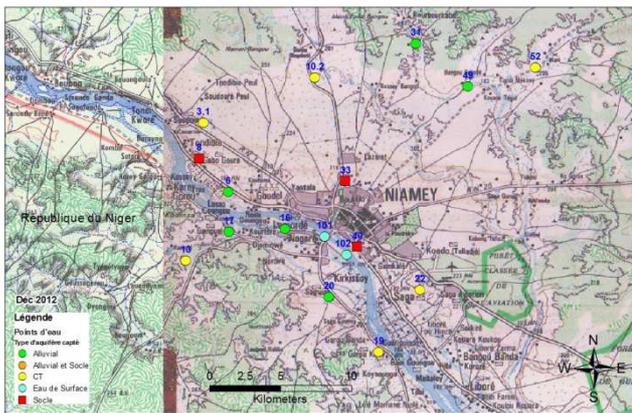


Projet AGES – Appui à l’Autorité du Bassin du
Fleuve Niger pour la Gestion des Eaux
Souterraines

Campagne de mesure des eaux souterraines dans la région de Niamey, Niger

4^{ème} trimestre 2012

03 – 07 / 12 / 2012



Niamey, Niger, novembre 2013



Autorité du Bassin du Fleuve Niger (ABN)

Au nom de :

BGR Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe


coopération
allemande
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Auteur: Sven Menge

Commissionné par: Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, BMZ)

Projet: Appui à l'ABN pour la Gestion des Eaux Souterraines (AGES)

BMZ-N°: 2009.2470.4

BGR-N°: 05-2346

BGR-Archive N°:

Date: Novembre 2013

Table des matières

Table des matières	1
Annexes	1
Liste des Figures	2
Liste d'Abréviations	3
1. Justification et Objectifs	4
2. Situation hydrogéologique	5
3. Méthodologie	6
3.1. Inventaire des points d'eau.....	6
3.2. Campagne de mesure sur des eaux souterraines	6
4. Résultats	10
4.1. Niveau statique	10
4.2. Paramètres physico-chimiques	11
4.2.1 pH	11
4.2.2 Conductivité	12
4.2.4 Milieu hydrochimique.....	12
4.2.5 Manganèse	15
4.2.10 Nitrate.....	16
4.2.11 Nitrite.....	19
4.2.12 Arsénique	20
4.3. Paramètres biologiques.....	20
4.3.1 Coliformes totaux	20
4.3.2 Escherichia coli (E. coli)	21
4.3.3 Entérocoques.....	22
4.4. Isotopie	24
4.4.1 Isotopes d'hydrogène.....	24
4.4.2 Isotopes d'oxygène	25
5. Résumé	28
6. Recommandations	30
7. Références	31

Annexes

Annexe 1 : Directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines

Annexe 2 : Liste de participants

Annexe 3 : Résultats des analyses

Liste des Figures

Figure 1 : Carte de la zone pilote avec des points d'eau sélectionnés.....	7
Figure 2 : Carte piézométrique pour le Continental Terminal (CT).....	10
Figure 3 : Carte montrant la distribution de pH	11
Figure 4 : Carte montrant la distribution des conductivités.....	12
Figure 5 : Diagramme Piper pour la représentation de la qualité des eaux (BGR, 2012)	13
Figure 6 : Diagrammes Piper. Chaque diagramme représente un aquifère (de plus, l'eau de surface à gauche en haut). Les valeurs de nitrate ont été écartées car ils sont originaires d'une pollution humaine.....	14
Figure 7 : Carte montrant la distribution des concentrations de nitrate	17
Figure 8 : Carte montrant la distribution des concentrations de nitrite.....	20
Figure 9 : Carte montrant la distribution des teneurs des coliformes totaux.....	21
Figure 10 : Carte montrant la distribution des teneurs d' E. coli.....	22
Figure 11 : Carte montrant la distribution des teneurs des entérocoques	23
Figure 12 : Diagramme $\delta^2\text{H}$ (axe y) vs $\delta^{18}\text{O}$ (axe x).....	26

Liste d'Abbreviations

AAL	Aquifère alluvial
ABN	Autorité du Bassin du Fleuve Niger
ACT	Aquifère Continental Terminal
AEP	Approvisionnement d'Eau Potable
AGES	Appui à l'ABN pour la Gestion des Eaux Souterraines
ASO	Aquifère Socle
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
CFU	Colony Forming Units
CT	Continental Terminal
DRH	Direction Régionale Hydraulique
DT	Direction Technique
DTW	Deutsche Trinkwasserverordnung (=Règlement allemand d'eau potable)
FE	Forage équipé
GPS	Global Positioning System
MHE	Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PMH	Pompe à Motricité Humaine
PO	Puits ouvert
PVC	Polychlorure de vinyle
SFN	Structure Focale Nationale
UE	Union Européenne
US EPA	United States Environmental Protection Agency

1. Justification et Objectifs

La région de Niamey a été choisie comme une zone pilote pour la formation et pour un suivi des eaux souterraines par le projet AGES qui est un projet entre les partenaires, l'Autorité du Bassin du Fleuve Niger (ABN) et l'Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles de l'Allemagne (BGR). Les activités du Projet AGES dans la région de Niamey sont :

- 1) Formation du personnel de l'ABN dans le suivi des eaux souterraines
- 2) Développer les outils pour le suivi des eaux souterraines au niveau du Secrétariat Exécutive de l'ABN
- 3) Améliorer la connaissance en référence des différentes aquifères à Niamey et leur échange éventuel avec les eaux de surface
- 4) Créer une base des données comme appui à une postérieure modélisation de l'écoulement des eaux souterraines par aquifères
- 5) Identifier des problèmes relatifs aux eaux souterraines quant à leurs utilisations par la population
- 6) Améliorer la connaissance des aquifères pour arriver au développement des mesures d'amélioration de la gestion des eaux souterraines par les institutions chargées

Afin de mieux comprendre les aquifères de la région de Niamey et leurs problèmes (p. ex. pollution) et leur relation avec les eaux de surface du fleuve Niger, le projet AGES, en coopération avec la Structure Focale Nationale (SFN) nigérienne de l'ABN, a effectué d'abord un inventaire des puits et forages de Niamey et ses alentours. Puis un suivi piézométrique et hydrochimique des eaux souterraines en utilisant un certain nombre des points d'eau pertinents a été démarré. Ce suivi comporte une campagne de mesure par trimestre.

Ce rapport concerne la campagne de mesure N°1, effectuée en décembre 2012.

2. Situation hydrogéologique

Dans la région de Niamey, trois aquifères distincts sont touchés par les crépines des puits et des forages de notre inventaire. Il s'agit de l'aquifère Socle, l'aquifère Continental Terminal et l'aquifère alluvial.

Aquifère Socle (ASO)

Il s'agit d'un aquifère discontinu situé dans le socle précambrien connu comme « Meta-Liptako ». En ce qui concerne la lithologie, il est composé des roches plutoniques (granites, granulites) et métamorphiques (génisses, quartzites, schistes verts) dans des états différents d'altération. L'eau souterraine écoule le long des fissures et fractures, qui généralement ne sont pas interconnectées. Il s'agit pourtant d'un écoulement localisé. L'aquifère socle est le plus profond parmi les trois aquifères considérés.

Aquifère Continental Terminal (ACT)

C'est un aquifère continu qui se trouve dans des grès mésozoïques et cénozoïques d'une vaste formation connus comme « Continental Terminal » (CT). En ce qui concerne la lithologie, il est composé de grès compacté sédimenté à partir du Crétacé supérieur jusqu'au présent. Ce grès forme le vaste bassin régional de l'lullemmeden, situé à l'est et nord-est de Niamey. En général le CT consiste en plusieurs couches, soit plusieurs aquifères. Cependant, Niamey est situé au bord extrême sud-ouest du bassin de l'lullemmeden où le CT affleure et ne porte qu'une couche, c'est-à-dire un aquifère « ACT ». Le grès est de nature poreuse.

Aquifère alluvial (AAL)

Il s'agit d'un aquifère continu formé par les alluvions du fleuve Niger d'un âge quaternaire. Du point de vue de la lithologie, il est composé de sable peu compacté. Cet aquifère de nature poreuse est limité à la plaine alluviale et la vallée du fleuve Niger. Un autre aquifère alluvial très restreint se trouve le long d'un oued vers le nord-est de Niamey. Ces aquifères alluviaux sont les moins profonds parmi les trois aquifères considérés.

3. Méthodologie

3.1. Inventaire des points d'eau

Pendant la période 05 – 26 juillet 2012 le projet AGES, en coopération avec la SFN nigérienne, a effectué un inventaire des 56 points d'eau incluant puits traditionnels et forages équipés dans la région de Niamey. Les points d'eau ont été sélectionnés selon leur aptitude de servir comme piézomètre (aquifère capté, localisation, état général, etc.).

En total un nombre de 15 points d'eau pertinents (voir figure 1), repartis sur les trois aquifères de la région de Niamey, ont été choisis pour le suivi de la nappe et la composition chimique comme suit :

- AAL : 6
- ACT : 6
- ASO : 3

3.2. Campagne de mesure sur des eaux souterraines

Du 03 au 07 décembre 2012 le projet AGES, en coopération avec la SFN nigérienne, a effectué une campagne de mesure du niveau statique ainsi qu'un échantillonnage des 15 points d'eau souterraine choisis dans la zone de Niamey (voir figure 1). Des échantillons du fleuve Niger en deux (2) endroits ont été ajoutés (voir photo 3). De plus, un échantillon d'eau du robinet dans un bâtiment publique (la Direction Technique de l'ABN) a été pris pour sa qualité quant aux analyses bactériologiques. Le but de l'échantillonnage est l'analyse chimique et la bactériologie.

L'exécution des échantillonnages est décrite en détail dans l'annexe 1. La liste de participants dans la campagne de terrain est présentée dans l'annexe 2. Les résultats des analyses chimiques se trouvent dans l'annexe 3.

Les analyses chimiques ont été effectuées par le laboratoire du BGR à Hanovre, Allemagne et englobent les anions/cations totaux ainsi que les métaux lourds. Les paramètres in situ (température, pH, conductivité) ont été mesurés avec le multimètre « Multi 340 i » fabriqué par WTW. Les paramètres apparents (odeur, couleur, turbidité) ont été aussi notés.

Quant au teneur bactériologique, les échantillons ont été analysés au bureau d'AGES à la Direction Technique (DT) de l'ABN à Niamey. La présence des bactéries indicatives de fécaux (Coliformes totaux, Escherichia coli, Entérocoques) a été mesurée avec le système IDEXX Quanti-Tray/2000 de l'entreprise américaine IDEXX Laboratories.

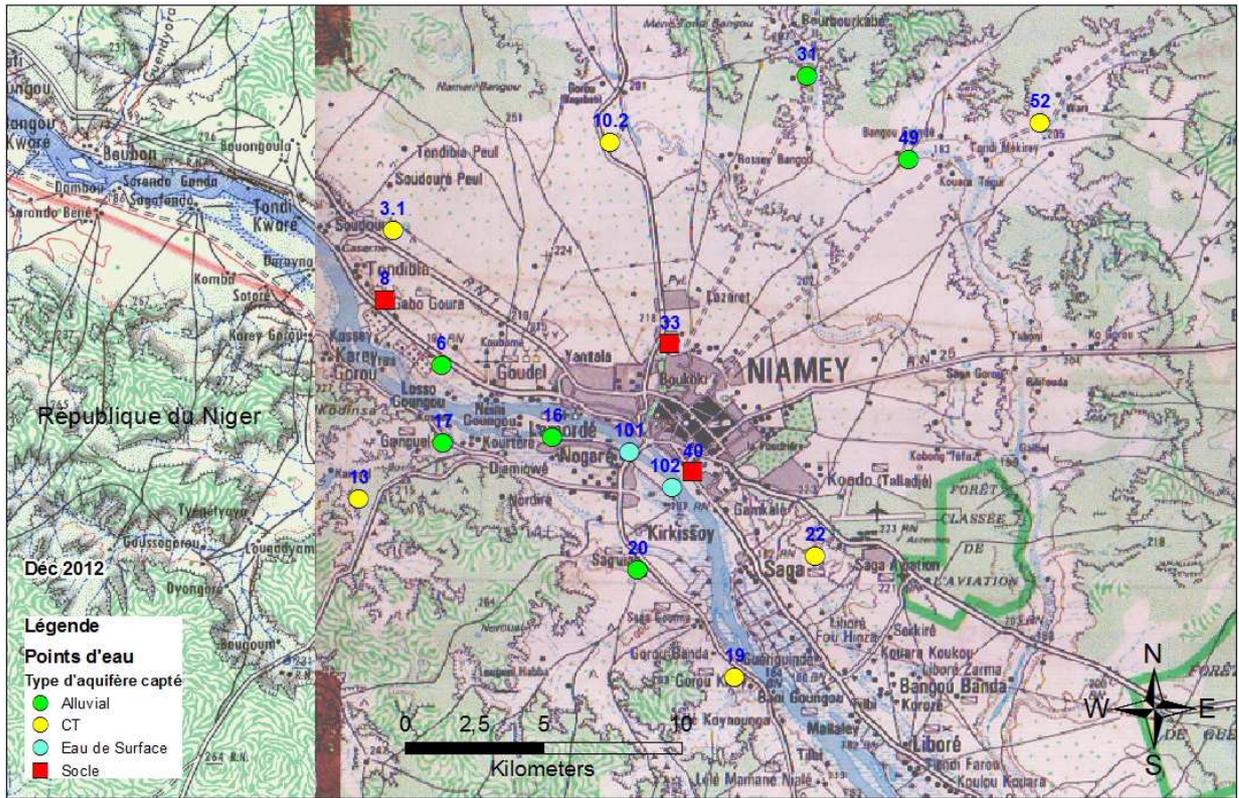


Figure 1 : Carte de la zone pilote avec des points d'eau sélectionnés.



