

N° d'ordre

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université d'Oran2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Géologie

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade
de Master en Hydrogéologie

Option : **Hydrogéologie**

Thème :

Hydrochimie et Potabilité des eaux des nappes libres
du Dallol Bosso (Alluvions et Continental Terminal
CT3) : Régions de Birnie et Falmey (NIGER)

Présenté par : Amadou Boukari Mounkaila

Soutenu le 26/06/2018

Devant le jury composé de :

BORSALI Toufik	Maître-Assistant A	Univ. Oran 2	Président
MEBROUK-ZAIDI Naima	Professeure	Univ. Oran 2	Rapporteur
ABLAOUI Halima	Maître-Assistante A	Univ. Oran 2	Examinatrice

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

A mon père, Amadou Boukari

A ma mère, Hajia Fati Goumandakoye

qui ont fait d'énormes sacrifices pour mon éducation.

Puisse Dieu leur accorder sa miséricorde.

A mes chers frères et Sœur,

A mes Oncles : Malami Boukari, Mounkaila Goumandakoye, Daddy Gao Achirou.

Vous qui m'aviez tant soutenu. Les mots n'exprimeront jamais tout l'amour, l'attachement, le respect que j'ai pour vous.

Que ce travail puisse exprimer toute mon affection, mon admiration et ma tendresse.

A toute ma famille.

REMERCIEMENTS

Au terme de cette formation de Master, je tiens à remercier :

Tout d'abord, le Professeur Madame Mebrouk Zaidi N pour l'encadrement de ce mémoire, pour tout son effort qu'elle n'a cessé de nous fournir. Je suis très reconnaissant.

Docteur Issoufou Sandao coordonnateur du projet Pangire/Niger, pour son aide pour la collecte des données du Pangire.

Au Agents de direction de l'hydraulique de Dosso, pour leur aide lors de mon stage dans leur service.

A l'ensemble du corps professoral de la spécialité Hydrogéologie, de l'université d'Oran 2 qui ont su nous donner une formation didactique et appréciable durant tout au long de notre cursus universitaire.

Mes remerciements vont également à ma tutrice de Dosso tanti Fati, qui m'a hébergée.

J'exprime toute ma gratitude aux membres du jury qui ont accepté de juger et améliorer la qualité de ce travail.

Je ne terminerai pas sans avoir exprimé mes remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

Liste de Figures

Liste des Tableaux

Liste des abréviations

Introduction..... 1

Première partie : Synthèse géologique et hydrogéologique

Chapitre I : Contexte géographique et climatique..... 2

 Introduction..... 2

 I. Présentation de la zone d'étude..... 2

 I.1. Situation géographique de la zone d'étude..... 3

 I.1.1. Activités économiques..... 4

 II Contexte hydro climatique.....4

 II.1. Grands traits climatiques du Niger.....4

 II.2 Caractéristiques climatiques du Dallol Bosso.....5

 2.1. Pluviométrie..... 5

 2.1.1 Variabilité interannuelle de la pluviométrie.....6

 2.1.2 Variabilité mensuelle des précipitations.....7

 2.2 Température..... 9

 III. Conclusion 10

Chapitre II : Contexte géologique de l'Ouest du Niger..... 11

 Introduction..... 11

 I. Le socle birimien du liptako gourma..... 12

 II. Le bassin de Lullemeden..... 13

 II.1. Tectonique 14

 II.1.2. Histoire géologique..... 15

 II.2. Le Continental Terminal au niveau du Dallol Bosso..... 16

 III. Conclusion 18

Chapitre III : Caractérisation des ressources en eau dans la vallée du Dallol Bosso:..... 19

 Introduction..... 19

 I. Hydrologie de la vallée..... 19

 II. Hydrogéologie Régionale..... 21

 II.1. Etude géophysique régionale (Dosso)..... 21

 II.2. Etude géophysique de Greigert (Boboye)..... 21

 II.2.1.. Etude géophysique dans le département de Falmey..... 23

 II.2.2. Hydrogéologie de la zone d'étude 25

 III. Conclusion 29

Deuxième partie : Contexte Hydrochimique et potabilité des eaux des nappes libres du Dallol Bosso

Introduction.....	30
Chapitre IV : Matériel et Méthodes	33
I Méthodes.....	32
I.1. Traitement de données.....	33
a) Contrôle de la qualité des analyses.....	33
b) Etude des caractéristiques physico-chimiques.....	33
c) Représentations graphiques des éléments chimiques.....	33
d) Etude statistique : Analyse en Composante Principale (ACP).....	34
e) Détermination de la qualité bactériologique des eaux.....	34
f) Appréciation de la qualité des eaux pour la consommation humain.....	35
g) Détermination des aptitudes des eaux à l'irrigation par le SAR.....	35
Chapitre V : Résultat et discussion	36
I. Caractérisation des paramètres physico-chimique	36
I.1 la Balance ionique	36
I.2 les paramètres physiques	36
I.2.1 Le potentiel d'hydrogène (pH)	36
I.2.2. La Température	37
I.3. Les paramètres chimiques	37
I.3.1. les éléments majeurs	37
I.3.1.1. Les cations	37
I.3.1.2. Les anions.....	38
I.3.2. Les éléments traces	39
a) fer total	39
b) Fluorures.....	40
I.4. La conductivité	40
I.4.1 Etude des variations saisonnière de la conductivité de la nappe alluviale	42
I.5. Représentation graphique des éléments chimiques.....	43
a) Diagramme de Piper.....	43
b) Diagramme de Schoeller Berkaloff.....	44
II. Etude statistique (ACP).....	45
III. potabilité des eaux des nappes libres (alluvial + CT3).....	48
III.1. Eléments indésirables.....	48
a) Nitrate.....	48
b) Nitrite.....	49
III.2. Caractéristiques bactériologiques.....	49
III.3. Comparaison des éléments chimiques des eaux la norme OMS (2006).....	50
IV. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	51
IV.1. Evaluation du risque de salinité (diagramme de Riverside).....	51
CONCLUSION GENERAL ET RECOMMANDATION.....	53

Liste des Figures

Figure I.1 Projection 3D du Modèle Numérique de Terrain de la vallée du Dallol Bosso.....	2
Figure I.2 Localisations de la zone d'étude.....	3
Figure I.3 Les différentes zones climatiques du Niger.....	5
Figure I.4 Evolution des indices pluviométrique à la station de Birni N'Gaouré.....	6
Figure I.5 Evolution des indices pluviométriques à la station de Gaya.....	7.
Figure I.6 Hauteurs pluviométriques moyennes mensuelles à la station de Birni N'Gaouré.....	8
Figure I-7 Evolution des précipitations moyennes mensuelles la station de Gaya.....	8
Figure I-8: Evolution mensuelle de la température à Birni N'Gaouré	9
Figure I-9: Evolution des températures moyennes mensuelles de 1981-2010 de Gaya.....	10
Figure II-1: Carte géologique schématique de l'Afrique de l'Ouest.....	11
Figure II-2 : Carte géologique schématique du socle du Liptako.....	12
Figure II-3 : coupe géologique à travers le bassin de Lullemmenden.....	14
Figure II-4: Extensions des transgressions dans le bassin Lullemmenden.....	16
Figure II-5 : Carte géologique du Dallol Bosso.....	17
Figure III-1: Réseau hydrographique du dallol Bosso.....	20
Photo III-1: Mare Temporaire, Falmey (<i>Extrait de Moussa., 2013</i>).....	21
Figure III-2: Coupe géoelectrique Est-Ouest de la région de Dosso.....	22
Figure III-3: Coupe geoélectrique Nord-Sud du Département de Falmey.....	24
Figure III-4 : coupe récapitulatif des deux sondages électriques.....	24
Figure III-5: Coupe hydrogéologique du Dallol Bosso.....	25
Figure III-6 : Coupe de forage captant le socle dans le département de Falmey.....	26
Figure III-7 : Coupe hydrogéologique des aquifères à nappes libres (CT3 + alluviale) du Dallol Bosso dans la région.....	28
Figure IV-1: Points d'eaux analyses de la nappe alluviale.....	32
Figure IV-2: Points d'eaux analysés du CT3.....	32
Figure IV-3 : Carte de répartition des points choisis pour analyses bactériologiques.....	33
Figure V-1 : pH des eaux du CT3.....	36
Figure V-2 : pH des eaux de la nappe alluviale.....	36
Figure V-3 : Histogrammes de Cl ⁻ et HCO ₃ de nappe alluviale et du CT3.....	39
Figure V-4: Histogramme des valeurs de conductivités de la nappe du CT3.....	41
Figure V-5 : Histogramme des valeurs de conductivité de la nappe alluviale.....	41
Figure V-6 : Courbe de variation de conductivité des 5 sept Ouvrages d'observations de la nappe alluviale du Dallol Bosso.....	42
Figure V-7 : Représentation du diagramme de Piper des eaux du CT3.....	43

Figure V-8: Représentation du diagramme de Piper de la nappe alluviale.....	44
Figure V-9 : Représentation graphique de Scholler des eaux du CT3.....	45
Figure.V-10: Représentation graphique de Scholler de la nappe alluviale.....	45
Figure V-11 : Répartition des individus et des variables des eaux (nappe alluviale + CT3)....	47
Figure V-12 : Histogramme des teneurs en nitrate nappe du CT3.....	48
Figure V-13 : Histogramme des teneurs en nitrate de la nappe alluviale.....	49
Figure V-14 : Diagramme de SAR de la nappe alluviale.....	52
Figure V-15 : Diagramme de SAR pour le CT3.....	52

Liste des tableaux

Tableau V-1 : Valeurs moyennes des cations.....	37
Tableaux V- 2: Cations des nappes libres du Dallol Bosso.....	38
Tableaux V-3: Valeur moyenne des anions des eaux des nappes libres du Dallol Bosso.....	39
Tableau V-4 : Matrice de corrélation des éléments chimiques de la nappe alluviale.....	46
Tableau V-5 : Matrice de corrélation des éléments chimiques de la nappe du CT3.....	46
Tableau V-6 : Les meilleures corrélations positives dans l'ordre décroissant.....	47
Tableau.V-7: Etudes bactériologique des deux nappes (alluviale+CT3).....	50
Tableau.V-8 : Récapitulatif des teneurs des éléments chimiques obtenus comparés aux normes OMS (2006).....	51

Liste des abréviations

μS/cm: micro siemens par centimètre
ACP : Analyse en composante principale
BRGM : Bureau d'étude géologique et minier
CE: Conductivité Electrique
C-G-G paris : Compagnie Générale de Géophysique de Paris
CH: Continental Hamadien
CI: Continental Intercalaire
CT3 : Continental Terminal 3
CT: Continental Terminal
DDH/Boboie : Direction Départemental de l'Hydraulique de Boboie
DMN : Direction National de la Météorologie
DRH/Dosso: Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Dosso
FE: Forage Equipé
FAO : Organisation des nations unies pour alimentation et l'Agriculture
FIT : Front inter tropical
m:mètre
m ³ /h: mètre cube par heure
méq/l: milliéquivalent par litre
mg/l: milligramme par litre
mm : millimètre
N-S: Nord Sud
OMS: Organisation Mondiale de la Santé
p: précipitation
PANGIRE: Plan d'Action National pour la gestion Intégré des Ressources en Eau
PHVP : Programme hydraulique villageois phase V
PC: puits Cimenté
PM : Point d'eau moderne
PNUD: Programme des nations unies pour le développement
PZ : Piézomètre

SAR: Sodium Absorption and Radio
SW: Sud-Ouest
T: température
TNC: Très Nombreux pour être Compté
WE: Ouest Est
ZITC: ou Zone inter tropicale de convergence

INTRODUCTION GENERALE

L'hydrogéologie comme la majorité des sciences de la terre est une science interdisciplinaire, dans la mesure où il peut être difficile de tenir compte de toutes les interactions entre le sol, la biosphère et l'homme. Elle étudie généralement les eaux souterraines en déterminant leur propriété physico-chimique et leur circulation au sein des diverses formations géologiques.

L'eau essentielle à toute forme de vie sur terre, est devenue avec le temps une ressource épuisable pour l'être humain. Le problème fondamental est que sa répartition dans le temps et dans l'espace est loin d'être uniforme (Desjardins, 2000).

Ainsi, le Niger, pays sahélien, a toujours été confronté au problème d'eau qui demeure une préoccupation des différentes autorités du pays. En effet, hormis le fleuve Niger qui alimente seulement la capitale en eau potable à travers la station de traitement de Goudel, les nappes d'eaux souterraines représentent l'unique ressource en eau permanente accessible pour l'ensemble de la population du Niger. Son importance est donc non seulement économique, mais aussi vitale : "Aman, iman" (l'eau, la vie) est un proverbe Touareg très connu (Bemus, 1978).

Le Bassin du Lullemenden qui occupe tout le sud du Niger renferme d'importantes nappes d'eau, dont celui de la vallée fossilisée du Dallol Bosso, où ces nappes phréatiques moins profondes (niveau statique de 0 à 5 m pour la nappe alluviale et jusqu'à 20 m pour le CT3) représentent un potentiel hydrique important. Malheureusement, ces nappes sont assujetties par les pollutions anthropiques (fosse septique, manque de réseaux d'assainissement, irrigation intensive, la non prise de conscience de la population etc.).

