



# Cartographie de l'Accès et de la Qualité des Points d'Eau dans la Zone Humanitaire du Lac Tchad



14 Avril 2017



## Table des matières

<b>Table des matières</b> .....	<b>2</b>
<b>Listes des abréviations</b> .....	<b>3</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Contexte</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Objectifs</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Zone d'étude</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Méthodologie</b> .....	<b>6</b>
<b>5. Résultats</b> .....	<b>7</b>
5.1. Mission terrain .....	7
5.2. Taux d'accès à l'eau .....	7
5.3. Distribution des puits et forages .....	9
5.4. Conductivité de l'eau des forages .....	9
5.4.1. Tendance générale.....	9
5.4.2. Relation type d'ouvrages et taux d'accès.....	10
5.5. Analyses physico-chimiques et isotopiques .....	11
<b>6. Conclusions</b> .....	<b>12</b>
<b>7. Limites de l'étude</b> .....	<b>12</b>
<b>8. Annexes</b> .....	<b>13</b>
8.1. Distribution des points d'eau selon les acteurs humanitaires.....	13
8.2. Carte des conductivités électriques de l'eau des ouvrages .....	14
8.3. Carte des cotes piézométriques de l'eau des ouvrages.....	15
8.4. Taux d'accès à l'eau et conductivité.....	16
8.5. Distribution de l'Oxygène 18 dans la zone d'étude .....	16

## Listes des abréviations

ACF : Action Contre la Faim

AEP : Adduction d'Eau Potable

BGR : Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Institut Fédéral de Géosciences et Ressources Naturelles)

CBLT : Commission du Bassin du Lac Tchad

CDIG : Centre de Documentation et d'Information Géographique

INSEED : Institut National de la Statistique, des Études Économiques et Démographiques

LNE : Laboratoire Nationale de l'Eau

MEA : Ministère de l'Eau et de l'Assainissement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PMH : Pompe à Motricité Humaine

ResEau : Ressources en Eau (Projet ResEau)

SDEA : Schéma Directeur de l'Eau et de l'Assainissement

SITEAU : Système d'Information Tchadien sur l'Eau

UNITAR : Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche

UNICEF : Fonds des Nations Unies pour l'Enfance

UNOSAT : Programme d'Applications Satellitaires Opérationnelles de l'UNITAR

## Résumé

La grave crise humanitaire qui sévit dans la Région du Lac Tchad a aggravé les conditions de vie déjà précaires d'une grande majorité des populations de cette région. L'accès aux services de base et à l'eau potable en qualité et en quantité suffisante constitue un élément essentiel dans l'assistance à ces populations. Mais le contexte géologique et hydrogéologique particulier de la région du Lac Tchad est à l'origine des problèmes de salinité qui réduisent le taux d'accès à l'eau des populations locales. L'objet de cette étude mandatée par Oxfam et ses partenaires est de contribuer à la connaissance de la ressource dans cette région par la cartographie de l'accès et de la qualité de l'eau. Des analyses spatiales, physico-chimiques et isotopiques ont ainsi été effectuées sur des données collectées durant une mission terrain, complétée par des données extraites de la base de données SITEAU du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA).

Les résultats des différentes analyses ont montré l'existence d'un gradient de salinité qui augmente progressivement dans la direction SE-NO (de la Cuvette Sud vers la Cuvette Nord du Lac) avec des valeurs maximales proches de 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cette direction du gradient de conductivité est similaire au sens de l'écoulement des eaux souterraines de la Région du Lac Tchad. Ainsi, plus on s'éloigne des eaux libres et douces du Lac, plus les eaux souterraines sont minéralisées à cause de leur temps de séjour dans le sol et les facies géologiques qu'elles traversent. Dans cette Cuvette Nord caractérisée par une conductivité moyenne de 3200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  comparativement à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans la Cuvette Sud, le taux d'accès à l'eau n'est que de 52%.

Les analyses physico-chimiques effectuées en laboratoire confirment la salinité de l'eau de la région du Lac Tchad avec des valeurs de sodium largement au-dessus de la norme de l'OMS. Ces analyses indiquent également une eau de mauvaise qualité chimique par endroit avec des concentrations élevées en fluor et arsenic dans la Cuvette Nord du Lac, ainsi que des valeurs de sulfate, de fer, de manganèse et de composés azotés au-dessus des normes permises par l'OMS. Cela constitue un risque de santé pour les populations locales.

Étant donné les conductivités élevées les fortes valeurs des composés chimiques dans l'eau des ouvrages hydrauliques de la Région du Lac Tchad, il serait pertinent de faire une cartographie exhaustive de la qualité de l'eau pour mieux soutenir tous plaidoyers sur la couverture en eau des populations locales.

**Ce rapport a été rédigé par Dr. Charles SERELE<sup>1</sup> avec la collaboration de Dr. Daira DJORET<sup>2</sup>, Guinbé AMNGAR<sup>3</sup>, Brahim NANGASDAI<sup>3</sup>, Calvin NDJOH-MESSINA<sup>1</sup> et Ivann MILENKOVIC<sup>1</sup>.**

---

<sup>1</sup> UNITAR/UNOSAT/Projet ResEau (Cartographie des Ressources en eau du Tchad)

<sup>2</sup> CBLT/BGR : Commission du Bassin du Lac Tchad et BGR

<sup>3</sup> CDIG : Centre de Documentation et d'Information Géographique, Ministère de l'Eau et de l'Assainissement

## 1. Contexte

Les populations de la Région du Lac Tchad sont sévèrement affectées par la crise alimentaire et nutritionnelle aggravée par la détérioration de la situation sécuritaire liée à la présence de Boko Haram depuis les dernières années. Au Tchad, à ce jour, la crise affecte environ 257000 personnes et a provoqué le déplacement d'environ 124765 personnes dont 89010 déplacés enregistrés (12464 retournés tchadiens) auxquels s'ajoutent 35755 personnes estimées déplacées<sup>4</sup>. Cette crise a aggravé des conditions de vie déjà précaires d'une grande majorité des populations de cette région en accentuant le manque d'accès aux services de base et à l'eau, l'insécurité alimentaire et la malnutrition, la fragilité des moyens d'existence et le faible accès à des infrastructures sanitaires adéquates.

