7,3	2,3	10,5	2,9	1,4	0,46	64,6	4,43	-4,20	-19,8	3,9	0,3
Lycee Moderne 3e Ar)	6,495617	17,429420	491	18/4/2015	158	29,4	6,3	16,5	3,1	13,1	4,4	0,6	0,21	109,8	0,13	-4,20	-20,3		
BOFANGO (Axe Bouca pK10)	6,463967	17,527470	500	18/4/2015	180	27,3	6,5	16,9	4,2	11,6	4,6	0,7	0,24	111,1	3,57	-4,10	-19,3	3,5	0,3
SODECA (Bossangoa)	6,498300	17,424620	504	18/4/2015				13,8	5,7	10,4	2,5	2,5	0,40	88,4	5,53	-4,00	-19,1	2,1	0,3
BODIKI (Axe UA- Bac)	6,444450	17,251480	520	18/4/2015	360	28,8	7,1	42,4	8,2	16,4	4,2	1,5	0,01	231,8	0,01	-3,60	-21,2		
BODIKI (Axe UA- Bac)	6,452650	17,361350	492	18/4/2015	269	28,6	6,8	32,4	4,8	12,4	3,1	1,9	0,91	146,4	0,01	-3,50	-21,4		
Sous-Préfecture	7,305000	18,286611	427	16/4/2015	86	30,0	6,0	6,4	1,1	8,0	3,0	1,1	0,31	51,4	1,19	-4,00	-21,6		
Nago 1	7,303056	18,289056	430	16/4/2015	124	29,5	6,3	9,8	3,9	8,0	1,6	0,0	0,24	77,7	0,27	-3,90	-21,1		
Arabe	7,307722	18,293500	421	16/4/2015	113	29,2	6,3	7,3	3,1	10,2	2,7	0,7	0,21	70,1	1,93	-3,70	-20,2	1,8	0,3
Bercail	7,309367	18,300130	429	16/4/2015	73	31,5	6,0	8,7	0,7	6,0	2,0	0,8	0,37	43,4	7,91	-4,10	-21,1		
ECAC	7,294833	18,285333	427	16/4/2015	91	29,2	6,7	6,8	2,2	8,8	2,2	0,3	0,19	59,3	1,18	-4,40	-22,4		
Ecole BAGGA	7,293667	18,288056	435	16/4/2015	236	29,1	6,9	23,5	10,6	7,4	1,6	2,4	0,48	146,4	1,22	-3,90	-19,1		
Boyo	7,222817	18,319280	444	16/4/2015	36	28,4	5,7	3,8	1,7	2,8	1,8	1,0	0,72	29,3	0,43	-4,00	-19,6		
Boyo	7,220611	18,319000	442	16/4/2015	185	29,0	6,5	16,8	8,2	7,5	2,1	1,3	0,53	109,8	0,73	-4,30	-21,2		
Bolhome II	7,218333	18,322111	445	16/4/2015	219	29,3	6,5	17,9	10,3	12,3	3,2	0,9	0,36	136,6	0,10	-4,50	-23,0		
Bolhome I	7,210317	18,325430	445	16/4/2015	381	27,2	7,0	30,9	19,3	18,2	4,8	2,0	1,22	244,0	0,71	-5,10	-28,0	1,4	0,3
Gbakaya	6,880517	18,305220	471	17/4/2015	601	27,2	7,4	26,7	3,5	88,1	4,0	25,1	86,72	167,1	0,47	-4,10	-19,5		
Lenga-Ketté	6,413617	17,434920	516	19/4/2014	202	27,4	6,7	15,8	9,1	16,2	3,2	1,8	0,47	137,3	0,18	-3,80	-18,3	3,1	0,3
Koudjou	6,305333	17,449050	527	19/4/2014	145	27,9	6,4	12,4	4,8	9,4	4,8	1,9	1,15	91,5	2,35	-4,00	-18,6	3,1	0,3
KANA	6,258950	17,443180	510	19/4/2014	137	27,5	6,4	11,3	6,0	6,7	2,5	0,3	0,34	88,4	1,19	-3,90	-19,0	3,0	0,3
GBEKOKOTA	6,193783	17,442330	535	19/4/2014	135	27,7	6,5	11,8	4,0	9,4	2,5	0,4	0,24	88,4	0,01	-3,70	-17,9		
GBAKABA	6,152817	17,438450	556	19/4/2014	238	28,1	6,8	32,1	2,1	7,8	3,7	0,3	1,91	134,2	0,27	-3,70	-17,3	2,5	0,3
NDOWKETTE	6,125983	17,435270	600	19/4/2014	140	29,2	6,5	11,5	4,3	10,9	4,0	1,8	0,79	85,4	1,86	-3,80	-19,6		
Centre 1 3e Ar)	6,491000	17,439970	480	1/8/2014	81	28,6	5,5	2,3	5,5	4,9	4,8	3,5	1,31	36,6	7,98	-3,30	-13,0		

GESTION INTEGREE ET DURABLE DES SYSTEMES AQUIFERES ET DES BASSINS PARTAGES DE LA REGION DU SAHEL

Nom du site d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude	Date d'échantillonnage	CE μS/cm	T (°C)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	18O (‰)	2H (‰)	3H (UT)	±
BODIKI (Axe UA- Bac)	6,489150	17,121850	546	2/8/2014	176	28,2	6,6	4,3	19,0	3,9	6,6	3,7	0,98	61,0	29,34	-3,90	-18,8		
Bac	7,223233	18,319370	439	9/11/2014	29	20,7	6,2	0,6	2,6	2,2	0,5	0,6	0,01	12,2	3,93	-4,40	-18,0		
Cité aérodrome	7,308556	18,302333	427	11/11/2014	50	29,2	5,7	0,6	6,0	2,1	1,2	0,5	0,79	28,2	0,69	-4,20	-19,5		
BODIKI (Axe UA- Bac)	6,489150	17,121850	546	18/4/2015	138	27,7	6,7	14,0	3,5	4,1	5,7	2,8	0,79	56,4	25,20	-4,20	-20,0		
Bac	7,306278	18,275056	403	16/4/2015	67	29,2	7,3	5,8	2,5	3,6	4,0	1,5	0,01	41,2	0,25	0,20	-1,0		
Cité aérodrome	7,308556	18,302333	427	16/4/2015	22	29,7	5,1	0,8	0,3	3,0	2,0	0,4	0,31	15,2	0,17	-3,60	-20,4	3,1	0,3
GBABORO (KAMO Axe UA- Bac)	6,437067	17,240430	506	2/8/2014	41	26,9	5,6	1,1	3,0	3,2	1,5	0,9	0,01	28,0	0,01	-3,40	-17,2		
GBABORO (KAMO Axe UA- Bac)	6,437067	17,240430	506	18/4/2015	48	27,7	6,1	4,4	1,3	4,1	2,4	1,7	0,77	33,4	0,19	-3,00	-17,7		