Le but de notre travail c'est d'abord une synthèse hydrogéologique des ressources en eaux de la région ainsi qu'une étude des caractéristiques physico-chimiques et leur impact sur la potabilité des eaux de la région.

PARTIE I :
Synthèse géologique et hydrogéologique

INTRODUCTION

Le Niger pays sahélien et enclavé de l'Afrique de l'Ouest, est limité au Nord par l'Algérie et la Lybie, à l'est par le Tchad, au Sud par le Bénin et le Nigeria, et à l'Ouest par le Mali et le Burkina Faso.

Il est subdivisé administrativement en Huits régions (Wilaya) (annexe 5) : Niamey (capitale), Agadez, Diffa, Maradi, Tahoua, Zinder, Tillabéry, Dosso.

Le Niger présente plusieurs vallées fossilisées qui étaient des affluents du fleuve Niger, dont le Dallol Bosso et Dallol Maouri.

I. Présentation de la zone d'étude

Le Dallol Bosso (fig. 1-1) appartient à un grand ensemble hydrographique formé par la Vallée de l'Azawagh, affluent fossile du fleuve Niger qui prend ses sources dans deux régions montagneuses au Nord du Niger et du Mali (Poncet, 1986).

L'erg Azawagh à l'ouest du massif de l'Air (dans l'actuel Niger) fut un grand fleuve dont la vallée large de plusieurs kilomètres et longue de 1600 kilomètres débouche vers le sud sur l'actuelle Dallol Bosso qui atteint le Niger à 150 kilomètres au sud de Niamey (Tourte, 2005).

Au Niger, certaines vallées sèches reçoivent principalement, l'appellation de Dallol. Il s'agit des Dallol Bosso, Fogha et Maouri. Etymologiquement, Dallol signifie vallée en langue peulh (*in Hassane, 2013*).

Les Zarma l'appellent Boboye signifiant zone humide, là où la nappe phréatique se caractérise par une faible profondeur et affleure par endroits.

Le Dallol Bosso traverse le Niger sur deux régions à savoir la région de Tillabéry (Balleyara et flingué) constituant sa partie Nord et la région de Dosso (Boboye et Falmey), la partie Sud.

Les travaux de ce mémoire concernent la partie Sud du Dallol Bosso (Falmey et Boboye)

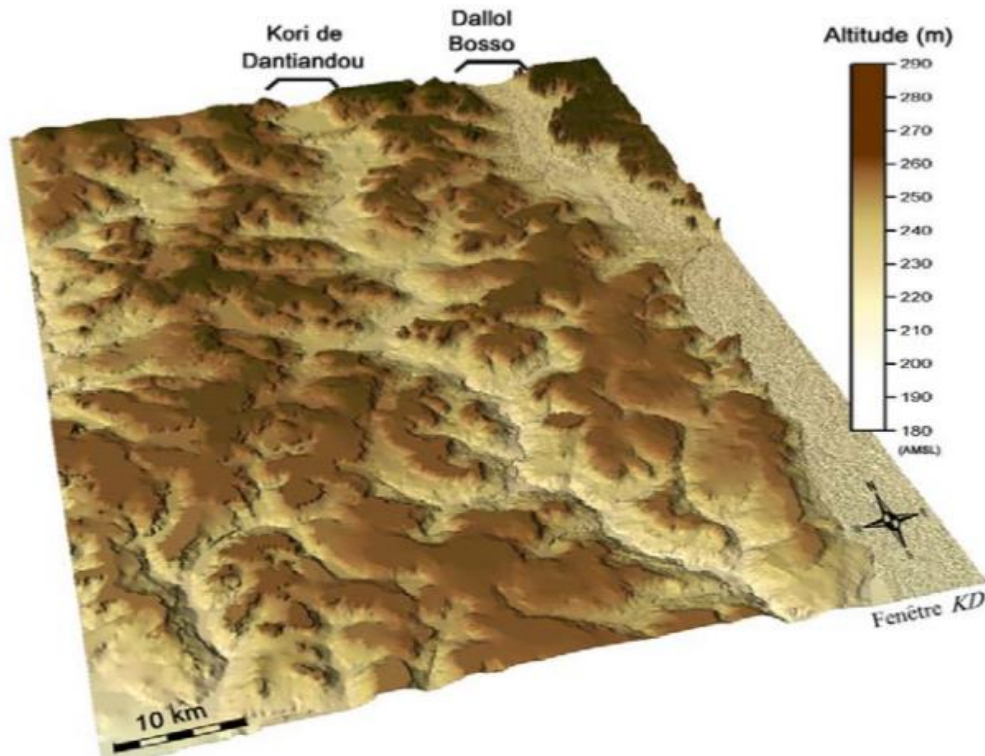


Figure I-1 : Projection 3D du Modèle Numérique de Terrain de la vallée du Dallol Bosso (Massuel, 2005).

I.1 Situation géographique de la zone d'étude

Le Dallol Bosso est situé dans la partie ouest de la région de Dosso et traverse les départements de Birni N'Gaouré et de Falmey selon un axe Nord- Sud. (Fig.I.2.).

Les caractéristiques de cette vallée fossile à l'intérieur de la région de Dosso sont les suivantes : Environ 150 km de longueur entre le village de Banikoubey et Boumba, une longueur moyenne de la vallée de 10km, et une superficie de 1550km² (DRH/Dosso). Il est limité :

- à l'Est par le département de Dosso ;
- à l'Ouest par celui de Kollo à travers les cantons de Kirtachi et Kouré (Région de Tillabéry) ;
- au Nord par le département de Filingué à travers le canton de Tagazar (Région de Tillabéry) ;
- au Sud par le Bénin à travers le fleuve Niger.

Sur le plan administratif, la zone d'étude est subdivisée en deux départements :

- Birni N'Gaouré (Harikanassou, Kiota, Koygolo, N'Gonga)
- Falmey (Falmey, Fabidji, Kankandi, Guilladjé, Fakara).

Chapitre I : Contexte géographique et climatique

I. Contexte hydro-climatique

II.1. Grands traits climatiques du Niger

Du point de vue climatique, Abdou Babaye (2012) fait ressortir en quatre zones climatiques au Niger (figure I-3) à savoir :

- Le climat désertique, localisé au Nord du pays en régions saharienne, caractérisé par une saison de pluie qui dure à peine un mois avec un cumul pluviométrique annuel inférieur à 150 mm (*in Abdou Babaye, 2012*)
- Le climat sahélo-saharien est situé entre les isohyètes 150 et 300 mm. C'est une zone à vocations pastorale
- Le climat sahélien, caractérisé par une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 600 mm (Niamey, Boboye Etc.)
- Le climat soudanien est situé dans l'extrémité méridionale du pays. Cette dernière représente la zone la plus arrosée du pays, avec un cumul pluviométrique annuelle de plus de 600 mm (Gaya/Dosso).

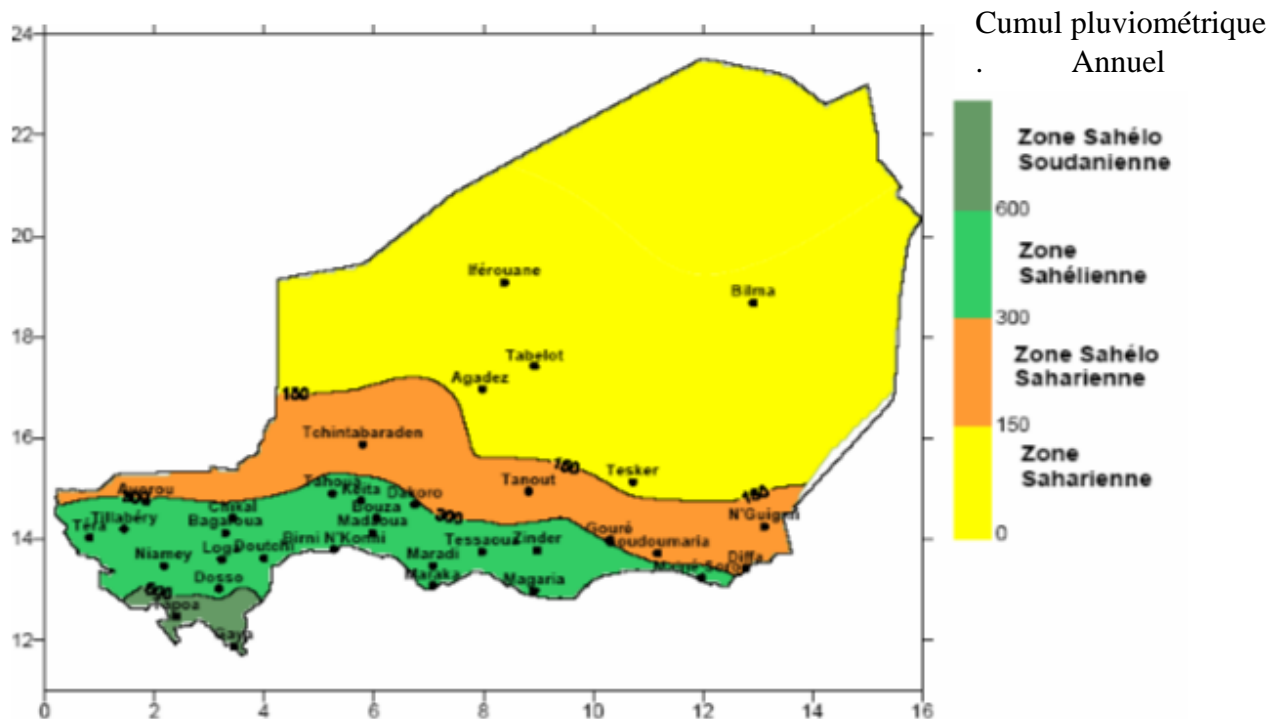


Figure 1-3 : Les différentes zones climatiques du Niger (Source: Directions National de Météorologie, *in Abdou Babaye, 2012*)

Le climat du Niger, tropical de type sahélien est caractérisé par l'alternance de deux masses d'air (Morel, 1988 cité par Guero, 2003), chaud et sec (l'harmattan) et humide et frais (mousson), Ces deux masses s'opposent par leur humidité (Perret, 2008). Cette alternance permet de distinguer deux saisons: une saison sèche (octobre à mai) et une saison pluvieuse (juin à septembre).

Chapitre I : Contexte géographique et climatique

Les précipitations sont liées au déplacement interannuel de la masse d'air humide (mousson) appelée Front inter tropical (FIT) au sol, ou Zone inter tropicale de convergence (ZITC) en altitude.

Le climat au niveau de Dallol Bosso est de type sahélo –soudanien au Sud (Falmey) et sahélien au Nord (Birni Ngaouré/ Boboye), (*in Ousseini, 2016*),

Les précipitations sont comprises entre 500 à 600mm, avec une moyenne annuelle des précipitations qui tourne autour de 550mm, pendant la période 2004-2013. (Ousseini, 2016),

II.2. Caractéristiques climatiques du Dallol Bosso.

2.1. Pluviométrie

L'étude des caractéristiques pluviométriques se résume par manque de données climatologiques dans le travail d'Ousseini (2016)

2.1.1. Variabilité interannuelle de la pluviométrie

Afin de montrer l'insistance d'une variabilité climatique au niveau de la région d'études, Ousseini (2016) a calculé l'indice de variabilité interannuelle de la pluviométrie et la moyenne mobile sur cinq (5) ans selon la formule de NICHOLSON et al. (1988), donnée par la relation :

$$i = \frac{Xi - \bar{X}}{\delta}$$

Où

X_i = Hauteur de pluie en mm de l'année i ; \bar{X} = Hauteur de la pluie moyenne de la période considérée ; δ = Ecart-type de la pluie sur la période considérée. Les valeurs négatives des indices caractérisent les années déficitaires, les valeurs positives correspondent par contre, aux années humides.

Pour la station pluviométrique de Birni N'Gaouré (Boboye) (Fig. I-4), il en ressort deux périodes : Une période sèche de 1981-1977. Cette période globalement déficitaire, la moyenne pluviométrique interannuelle est de 477.11 mm, avec un écart type de 97.87 mm et une période normale observée de 1998 à 2014, caractérisée par des données globalement excédentaires. La moyenne des hauteurs pluviométriques interannuelle calculées au cours de cette période est d'environ 608 mm, avec un écart type de 64,47 mm.

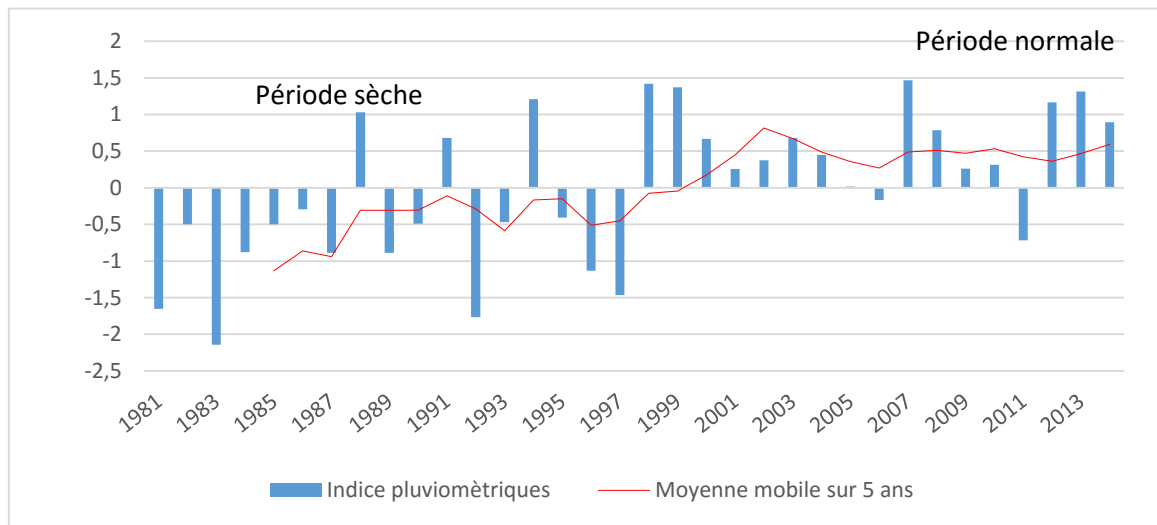


Figure I-4 : Evolution des indices pluviométriques à la station de Birni N'Gaouré (1981 – 2014) (Ousseini, 2016).