Pour répondre aux besoins urgents des populations les plus vulnérables engendrés par cette crise dans le bassin du Lac Tchad, Oxfam mène des actions d'urgence dans la cuvette Nord du Lac depuis juin 2016 à travers une approche intégrée Wash- EFSL- Protection. L'accès à l'eau potable en quantité et qualité suffisante constitue un élément essentiel dans l'assistance aux populations déplacées, mais les acteurs humanitaires qui interviennent dans cette zone sont confrontés à la problématique de la salinité élevée des eaux souterraines.

Les acteurs Wash intervenants dans la zone humanitaire du Lac Tchad sont confrontés à la salinité élevée des eaux souterraines avec des conductivités parfois de plus de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . L'une des causes principales de cette salinité est la particularité géologique et hydrogéologique de la zone du Lac Tchad qui présente par endroit des eaux souterraines fortement minéralisées. Les concentrations peuvent être localement élevées au contact d'intercalations argileuses à gypse ou à natron.

En vue de contribuer à une meilleure connaissance des ressources en eau de la zone du Lac Tchad, Oxfam en collaboration avec ses partenaires (ACF, Help-Tchad, Unicef, MEA/CDIG/Projet ResEau, LNE et BGR/CBLT) a mandaté une étude sur la cartographie de l'accès et de la qualité des points d'eau dans la Cuvette Nord du Lac Tchad. Cette étude dont les résultats sont présentés dans ce rapport a été réalisée par le CDIG/MEA (Centre de Documentation et d'Information Géographique) en collaboration avec le Projet ResEau (Cartographie des Ressources en Eau du Tchad) et le BGR/CBLT.

## 2. Objectifs

L'objectif général de la présente étude est de contribuer à la connaissance des ressources en eau par la cartographie de l'accès et de la qualité des points d'eau dans la zone humanitaire du Lac Tchad.

Les objectifs spécifiques au nombre de trois se déclinent comme suit :

1. Assurer la collecte des données sur les caractéristiques et le fonctionnement des points d'eau réalisés ou existants dans la zone humanitaire du Lac Tchad,
2. Définir la couverture en eau dans la zone des populations hôtes et déplacées,
3. Produire la cartographie de l'accès et la qualité des points d'eau de la zone cible

## 3. Zone d'étude

La zone d'étude couvre les localités de Kiskawa-Daboua, Liwa, Baga Sola et Ngouboua-Kaira. Toutefois, pour des raisons pratiques, la mission terrain composée de trois équipes, s'est concentrée sur les trois sites identifiés sur la figure 1 (page suivante).

---

<sup>4</sup> Lake Chad Basin Emergency: Humanitarian Needs and Response Overview 2016, OCHA

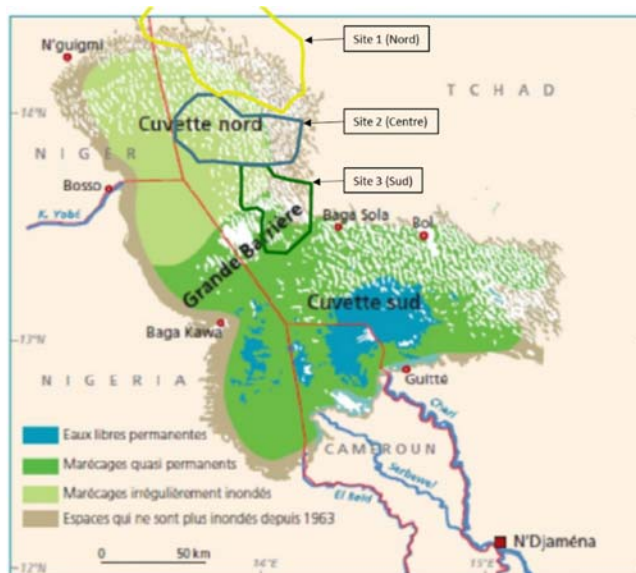


Figure 1 : Zone d'étude

#### 4. Méthodologie

L'approche méthodologique considérée pour réaliser cette étude est subdivisée en trois étapes :

- Étapes 1 (Avant la mission terrain) : L'avant mission a consisté à tenir plusieurs meetings entre le CDIG/Projet ResEau et les partenaires afin de préciser les objectifs de l'étude, les limites de la zone d'étude ainsi que les produits finaux. Au cours de cette étape, un état des lieux a été effectué en termes de données. En effet, une revue des données existantes au niveau des acteurs Wash de la zone du Lac et des bases de données SITEAU et SIRE a été réalisée en vue de mieux situer les besoins de collecte de données. Enfin, une analyse préliminaire de ces données a permis d'identifier les points d'eau ayant des valeurs de conductivité électrique.
- Étapes 2 (Pendant la mission terrain) : La réalisation de la mission terrain a été possible grâce à la collaboration et aux actions coordonnées des équipes du CDIG/MEA, BGR/CBLT, Oxfam, ACF et de Help-Tchad. Trois équipes ont ainsi été formées pour couvrir les sites d'étude. La collecte des données a été précédée par des tests des appareils de mesure in-situ pour s'assurer du bon fonctionnement de ceux-ci. Les éléments suivants ont été mesurés pour chaque échantillon d'eau collecté : points GPS, conductivité électrique (EC), température, pH et TDS.
- Étapes 3 (Après la mission terrain) : Après la compilation et l'analyse préliminaire des données collectées, celles-ci ont été mise en relation avec les données existantes. Une restitution des résultats de la mission a été faite aux partenaires afin d'échanger sur les données et valider la mission. Un traitement plus approfondie constituée par une analyse statistique et spatiale, le calcul des taux d'accès et la production cartographique a ensuite été effectuée. Des analyses physico-chimiques et isotopiques ont été réalisées en laboratoire par le BGR afin de préciser la qualité de l'eau. Les cartes de conductivité électrique et des cotes piézométriques ont été produites à partir de l'interpolation des points échantillonnés. La méthode d'interpolation, *Pondération par l'inverse de la distance (IDW)* a été utilisée dans l'environnement QGIS. Les sections suivantes présentent les résultats de cette étude.