Photo 1 : Prélèvement d'eau souterraine d'un puits ouvert (N°16) avec un seau (quartier « Lamordé »)

Les points d'eau qui captent les aquifères alluvial et CT sont de puits ouverts (PO) (voir photo 1). Les PO ont un diamètre de 1,40 m ou 1,80 m et atteignent des profondeurs modérées (< 10 m). Ils ont été creusés de manière traditionnelle en utilisant une houe, une pelle et des seaux. Les murs sont protégées avec un cuvelage de béton (ou une colonne des bagues en béton) pour stabiliser le puits. Parfois le puits est couvert par un couvercle en béton pour le protéger des objets qui tombent, mais le plus souvent les couvertures sont glissées pour faciliter l'accès à l'eau comme dans le cas de la photo 1. Presque tous les PO n'ont pas de pompe et l'eau est prélevée par des seaux ou des bidons attachés à une corde. L'âge des PO considérés est inconnu, mais on peut estimer qu'ils ont été creusés avant les années 1980.



Photo 2 : Prélèvement d'eau souterraine d'un forage équipé (N°33) avec une pompe de motricité humaine (quartier « Kouara Mé »)

Les points d'eau qui captent l'aquifère socle sont des forages équipés (FE) (voir photo 2). Les FE ont un diamètre de 110 mm et sont fermés avec une chape. Intégrée dans la chape est une pompe à suction à motricité humaine (PMH), souvent du model « India ». Le matériel de tube est PVC. Les FE atteignent des profondeurs plus profondes (> 10 m – 80 m). Les FE ont été forés dans les années 1980 de manière mécanique moderne avec la méthode de rotation propulsée par un moteur de camion (le camion porte aussi le tour de forage).



Photo 3 : Prélèvement d'eau de surface (fleuve Niger) avec un seau à corde du Pont Kennedy

4. Résultats

4.1. Niveau statique

Le niveau statique n'a été mesuré que dans les puits ouverts car l'introduction de la sonde dans les forages équipés n'était pas possible. Prenant en compte les altitudes des margelles des puits mesurées par GPS différentiel pendant des campagnes de nivellement autrefois exécutées, le niveau statique en mètres sur le niveau normal de la mer a été calculé. Les cartes de niveaux piézométriques obtenues se présentent pour le CT (voir figure 2) et l'aquifère alluvial (voir figure 3). Il n'est pas possible d'effectuer la carte piézométrique pour le socle parce que les données sont insuffisantes.

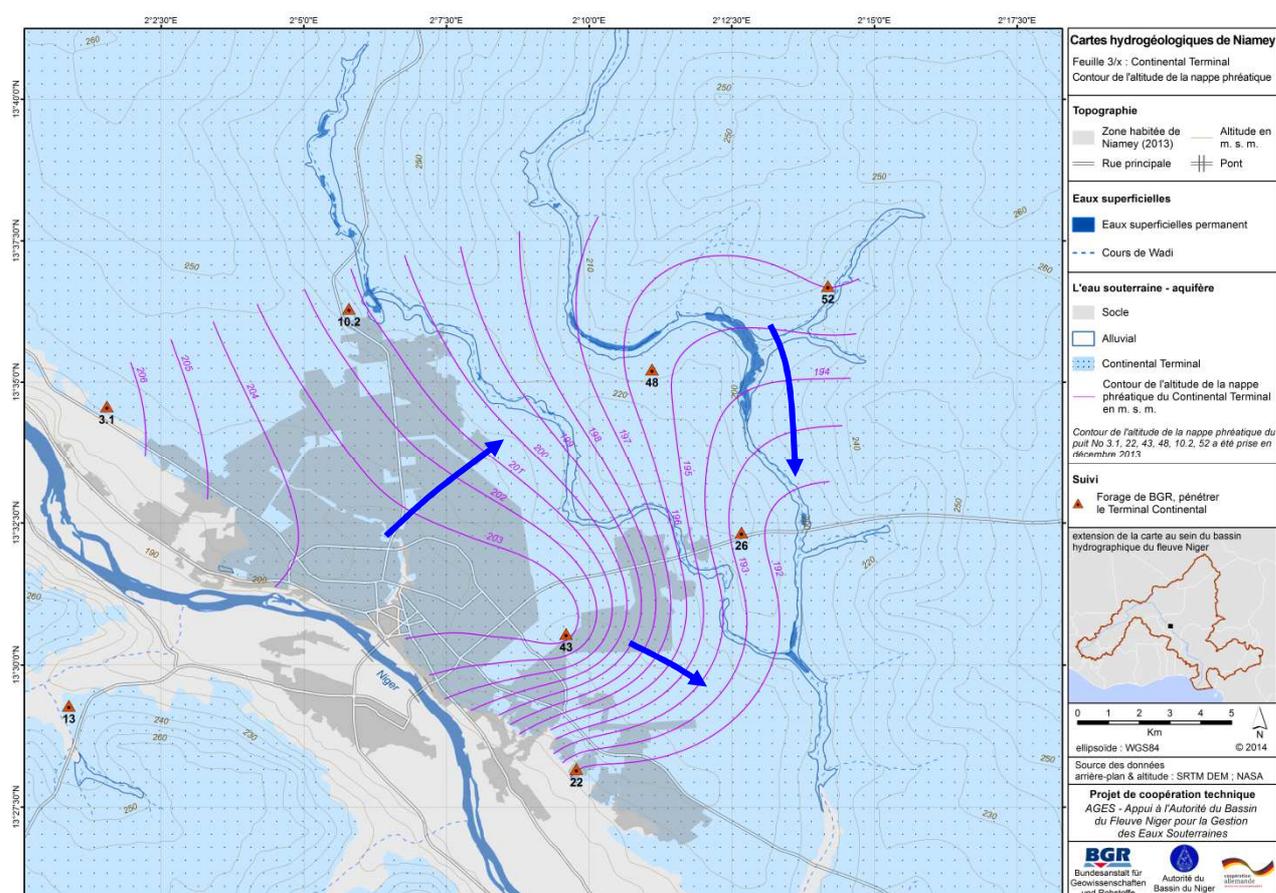


Figure 2 : Carte piézométrique pour le Continental Terminal (CT)

La surface piézométrique dans le CT varie entre 192 m et 206 m sur le niveau normal de la mer (voir Figure 2). Les courbes iso-piezométriques sont très éloignées sous la ville de Niamey et indiquent une recharge du CT causée par la ville. Dans cette partie de l'aquifère la direction d'écoulement des eaux souterraines est en direction est – sud est, plus au moins parallèle au sens d'écoulement du fleuve Niger. Au nord de la ville, l'écoulement est plutôt sud-sud est (voir figure 2 – les flèches marquent la direction d'écoulement).

4.2.2 Conductivité

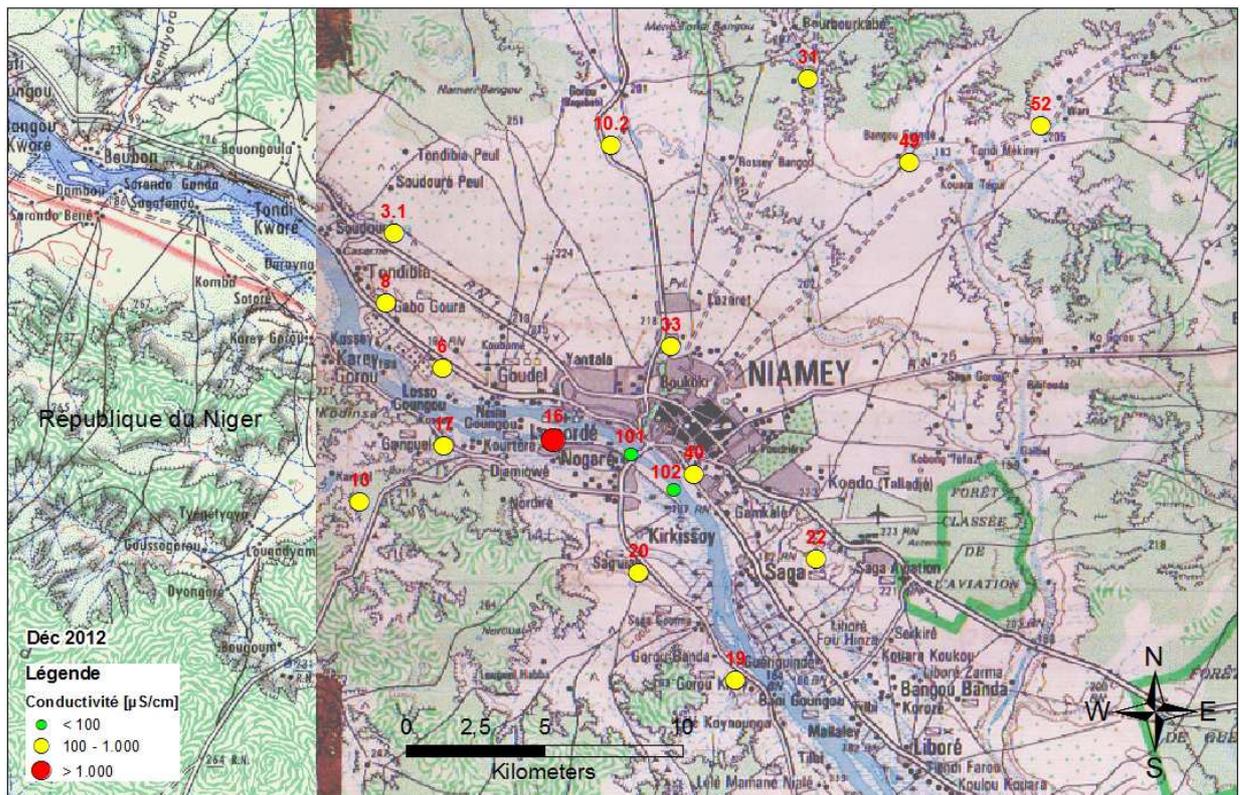


Figure 4 : Carte montrant la distribution des conductivités

La conductivité (Figure 4) indique la minéralisation de l'eau. Les valeurs mesurées varient entre 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'eau de surface du fleuve Niger et 1.145 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans un puits ouvert (N° 16, voir photo 1) dans l'aquifère alluvial. La plupart des valeurs, notamment dans le CT, oscillent entre 100 et 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et indiquent une minéralisation faible.

On peut observer une faible distinction entre les aquifères par rapport à la conductivité. Le socle présente une conductivité entre 500 et 723 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et l'aquifère alluvial a des valeurs entre 250 et 1.145 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le CT montre des valeurs entre 105 et 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux de surface ont, avec 45 et 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$, les valeurs les plus basses de la campagne.

Apparemment le CT et le socle ont une hydrochimie différente. Les valeurs de l'aquifère alluvial oscillent trop fortement pour faire une déclaration substantielle. Il semble qu'une grande partie des eaux du fleuve Niger à Niamey sont originaire de la précipitation directe à l'amont.

L'OMS n'indique pas de valeur maximale de la conductivité par rapport à la santé humaine.

4.2.4 Milieu hydrochimique

On peut répartir les eaux échantillonnées selon leur composition hydrochimique dans des types différents. Chaque type reflète une phase le long d'une ligne d'écoulement de l'eau souterraine de la zone de recharge à la zone de décharge. La composition de chaque eau dépend de la vitesse d'écoulement et la composition de l'aquifère. La minéralisation des

eaux souterraines augmente avec le temps de séjour dans l'aquifère si le milieu contient des matériaux réactifs (BGR, 2012).