Pour le département de Falmey la direction nationale de météorologie ne disposant pas de station dans le département, Ousseini, (2016) a travaillé avec des données météorologiques de la station de Gaya (1931-2010) se trouvant dans la même zone climatique que Falmey (fig.I-5) Pour la station pluviométrique de Gaya Ousseini a fait ressortir trois périodes:

- Une période humide allant de 1931- 1957 avec une pluviométrie moyenne de 858 mm et un écart type de 125,60 mm;
- Une période sèche de 1958-1986 avec une hauteur moyenne interannuelle de 796 mm, soit un écart type de 147,35 mm;
- Une période normale de 1987- 2010 avec une pluviométrie moyenne de 813 mm et un écart type de 121,3 mm;

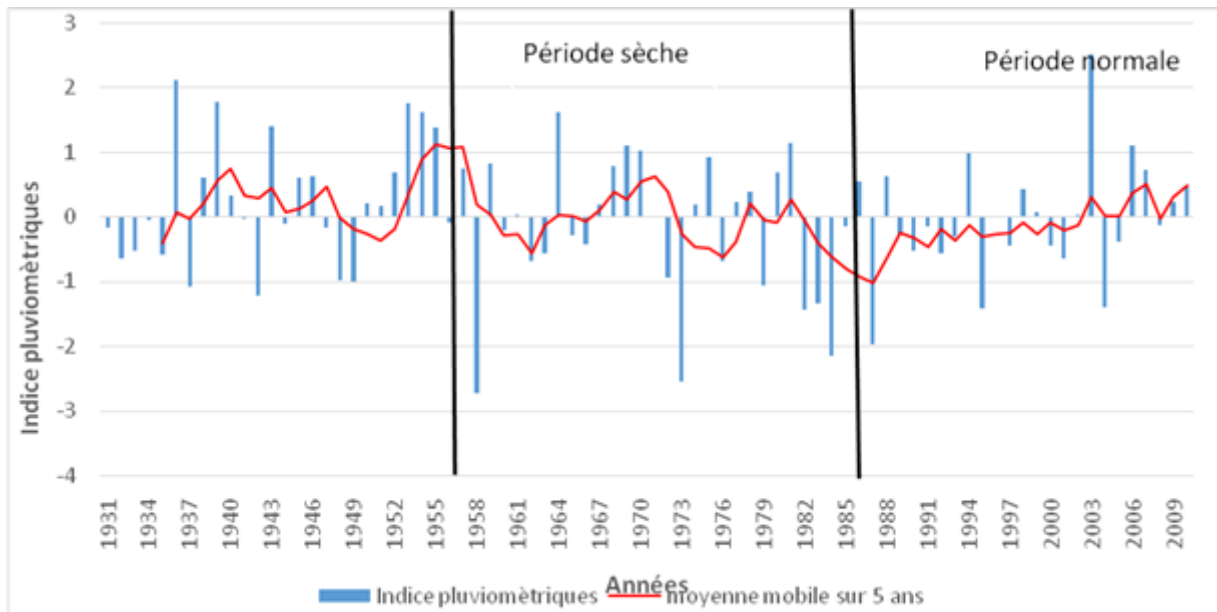


Figure I-5 : Evolution des indices pluviométriques à la station de Gaya (1931 – 2010) (Ousseini, 2016)

1.1.2. Variabilité mensuelle des précipitations

❖ Station de Birni N’Gaouré (Fig. I-6)

Les hauteurs pluviométriques moyennes mensuelles calculées pour les différentes périodes de la série chronologique de la station de Birni N’Gaouré (1981-2014), montrent que les précipitations tombent en juin, juillet, août et septembre. Cependant, les mois d’août et de juillet sont les plus arrosés de l’année.

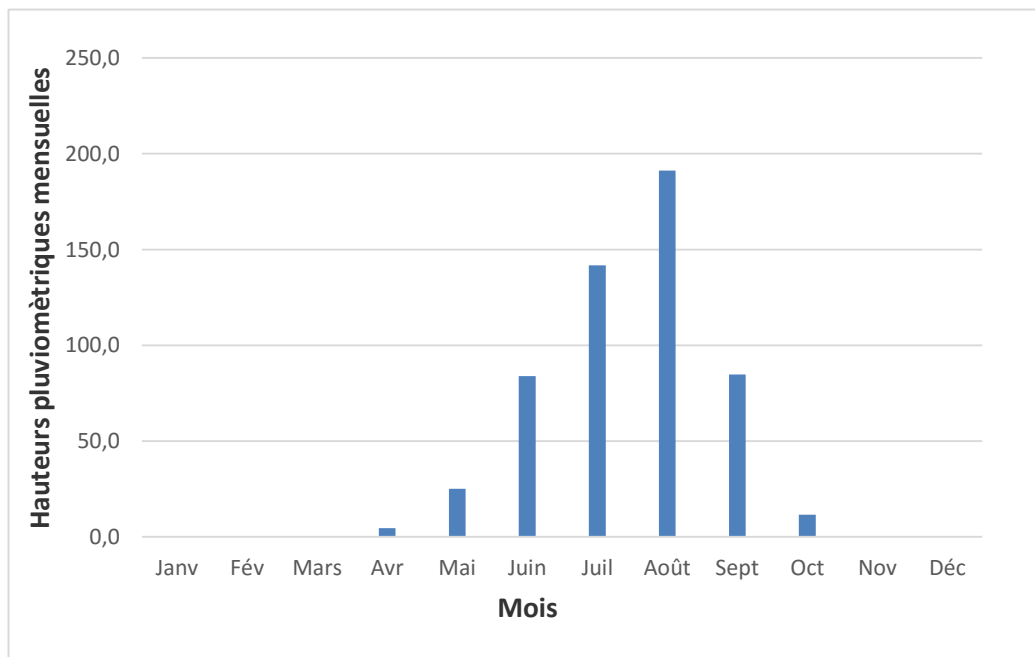


Figure I-6 : Hauteurs pluviométriques moyennes mensuelles à la station de Birni N’Gaouré (1981-2014) (Ousseini, 2016).

Chapitre I : Contexte géographique et climatique

❖ Station de Gaya (Fig. I-7)

Les hauteurs moyennes de précipitation mensuelles sont maximales pendant les mois de Juillet, Août et Septembre pour toutes les périodes (humides, sèches et normales) avec des hauteurs moyennes respectives de 182 mm, 243 mm et 148 mm. Les valeurs minimales s'observent en Mars, Avril et Octobre avec des précipitations moyennes de 4 mm, 19 mm et 32 mm. Les précipitations sont quasi nulles pendant les mois de Janvier, Février, Novembre et Décembre

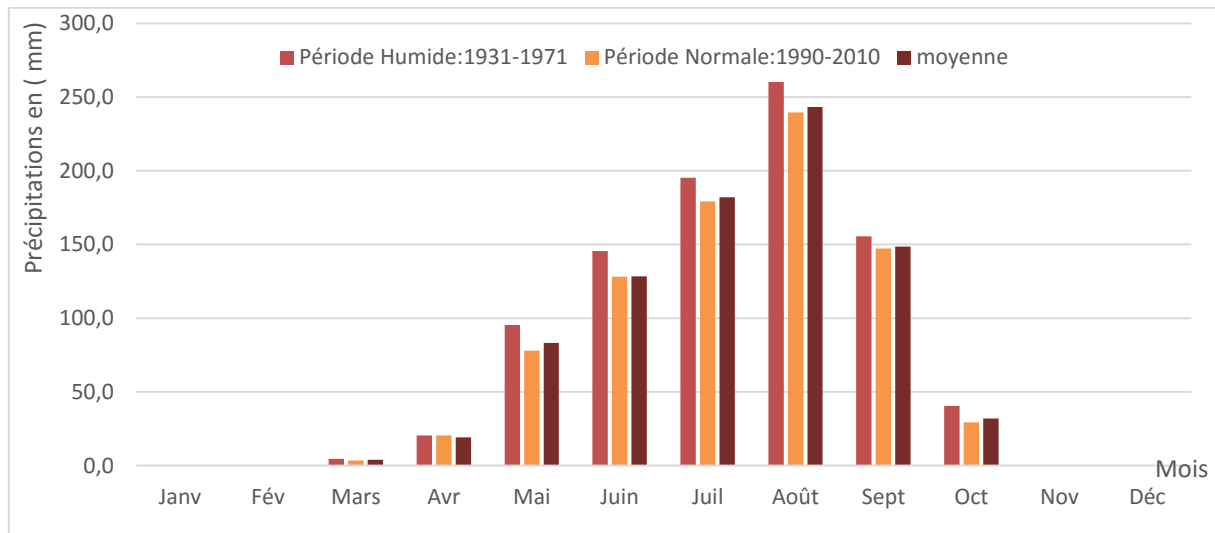


Figure I-7 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles la station de Gaya

(Harouna, 2015) /FST UAM

1.2. Température

❖ Station de Birni Ngaouré (Birni) (Fig. I-8)

Les températures relevées à la station météorologique de Birni présentent les valeurs caractéristiques suivantes :

- Des maximales pouvant atteindre 43 °C en Avril – Mai ;
- Des minimales variant entre 14 °C et 29 °C et
- Des moyennes comprises entre 24 °C et 34 °C.

Les amplitudes thermiques journalières sont parfois très importantes atteignant 23°C notamment de Février à Mars avec des journées très chaudes et des nuits relativement fraîches.

Chapitre I : Contexte géographique et climatique

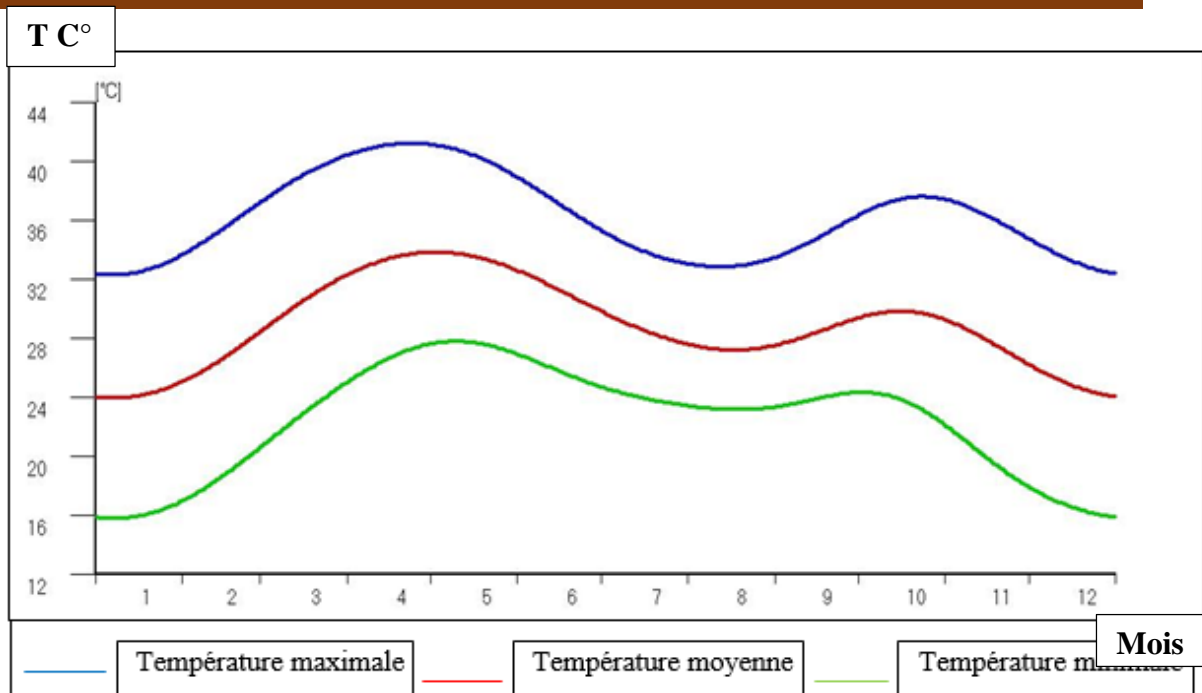


Figure I-8 : Evolution mensuelle de la température à Birni N'Gaouré Source (FAO, 2006)

Au niveau de la station de Gaya, les températures moyennes mensuelles varient entre 25,6°C (en Décembre) et 33,8°C(en Avril). Les températures minimales sont observées aux mois de Décembre-Janvier, cette période correspond à la saison froide. Quant aux températures maximales elles sont observées en Avril-Mai-Juin à Gaya. Ces mois correspondent à la saison chaude.