## 5. Résultats

### 5.1. Mission terrain

La mission de collecte de données a permis d'identifier les ouvrages hydrauliques suivants :

- Sur 138 ouvrages à visiter avant la mission, finalement 217 ont été identifiés et mesurés. De ce nombre, 202 ouvrages avaient des valeurs connues de conductivité électrique ;
- 64 ouvrages présentaient une conductivité électrique inférieure à 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ;
- 58 ouvrages présentaient une conductivité électrique comprise entre 2500 et 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ;
- 80 ouvrages présentaient une conductivité électrique supérieure à 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ;
  - ✓ 49 puits ouverts non connus avant la mission ;
  - ✓ 07 forages en panne ;
  - ✓ 02 forages vandalisés ;
  - ✓ 12 forages non fonctionnels ;
- 63 ouvrages échantillonnés : 47 proviennent de forages, 15 de puits et un échantillon d'eau de surface (bras du Lac).

L'annexe 8.1 illustre la répartition géographique globale de ces échantillons en fonction des acteurs humanitaires dépositaires de ces données.

Durant la mission terrain, les trois équipes ont rencontré un certain nombre de difficultés, à savoir :

- Certains endroits de la zone d'étude étaient identifiés zone rouge (inaccessibles pour la collecte de données) en raison des conditions d'insécurité liées à la présence de Boko Haram.
- Renoncement de certains agents initialement désignés pour faire partie de l'équipe projet,
- Mobilisation intense des militaires dans les environs de la zone d'étude (2 affrontements, bombardement par hélicoptère),
- Problème de calibrage des appareils de mesure de la conductivité électrique. Exemple :
  - ✓ Pour un même échantillon :  $EC_{\text{OXFAM}} = 541 \mu\text{S}/\text{cm}$  ;  $\text{pH} = 6,23$  ;  $T = 28,5^\circ\text{C}$   
 $EC_{\text{BGR}} = 822 \mu\text{S}/\text{cm}$  ;  $\text{pH} = 7,09$  ;  $T = 28,6^\circ\text{C}$
  - ✓ Pour un même échantillon :  $EC_{\text{ACF}} = 1077 \mu\text{S}/\text{cm}$  ;  $\text{pH} = 6,77$  ;  $T = 27,6^\circ\text{C}$   
 $EC_{\text{BGR}} = 823 \mu\text{S}/\text{cm}$  ;  $\text{pH} = 7,17$  ;  $T = 27,4^\circ\text{C}$
- Inversion des coordonnées GPS observées pour la plupart des données existantes.
- Incohérence au niveau des noms des localités : les fichiers avant la mission présentent des distinctions orthographiques des noms des localités avec le fichier construit sur le terrain.

Pour la mesure des conductivités de l'ensemble des échantillons, les appareils du BGR/CBLT ont été considérés. Les traitements effectués sur les données après la mission ont permis de corriger les problèmes d'inversion des coordonnées GPS ainsi que l'incohérence au niveau des noms des localités.

### 5.2. Taux d'accès à l'eau

Le taux d'accès à l'eau représente le pourcentage de la population ayant accès à une infrastructure hydraulique en regard des normes de consommation reconnues. Au Tchad, l'infrastructure de base des localités rurales est la PMH, chacune pouvant desservir jusqu'à 400 personnes. Cependant, l'accès à l'eau potable par une AEP via ses bornes fontaines et ses branchements particuliers est aussi comptabilisé pour le secteur rural. Chaque borne fontaine dessert 400 personnes au maximum et chaque branchement particulier dessert 10 personnes (SDEA 2003). Le nombre d'habitants de chaque localité est issu du deuxième recensement général de la population et de l'habitat de l'INSEED. Ces chiffres sont de 2009 et pour les transposer à l'année 2016, un taux d'accroissement annuel de la population de 3,6 % a été appliqué pour chaque localité. Les taux d'accès des trois sites de la zone d'étude ont été estimés en tenant compte uniquement des ouvrages dont la conductivité est inférieure ou égale à 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , norme en vigueur au Tchad (Tableau 1, page suivante).

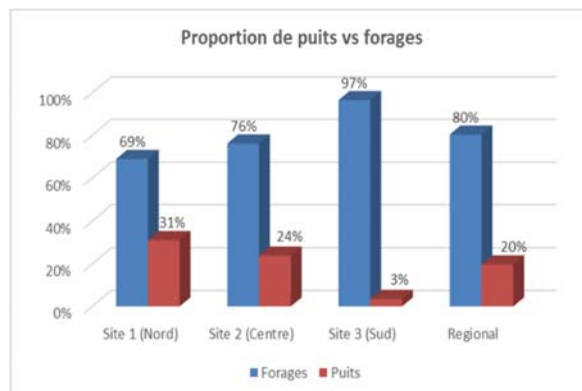
Tableau 1 : Taux de desserte en eau sur les sites de la zone d'étude

Zone d'étude	Population 2009	Population 2016	EC en µs/cm	Nombre ouvrage	Population desservie	Taux de desserte en %
Site 1: Nord	5423	6946	≤2500	9	3600	<b>52</b>
			≤2600	14	5600	81
			≤2700	15	6000	86
			≤2800	16	6400	92
			≤2900	20	8000	115
			≤3000	25	10000	144
Site 2: Centre	7326	9384	≤2500	20	8000	<b>85</b>
			≤2600	20	8000	85
			≤2700	22	8800	94
			≤2800	22	8800	94
			≤2900	22	8800	94
			≤3000	23	9200	98
Site 3: Sud	6224	7972	≤2500	100	40000	<b>502</b>
			≤2600	103	41200	517
			≤2700	106	42400	532
			≤2800	106	42400	532
			≤2900	106	42400	532
			≤3000	107	43000	539
Sous- préfecture de Daboua	4335	5553	≤2500	13	5200	<b>94</b>
			≤2600	17	6800	122
			≤2700	18	7200	130
			≤2800	18	7200	130
			≤2900	21	8400	151
			≤3000	25	8400	180
Sous- préfecture de Liwa	19750	25298	≤2500	224	89600	<b>354</b>
			≤2600	225	90000	356
			≤2700	227	90800	359
			≤2800	228	91200	361
			≤2900	229	91600	362
			≤3000	231	92400	365
Sous- préfecture de kaiga Kindjiria	16794	21512	≤2500	12	4800	<b>22</b>
			≤2600	14	5600	26
			≤2700	15	6000	28
			≤2800	15	6000	28
			≤2900	15	6000	28
			≤3000	15	6000	28
Sous- préfecture de Ngouboua	27788	35594	≤2500	76	30400	<b>85</b>
			≤2600	77	30800	87
			≤2700	79	31600	89
			≤2800	79	31600	89
			≤2900	80	32000	90
			≤3000	81	32400	91