L'eau souffre d'un échange d'anions et cations selon leur abondance dans le sous-sol. Ca et Mg seront échangés par Na; HCO_3 par SO_4 et/ou Cl, bien que l'échange d'anions soit plutôt rare (BGR, 2012).

« Le diagramme Piper est un bon moyen de présenter les compositions chimiques différentes des eaux. La composition chimique de l'eau le long d'une voie d'écoulement, de la zone de recharge au point de décharge, est décrite principalement par quatre zones dans le diagramme (Figure 5).

- Tenant en compte que l'eau de pluie dans la région a une composition bicarbonaté calcique, si le résultat se situe dans le secteur défini comme « bicarbonaté calcique », l'eau souterraine correspond à une zone près de la zone de recharge.
- Le secteur « carbonaté sodique » est défini par des eaux qu'ont déjà parcouru une certaine distance dans l'aquifère. Le calcium a été remplacé par le sodium. Ces eaux présentent une minéralisation plus élevée.
- Le secteur « chloruré sodique et potassique » (ou « sulfaté sodique ») montre des eaux très minéralisées. Elles se trouvent loin de la zone de recharge et ont parcouru une longue distance dans l'aquifère. Dans ce processus, le bicarbonate a été remplacé par le sulfate et l'eau s'est enrichie en chlorure.
- Les eaux du type « chloruré et sulfaté calcique et magnésien » sont soit affectés par l'évaporation, stagnantes ou emmagasinées dans des sédiments contenant du gypse.

Les flèches dans la figure montrent la direction de minéralisation, du bleu au rouge, ou du bicarbonaté-calcique au chloruré sodique à travers carbonaté sodique (BGR, 2012). »

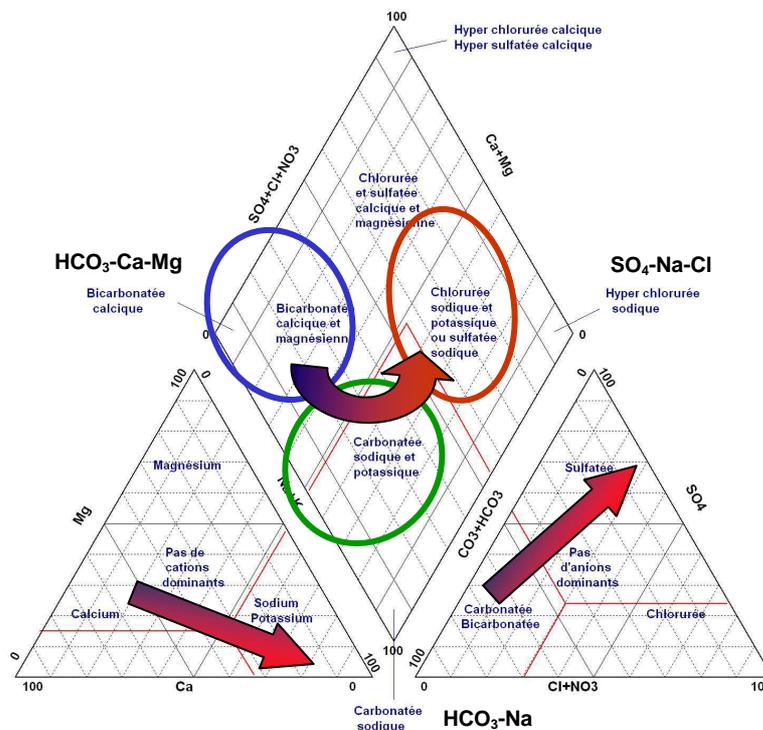


Figure 5 : Diagramme Piper pour la représentation de la qualité des eaux (BGR, 2012)

Pour mieux comprendre les relations entre les aquifères et/ou entre l'eau de surface et les aquifères, les résultats sont représentés dans des diagrammes de Piper selon leur appartenance à chaque aquifère (Figure 6).

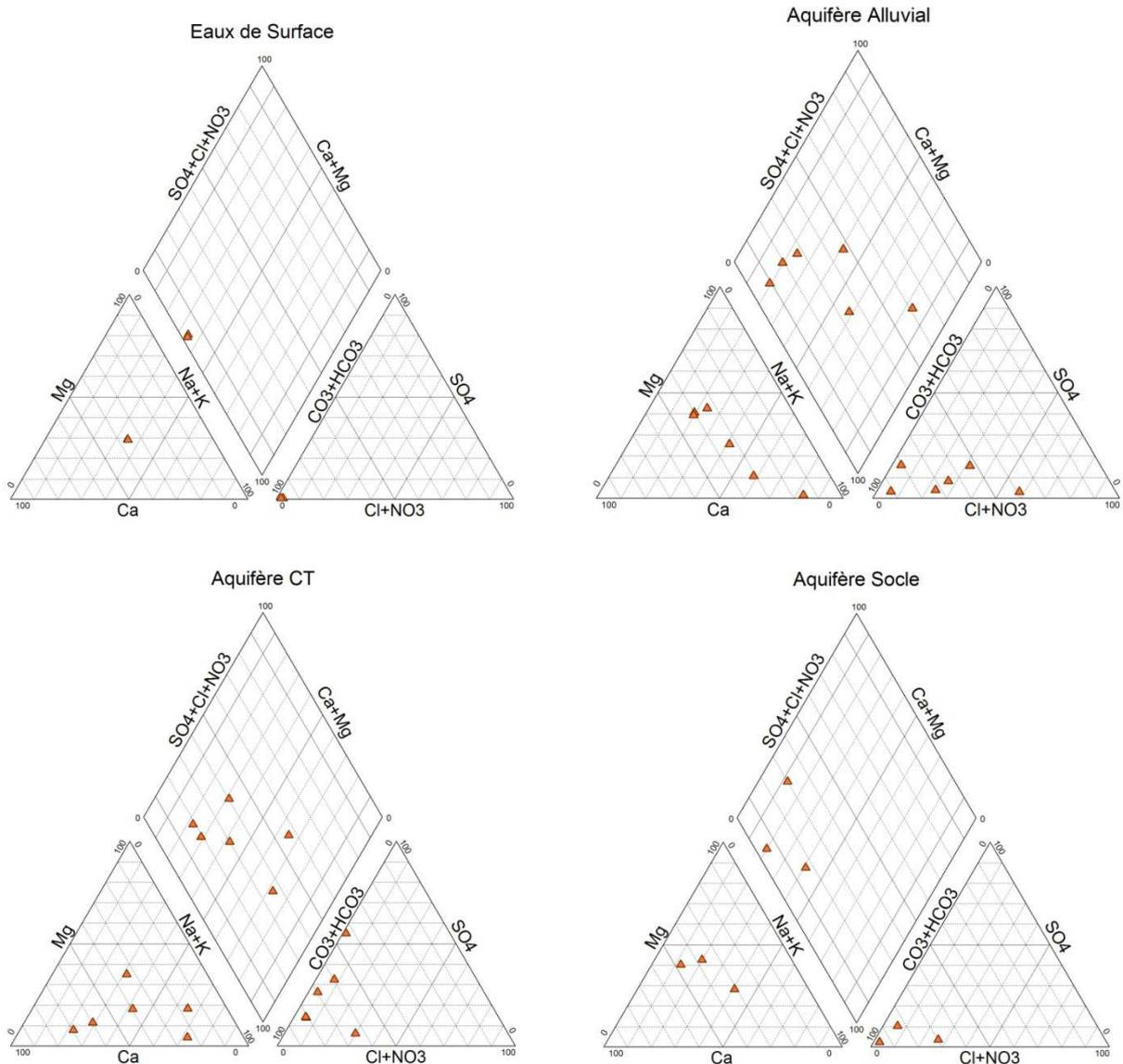


Figure 6 : Diagrammes Piper. Chaque diagramme représente un aquifère (de plus, l'eau de surface à gauche en haut). Les valeurs de nitrate ont été écartées car ils sont originaires d'une pollution humaine.

À cause d'une contamination significative des eaux souterraines à quelques endroits de Niamey (voir chapitre 4.2.10 et 4.2.11) avec nitrate, et aussi, subordonné, avec nitrite venant des activités humaines, leurs valeurs ont été écartées dans les diagrammes Piper montrés.

Eaux de Surface :

Tous les points tombent dans la zone « bicarbonatée calcique ». Les eaux de surface sont un produit direct de la précipitation et/ou d'un réservoir d'eau de surface (fleuve, lac, marais) en amont.

Aquifère alluvial :

La plupart des points se trouvent dans la zone « bicarbonatée calcique ». Un point (N°31) se trouve dans la zone « carbonatée sodique » et un point (N°16) même dans la zone « chloruré sodique et potassique » (ou « sulfaté sodique »), qui indique un long passage dans le sous-sol.

Les eaux indiquées comme bicarbonatées calciques pourraient être le résultat d'une recharge directe du fleuve Niger ou de la précipitation. Pourtant, cette thèse devrait être confirmée ou écartée dans les prochaines campagnes de mesure.

Pour le point dans la zone « chloruré sodique et potassique », il n'y a pas une explication pour le moment. Apparemment il y aurait une interaction avec un des aquifères plus profonds. Tout de même, le N° 16 (un puits ouvert, voir photo 1) est aussi le point d'eau avec la minéralisation plus forte de la campagne (voir chapitre 4.2.2).

Aquifère CT :

L'image ressemble beaucoup à celle de l'aquifère alluvial. Ici, également, la plupart des points tombent dans la zone « bicarbonatée calcique » et pourraient être le résultat d'une recharge directe du fleuve Niger ou de la précipitation. Pourtant, cette thèse devrait être confirmée ou écartée dans les prochaines campagnes de mesure.

Un point (N°52) se trouve dans la zone « carbonatée sodique » et un point (N°13) même dans la zone « chloruré sodique et potassique » (ou « sulfaté sodique »), qui indique un passage long à travers de l'aquifère. Les deux points d'eau correspondent à des puits ouverts.

Aquifère Socle :

Tous les points tombent dans la zone « bicarbonatée calcique ». L'image ressemble à celle des eaux de surface et pourrait indiquer une recharge directe des eaux du fleuve Niger ou de l'eau de pluie. Pourtant, cette thèse devrait être confirmée ou écartée dans les prochaines campagnes de mesure.

Les analyses chimiques au laboratoire du BGR ont impliqué les anions et cations totaux plus les métaux lourds. Pour une analyse des résultats, les concentrations des anions et cations mesurées seront comparées avec les limites proposées par l'OMS. En général la composition chimique des eaux analysées ne montre pas des concentrations hautes. Seules les propriétés au-delà des limites (manganèse, nitrate, nitrite et arsénique) seront expressément décrites dans les sous-chapitres à continuation.

4.2.5 Manganèse

Manganèse est un élément qui joue un rôle dans le métabolisme humain, pour cela le corps humain a besoin d'un certain dosage quotidien qui est absorbé avec la nourriture ou l'eau. Cependant, il y a une limite au-delà de laquelle des effets indésirables surgissent. L'OMS indique une valeur limite de 0,4 mg/l pour éviter des problèmes de santé. La présence de manganèse dans l'eau potable en concentration supérieure à 0,4 mg/l peut diminuer l'intelligence parmi des enfants écoliers comme effet de longue durée (Wikipedia). Le guide écrit aussi, qu'une concentration plus basse de manganèse de 0,1 mg/l peut déjà donner un goût indésirable à l'eau, des tâches sur le linge ainsi que des précipitations sur les tuyaux.



Photo 4 : Prélèvement d'eau souterraine au point d'eau N°10.2 (village Goudel Gourou Siminti) avec un seau à corde

En notre cas, il y a seulement une valeur supérieure à la limite de l'OMS: N°10.2 au village « Goudel Gourou Siminti » avec 0,739 mg/l. Ils s'agit d'un PO qui capte le CT. Ce PO, a été abandonné par la population il y a 2 ans en faveur d'un FE qui avait été creusé pas loin et qui capte le socle. Les résultats des autres points d'eau oscillent entre 0,001 et 0,03 mg/l.

4.2.10 Nitrate

Un excès en concentration des nitrates dans l'eau souterraine est un indicateur soit d'une utilisation abondante et inadéquate des engrais azotés dans les activités agricoles ou de la présence des matières fécales (humaines et animales) dans l'eau. Toutefois, des hautes concentrations en nitrate d'origine naturelle ont été rapportées dans les régions arides à semi-arides en Afrique, probablement en raison de la minéralisation de la matière organique du sol accumulée pendant des périodes humides et détruite pendant des périodes sèches (BGR, 2012).