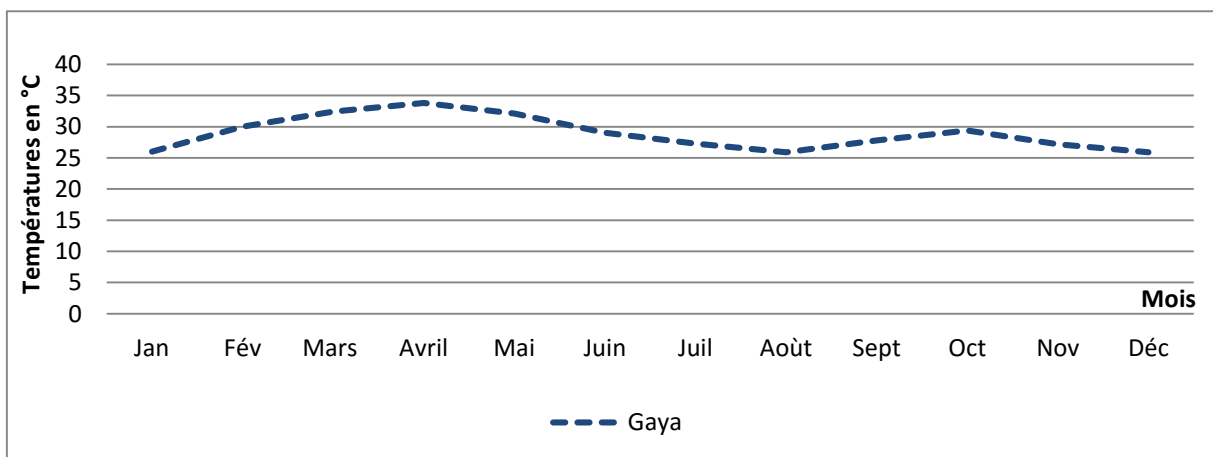


Figure I-9 : Evolution des températures moyennes mensuelles de 1981-2010 de Gaya (DNM/station de Gaya)

II. Conclusion :

Le Dallol Bosso vallée fossilisée du Niger occidentale traverse le Niger après son incursion au Mali sur deux régions, la région de Tillabéry (partie Nord) et la région de Dosso (partie sud) constituant la zone d'étude. Sur le plan d administrative le Dallol Bosso (Dosso) est subdivisée en deux départements à savoir : Boboye et Falmey.

La population est majoritairement constituer de Peulh et de Zarma pratiquant diverse activité économique (agriculture, élevage, pêche etc.).

Le climat tropical de type sahélo –soudanien au sud (Falmey) et sahélien au Nord (Birni Ngaouré/ Boboye). Avec une succession des années sèches, humides et normales traduisent une grande variabilité climatique. Cette dernière a pour conséquence la diminution des eaux de surface et la réduction du taux de recharge des aquifères superficiels, qui dépendent essentiellement des eaux d'infiltration.

INTRODUCTION

Le Niger, pays d'Afrique occidentale est géologiquement situé sur le craton Ouest, constitué de roches d'âge archéen à protérozoïque. Le craton Ouest africain est considéré comme stabilisé depuis la fin de l'orogénèse éburnéenne (- 1700 Ma). (In Favreau, 2000).

La géologie du sud-ouest du Niger est présentée succinctement dans le cadre régional de l'Afrique de l'Ouest (Favreau, 2000) (fig.II-1).

Le Dallol Bosso est situé sur la frange Sud-est du vaste bassin sédimentaire des Lullemenden (Greigert, 1966), qui s'appuie au Niger sur le socle archéen granitique de l'Air (Adagez) au N-E et bute sur les terrains cristallins précambriens du Liptako Gourma de la rive droite du fleuve Niger

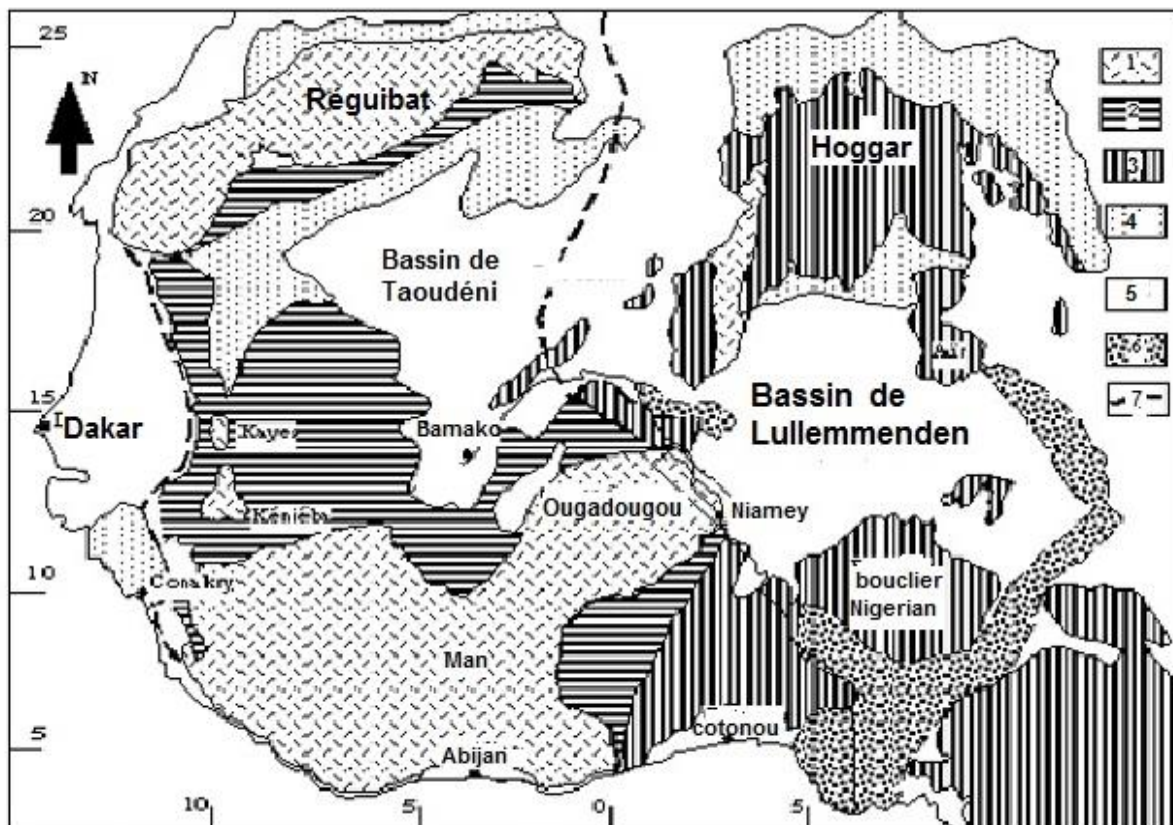


Figure II-1: Carte géologique schématique de l'Afrique de l'Ouest (Moreau, 1982 ; in Ousmane, 1988). 1 : Dorsale, 2 : Couverture de plate-forme, 3 : Socle de la zone mobile, 4 : Couverture primaire, 5 : Formations secondaires, tertiaires et quaternaires, 6 : Fossés crétacés, 7 : Front de chaînes panafricaines et chaînes hercyniennes.

I. Le socle birimien du liptako gourma

Les formations précambriennes de la bordure Nord-Est du domaine birimien (craton) de la dorsale de Man. Sont Présentes au sud-ouest du Niger (Niger occidental) et constituent le socle du fleuve Niger (*in Favreau, 2000*).

Les travaux de Machens (1970) ont énormément contribué à la connaissance de la géologie de cet ensemble.

On distingue trois ensembles géologiques (fig.II-2), une alternance de plutons granitoïdiques et la ceinture de roches vertes (*in Abdou Babaye, 2012*) avec une couverture sédimentaire tertiaire.

La ceinture de roche verte est nommée ainsi à cause des minéraux de couleurs vertes qui la constituent (épidote, chlorite etc.) (*in Boureima, 1988*). Les formations géologiques de cette ceinture sont des metabasaltes, des amphibolites, des ensembles intrusifs ultramafiques et mafiques, souvent transformés en talcschistes et chloritoschistes, des sédiments détritiques peu métamorphisés, ainsi que de petits volumes de roches plutoniques et volcaniques de chimisme intermédiaire à acide (*in Massuel, 2005*).

Le volcanisme basaltique de la région a pu être estimé à environ 2,2 Milliard d'année (Ga) grâce à la datation des plutons par Cheilletz et al. (1994), Ama-Salah et al. (1996), et Soumaila et al. (2001).

Plusieurs formations à caractère sédimentaire existent également dans le Liptako (*in Massuel, 2005*).

Plusieurs publications et une thèse ont approfondi la connaissance de la géologie du Liptako (Pouclet et al, 1990 ; Pons et al, 1995 ; Reichelt, 1972 ; Dupuis et al, 2000 ; Soumaila, 2000 ; Soumaila et al 2004).

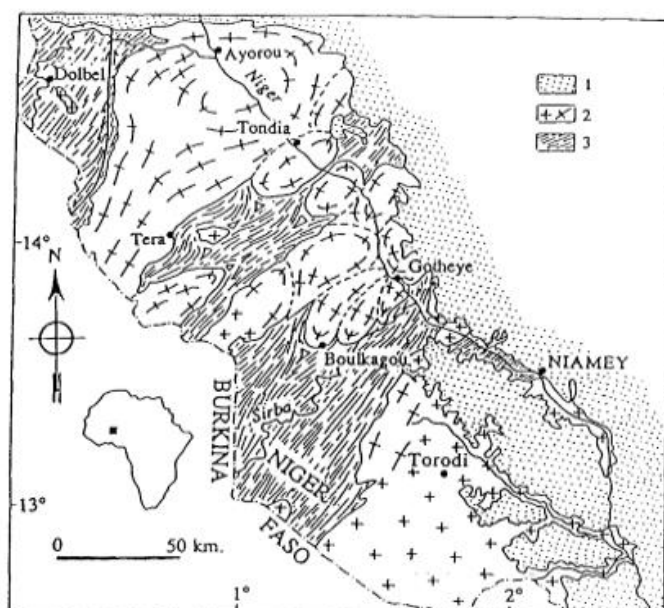


Figure II-2 : Carte géologique schématique du socle du Liptako. 1: couverture sédimentaire tertiaire ; 2 : granites avec trajectoires de foliation ; 3 : ceintures de roches

II. Le bassin de Lullemeden

Décrit pour la première fois par H. Radier (1957), le Bassin de Lullemeden est situé entre :

- Les formations anté-cambriennes du Hoggar et ses prolongements méridionaux, l'Adrar des Iforas (Mali et Algérie) et l'Aïr (Niger), au Nord.
- Les formations métamorphiques (socle du Liptako Gourma) à l'ouest, celles du Bénin et du Nigéria au Sud.
- Le socle granitique du Damagaram-Mounio (Niger) à l'Est

Le bassin des Lullemeden, tire son Nom de l'importante fédération Targuie, peuplant sa partie centrale (Ménaka/Mali, de Tahoua et de Dakoro/Niger).

Ainsi défini, ce bassin entre le méridien 1° et 21° N (*Greigert, 1966 in Guero 2003*) constitue pratiquement la partie occidentale du territoire de la République du Niger.

Ce bassin est constitué d'alternance de dépôts marins et continentaux mis en place lors des différents épisodes transgressifs et régressifs (fig. II-3) qui jalonnent son histoire (*in Monfort, 1997*).

Le bassin des Lullemeden couvre plus de 500 000 km² dont 434 102 km² dans la partie occidentale du Niger soit 34,26% du territoire (PNUD/NER/002-SIGNER) et comprend: le tassili Oua N'Ahaggar (Algérie), la région de Ménaka (Mali), le Bassin de Kandi (Nord - Benin) et le bassin de Sokoto (Nord-Nigeria). Il s'étend sur une longueur Nord-Sud d'environ 1100 km et une largeur Est-Ouest de l'ordre de 800 km (*Greigert, 1966*).

Son épaisseur sédimentaire est proche de 2000 m dans l'axe du bassin, et comprend des formations du Cambrien au Quaternaire.

La sédimentation est principalement détritique silicatée, mais des formations purement carbonatées se sont également déposées lors de transgressions marines (*in Massuel 2005*). Globalement, le mode de dépôt progradant (du nord-est au sud-ouest) est à l'origine de l'organisation des affleurements du Paléozoïque au nord-est et du Continental Terminal, tertiaire, en discordance sur le socle du Liptako. Le bassin des Lullemeden serait en voie de démantèlement au moins depuis le Pliocène, comme le prouve l'érosion en cours du Continental Terminal, et l'absence d'activité sismique sur la période historique (*Ambraseys et Adams, 1986*).

Les principales formations d'origine continentale (fig. II-3) qui se superposent dans le bassin sont le Continental Intercalaire, le Continental Hamadien et le Continental Terminal (*Kilian, 1931 ; Greigert, 1966*).

Le Continental Intercalaire (CI) correspond aux sédiments continentaux déposés entre le Paléozoïque supérieur (Carbonifère supérieur, Permien) et le Cénomaniens. Le CI présente localement plus de 1000 m (*Greigert et Pougnet, 1967*) d'épaisseur et affleure largement entre l'Aïr (Niger) et l'Adrar des Iforas (Algérie).