### 5.3. Distribution des puits et forages

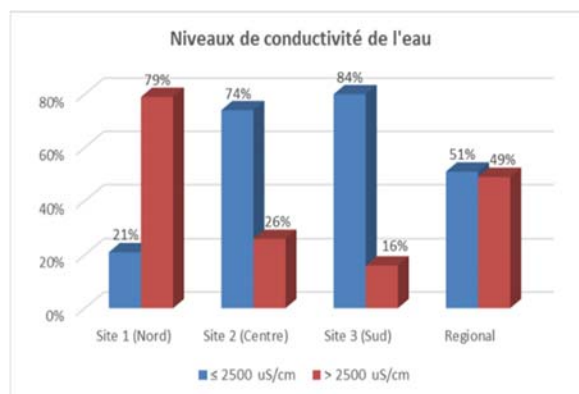
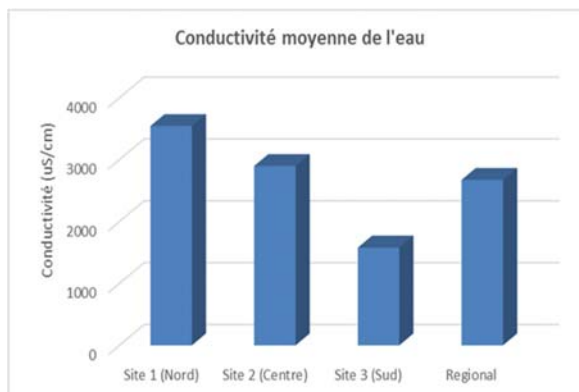
- Faible proportion de puits comparativement aux forages sur l'ensemble de la zone d'étude. Le nombre élevé de forages est certainement dû aux programmes d'hydrauliques villageoises réalisés dans ces régions. On note également une augmentation progressive du nombre de puits par rapport aux forages du sud vers la Cuvette Nord du Lac. La quasi-absence de zones inondées dans le nord pourrait être un facteur qui favoriserait la forte présence de puits ouverts pour l'approvisionnement en eau de la population. La facilité d'accès à l'eau (puits dans les Wadis), la préférence des populations et les mouvements des populations déplacées pourraient aussi expliquer le nombre important de puits. Quant à la zone sud, la présence régulière de surfaces d'eaux libres pourrait être la cause du faible nombre de puits ouverts.



### 5.4. Conductivité de l'eau des forages

#### 5.4.1. Tendence générale

- Augmentation progressive de la conductivité du sud vers le nord. En effet, on note l'existence d'un gradient de salinité de l'eau des ouvrages, de la Cuvette Sud vers la Cuvette Nord du Lac Tchad avec un maximum proche de 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- 79% des ouvrages de la Cuvette Nord du Lac Tchad sont caractérisés par des conductivités supérieures à la norme de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  contre 16% dans la partie sud. La Cuvette Nord est une zone très sèche à faible pluviométrie, et elle est marquée par une forte évaporation qui provoque la précipitation des sels, lesquels accentuent la salinité de l'eau des ouvrages. Quant à la zone sud, les échanges entre les eaux libres du Lac et la nappe superficielle déterminent la faible salinité observée.
- La tendance de variation de la conductivité observée à travers l'analyse statistique est confirmée par l'analyse spatiale comme illustrée sur la carte de la conductivité (Annexe 8.2). Le gradient d'augmentation de la conductivité dans la direction SE-NO, suit le sens d'écoulement des eaux souterraines de la Région du Lac. Ainsi le long temps de séjour des eaux de la zone sud vers la Cuvette Nord contribue à leur forte minéralisation au contact de facies géologiques riches en roches évaporitiques<sup>5</sup> tels que le gypse ou le natron. La zone de très fortes conductivités observées sur la carte (axe Kiskawa-Daboua) pourrait être liée à la présence massive de natrons. Enfin, la variabilité spatiale des cotes

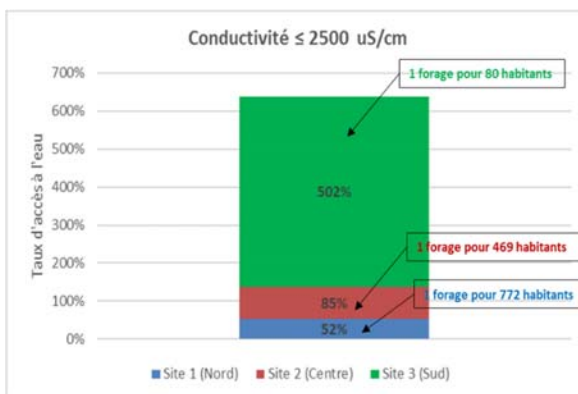
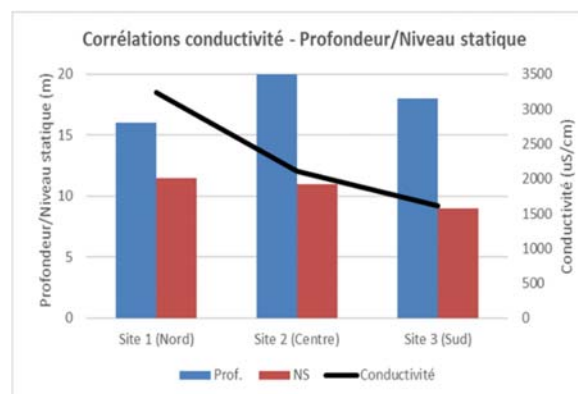
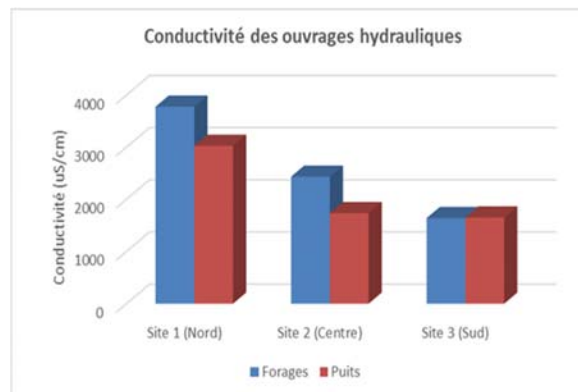


<sup>5</sup> Roches sédimentaires résultant de l'évaporation de l'eau et de la précipitation des sels qui y sont dissous.

piézométriques de l'eau des ouvrages échantillonnés n'affiche pas une tendance particulière en relation avec la conductivité électrique (Annexe 8.3).