Pour les êtres humains, une fois le nitrate est dans l'appareil digestif, il peut être réduit au nitrite (voir chapitre 4.2.11) par des bactéries dans la flore intestinale. Nitrite est considéré comme cancérigène pour des êtres humains. De plus, le nitrite peut remplacer l'oxygène dans le sang et donc causer la mort par « asphyxie interne ». En particulier les bébés sont ici menacés parce qu'ils n'ont pas encore développé une flore intestinale robuste. Ce phénomène est connu comme « maladie du bébé bleu » (OMS, 2011). Pour cette raison l'OMS établit une valeur limite de 50 mg/l pour le nitrate.

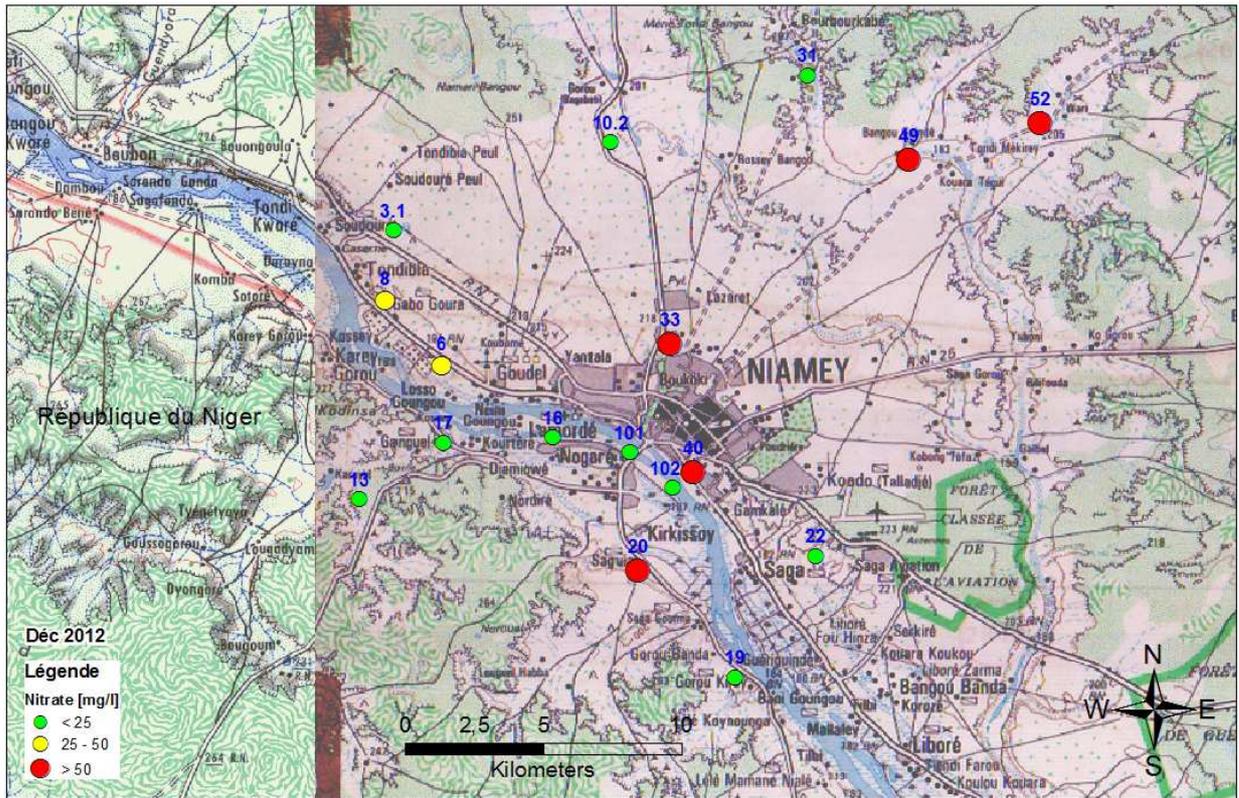


Figure 7 : Carte montrant la distribution des concentrations de nitrate

Les concentrations en nitrate (Figure 7) oscillent entre 0,15 et 145 mg/l. Un nombre de cinq parmi les 17 (29%) échantillons montrent une concentration en nitrate > 50 mg/l. Ce sont les points d'eau N°20, 33, 40, 49 et 52. Le N°40, dans le quartier « Gamkallé Sébangué », avec 145 mg/l montre la concentration maximale mesurée dans cette campagne. Les valeurs les plus basses sont trouvées dans les échantillons du fleuve Niger, N°101 « Pont Kennedy et N°102 « Pont Chinois » avec 0,8 et 0,15 mg/l respectivement.

Les concentrations supérieures à 50 mg/l sont réparties arbitrairement sur les trois aquifères, en détail le socle (N°33 et 40), le CT (N°52) et l'aquifère alluvial (N°20). De la même manière, ce n'est pas possible de séparer les PO des FE, parce que la contamination se trouve dans les deux types de point d'eau. Les concentrations plus hautes se trouvent dans les FE N°40 « Gamkallé Sébangué » et N°33 « Kouara Mé ». Ces deux points d'eau se trouvent dans des quartiers pauvres de Centreville de Niamey et des latrines sont localisées plus au moins directement à côté des FE (voir photos 5 et 6). Elles seraient la source de contamination directe pour les deux FE.



Photo 5 : Le point d'eau N°40 (quartier Gamkallé Sébangué)



Photo 6 : Latrines à côté du point d'eau N°40 (quartier Gamkallé Sébangué)

Par contre, l'origine pour les contaminations fortes des PO (N°52 avec 52,5 mg/l ou N°20 avec 67,8 mg/l) semble être la manière dont les usagers prélèvent l'eau. Ils utilisent un bidon

qui est laissé en bas par une corde qui est souvent mis par terre. La terre aux environ des puits est contaminé avec des matières fécales que entre dans l'eau le moment où le bidon et la corde la touchent.



Photo 7 : Vue dans le tube du PO N°20 (village Saguia)

4.2.11 Nitrite

Un excès de concentration des nitrites dans l'eau souterraine est, comme dans le cas de nitrate (voir chapitre 4.2.10), un indicateur de contamination fécale près des exutoires d'une station d'épuration de l'eau, montrant que cette station d'épuration ne travaille pas de manière adéquate.

Nitrite est considéré comme cancérigène pour des êtres humains. De plus, le nitrite peut remplacer l'oxygène dans le sang et causer la mort par « asphyxie interne ». En particulier les bébés sont menacés parce qu'ils n'ont pas encore développé une flore intestinale robuste. Ce phénomène est connu comme « maladie du bébé bleu » (OMS, 2011). Pour cette raison l'OMS établit une valeur limite de 0,5 mg/l pour le nitrite.

Les valeurs mesurées de nitrite se trouvent entre $< 0,003$ et 7,73 mg/l (voir Figure 8). La plupart des valeurs varie entre 0,01 et 0,1 mg/l. Seulement un (1) échantillon montre une valeur supérieure à la limite de 0,5 mg/l. Il s'agit du PO N°10.2 près du village « Goudel Gourou Siminti » (voir photo 4) avec une concentration de 7,73 mg/l (voir figure 10). Ce PO, qui capte le CT, a déjà montré une valeur au-delà de la limite pour le manganèse (voir chapitre 4.2.5). Il a été abandonné par la population il y a 2 ans

Les concentrations sont réparties arbitrairement sur les aquifères. Avec l'exception de point d'eau N°10.2, les concentrations de nitrites dans les points d'eau mesurés ne posent pas de problème.

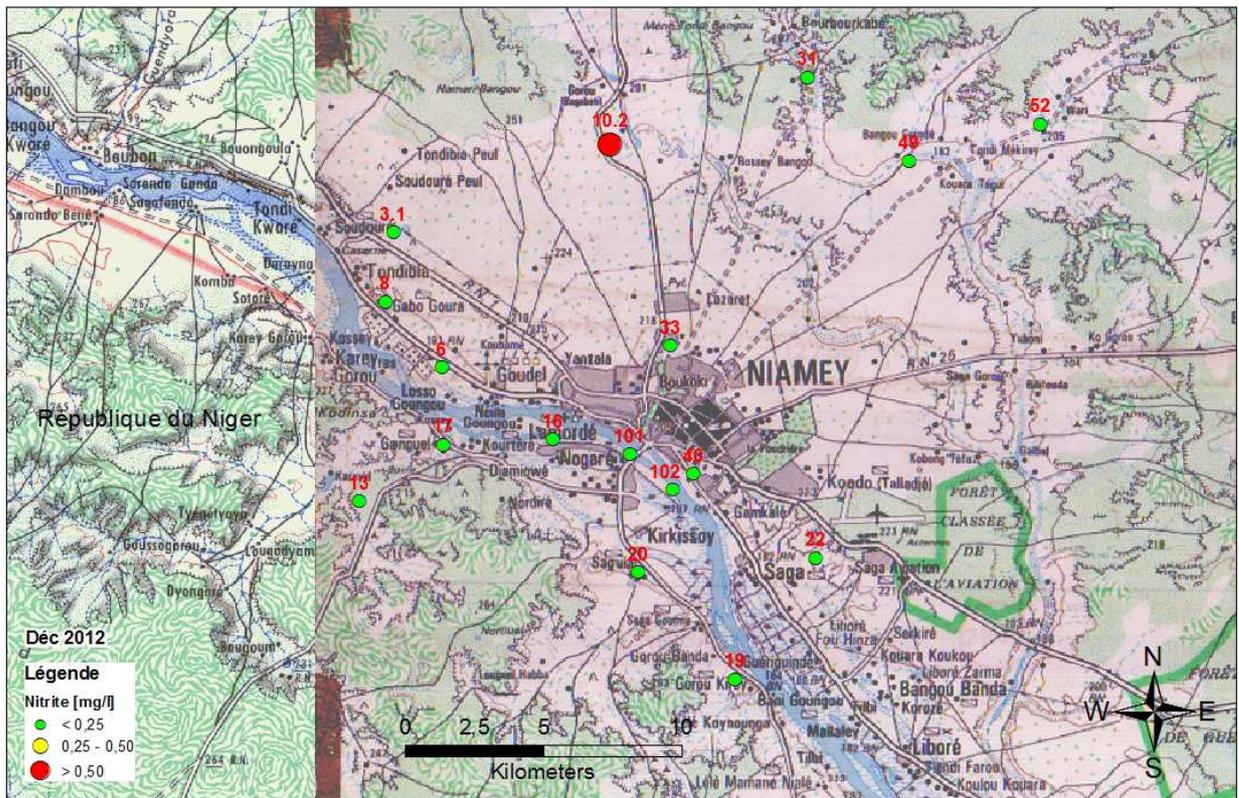


Figure 8 : Carte montrant la distribution des concentrations de nitrite

4.2.12 Arsénique

Des concentrations en arsénique déjà faiblement élevées posent une menace à la santé humaine, notamment si l'exposition à l'arsenic est de longue durée, l'impact est considérée cancérigène. L'OMS recommande une valeur limite de 0,01 mg/l pour l'eau potable.

Les concentrations en arsénique mesurées sont tous sous le seuil de détection de notre laboratoire de 0,02 mg/l, à l'exception du point d'eau N°16 « Lamordé » (voir photo 1) qui montre une valeur de 0,03 mg/l. Ce PO semble avoir été abandonné pour la provision en eau potable mais est encore utilisé pour l'abreuvement de bétail.

4.3. Paramètres biologiques

4.3.1 Coliformes totaux

Les bactéries coliformes se trouvent sur le sol, les eaux et la végétation. Elles sont naturellement abondantes dans des intestins et des fécaux des êtres vivants homéothermes (êtres humains, mammifères et oiseaux). Alors que des coliformes normalement ne sont pas la cause d'une maladie grave, ils sont un indicateur de contaminations des eaux contaminées par matières fécales, donc un bon indicateur pour la qualité d'eau (OMS, 2011).

Contraire aux composants physico-chimiques, les bactéries sont des êtres vivants et ont la capacité de se reproduire sous des conditions favorables. L'OMS (2011) propose l'utilisation des méthodes « présence/absence » afin d'analyser la contamination bactériale.

Indirectement elle établit une valeur limite des « colony forming units (CFU) » (= nombre des bactéries qui forme - ou peut former - une colonie) de coliformes totaux de < 1 / 100 ml.