Chapitre II : Contexte géologique de l'Ouest du Niger

Le Continental Hamadien (CH) est l'équivalent continental, des formations marines du Crétacé supérieur. Il est constitué majoritairement de sédiments grossiers et affleure au nord du fossé de Gao et en bordure du bouclier nigérien. Latéralement, il passe sans discontinuité au CI.

Le Continental Terminal (CT), d'âge éocène moyen à pliocène, est la formation la plus récente. Le Dallol Bosso a été creusé au début Quaternaire dans la série argilo-gréseuses supérieure du CT BRGM., (1986)

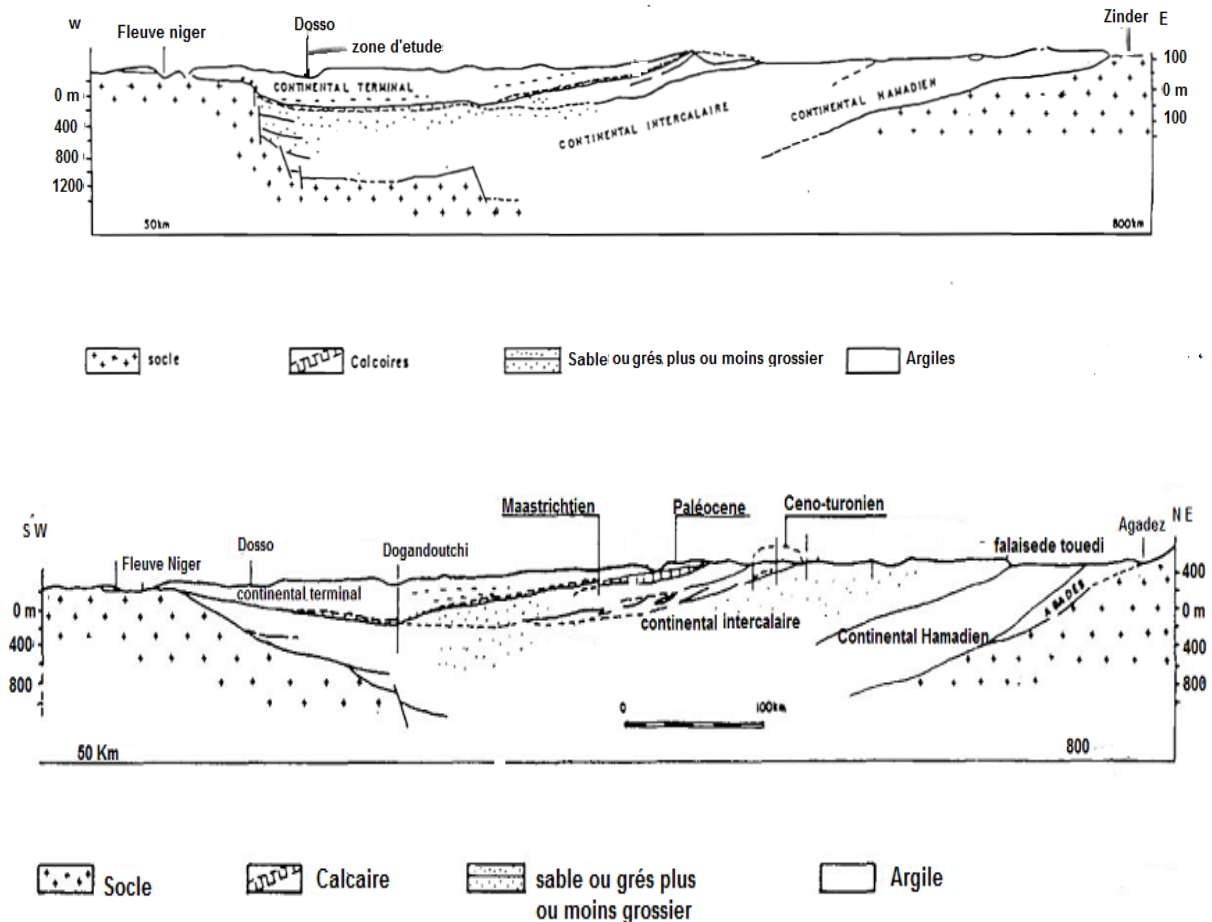


Figure II-3 : coupe géologique à travers le bassin de Lullemmenden d'après Greigert, (1966) modifié par Favreau (2000)

II.1. Tectonique

À l'ouest du bassin, la structure tectonique est dominée par le fossé de Gao, et par la faille de Kandi (fig. II- 4) issue du bouclier nigérien au sud (Guiraud et Alidou, 1981 ; Konate, 1996).

Le fossé de Gao amène rapidement le fond du bassin à plusieurs centaines de mètres de profondeur (Greigert, 1966).

Cet accident, indiscutable sur les profils géophysiques au nord-ouest du bassin, ne semble plus exister au sud de Ouallam, où il se manifesterait plutôt par des failles ou flexures à l'aplomb du Dallol Bosso (Greigert et Pougnet, 1967).

Le bassin des Lullemmenden est également marqué par deux autres directions tectoniques importantes (Montfort, 1997) :

- La direction WSW –ENE se traduit par le réseau de failles dites ‘ failles de Téguidat ‘ à l'Ouest de l'Air.
- La direction NW-SE est soulignée par les grands accidents de la bordure occidentale du bassin qui abaissent brutalement le compartiment oriental de plus de 500 m. ils sont également à l'origine du fossé d'effondrement de Gao.

II.1.2. Histoire géologique

L'histoire du bassin des Lullemmenden avant le dépôt du continental terminal est marqué par des périodes de transgressions marines (Greigert, 1966 *in Magary 2018*) (fig.II-4) et résumée comme suit :

- Au niveau du primaire le bassin était recouvert par un golfe marin ouvert vers le Nord, théâtre d'une sédimentation à dominante détritique chacune débordant la précédente vers le sud avec une diminution de puissance entre le cambrien et le namurien.
- Le crétacé supérieur est marqué par une série de cycles sédimentaires commandés par le soulèvement de la marge Nord-Est du bassin
- Au céno manien supérieur, le golfe mésogéen existant déjà à l'Est de l'Air pénètre dans le Niger Occidental. J.Greigert (1966) lui rapporte 3 épisodes transgressifs (t1, t2, t3) chacun d'entre eux déborde sur précédent vers le Sud – Ouest (Dubois et Lang, 1981). La surrection de l'Air, ferme définitivement cette communication. Parallèlement l'effondrement du détroit crée un nouveau passage qui permettra à deux ultimes transgressions (t4, t5) de pénétrer dans le bassin des Lullemmenden (*in Manfort 1997*)
- Du turonien au thanétien : ces transgressions débordantes comme au primaire (Greigert, 1996), en provenance du Nord-Est puis du Nord-Ouest ont déposé des sédiments à dominante carbonatée. Sur la bordure Nord-ouest et sud des dépôts fluviatiles constitués de grès grossiers, à graviers de quartz et à ciment kaolinique bariolé sont identifiés au Continental Hamadien (*Killian, 1931 in Abdoukarimou, 1988*).

- Du point de vue stratigraphique, avant les séries du Continental Terminal, les seuls étages reconnus sont le Paléocène supérieur et la base de l'Yprésien. La sédimentation y est à dominante chimique et biochimique (calcaires, phosphates et attapulgites) Monciardini, (1965, 1966, 1967 in Boudouresque et al, 1982).
- Enfin les formations détritiques quartzo-kaoliniques à faciès sidérolithique du Continental Terminal. Ce sont les dépôts les plus récents du bassin d'âge éocène moyen à pliocène avant les alluvions du Quaternaire qui remplissent sur plusieurs mètres le fond des Dallols

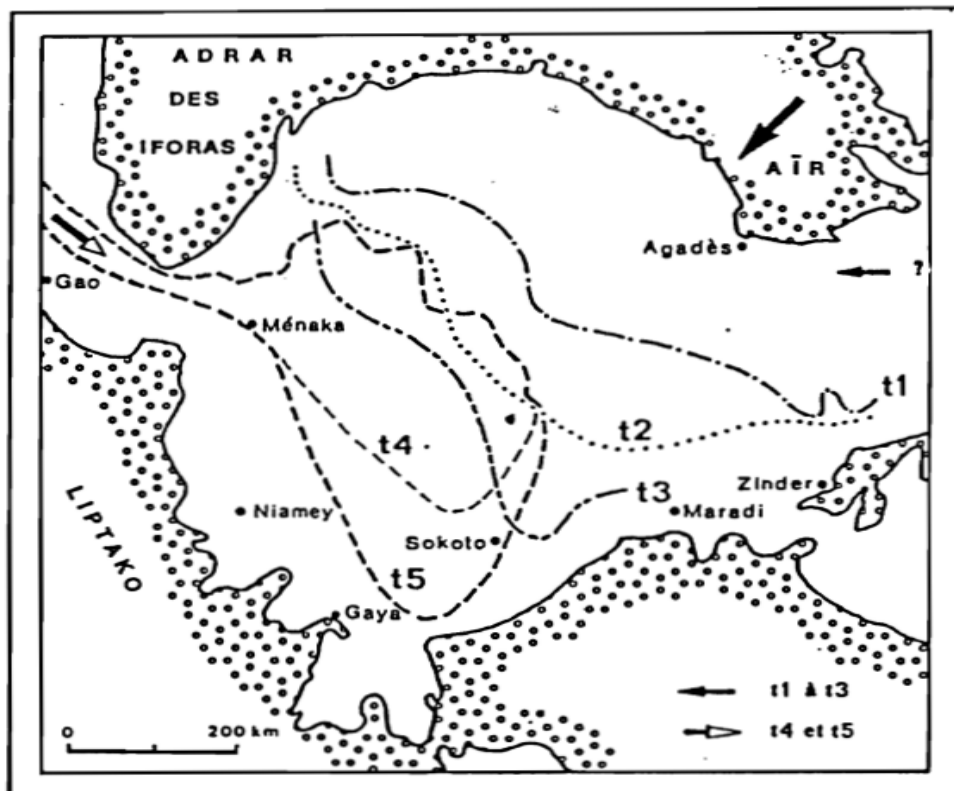


Figure II-4 : Extensions des transgressions dans le bassin de Lullemeden.
t1 : mer avant le cénozanien. t2, t3 : transgression du cénozanien et du turonien. t4, t5 : transgressions du Maastrichtien

II.2. Le Continental Terminal au niveau du Dallol Bosso

Constituant le dernier épisode sédimentaire du Bassin Lullemeden d'âge tertiaire à ante-quaternaire, (Kilian, 1931 in Massuel, 2005) (fig.II-5).

Le Continental terminal en affleurement occupe toute la partie occidentale du territoire Nigérien.

Il constitue la formation dans laquelle s'est creusée la vallée aujourd'hui fossile du Dallol Bosso dont les dépôts quaternaires alluvionnaires sont constitués de graviers, de sables grossiers et

Chapitre II : Contexte géologique de l'Ouest du Niger

moyens très propres contenant localement des lentilles argileuses (*in Ousseini, 2016*). A son sein, trois ensembles peuvent être distingués (Greigert et Pognet, 1967; Guero 2000) :

- La Série du Continental Terminal Inférieur (CT1) est constituée de Grès tendre ou sables oolithiques plus ou moins argileux et des argiles peu silteuses à éléments détritiques dans la partie nord du Dallol
- La série argilo-sableuse à lignite (CT2) : elle est définie par une alternance d'argiles, sables et silts à grains bien classés et bien lavés, la série du Continental Terminal Moyen (CT2) prenant en sandwich une couche de sable oolithique, sablo- argileuse au sud de la latitude 13° et dans les environs de Balleyara (nord Dallol Bosso)
- -La série des grès argileux (CT3) : le CT3 affleure dans la partie SW du bassin, présent dans le département du Boboye et Falmey, comprenant des grès tendre, des sables et des silts argileux avec quelques oolithes ferrugineux disséminés

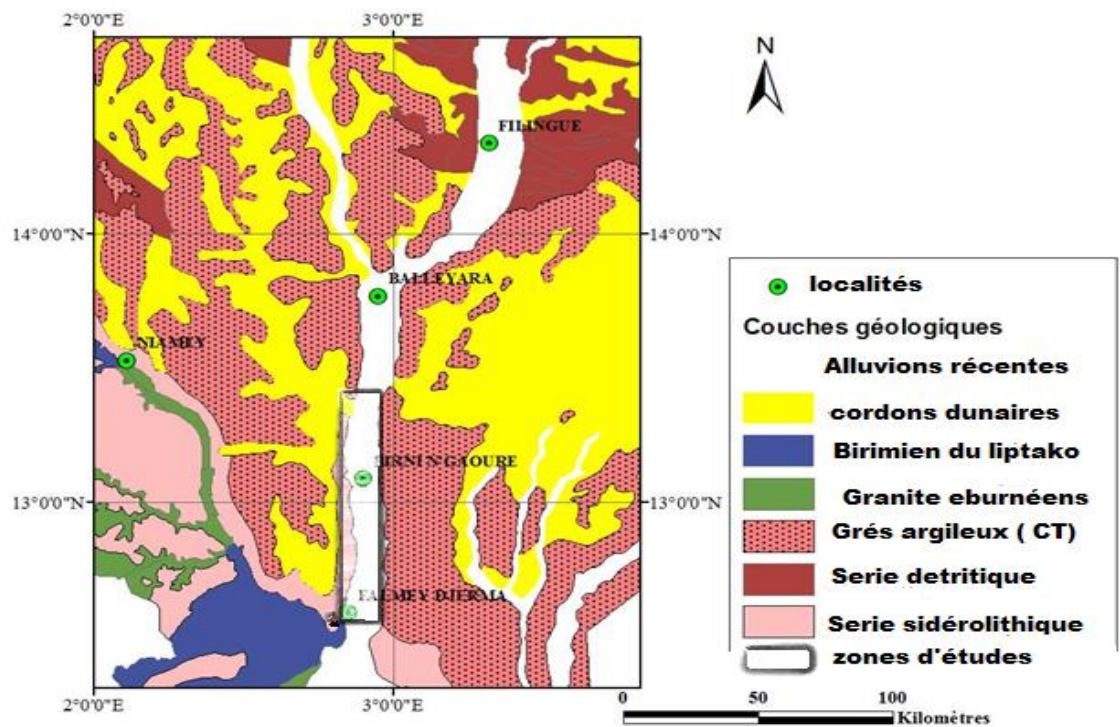


Figure II-5 : Carte géologique du Dallol Bosso. Source : *la carte géologique du Niger* (Greigert, 1967 ; *in Ousseini, 2016*)

III. Conclusion

Du point de vue géologique le Dallol Bosso (Birni, Falmey), situé dans le bassin de Lullemeden, traversant le continental terminal, est une région tectoniquement stable en général avec en profondeur le socle de formation gréseuse voltaïen sub-affleurant dans l'extrême sud-Ouest du département de Falmey. Ensuite viennent la série du Continental Hamadien composée de sables gréseux moyens à grossiers dans les environs de Birni et Fabidji (commune se situant dans la région d'étude), puis les séries du Continental Terminal et enfin le dépôt alluvionnaire remplissant la vallée fossile du Dallol Bosso.