#### 5.4.2. Relation type d'ouvrages et taux d'accès

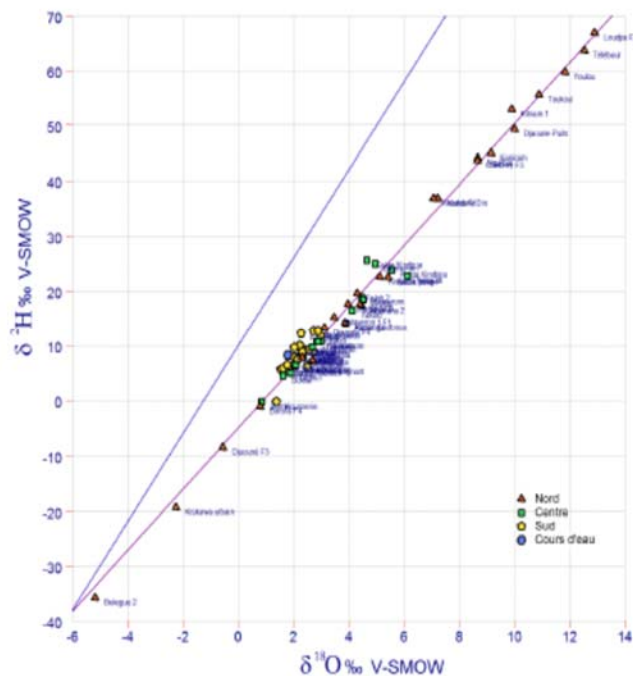
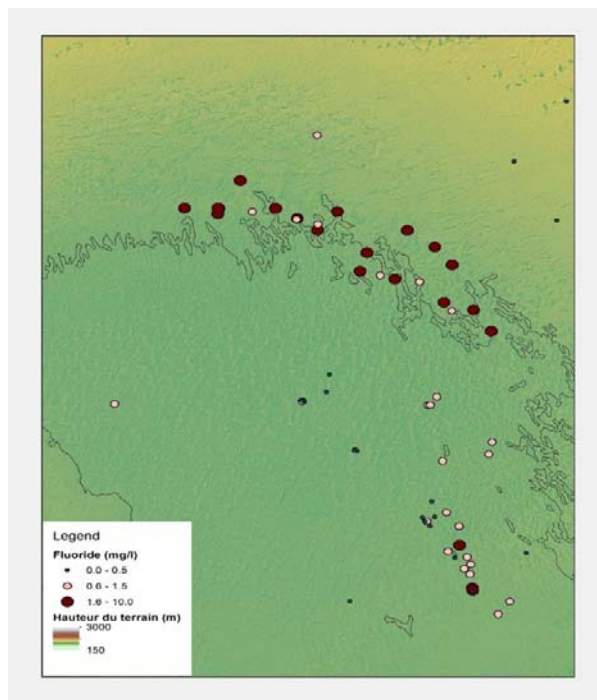
- Peu importe le type d'ouvrages hydrauliques on observe toujours un accroissement du gradient de conductivité de la Cuvette Sud vers la Cuvette Nord du Lac Tchad. Toutefois, les conductivités sont plus élevées dans les forages que dans les puits, ce qui semble suggérer un effet possible de la profondeur, car les forages sont généralement plus profonds que les puits. Dans le sud par contre, les forages et les puits présentent des similarités en termes de conductivités, cela s'explique par le fait que l'eau des ouvrages hydrauliques y est influencée par l'apport des eaux douces du Lac.
- L'analyse des données disponibles ne fait toutefois pas ressortir de corrélations directes entre la conductivité de l'eau et les profondeurs forées d'une part, et entre la conductivité de l'eau et les cotes piézométriques d'autre part. Une étude plus détaillée sur l'ensemble de la zone du Lac Tchad est donc nécessaire pour mieux comprendre ces relations qui existeraient par endroits selon les informations recueillies auprès des praticiens du terrain.
- L'analyse des taux d'accès à l'eau montre que dans la Cuvette Nord, pour une conductivité maximale de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , le taux d'accès n'est que de 52%, soit 1 forage pour 772 habitants. La partie centrale de la zone du Lac Tchad affiche quant à elle un taux d'accès à l'eau de 85% (soit 1 forage pour 469 habitants), alors que la zone sud ne semble pas présenter pas de problème d'accès à l'eau (1 forage pour 80 habitants). Dans la Cuvette Nord du Lac, une augmentation de la limite supérieure de la conductivité de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 2700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  accroît le taux d'accès à l'eau respectivement de 52% à 81%, 86% et 92% (Annexe 8.4).



## 5.5. Analyses physico-chimiques et isotopiques

Les analyses physico-chimiques et isotopiques ont été réalisées en Allemagne par l'équipe du BGR. Les résultats trouvés au laboratoire ont été comparés avec les valeurs limites proposées par l'OMS, pour en arriver aux conclusions suivantes :