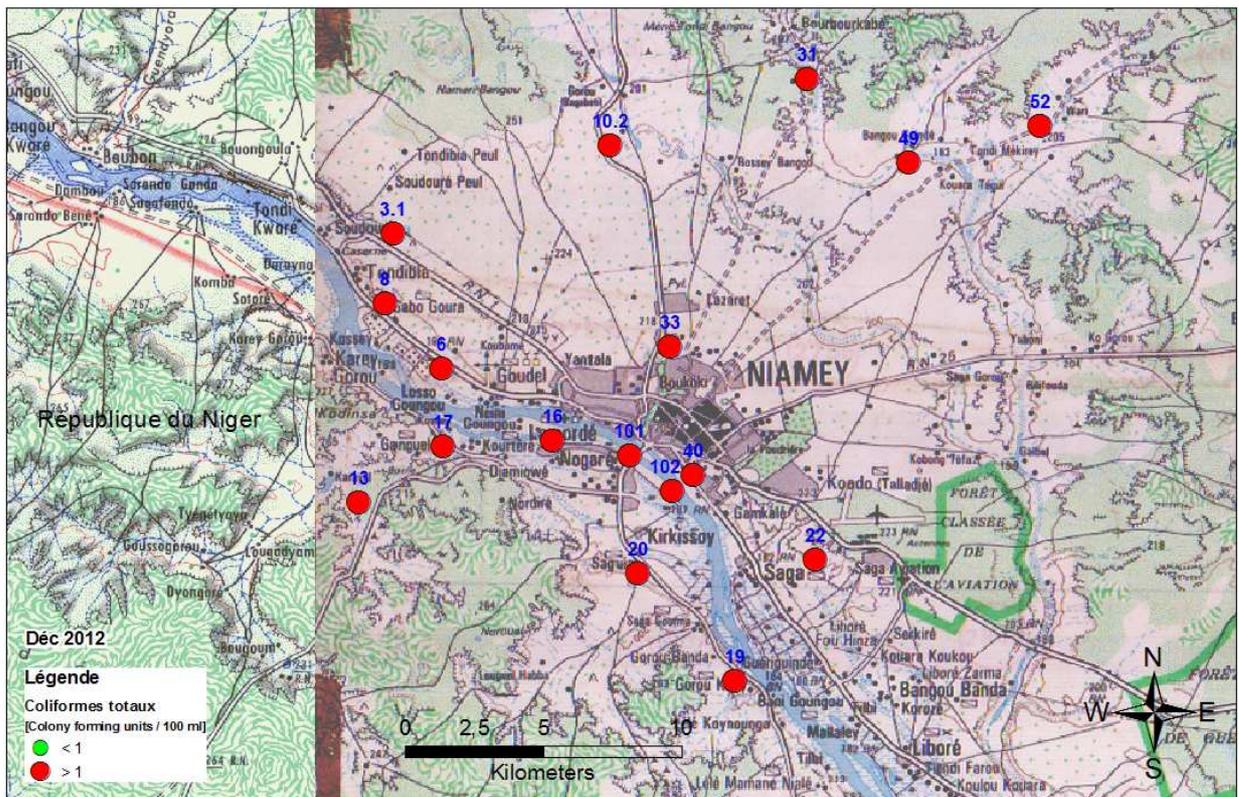


Figure 9 : Carte montrant la distribution des teneurs des coliformes totaux

Les valeurs mesurées de coliformes totaux (voir Figure 9) se trouvent entre 5,2 et > 2.419,6 CFU/100ml, avec la valeur « > 2.419,6 CFU/100ml » étant la valeur la plus haute possible de l'échelle. Cela veut dire que tous les points d'eau montrent une contamination humaine évidente.

Pour des raisons de comparaison un échantillon de l'eau du robinet d'un bâtiment publique à Niamey (le bâtiment de la Direction Technique de l'ABN) a été pris. Seul cet échantillon montre un résultat inférieur à la limite de < 1 CFU/100ml.

4.3.2 Escherichia coli (E. coli)

La bactérie « Escherichia coli » appartient au groupe des coliformes (voir chapitre 4.3.1). La plupart des souches d'E. coli sont inoffensives pour des êtres humains, alors qu'il y a des souches qui peuvent causer des graves intoxications alimentaires dans des êtres humains, de plus aussi gastro-entérites, infections urinaires, méningites et sepsis (Wikipedia). E. coli est un bon indicateur des contaminations récentes avec des matières fécales, donc un bon indicateur pour la qualité d'eau.

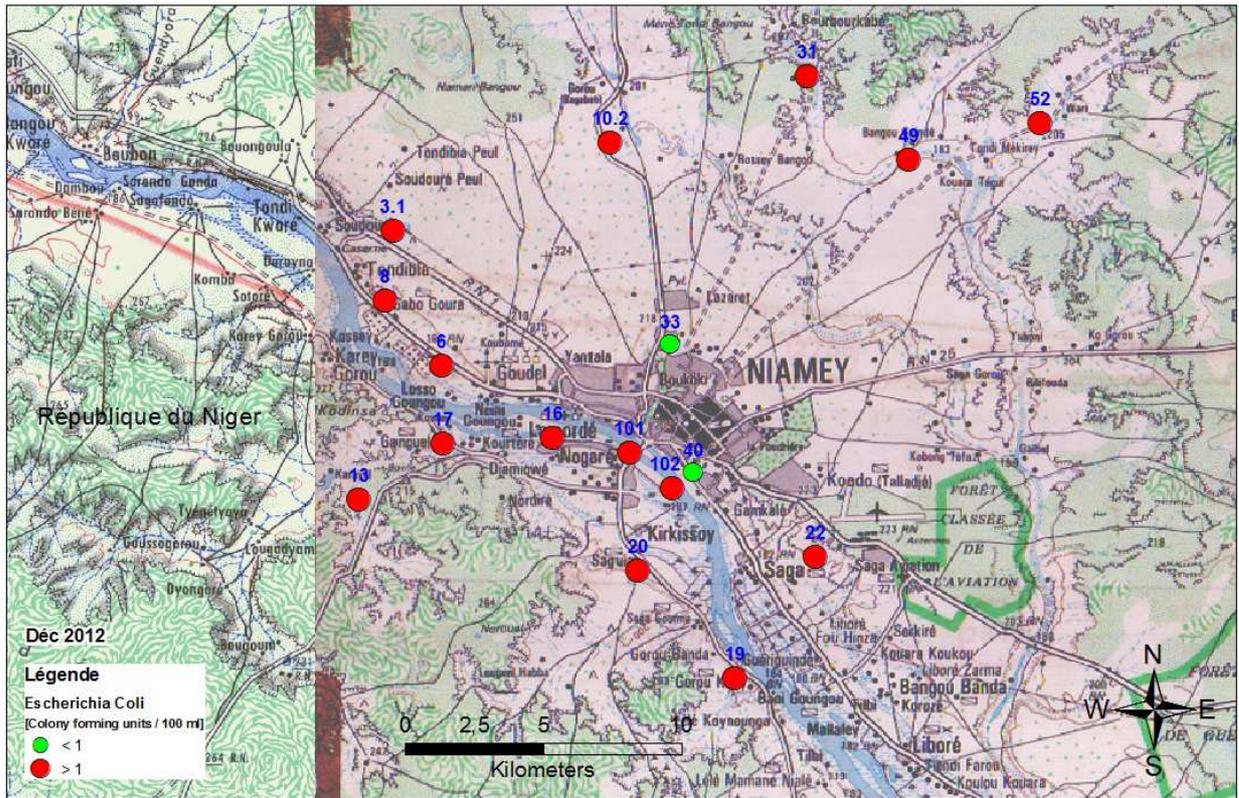


Figure 10 : Carte montrant la distribution des teneurs d' E. coli

La OMS (2011) a déclaré une valeur limite des « colony forming units (CFU) » (= nombre des bactéries qui forme - ou peut former - une colonie) de *Escherichia coli* de $< 1 / 100$ ml dans l'eau potable.

Les valeurs mesurées d'*E. coli* (Figure 10) se trouvent entre < 1 CFU/100ml (N°33 – voir photo 2 - et N°40 – voir photo 5) et $> 2.419,6$ CFU/100ml (N°10.2 – voir photo 4). Quinze des 17 échantillons (88%) ont des valeurs supérieures à la valeur limite, y compris les deux échantillons de l'eau du fleuve Niger.

Pour des raisons de comparaison un échantillon de l'eau du robinet d'un bâtiment public à Niamey (le bâtiment de la Direction Technique de l'ABN) a été pris ; le résultat est < 1 CFU/100ml.

4.3.3 Entérocoques

Les entérocoques sont un autre groupe des bactéries dont les deux espèces *Enterococcus faecium* et *Enterococcus faecalis* sont les plus communes. Comme les coliformes, ils vivent dans les intestins des êtres vivants homéothermes (êtres humains, mammifères et oiseaux) (Wikipedia). Ils peuvent causer des inflammations parmi des êtres humains qui ont un système immunitaire faible (Wikipedia). Cela inclut les petits enfants qui n'ont pas encore développé ni un système immunitaire mûre ni une flore intestinale complète. Comme des coliformes, les entérocoques sont un bon indicateur pour des contaminations des eaux avec des matières fécales, donc un bon indicateur pour la qualité d'eau (Wikipedia).

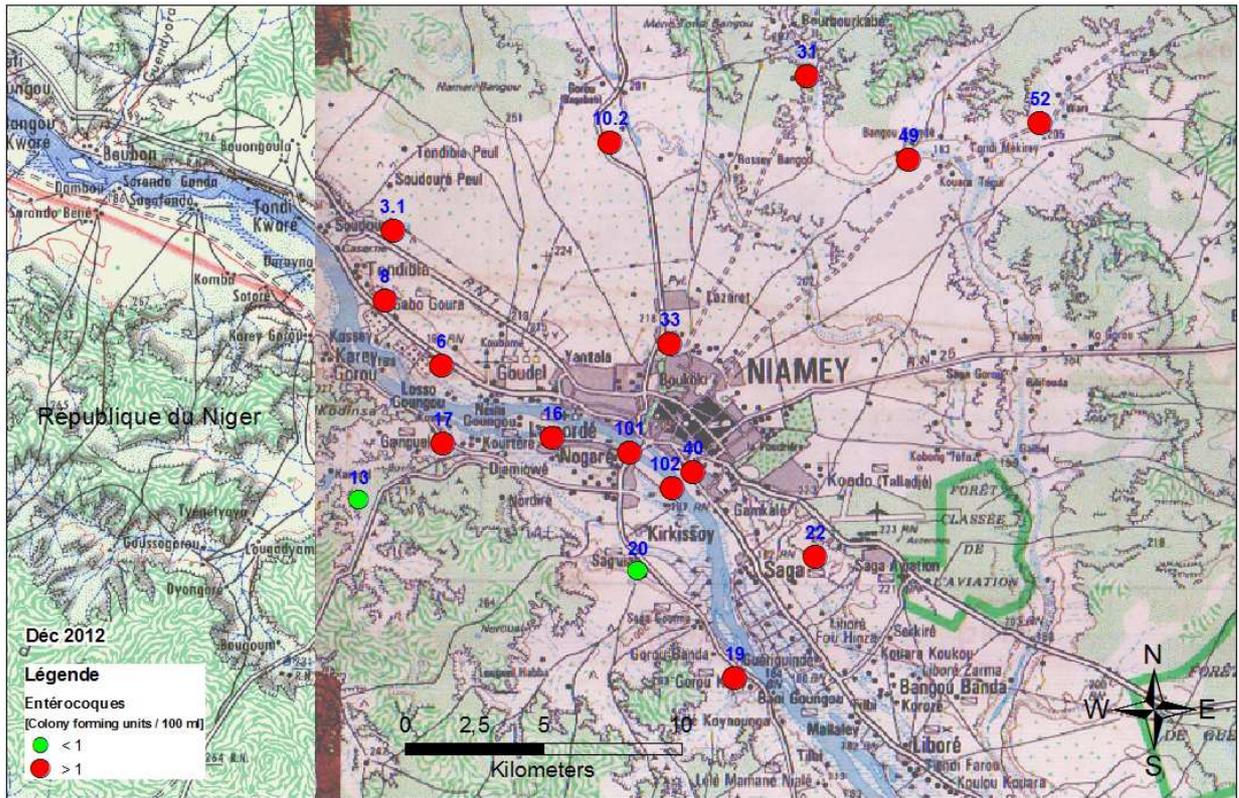


Figure 11 : Carte montrant la distribution des teneurs des entérocoques

L'OMS (2011) a déclaré une valeur limite des « colony forming units (CFU) » (= nombre des bactéries qui forme - ou peut former - une colonie) des entérocoques de $< 1 / 100$ ml dans l'eau potable.