Grâce à ces formations, le Dallol Bosso peu constitue un très grand atout du point de vue hydrogéologique

INTRODUCTION

L'étude hydrogéologique et l'hydrologique du sud-ouest du bassin du Lullemmenden, (Département de Birni et Falmey) est basée sur la synthèse bibliographique des données et informations géologiques, géophysiques, hydrogéologiques et hydrographique existantes.

Du point de vue hydrographie, le fleuve Niger constitue le seul cours d'eau permanent du réseau hydrographique de la zone avec quelques mares semi- permanentes et temporaires au niveau de la vallée du Dallol Bosso dont l'exutoire principal est le fleuve Niger.

I.1. Hydrologie de la vallée

Historiquement, la vallée était un affluent du fleuve Niger, qui alimentait le fleuve depuis l'Azawagh au Nord.

Son bassin versant (Azawagh) couvre une superficie d'environ 420 00 km² comprenant l'Air, le Hoggar et l'Adrar des ifoghas, à la fois en Algérie, au Niger et au Mali.

Après une incursion au Mali, le cours d'eau revient au Niger où il est connu sous le nom de Dallol Bosso.

La vallée est fossilisée, à l'exception de quelques petits torrents qui aboutissent encore au fleuve pendant la saison pluvieuse. L'hydrologie de surface est caractérisée par un endoréisme généralisé. En cas de fortes précipitations, les mares se joignent pour former temporairement un réseau actif (Desconnets, 1994).

Le Dallol Bosso comporte de nombreuses mares permanentes et semi- permanentes (fig. III-1), fortement menacées par l'ensablement et les végétaux aquatiques envahissants

(in Ousseini, 2016). Ainsi, plus de 68 mares ont été inventoriées dans les départements de Boboye et de Falmey, par la Direction Régionale de l'Hydraulique de Dosso.

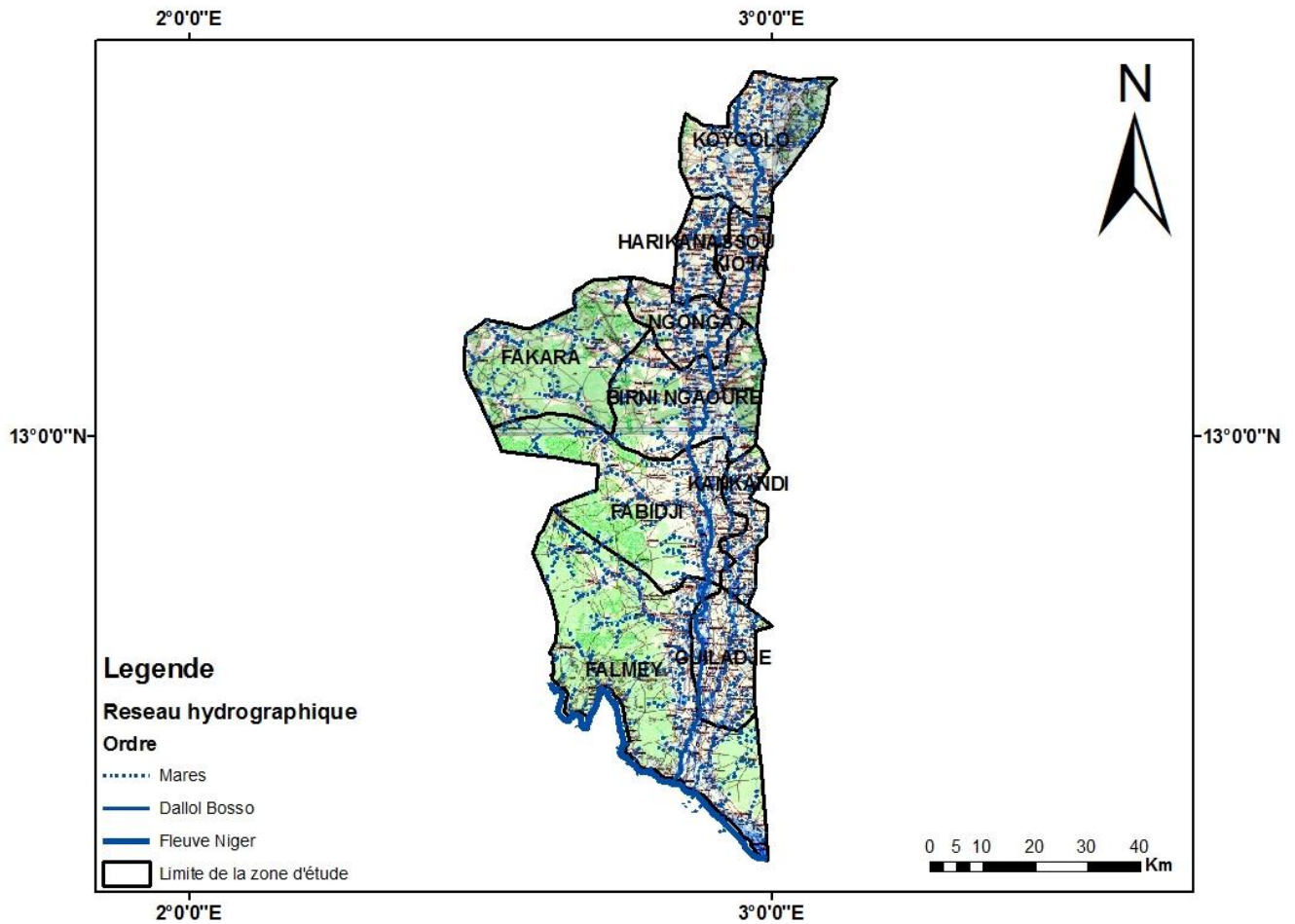


Figure III-1: Réseau hydrographique du Dallol Bosso

Le potentiel hydrique des eaux de surface de cette vallée est estimé à 200 millions de m³ (FDR, 2001). Toutefois les réserves en eaux de ces mares restent mal connues, par manque d'études bathymétriques et de suivi de leur régime. La seule station hydrométrique est installée à Boumba (Falmey), n'est suivie que de façon très irrégulière (*in Ousseini, 2016*). Ceci n'autorise pas une analyse scientifique du régime du fleuve au niveau de cette station.

Les mares temporaires (photo.III-1.) sont les plus nombreuses. On compte plus de 200 dans le Dallol Bosso et offrent des sites appropriés pour le développement de culture irriguée. Elles durent de 2 à 4 mois après la saison pluvieuse (*in Moussa, 2013*)



Photo III-1: Mare Temporaire, Falmey (*Extrait de Moussa., 2013*)

Toutefois, le fleuve et les mares représentent un potentiel hydrique important, pouvant contribuer significativement au développement socio-économique du département (irrigation, pêche, élevage, services environnementaux, etc.).

Une bonne planification et une gestion rationnelle et durable des ressources en eaux dans ces départements passeraient par une maîtrise du régime du fleuve, des mares et une bonne connaissance sur les eaux souterraines.

I.2. Hydrogéologie Régionale

Contrairement aux ressources en eau de surface, difficilement mobilisables et temporaires, les eaux souterraines sont abondantes et mobilisables.

La connaissance de l'hydrogéologie du Dallol Bosso, région de Dosso dans ce mémoire, se base sur deux séries d'études géophysiques.

I.2.1. Etude géophysique régionale (Dosso)

La reconnaissance des unités hydrogéologiques de la région se base sur les études géophysiques de Greigert (1963), Daddy (1993), la Compagnie Générale de Géophysique de Paris (CGG-Paris, 1954) et PHVP-Dosso (2007 et 2008).

I.2.1.1. Etude géophysique de Greigert (Boboye)

Le sondage électrique fait par Greigert décrit par Daddy (1993) dans la région de Dosso entre les Dallols (Bosso et Maouri) a fait ressortir trois terrains : deux résistants, correspondant aux continental terminal (CT) et continental intercalaire/ hamadien. Le troisième terrain, conducteur correspond au Crétacé supérieur (marno-calcaire) situé entre les deux terrains résistants.

Selon l'interprétation des données géophysiques (fig.III-2. de Greigert), le CT repose sur une formation très conductrice (8 à 10 ohm) et son épaisseur diminue du Nord au Sud et d'Ouest en Est. A l'Ouest de Dogondoutchi, dans le Dallol Bosso, l'épaisseur maximale du CT est de 275 m. Dans le sud du Dallol, le CT n'a plus que 116 m à Kiota (Boboye).

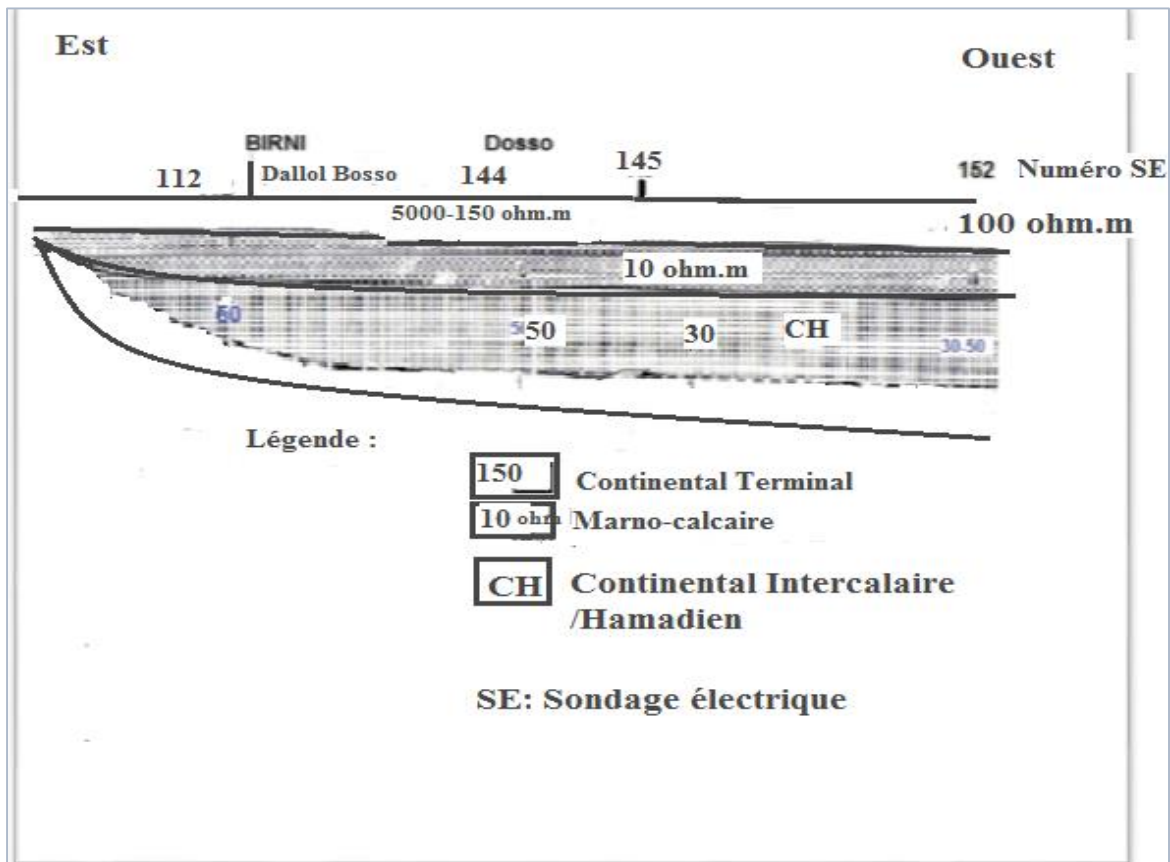


Figure III-2: Coupe géoelectrique Est-Ouest de la région de Dosso

Reprise de la carte, de Greigert, 1963 (in Daddy, 1993)

Greigert distingue dans le CT, trois niveaux importants :

- Un premier niveau qu'il appelle niveau supérieur (NS), appelé aujourd'hui le CT3 (Continental Terminal 3), de 20 à 60 m d'épaisseur avec une résistivité de 500 à plus 3000 ohm.m (in Daddy, 1993). La résistivité du terrain est très élevée pour être aquifère. D'où le niveau statique du NS est de 20 à 60 m. Cela a été confirmé par des forages à l'Est du Dallol Bosso, dans le Dallol Maouri (Dogondoutchi, Bagadji). Où la surface piézométrique est en moyenne à 30 m du sol (in Daddy, 1993). Mais sous les plateaux bordant le Dallol le niveau d'eau dans les puits est situé entre 40 et 65 m. Le CT3 constitue la nappe phréatique du CT dans l'ensemble du bassin de Lullemmeden. Dans le Dallol Bosso de Bonkoukou jusqu'au-delà de Kiota (Boboye), on constate la disparition du CT3 reflétant bien l'apparition de la nappe alluviale dont le niveau piézométrique varie de 0 à 20 m de profondeur.
- Le niveau moyen et inférieur respectivement appelé SA1 et SA2 par Daddy (1993), correspondent au Continental Terminal 1 et 2 (CT1 et CT2), avec respectivement 100 à 50 ohm.m de résistivité.