- 17 échantillons dans la Cuvette Nord et 2 dans la zone centre du Lac présentent des concentrations élevées en fluor et en arsenic. Cela constitue un sérieux problème pour la santé des populations de la zone concernée, car l'excès de fluor provoque la fluorose dentaire et osseuse, alors que l'arsenic est un composé cancérigène.
- Les concentrations en sodium sont également très élevées, ce qui confirme le problème de salinité identifié par la mesure des conductivités. Cela ne représente certes pas un énorme problème de santé sauf pour les personnes qui souffrent de haute pression artérielle. La présence de sulfate est aussi considérable, avec des concentrations atteignant 500 mg/l (limite de l'OMS). Ces concentrations élevées causeront des problèmes intestinaux aux personnes non habituées à consommer ce type d'eau.
- Les hautes concentrations en fer et en manganèse indiquent un milieu anoxique (manque d'oxygène). Cela ne pose certes pas de problème de santé, mais cause des problèmes aux systèmes de distribution d'eau (dépôts dans la tuyauterie), et des tâches sur le linge lors de la lessive. C'est aussi valable pour l'aluminium. Quant aux composés azotiques (nitrate, nitrite et ammonium), ils sont en général trop élevés dans les eaux échantillonnées. Cela est synonyme d'une pollution anthropique, un manque d'hygiène et une absence de traitement des eaux usées.
- Enfin, l'analyse isotopique montre que 11 échantillons dans la Cuvette Nord du Lac sont enrichis en Oxygène 18 ( $^{18}\text{O}$ ) et Deutérium ( $^2\text{H}$ ) (Annexe 8.5), cela indique une évaporation très importante dans cette région où la nappe était rechargée lorsque l'eau libre du Lac couvrait encore la zone. Simultanément, il y a 3 échantillons dans la Cuvette Nord qui sont appauvris en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ . Ces forages semblent recevoir une recharge récente issue des précipitations. Le reste des échantillons des sites Nord, Centre et Sud ont des concentrations similaires en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ . Toutefois, une étude approfondie est nécessaire pour conclure sur le processus de recharge de la nappe alimentant les forages de la Région du Lac Tchad.



## 6. Conclusions

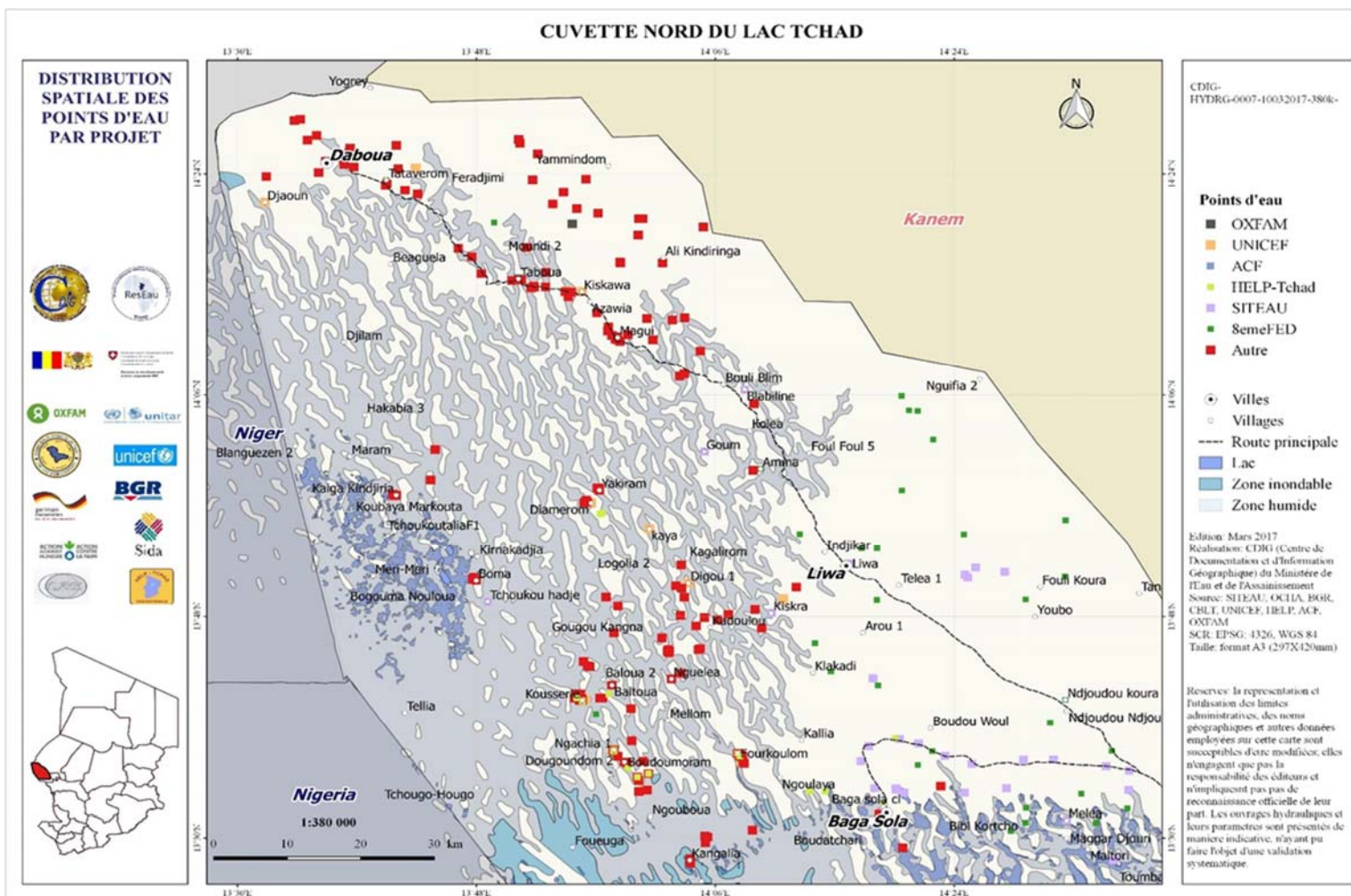
- L'eau des ouvrages hydrauliques de la Région du Lac Tchad affichent un gradient élevé de salinité de la Cuvette Sud vers la Cuvette Nord du Lac Tchad, avec un maximum proche de 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cet effet est atténué dans la zone sud où les eaux douces du Lac alimentent la nappe, d'où la faible salinité des eaux. Mais plus on s'éloigne du Lac, plus le temps de séjour de l'eau augmente, d'où la forte minéralisation des eaux souterraines.
- En plus des processus d'évaporation intenses qui augmentent les niveaux de salinité dans la Cuvette Nord du Lac tel que confirmé par l'analyse isotopique, l'analyse spatiale de la conductivité met en évidence une zone de conductivités très élevées qui pourrait être liée à la présence d'un faciès lithologique spécifique. Il est possible que l'enrichissement des eaux en sels ait créé des conditions de cristallisation et des dépôts salins.
- L'impact direct de la profondeur forée sur le gradient de salinité n'a pas été observé dans cette étude. En effet, l'eau des ouvrages est très minéralisée dans la Cuvette Nord malgré les faibles profondeurs, et moins minéralisée dans le sud malgré les profondeurs plus ou moins élevées. Toutefois, il pourrait exister une relation entre la conductivité et la profondeur de certains faciès lithologiques tel que l'argile verte (contenant du gypse). Celle-ci est récurrente dans les logs de forage de la Cuvette Nord.
- La cartographie exhaustive de la conductivité électrique de l'eau dans la Région du Lac Tchad est nécessaire pour mieux soutenir tous plaidoyers sur la couverture en eau de la région. Aussi, telles que démontré par les analyses physico-chimiques, la notion de qualité de l'eau ne doit pas seulement se limiter à la conductivité, mais aussi tenir compte de la composition chimique de l'eau. En effet, les résultats ont montré que même des échantillons ayant une conductivité inférieure à 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  présentent des concentrations élevées en composés chimiques (Fluor, Arsenic, Sodium, etc.). Ces eaux avec ces concentrations supérieures aux valeurs guides de l'OMS constituent un danger pour la consommation humaine et animale.
- Enfin, l'analyse de la problématique de la salinité de l'eau dans le Lac doit tenir compte du contexte géologique et hydrogéologique du bassin du Lac Tchad dans son ensemble, et aussi envisager l'exploitation des eaux souterraines des nappes plus profondes lesquelles sont de meilleure qualité.