Les valeurs mesurées des entérocoques (voir Figure 11) se trouvent entre < 1 CFU/100ml (N°13 et N°20) et $> 2.419,6$ CFU/100ml (N°10.2 – voir photo 4). Cela veut dire que 15 de 17 valeurs (88%) ont des valeurs au dessus de la valeur limite, y compris les deux échantillons de l'eau de surface.



Photo 8 : Prélèvement d'eau souterraine au point d'eau N° 3.1 (village Tondidia Peul) avec un seau à corde

Pour des raisons de comparaison un échantillon de l'eau du robinet d'un bâtiment publique à Niamey (le bâtiment de la Direction Technique de l'ABN) a été pris ; le résultat est < 1 CFU/100ml.

4.4. Isotopie

4.4.1 Isotopes d'hydrogène

L'hydrogène (H) dans le cycle de l'eau montre trois isotopes différents : protium (^1H), deutérium (^2H) et tritium (^3H). L'abondance naturelle des trois isotopes est dramatiquement déséquilibrée : Protium constitue 99,9884 % de l'hydrogène dans le cycle de l'eau, alors le deutérium constitue seulement 0,0115 %. Le tritium est encore beaucoup plus rare et n'est pas important pour notre évaluation. La masse du deutérium est double que la masse de protium (Höltling & Koldevey, 2008).

La composition isotopique de l'hydrogène d'une eau change avec des conditions que l'eau subisse. La relation protium / deutérium (le « rapport isotopique ») change si l'eau a migré un certain temps comme eau de surface d'un fleuve (ou d'un lac) dans une région avec un climat semi-aride tropique. Sous ces conditions, les eaux de surface perdent beaucoup d'eau par évaporation. Parce que les isotopes légers évaporent d'abord, l'eau de surface s'enrichit subséquemment avec l'isotope lourd, c'est-à-dire de deutérium. Le rapport isotopique de l'eau change. Selon ces différences dans des rapports isotopiques parmi des échantillons d'eau, on peut juger si une eau souterraine est d'origine d'une eau de surface ou de la précipitation (et infiltration immédiate). Ainsi on peut caractériser les mécanismes de recharge.

La déviation relative de la teneur de deutérium (δ^2H) est comparée avec une valeur standard qui s'appelle « DMM » (droite météorologique mondiale). La déviation relative s'estime avec la formule suivante (Hölting & Koldevey, 2009) :

$$\delta^2H = \frac{R - R_{st}}{R_{st}} * 1000 [‰]$$

R = Rapport isotopique de l'échantillon

R_{st} = Valeur standard (1,05)

δ^2H = Déviation relative [‰]

Les valeurs des déviations relatives varient entre -26,9 ‰ (N°33 « Kouara Mé ») et -12,6 ‰ (N°16 « Lamordé »). Seulement trois valeurs sont supérieures à -20 ‰ : N°16, N°17 « Kangel » et N°6 « Lossa Gongou » (voir photo 9). Les autres valeurs oscillent entre -27 ‰ et -20 ‰.

Les valeurs se répartissent arbitrairement sur les aquifères CT et socle et varient entre -27 ‰ et -20 ‰. L'aquifère alluviale montre des déviations relatives significativement moins négatives. Les valeurs oscillent entre -12 ‰ et -22 ‰ et les moins négatives correspondent aux points d'eau qui se trouvent directement au bord du fleuve Niger (N°6 avec -19,9 ‰, N°16 avec -12,6 ‰ et N°17 avec -17,6 ‰). Cet effet serait un premier indicateur d'une recharge de l'aquifère alluvial par les eaux du fleuve qui ont subi d'évaporation.

Pourtant, les déviations relatives des eaux de surface montrent des valeurs de -23,4 ‰ (N°101 « Pont Kennedy ») et -23,5 ‰ (N°102 « Pont Chinois »), ce qui est plus négative que les valeurs obtenues pour les eaux de l'aquifère alluvial dans les proximités du fleuve. Les déviations de N°101 et N°102 sont plutôt proches des valeurs trouvées dans les points d'eau du CT et du socle. L'argumentation quant aux eaux de surface comme source de recharge est contradictoire à ce moment.

4.4.2 Isotopes d'oxygène

L'oxygène (O_2) dans le cycle de l'eau montre trois isotopes différents : ^{16}O , ^{17}O et ^{18}O . L'abondance naturelle des trois isotopes est déséquilibrée. ^{16}O constitue 99,76 % de l'oxygène, alors le ^{18}O est représenté seulement 0,20 %. Le ^{17}O est encore plus rare, il fait seulement 0,037 % (Wikipedia) et pour cela n'est pas important pour notre considération. Le ^{18}O est significativement plus lourd que le ^{16}O .

Comme dans le cas de l'hydrogène, la composition isotopique de l'oxygène change avec des conditions que l'eau subisse. Dans des conditions semi-arides, l'eau de surface est soumise à évaporation et s'enrichit relativement de l'isotope lourd. Selon ces différences dans des rapports isotopiques des échantillons on peut juger, si une eau souterraine est originaire de l'eau de surface ou de la précipitation (et infiltration immédiate).

La déviation relative de la teneur de ^{18}O est comparée avec une valeur standard qui s'appelle « DMM » (droite météorologique mondiale). L'estimation de la déviation relative se calcule avec la formule suivante (Hölting & Coldewey, 2008) :

$$\delta^{18}O = \frac{R_{pro} - R_{sto}}{R_{sto}} * 1000 [‰]$$

R_{pro} = $^{16}O / ^{18}O$ = Rapport isotopique de l'échantillon

R_{sto} = Rapport isotopique standard (= 0,002)

Les valeurs des déviations relatives obtenues varient entre -4,26 ‰ (N°33 « Kouara Mé » voir photo 2) et -1,48 ‰ (N°16 « Lamordé » voir photo 1). La plupart des valeurs oscillent entre -3,0 ‰ et -4,0 ‰. Les valeurs se répartissent arbitrairement sur les aquifères du CT et du socle, dont les valeurs varient entre -3,0 ‰ et -4,3 ‰. L'aquifère alluvial montrent valeurs plus lourdes que oscillent entre -1,48 ‰ et -4,0 ‰. Comme dans le cas du deutérium, les valeurs des points d'eau que se trouvent directement au bord du fleuve Niger sont encore moins négatives. Cet effet pourrait devenir d'une recharge directe de l'aquifère par les eaux du fleuve Niger, mais cette thèse manque encore de démonstration.

À part de cela, il n'y a pas d'explication satisfaisante pour la valeur de déviation de -1,48 ‰ à N°16 « Lamordé » (voir photo 1), qui est encore significativement moins négative que les valeurs des eaux de surface.

La Figure 12 montre la relation entre $\delta^2\text{H}$ et $\delta^{18}\text{O}$. La plupart des points forment un nuage, mais un (1) point (N°16 « Lamordé ») se situe extrêmement à part avec des valeurs beaucoup moins négatives. Son eau a subi beaucoup plus d'évaporation que les autres. Une explication pour cela reste à trouver pour le moment.

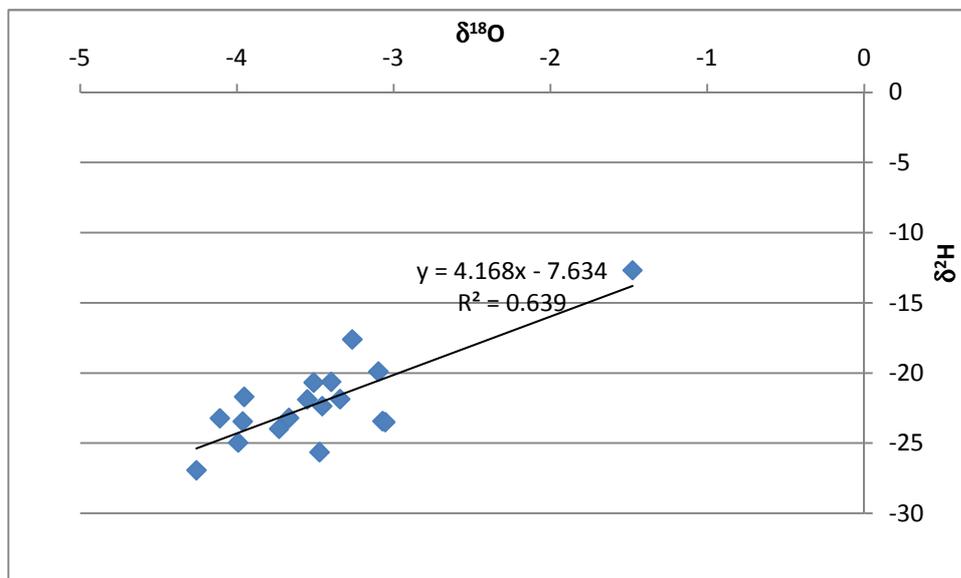


Figure 12 : Diagramme $\delta^2\text{H}$ (axe y) vs $\delta^{18}\text{O}$ (axe x)



Photo 9 : Prélèvement d'eau souterraine au point d'eau N° 6 (village Lossa Gongou) avec un bidon à corde

5. Résumé

Les résultats de la campagne de mesure sur des eaux souterraines peuvent être résumés comme suit :

- La surface piézométrique dans le CT varie entre 192 m et 212 m sur le niveau normal de la mer. Elle montre une direction d'écoulement en direction est – sud est à Niamey qui se tourne vers le sud-sud est au nord de la ville.
- La surface piézométrique dans l'aquifère alluvial varie entre 178 m et 186 m sur le niveau normal de la mer et montre une direction d'écoulement plutôt vers le fleuve
- Les valeurs pH dans la zone d'étude varient entre 5,9 et 7,6. Seulement trois (3) points d'eau ont une valeur inférieure à la limite de 6,5.
- Les valeurs de la conductivité varient entre 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'eau de surface du fleuve Niger et 1.145 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans un puits ouvert. On peut observer une faible distinction entre les aquifères du socle (valeurs entre 500 et 723 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et du CT (valeurs entre 105 et 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$). L'aquifère alluviale montre des valeurs entre 250 et 1.145 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Une interprétation du milieu hydrochimique de chaque aquifère et des eaux de surface suggèrent une ressemblance entre les eaux de surface et celles du socle. À part de cela, les eaux souterraines des aquifères alluvial et CT montrent une certaine ressemblance.
- Il y a seulement une (1) valeur de manganèse qui, avec 0,739 mg/l, surpasse la valeur limite de l'OMS (0,4 mg/l).
- Les concentrations en nitrate oscillent entre 0,15 et 145 mg/l. Un nombre de cinq (5) parmi 17 (29%) échantillons montrent une concentration supérieure à 50 mg/l, qu'est la limite de l'OMS. La répartition des valeurs mesurées à travers les aquifères suggère une contamination générale et plutôt anthropogène
- Les valeurs mesurées de nitrite se trouvent entre < 0,003 et 7,73 mg/l. Seulement un (1) échantillon montre, avec une valeur de 7,73 mg/l, une valeur supérieure à la limite de l'OMS (0,5 mg/l).
- Les valeurs mesurées de l'arsénique sont tous inférieures au seuil de détection de notre laboratoire de 0,02 mg/l, sauf une (1) qui montre une valeur de 0,03 mg/l. La valeur limite de l'OMS est 0,01 mg/l.
- Les valeurs mesurées de coliformes totaux se trouvent entre 5,2 et > 2.419,6 CFU/100ml. Tous les points d'eau ont des valeurs supérieures à la limite de l'OMS (< 1 CFU/100 ml), y compris les deux échantillons de l'eau de surface du fleuve Niger.
- Les valeurs mesurées d'E. coli se trouvent entre < 1 CFU/100ml et > 2.419,6 CFU/100ml. Quinze des 17 valeurs (88%) sont des valeurs supérieures à la valeur limite de l'OMS (< 1 CFU/100 ml), y compris les deux échantillons de l'eau de surface.
- Les valeurs mesurées des entérocoques se trouvent entre < 1 CFU/100ml et > 2.419,6 CFU/100ml. Quinze des 17 valeurs (88%) sont supérieures à la valeur limite de l'OMS (<1 CFU/100 ml), y compris les deux échantillons de l'eau de surface
- Les valeurs de $\delta^2\text{H}$ varient entre -26,9 ‰ et -12,6 ‰. L'aquifère alluviale montre les déviations relatives moins négatives. Les valeurs oscillent entre -12 ‰ et -22 ‰ et les moins négatives correspondent aux points d'eau qui se trouvent directement au bord du fleuve Niger (N°6 avec -19,9 ‰, N°16 avec -12,6 ‰ et N°17 avec -17,6 ‰). Cet

effet serait un premier indicateur d'une recharge de l'aquifère alluvial par les eaux du fleuve qui ont subi d'évaporation. Pourtant, les déviations relatives des eaux de surface montrent des valeurs de -23,4 ‰ (N°101 « Pont Kennedy ») et -23,5 ‰ (N°102 « Pont Chinois »), ce qui est plus négative que les valeurs obtenues pour les eaux de l'aquifère alluvial dans les proximités du fleuve. L'argumentation quant aux eaux de surface comme source de recharge est contradictoire à ce moment.

- Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ varient entre -4,26 ‰ et -1,48 ‰. La plupart des valeurs oscillent entre -3,0 ‰ et -4,0 ‰. Les valeurs se répartissent arbitrairement sur les aquifères du CT et du socle, dont les valeurs varient entre -3,0 ‰ et -4,3 ‰. L'aquifère alluvial montrent valeurs plus lourds que oscillent entre -1,48 ‰ et -4,0 ‰. Les valeurs des points d'eau que se trouvent directement au bord du fleuve Niger sont les moins négatives. Cet effet pourrait devenir d'une recharge directe de l'aquifère par les eaux du fleuve Niger, mais cette thèse manque encore de démonstration.

6. Recommandations

L'interaction fleuve – aquifère(s) et les échanges entre les aquifères n'est pas encore compris. Il faut continuer avec le suivi, idéalement dans un rythme trimestriel.

De plus, on a découvert quelques contaminations graves. Sur ce sujet on a déjà été capable de faire des présomptions quant aux origines des ces contaminations ; ici également le suivi doit être continué pour détecter possibles changements de pollution dans le temps.

À long terme, on pourrait éventuellement augmenter le réseau de suivi, notamment ceux qui captent l'aquifère socle, pour mieux comprendre l'aquifère et son interaction hydraulique.

7. Références

- (1) BGR, 2012 : Lac Tchad - Gestion durable des Ressources en Eau – Activités du projet, Rapport N°4, mars 2012.
- (2) OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2011. Guidelines for Drinking-water Quality, fourth edition.
- (3) B. Hölting & W. G. Coldewey, 2008: Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 7. Auflage, 368 pages, ISBN-13: 9783827417138, Editorial: Spektrum Akademischer Verlag, 2009.
- (4) Wikipedia.org

Annexe 1

Directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines

Directrices pour l'échantillonnage des eaux souterraines

(1) Afin de parvenir à la comparabilité des données, il est nécessaire et essentiel que tous les échantillons soient recueillis dans les mêmes conditions, c'est à dire en même temps ou sur une courte période de temps (éventuellement jours).

(2) Une fiche de données de terrain doit être utilisée pour entrer des informations telles que la concentration en ions hydrogène (pH), le redox (Eh), l'oxygène dissous (O₂) la conductivité électrique (CE en $\mu\text{S/m}$), la température (°C), bicarbonate (HCO₃⁻) et le dioxyde de carbone (CO₂). Aussi des informations générales telles que les coordonnées du forage, la profondeur de la crépine, la géologie et la végétation de l'alentour doivent être compilées.

Il est recommandable de noter des observations prises en place comme l'état de la pompe (en fonctionnement ou non), si le forage s'assèche régulièrement, présence des obstacles dans le tube du forage, saveur/odeur de l'eau, potentielles sources de contamination près du forage (latrines, poubelle, aire de lavage des voitures, etc.).

C'est fortement recommandé de faire une ou deux photos du puits/forage même et de son voisinage immédiat.

(3) Le niveau statique ainsi que la profondeur totale du forage ou puits et la profondeur d'échantillonnage doivent être mesurés et enregistrés avant de démarrer la pompe (!) ou d'introduire une pompe ou de laisser descendre un bidon.

(4 a) Échantillonnage d'un forage équipé avec une pompe électrique:

Après avoir enregistré le niveau statique, mais avant l'échantillonnage, l'eau du forage doit être extraite jusqu'à ce que les niveaux de conductivité électrique (CE) et pH (mesurée de façon permanente par électrode dans une cellule d'écoulement afin d'empêcher l'entrée d'air) restent constantes au cours d'une période d'au moins 5 minutes.

Cela exige généralement qu'une quantité d'eau de 2 à 3 fois le volume d'eau dans le forage soit pompée. De cette façon, toutes les eaux stagnantes seront enlevées du forage. Ce besoin de pompage pourrait avoir une durée de 1 à 1,5 heures. L'extraction de l'eau stagnante garantit que seules les eaux souterraines de l'aquifère soient recueillies et que l'échantillon soit représentatif de l'eau de l'aquifère.

Si aucune pompe est à disposition ou la pompe électrique est trop faible pour enlever l'eau souterraine, il faut utiliser une « bailer » c'est-à-dire un récipient. Pour l'échantillonnage suivre la description (4 d).

(4 b) Échantillonnage d'un forage ouvert ou d'un piézomètre:

Le tube du forage ouvert doit être libre d'obstacles ! Un puits d'observation est normalement fermé à clé. Il faut l'ouvrir avec la clé pertinente.

Pour l'échantillonnage suivre la description (4 a).

Après l'échantillonnage il faut toujours refermer le piézomètre.

(4 c) Échantillonnage d'un forage installé avec une pompe de motricité humaine en fonctionnement:

Si la pompe est utilisée quotidiennement, un pompage préliminaire à l'échantillonnage n'est pas nécessaire. Néanmoins, il est recommandable d'activer la pompe pour 5 minutes avant de mesurer les paramètres. Si possible, brancher la cellule de écoulement à la sortie de la pompe et mesurer les paramètres du terrain (pH, eH, CE, etc.) avant d'échantillonner. Si le branchement de la cellule d'écoulement n'est pas possible, remplir un récipient pour les mesures du terrain et l'échantillonnage.

Généralement la mesure du niveau statique n'est pas possible dans un forage équipé à cause du manque d'accès.

(4 d) Échantillonnage d'un puits cimenté :

Dans le cas d'un puits cimenté, l'échantillonnage s'effectue avec l'aide d'un récipient (seau ou bidon) à corde. Toutes les mesures (pH, eH, CE, etc.) ainsi que l'échantillonnage proprement dit seront fait avec l'eau d'un même récipient.

(5) Il est recommandé d'intituler toutes les bouteilles avant l'échantillonnage avec un stylo à tinte permanente. Chaque point d'eau reçoit un numéro que devrait apparaître sur toutes les bouteilles d'échantillonnage et sur la fiche du terrain. Les suivants points d'eau recevront des numéros consécutifs.

(6) Toutes les bouteilles doivent être « conditionnées » avec les eaux souterraines à échantillonner. C'est à dire que tout l'équipement doit être soigneusement rincé deux ou trois fois avec de l'eau à échantillonner filtrée avant que l'échantillon est prélevé. L'eau utilisée pour conditionner les outils d'échantillonnage et les bouteilles ne sera pas utilisée pour échantillonner.

(7) Étant donné que l'analyse des cations et anions exigent différentes méthodes de conservation, toutes les échantillons doit au moins être prises en double exemplaire. Souvent une bouteille de 100 mL est utilisée pour les cations et une bouteille de 500 mL pour les anions.

(a) Notez que seuls les bouteilles transparents de polyéthylène (PE) peuvent être utilisés de manière à voir si l'échantillon contient des matières en suspension. Les bouteilles de couleur sont à éviter dans le cas où les échantillons d'eau sont réservés pour l'analyse des éléments trace car ils contiennent souvent des métaux. Les métaux seront dissolus dans l'eau, en particulier dans le cas des échantillons acidifiés.

b) Idéalement les bouteilles doivent être dotées d'un large goulot pour pouvoir insérer une électrode. Afin de déterminer une éventuelle influence de la bouteille sur l'échantillon, présentez deux bouteilles supplémentaires de la même marque que celle de l'échantillon. Ils devraient être marqués comme des bouteilles vides.

(c) Les échantillons destinés à l'analyse des cations (et éventuellement éléments trace) doivent être acidifiés afin d'assurer un faible pH. Ceci permet d'éviter la précipitation avant que les échantillons soient analysés dans le laboratoire (conservation des échantillons). De préférence ultra-propre HNO₃ à une concentration de 1% est utilisé, c'est à dire 1,0 mL de HNO₃ concentré sera ajoutée dans chaque bouteille de 100 mL.

(d) Avant de l'acidification, les échantillons doivent être filtrés pour éliminer les matières en suspension, qui autrement pourraient dissoudre. La procédure standard est de remplir une

seringue de 50 ml avec de l'eau à échantillonner, rincer l'équipement, puis pousser l'eau dans la bouteille à travers d'un filtre à membrane de 0,45 μm . En présence de Fe-colloïdale et d'Al-oxyhydroxides, l'emploi des filtres de 0,1 μm peut être la meilleure option. Une autre méthode de filtration - plus efficace sous les conditions au terrain - est l'utilisation d'un système des deux chambres (voir photo 1). Les deux chambres sont placées l'une sur l'autre et connectés par un filtre à membrane de 0,45 μm . L'eau est versée dans la chambre supérieure, puis une dépression est créée dans la chambre inférieure à travers une pompe à vide pour obliger l'eau à descendre à travers le filtre. Il est également de première importance que les flacons soient complètement remplis afin d'éviter que l'air reste pris au piège dans la bouteille (les bouteilles en plastique peut être pressé doucement avant la clôture du bouchon).



Photo 1 : Filtration d'eau avec un système de deux chambres, utilisant dépression

(e) 500 mL échantillons prélevés pour l'analyse des anions ne doit pas être ni acidifié ni filtré. Si possible, ils doivent être traités avec un inhibiteur de bactéries de manière à empêcher les bactéries de modifier le sulfate et / ou la concentration de nitrates dans l'échantillon avant l'analyse. L'ajout d'un inhibiteur de bactéries est conseillé pour l'analyse des composés azotés de NO_3^- et NO_2^- . Les flacons doivent être complètement remplis afin d'éviter que l'air reste piégé dans la bouteille.

(8) Si les échantillons vont être analysés au laboratoire du BGR à Hanovre, Allemagne, l'ensemble d'échantillons listé ci-dessous doit être soumis :

(a) une bouteille de 500 mL PE pour l'analyse des anions. Elle ne doit pas être ni acidifié ni filtré.

(b) une bouteille de 100 mL PE pour l'analyse des cations et les éléments trace. Elle doit être acidifié (1,0 mL de HNO_3 concentré pour chaque 100 mL échantillon) et filtré (avec un filtre à membrane de 0.45 μm).

En ce qui concerne l'analyse des éléments trace, la qualité du matériel de la bouteille et de l'acide constitue un problème.

Afin d'éliminer toute influence externe possible, il est donc conseillé de soumettre les extras suivants:

- 2 bouteilles vides de 100 mL (ne pas nécessaire si les bouteilles proviennent du BGR).
- 1 échantillon de l'acide utilisé dans une bouteille de PE de 100 mL. Cet échantillon doit être dilué à une concentration non-fumeur (par exemple, une concentration 1:4).
- 1 échantillon de l'eau distillée utilisée, également dans une bouteille de PE de 100 mL.

(9) Une fois que les bouteilles sont remplies, ils doivent être testés de la fuite en serrant légèrement les bouteilles, stockés dans un endroit frais, de préférence dans un réfrigérateur, et protégés contre l'exposition directe au soleil. Pendant les transports, ils devraient être entreposés dans une glacière. Idéalement, tous les échantillons doivent être analysés le plus tôt possible.