Au Nord de Bonkougou à koita (Dallol Bosso) le niveau moyen disparaît ou devient aussi plus résistant que le niveau inférieur. La série conductrice (substratum du CT), attribuée à l'Eocène par Greigert, remonte progressivement. Avec une épaisseur réduite du CT au niveau du Dallol, l'apparition de la nappe alluviale vers le Sud entraîne le changement de résistivité du niveau moyen passant de 100 à 150 ohm.m, ce qui caractérise un changement de faciès dans la lithologie.

I.2.1.2. Etude géophysique dans le département de Falmey

La géologie de la bordure sud-ouest du Dallol Bosso (secteur de Falmey) est très mal connue du fait de la mauvaise qualité des coupes lithologiques des ouvrages réalisés. L'apport de la géophysique dans ce contexte est important. C'est ainsi que plusieurs études géophysiques ont été réalisées dans la zone (CGG-Paris, 1954; PHVP-Dosso, 2007 et 2008). La plus récente est celle effectuée en 2008 pour l'implantation d'un forage pour la mini-AEP de Falmey (PHVP-Dosso, 2008).

Ainsi les logs stratigraphiques de ces forages de PHVP, (2008) sont en accord avec les résultats des travaux de CGG-Paris, (1954) qui situaient le socle à environ 100 m au droit du village de Falmey.

Les résultats de ces études montrent que la problématique hydrogéologique de Falmey est surtout liée à l'existence d'un biseau sec au droit du village situé en bordure du bassin sédimentaire des Lullemeden. Il faudra alors aller vers l'intérieur du bassin, à l'Est de Falmey, où les formations sédimentaires sont saturées (*in Bsira, 2009*).

La coupe géoélectrique nord-sud (fig.III-3 et 4) faite dans le département de Falmey montre quatre ensembles bien distincts correspondant de bas en haut aux séries suivantes :

- Le socle sain (bordure du fleuve Niger) qui apparaît en profondeur avec des résistivités supérieures à 2000 ohm.m.
- Le Continental Hamadien caractérisé par des résistivités comprises entre : 60 et 400 ohm.m. Le toit de la série se situe entre 80 m au sud d'Alenguel et 105 m au nord de Saboula.
- Les attapulgites et marno-calcaires Paléocène-Eocène, relativement plus homogènes présentant des résistivités de 5 à 15 ohm.m (*in Bsira, 2009*). Leur toit se situe entre 25 m à environ 10 km au nord de Boumba, et 50 m à la hauteur de Bouringa Béri, constituant le substratum du complexe Continental Terminal et les alluvions du Dallol.
- Le complexe Continental Terminal et les alluvions du Dallol caractérisés par des résistivités de 24 à 400 ohm.m .

Le recouvrement sableux sec présente des résistivités de 500 à plus de 4000 ohm. L'épaisseur de cet ensemble est de l'ordre de 40 m au sud de la Falmey CGG-Paris, (1954).

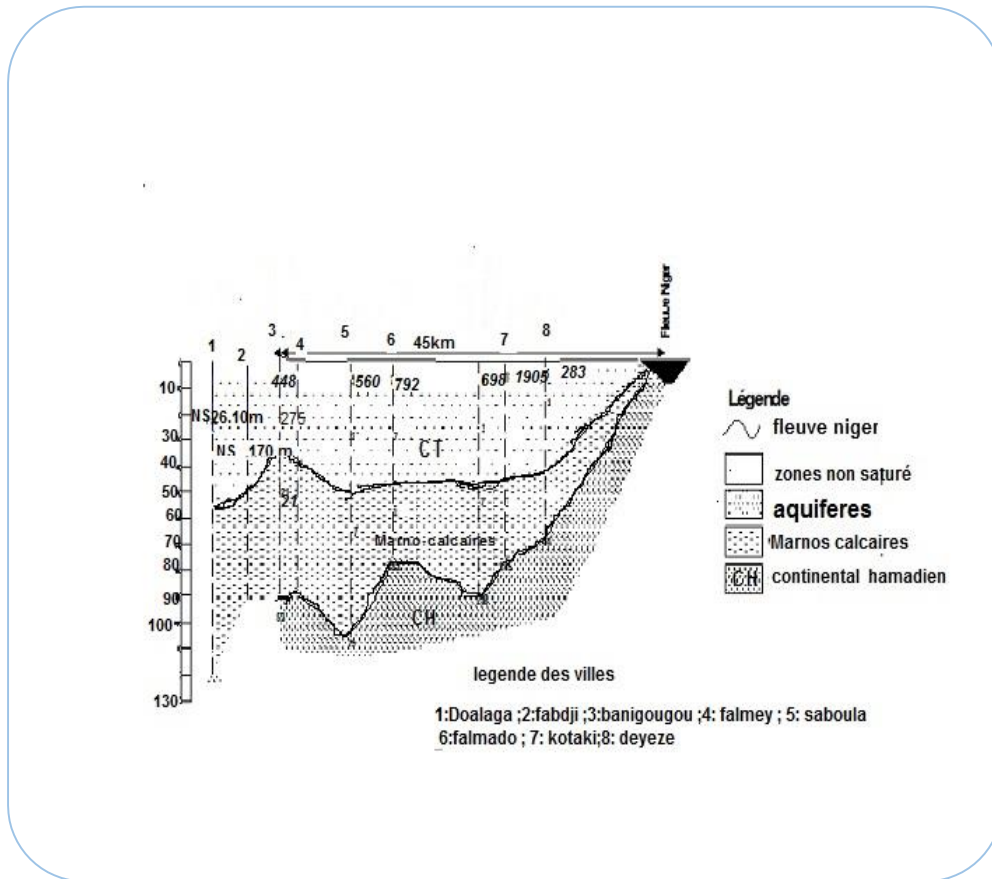


Figure III-3 : Coupe géoélectrique Nord-Sud du Département de Falmey (PHVP-Dosso, 2008).
(Extraite du rapport de BSIRA)

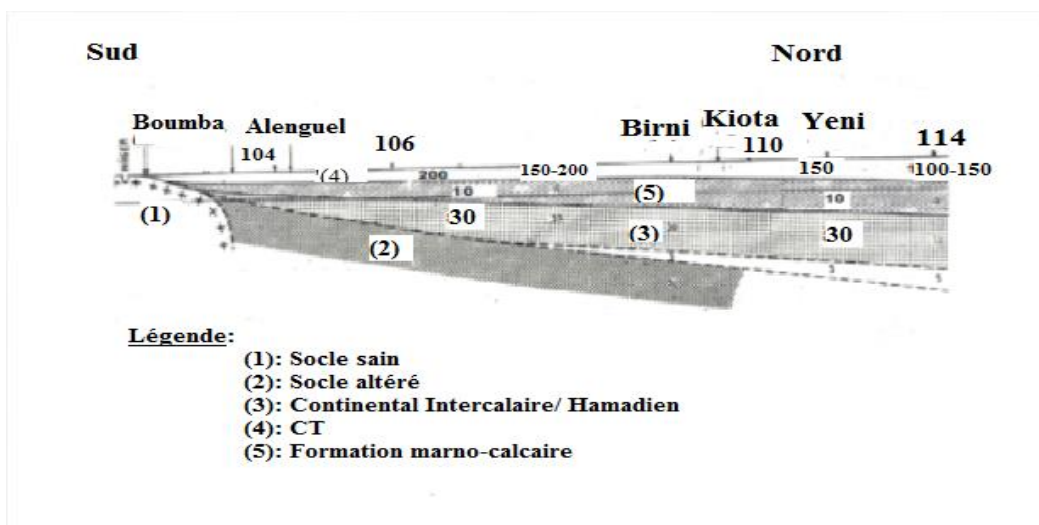
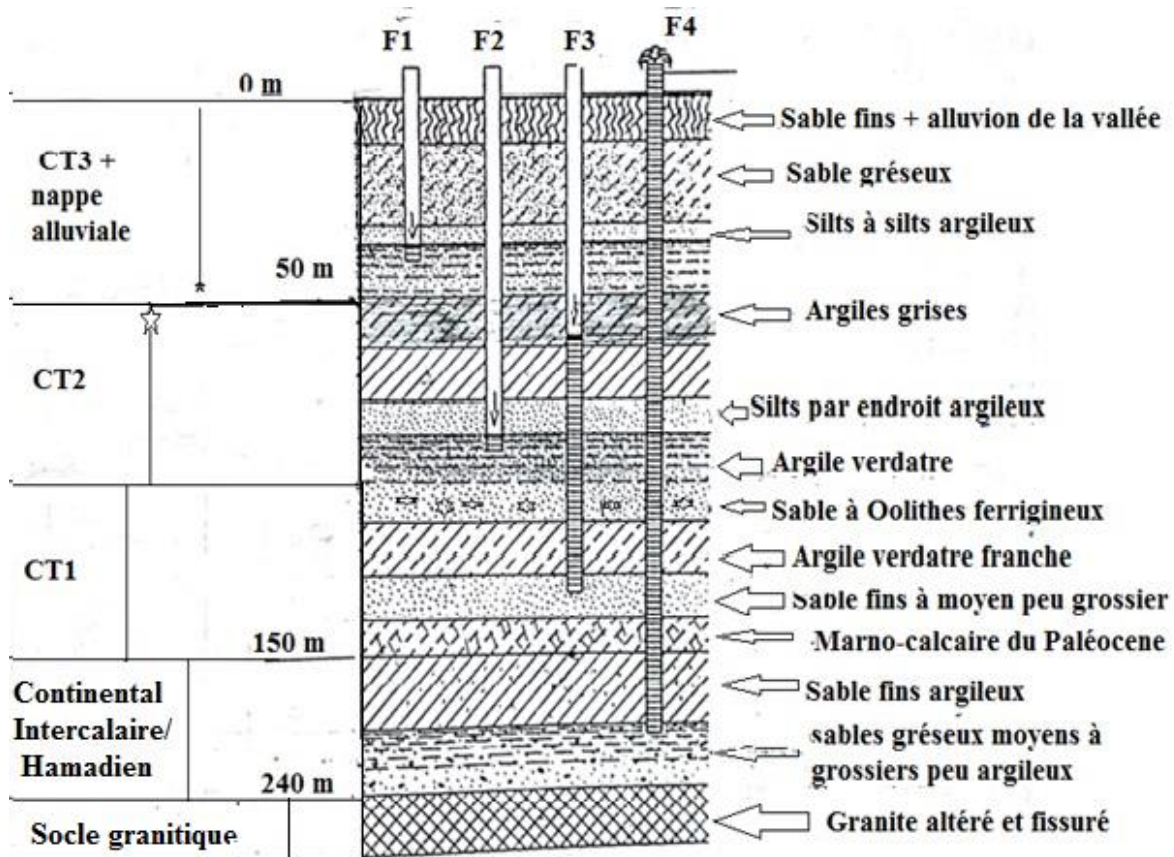


Figure III-4 : coupe récapitulatif des deux sondages électriques

III.2.2. Hydrogéologie de la zone d'étude

En résumé, l'hydrogéologie de la vallée du Dallol Bosso (Boboye et Falmey) permet de distinguer un à cinq aquifères (fig.III.5) suivant les zones des départements.



Légende : F ; forage d'observations

Figure III-5 : Coupe hydrogéologique du Dallol Bosso (source DRH/Dosso)

- **Aquifère fissuré du socle**

L'aquifère du socle fissuré ne présente d'intérêt que dans le département de Falmey où il reste un aquifère productif. Il est exploité par dans plusieurs localités : Sakalagonga, Zoukouara, Talawal, Tiguèye, Torombi, Taifa (DRH/Dosso).

La coupe lithologique du forage de Tiguèye captant le socle fissuré (fig. III-6) a permis la reconnaissance lithologique de ce dernier, essentiellement constitué de granite fissuré et altéré. L'aquifère a des débits variant de 0,8 à 5,6 m³/h, et le niveau statique varie entre 25 et 60 m (*in Ousseini, 2016*).