## 7. Limites de l'étude

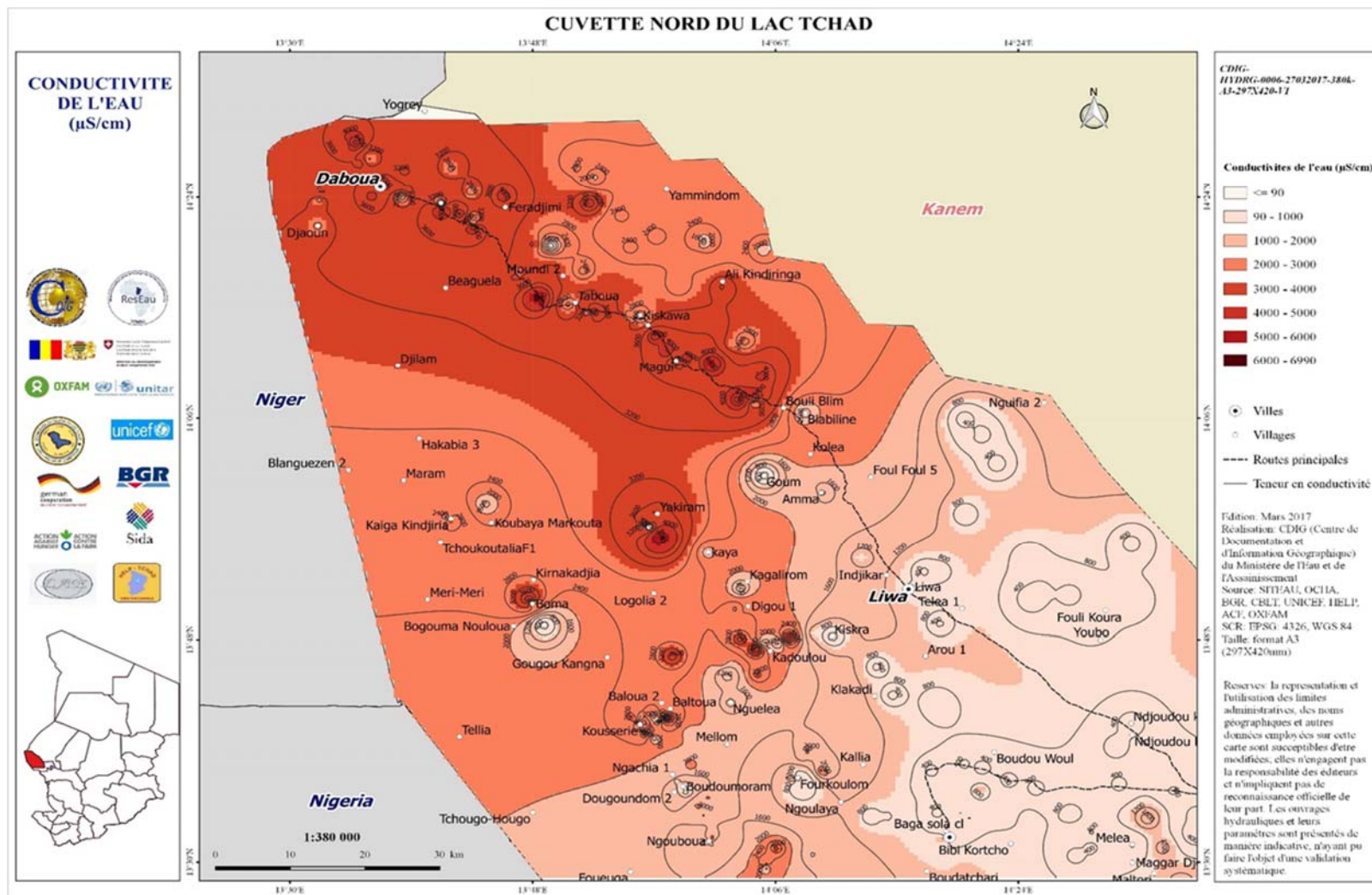
- Absence d'information détaillée sur la lithologie des forages dans la zone d'étude, et données incomplètes sur la population (cela pourrait affecter les taux d'accès à l'eau calculés).
- Calibrage des appareils de mesure de la conductivité non uniforme, ce qui pourrait impacter sur la validité des mesures de conductivité.
- Cette étude de la problématique de la salinité ne tient pas compte des fluctuations saisonnières.
- Enfin, le critère de 1 forage pour 400 habitants du MEA ne tient pas compte de la qualité de l'eau, encore moins des notions de distance et de temps d'accès à l'eau potable