Annexe 2

Liste de participants

LISTE DE PARTICIPANTS

Campagne de Mesure Décembre 2012 à Niamey

N°	NOM	PRENOM	STRUCTURE	FONCTION	DUREE
1		Philippe	DRH	Technicien	03. - 07. décembre 2012
2	HAWA		DRH	Stagiaire	03. - 07. décembre 2012
3	MENGE	Sven	AGES	Chef de mission	03. - 07. décembre 2012

Annexe 3

Résultats des analyses

N° de feuille	Nom de village / quartier	Région	Pays	Lon	Lat	Altitude margelle [m]	Aquifère capté	Type	Prof. tot [m]	Date	Largeur du fleuve [m]	Niv Eaux du fleuve [m]	NS sous marg. [m] 12_2012	NS sur mer [m] 12_2012	ID	Moyen de prélèvm.	Couleur	Odeur	Turbidité	Temp. [C]	pH
3.1	Tondidia Peul	Niamey	Niger	2.0258	13.5762	217.92	CT	PC	13.40	04.12.2012			11.89	206.03	P8	bidon	non	non	claire	27.9	6.50
6	Lossa Goungou	Niamey	Niger	2.0415	13.5319	187.86	Alluvial	PC	11.84	04.12.2012			8.80	179.06	P9	bidon	non	non	claire	28.9	7.60
8	Gabou Goura	Niamey	Niger	2.0233	13.5534	191.44	Socle	FE		06.12.2012					P16	PMH	non	non	claire	31.8	7.10
10.2	Goudel Gourou Siminti	Niamey	Niger	2.0966	13.6050	223.45	CT	PC	39.10	03.12.2012			22.45	201.00	P7	bidon	non	non	légèrement troublé	31.8	6.98
13	Kariel	Niamey	Niger	2.0147	13.4881	221.96	CT	PC	12.10	04.12.2012			9.90	212.06	P12	bidon	non	non	claire	29.8	6.90
16	Lamorde	Niamey	Niger	2.0776	13.5083	182.66	Alluvial	PC	10.20	04.12.2012			4.70	177.96	P10	bidon	non	non	claire	28.9	7.50
17	Kangel	Niamey	Niger	2.0421	13.5066	196.63	Alluvial	PC	10.87	04.12.2012			8.64	187.99	P11	bidon	non	non	claire	30.8	6.92
19	Timeré	Niamey	Niger	2.1369	13.4298	206.78	CT	PC	16.00	05.12.2012			14.60	192.18	P14	bidon	jaune-sableux	non	légèrement troublé	29.0	7.10
20	Sagua	Niamey	Niger	2.1054	13.4648	185.89	Alluvial	PC	5.90	05.12.2012			4.20	181.69	P13	bidon	non	non	claire	31.0	7.10
22	Saga Gassia 2	Niamey	Niger	2.1630	13.4694	204.96	CT	PC	15.96	05.12.2012			13.30	191.66	P15	bidon	non	non	claire	31.4	6.40
31	Gorou Beri	Niamey	Niger	2.1606	13.6269		Alluvial	PC	8.20	03.12.2012			3.85		P6	bidon	non	non	claire	31.0	7.00
33	Kouaramey	Niamey	Niger	2.1158	13.5391	211.58	Socle	FE	72.00	06.12.2012					P17	PMH	non	non	claire	31.8	6.90
40	Gamkalley Sebangue	Niamey	Niger	2.1234	13.4970	209.89	Socle	FE	57.00	06.12.2012					P18	PMH	non	non	claire	32.0	7.50
49	Kongou Mousse Kwara	Niamey	Niger	2.1934	13.5996		Alluvial	PC	10.10	03.12.2012			7.78		P4	bidon	non	non	légèrement troublé	31.0	6.16
52	Kongou Gongga	Niamey	Niger	2.2364	13.6116	211.29	CT	PC	19.10	03.12.2012			14.28	197.01	P5	bidon	non	non	claire	30.9	5.90
101	Pont Kennedy	Niamey	Niger	2.1027	13.5034		EdS	-		07.12.2012	600	5.19			P19	seau	en peu jaune	non	légèrement troublé	24.9	6.90
102	Pont Chinois	Niamey	Niger	2.1167	13.4918		EdS	-		07.12.2012	600	5.19			P20	seau	en peu jaune	non	légèrement troublé	25.1	6.90

Cond. [μS/cm]	TDS [mg/l]	Redox [mV]	Coliformes tot. [CFU/100 ml]	E. coli [CFU/100 ml]	Entérocoques [CFU/100 ml]	Balance ionique [%]	Facies hydrochimique	K [mg/l]	Na [mg/l]	Cl [mg/l]	Mg [mg/l]	Ca [mg/l]	SO4 [mg/l]	HCO3 [mg/l]	Fe(II) [mg/l]	Mn [mg/l]	NO3 [mg/l]	Br [mg/l]	NH4 [mg/l]	NO2 [mg/l]	F [mg/l]	PO4 [mg/l]	Al [mg/l]	As [mg/l]	BO2 [mg/l]
200	77	24	> 2.419,6	1,119.9	152.9	-2	Ca-Mg-HCO3	0.4	7.0	2.03	4.29	6.75	11.6	27.2	0.015	0.005	17.7	0.020	0.01	0.018	0.122	0.03	0.022	-0.02	0.07
770	613	38	> 2.419,6	178.5	25.9	0	Ca-Mg-HCO3	1.0	35.1	15.4	39.3	63.8	11.9	412	0.014	0.002	34.2	0.071	0.01	0.003	0.302	0.10	0.063	-0.02	0.11
723	578	11	112.6	16.0	5.2	-1	Ca-Mg-HCO3	0.4	33.0	6.12	37.8	55.1	7.99	399	0.011	0.004	38.3	0.057	-0.01	0.015	0.355	0.03	0.025	-0.02	0.85
185	83	3	> 2.419,6	> 2.419,6	> 2.419,6	0	Ca-Mg-HCO3	0.6	6.6	1.43	1.45	12.5	5.09	37.5	0.026	0.739	9.08	0.039	0.07	7.73	0.128	0.32	0.022	-0.02	0.07
380	265	3	97.2	16.9	< 1	0	Na-K-Cl/SO4	0.2	52.8	1.56	7.82	11.8	85.6	86.0	0.014	0.003	19.0	0.022	0.01	0.020	0.507	0.03	0.016	-0.02	0.06
1,145	778	35	> 2.419,6	1,299.7	40.4	-2	Na-K-Cl/SO4	9.3	95.9	120	33.4	70.9	79.1	344	0.009	0.003	24.3	0.340	0.02	0.005	0.401	0.61	0.009	0.03	0.13
250	155	3	143.6	21.1	1.0	-2	Ca-Mg-HCO3	1.5	8.1	2.56	9.53	16.3	14.8	97.0	0.012	0.003	4.36	0.032	0.01	0.003	0.417	0.03	0.020	-0.02	0.09
185	94	7	> 2.419,6	23.3	3.0	-1	Ca-Mg-HCO3	3.7	3.8	1.54	1.11	16.1	6.09	44.2	0.020	0.004	17.5	0.014	0.13	0.016	0.064	0.11	0.032	-0.02	0.09
302	164	5	1,011.2	115.3	< 1	-1	Ca-Mg-HCO3	0.9	11.0	8.86	11.0	14.4	1.95	47.0	0.015	0.003	67.8	0.066	0.06	0.130	0.230	0.47	0.019	-0.02	0.08
105	53	32	> 2.419,6	307.6	39.6	-2	Ca-Mg-HCO3	0.6	6.1	0.79	1.46	5.29	7.44	25.1	0.020	0.005	6.18	0.009	0.01	0.005	0.185	-0.03	0.024	-0.02	0.07
424	247	3	1,732.9	165.0	53.7	-2	Na-K-CO3	0.3	43.3	27.6	4.22	20.0	11.6	117	0.017	0.002	21.8	0.044	0.01	0.010	1.22	-0.03	0.025	-0.02	0.14
500	392	2	5.2	< 1	3.0	-2	Ca-Mg-HCO3	1.5	44.6	8.52	16.6	30.4	18.8	195	0.256	0.006	75.5	0.045	-0.01	0.021	0.240	0.10	0.012	-0.02	0.11
549	379	38	44.8	< 1	2.0	-2	Ca-Mg-HCO3	1.0	13.2	26.0	24.0	47.1	4.64	118	0.021	-0.001	145	0.046	-0.01	0.007	0.190	-0.03	0.016	-0.02	0.08
270	140		> 2.419,6	116.9	3.0	1	Ca-Mg-HCO3	0.9	33.0	13.5	0.330	5.42	0.98	15.6	0.023	0.017	69.8	0.128	-0.01	0.084	0.041	-0.03	0.022	-0.02	0.07
226	110	61	> 2.419,6	46.4	89.2	-1	Na-K-CO3	11.4	14.5	4.64	0.670	6.04	1.28	17.1	0.030	0.030	54.5	0.049	0.11	0.081	0.039	-0.03	0.017	-0.02	0.06
46	38	4	> 2.419,6	47.9	62.7	0	Ca-Mg-HCO3	1.6	2.8	0.43	1.67	3.38	0.13	26.9	0.127	0.002	0.801	-0.003	0.06	0.005	0.070	-0.03	0.038	-0.02	0.08
45	36	2	> 2.419,6	86.2	44.1	1	Ca-Mg-HCO3	1.5	2.7	0.29	1.57	3.22	0.10	26.2	0.146	0.002	0.154	0.074	0.03	-0.003	0.070	-0.03	0.080	-0.02	0.07

Ba [mg/l]	Be [mg/l]	Cd [mg/l]	Co [mg/l]	Cr [mg/l]	Cu [mg/l]	Li [mg/l]	Ni [mg/l]	Pb [mg/l]	Sc [mg/l]	SiO2 [mg/l]	Sr [mg/l]	Ti [mg/l]	V [mg/l]	Zn [mg/l]	Hg [µg/l]	d18O	sd	d2H	sd	DE	Commentaires
0.042	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	16.5	0.043	-0.001	-0.003	0.063	-0.02	-3.40	0.07	-20.6	0.2	7	
0.007	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	0.004	0.008	-0.003	-0.02	-0.001	63.9	0.453	-0.001	0.007	0.321	-0.02	-3.10	0.10	-19.9	0.6	5	
0.004	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	0.006	-0.003	-0.02	-0.001	64.2	0.421	-0.001	0.014	0.072	-0.02	-3.46	0.10	-22.3	0.4	5	
0.173	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	17.1	0.026	-0.001	-0.003	0.036	-0.02	-3.67	0.02	-23.2	0.1	6	Insects dans l'eau. Pas d'utilisation pcq il y a un forage pas loin.
0.005	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	19.8	0.063	-0.001	-0.003	0.031	-0.02	-3.96	0.09	-23.4	0.0	8	
0.246	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	0.011	-0.003	-0.02	-0.001	46.7	0.610	-0.001	0.007	0.032	-0.02	-1.48	0.05	-12.7	0.1	-1	Insect dans l'eau. Rive de fleuve 30 m.
0.032	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	32.1	0.112	-0.001	-0.003	0.068	-0.02	-3.26	0.05	-17.6	0.1	9	
0.031	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	36.4	0.048	-0.001	-0.003	0.060	-0.02	-3.99	0.03	-24.9	0.1	7	
0.008	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	0.004	-0.003	-0.02	-0.001	76.2	0.147	-0.001	0.024	0.049	-0.02	-3.55	0.05	-21.9	0.2	7	
0.027	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	0.003	-0.003	-0.02	-0.001	37.9	0.042	-0.001	-0.003	0.056	-0.02	-3.73	0.17	-24.0	0.6	6	
0.120	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	46.8	0.165	-0.001	-0.003	0.026	-0.02	-3.95	0.05	-21.7	0.2	10	
0.021	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	0.008	0.059	-0.003	-0.02	-0.001	53.3	0.460	-0.001	0.004	0.197	-0.02	-4.26	0.18	-26.9	0.5	7	
0.001	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	0.021	-0.003	-0.02	-0.001	38.6	0.473	-0.001	0.005	0.056	-0.02	-3.34	0.17	-21.8	0.7	5	
0.049	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	16.7	0.021	-0.001	-0.003	0.020	-0.02	-3.51	0.19	-20.7	0.4	7	
0.064	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	16.7	0.029	-0.001	-0.003	0.050	-0.02	-4.11	0.05	-23.2	0.1	10	
0.039	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	14.2	0.041	-0.001	-0.003	0.065	-0.02	-3.07	0.03	-23.4	0.2	1	Échantillonnage depuis un pont. Endroit avec le courant plus forte.
0.041	-0.0005	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.02	-0.001	13.6	0.038	-0.001	-0.003	0.192	-0.02	-3.05	0.04	-23.5	0.1	1	Échantillonnage depuis un pont. Endroit avec le courant plus forte.

Remarques généraux
Moyen état. Zone agricole.
Bon état. Zone agricole.
Bon état. Zone agricole. Puits fermé.
Bon état. Zone agricole.
Moyen état. Zone agricole.
Bon état. Zone agricole.
Bon état. Zone agricole.
Bon état. Zone agricole.
Bon état. Poubelle autour de puits. Zone agricole.
Moyen état. Quartier. "Aquifère Socle" (Directrice).
Moyen état (en peu usé). Zone agricole.
Bon état. Quartier.
Bon état. Pompe a main marche bien depuis 1986! Quartier.
Moyen état. Zone agricole.
Moyen état. Zone agricole.
Fleuve Niger en centreville
Fleuve Niger en aval de centreville