## 8. Annexes

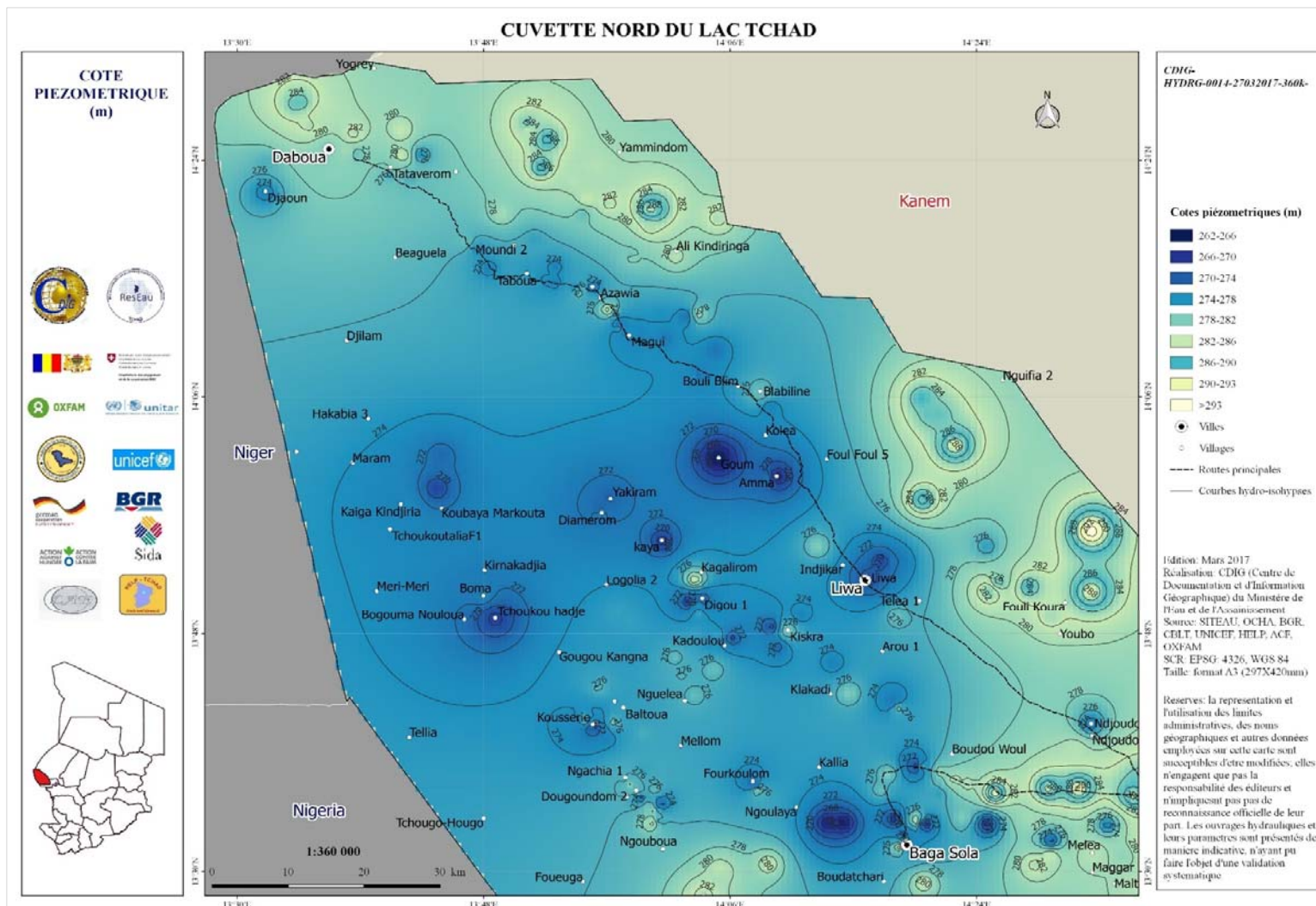
### 8.1. Distribution des points d'eau selon les acteurs humanitaires



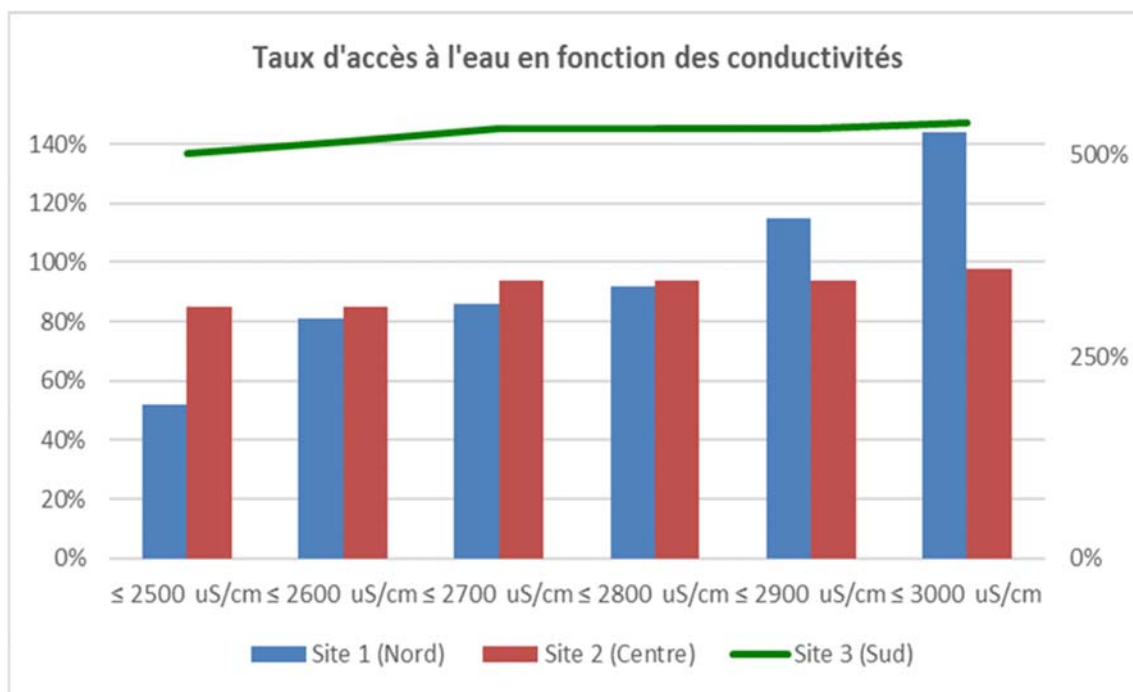
## 8.2. Carte des conductivités électriques de l'eau des ouvrages



### 8.3. Carte des cotes piézométriques de l'eau des ouvrages



### 8.4. Taux d'accès à l'eau et conductivité



### 8.5. Distribution de l'Oxygène 18 dans la zone d'étude