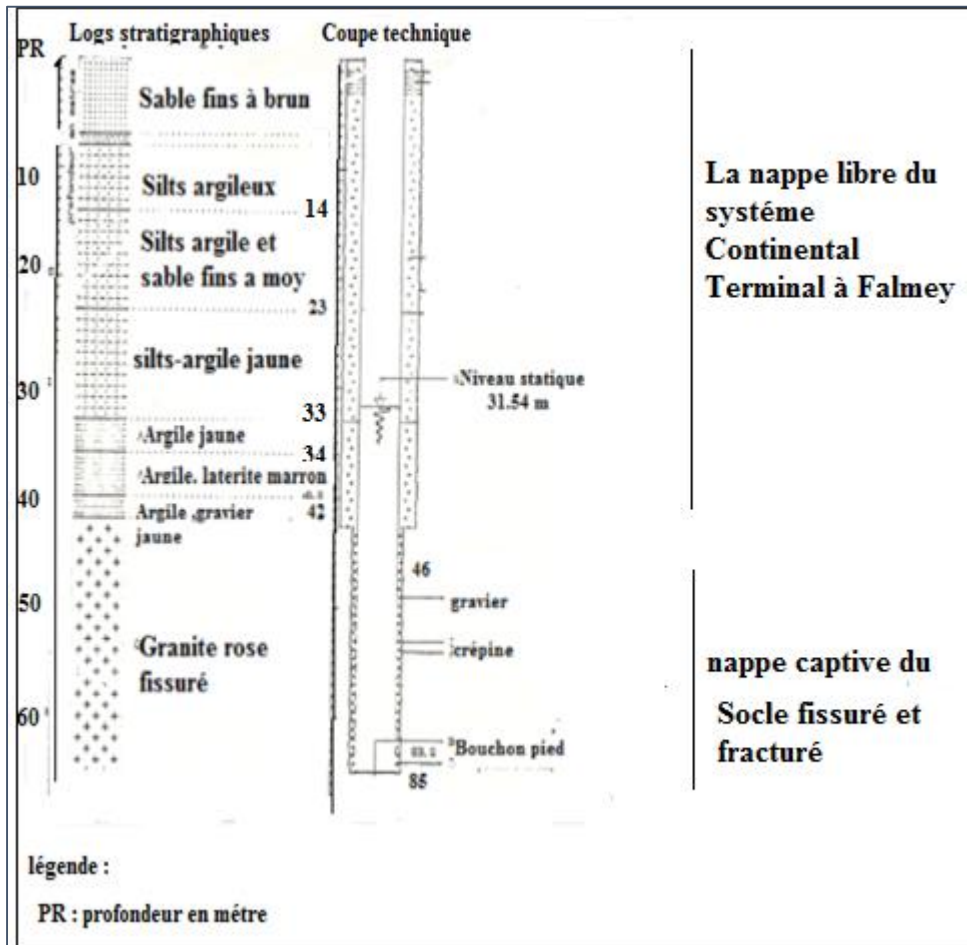


Figure III-6 : Coupe de forage captant le socle dans le département de Falmey (Tiguey).

Source : DRH/Dosso

- **Aquifère du continental intercalaire/ Hamadien**

L'aquifère du continental intercalaire / Hamadien est constitué de sables gréseux moyens à grossiers plus ou moins argileux (fig.III-5). L'épaisseur du réservoir est mal connue à l'exception de l'extrême sud et la bordure ouest de la commune de Falmey où l'aquifère se biseaute sur le socle précambrien et infracambrien (grès Voltaien). Seuls les résultats des sondages géo électrique permettent d'approcher cette épaisseur qui varierait ainsi de 0 m au sud à environ 210 m au droit de Yéni (Boboye). Le toit de l'aquifère varie entre 100 m et 240 m (in Ousseni, 2016).

L'aquifère renferme une nappe captive, artésienne jaillissante dans la vallée du Dallol Bosso (fig.III-5) (DRH/Dosso/Atlas, 2008). Le débit artésien est de l'ordre de 30 m³/h. Il était de 52 m³/h sur le forage de Birni à sa réalisation en 1967.

Le niveau statique se situe à 5 m au-dessus du sol dans le forage de Bio-Dallol à Margou (DRH/Dosso). Il varie de moins de 5 m à 50 m dans le département de Falmey en fonction de la topographie.

- **Aquifère du Continental Terminal inférieur (CT1)** (Figure III-5)

La lithologie de cet aquifère fut connue dans les deux départements d'études grâce aux forages du conseil de l'entente (PHV). Elle est constituée d'oolithes ferrugineux et de sables ou des lits silto- argileux dans la partie sud (Falmey) où il constitue avec les autres nappes du CT et la nappe alluviale, un système hydraulique, qui contient une seule nappe libre (BGRM, 1986) (fig.III-6).

Le faciès devient plus sableux dans la partie ouest du département de Boboye (Harikanassou). La nappe est captive sauf dans le département de Falmey (Geuro, 2003).

L'épaisseur de l'aquifère varie de 0 à 75 m avec une profondeur allant de 100 à 150 (Atlas des eaux de Birni Ngaouré, 2008). La nappe est artésienne jaillissante dans le Dallol au nord du 13^{ème} parallèle, avec un débit de 3.6 m³/h à Birni. L'aquifère des sables inférieurs (CT1) s'identifie au système SA2 défini par Daddy (1993). Le CT1 n'existerait pas à l'Est du Dallol Bosso sur une bande Nord-Sud d'environ 50 km de largeur (PNUD/DCTD, 1990).

Les eaux sont douces mais peuvent localement être très minéralisées en raison du contact avec les marno-calcaires marins du Paléocène/Eocène (fig.III-5).

- **Aquifère du Continental Terminal Moyen CT2** (Figure. III-5)

Le réservoir du CT2 est constitué par les oolithes ferrugineux dans une matrice de sable ou de silt plus ou moins argileux. L'aquifère du CT2 n'existe pas en tant qu'unité individualisée au sud de Birni (Boboye). Il forme avec le CT1 un même système multicouche dans les communes du Boboye (Birni et de Kankandi), et probablement dans la partie orientale de la commune de Fabidji. Plus au sud dans le département de Falmey le système CT ne contient qu'une seule nappe libre (DRH/Dosso, 2012).

Par contre dans le département de Boboye, le CT2 est repéré dans les localités suivantes : Kanaré, Konde, Gande, Kodo, Modi Koara et à Yambaré. Son épaisseur est de l'ordre 7 m à Kanaré, Konde, Gande et Kodo, et atteint 15 m à Modi Koara

- **Aquifère à nappe libre du Continental terminal 3 et des alluvions du Dallol**

L'aquifère est formé de sables gréseux et de silts plus ou moins argileux du Continental Terminal supérieur (CT3) et d'alluvions (Sable dunaire + sable alluvionnaire) dans la vallée (Guero, 2003) (Fig.III-7).

La nappe libre portée par les sables gréseux et silts argileux (fig. III-5) du Continental Terminal Supérieur (CT3) couvre la majeure partie du département de Boboye.

Dans le Département de Falmey, elle est principalement contenue dans les termes inférieurs du CT (CT1-2) sub-affleurant.

La nappe libre du CT se trouve en continuité hydraulique avec la nappe des alluvions (Fig.III-7) dans le Dallol Bosso où elles se confondent par endroits (BRGM, 1986 ; Daddy ,1993).

Chapitre III : Caractérisation des ressources en eaux

La profondeur du niveau statique de la nappe (alluvions +CT3) est inférieure à 10 m dans la vallée (moins de 5 m en général dans l'axe du dallol).

L'épaisseur du réservoir (CT + alluvions) varie de 10 m à Boumba (Falmey) et à plus de 50 m dans le département de Boboye. Elle est de l'ordre de 40 m dans le secteur de Birni (Boboye). Les débits, relativement faibles dans l'extrême sud et Sud-Ouest de la zone d'étude (4 à 5 m³/h) dépassent 50 m³/h au Projet Bio Dallol à Margou dans la Commune de Birni.

La faible profondeur du niveau de la nappe alluviale dans la vallée du Dallol (moins de 10 m) la rend très vulnérable et très sensible aux variations climatiques et à la pollution. Ainsi, le captage de cette nappe par des puits et forage, de faible profondeur ne constitue pas une solution durable pour l'alimentation en eau potable dans le dallol où l'irrigation connaît un développement important.

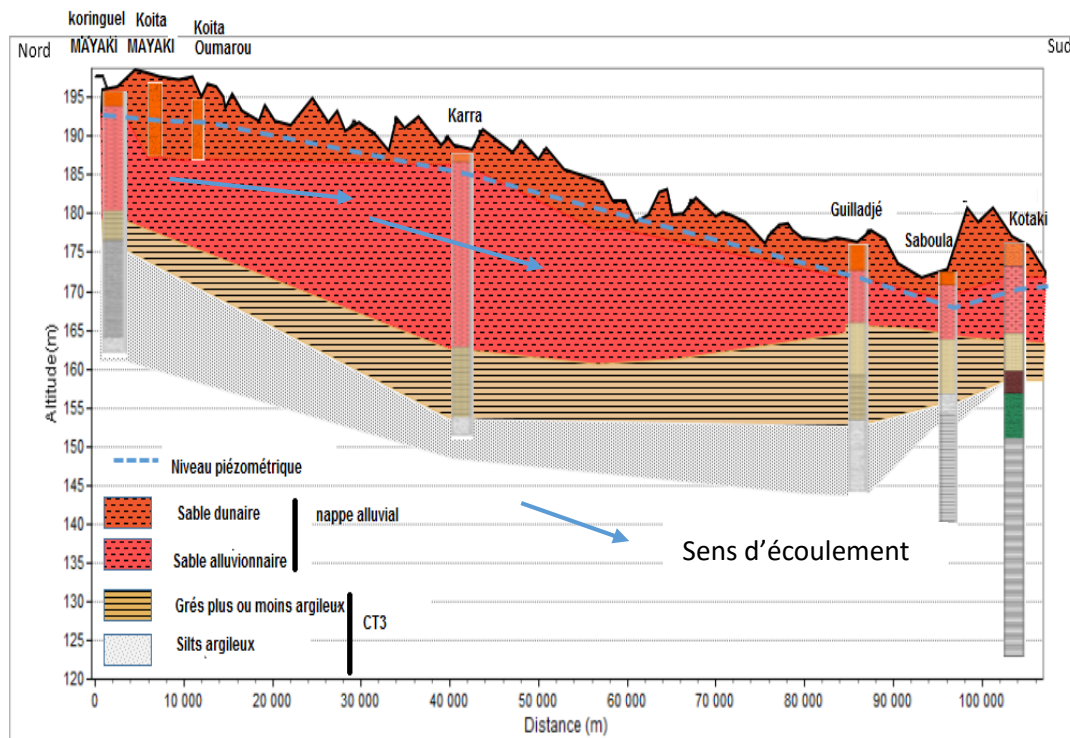


Figure III-7 : Coupe hydrogéologique des aquifères à nappes libres (CT3 + alluviale) du Dallol Bosso dans la région (Ousseini, 2015)

III. Conclusion

L'étude de synthèse des ressources en eaux montre que le Dallol Bosso est un vaste réservoir d'eau douce, avec un potentiel hydrique en eau de surface de 200 millions de m³ (FDR, 2001) et un système multicouche d'aquifères qui peut atteindre cinq nappes à certains endroits.

Les deux nappes phréatiques (alluvions+ CT3) considérées dans notre étude sont confondues par endroits et présentent une continuité hydraulique, par manque de formations imperméables bien distincte les séparant.



PARTIE II :
Contexte Hydrochimique et Potabilité des eaux
des nappes libres du Dallol Bosso

INTRODUCTION

L'hydrochimie (géochimie) est un puissant outil permettant de contribuer à la compréhension des circulations des eaux souterraines en se basant sur le mécanisme des ions et leur évolutions dans les aquifères (Schoeller, 1962), à travers : la connaissance des caractéristiques chimiques ou physiques des eaux souterraines, des processus de leur acquisition et des lois qui régissent les échanges entre l'eau, le sol et le sous-sol.

La connaissance des caractéristiques chimiques de l'eau a un impact déterminant non seulement au niveau de la santé publique, de la potabilité de l'eau, mais aussi pour connaître l'influences des activités anthropiques et du changement climatique sur les eaux souterraines.

Les nappes libres du Dallol Bosso de par leur faible profondeur, sont pré-disposées à l'influence des activités anthropiques et au changement climatique (Ousseni, 2016). En effet, pour évaluer ces influences, le programme national de gestion intégrée des ressources eaux du Niger (PANGIRE) a effectué de nombreuses études sur la nappe alluviale, dont la dernière en date est celle d'Ousseni (2016). Ainsi, notre étude hydrochimique des nappes libres (Alluvions + CT3), par manque de financement et d'analyses régulières au niveau de la DRH/Dosso, se base sur :

- 16 échantillons de la nappe alluviale (fig.IV-1) analysés en septembre 2015 dont 13 issus des piézomètres du PANGIRE et 3 forages (Nya da kokari) utilisés par certains particuliers
- 17 échantillons de forage captant la nappe du CT3 (fig.IV-1) analysés par le laboratoire de la DRH/Dosso où j'ai effectué mon stage.

Les résultats d'analyses chimique sont donnés en annexe 1 et 2.

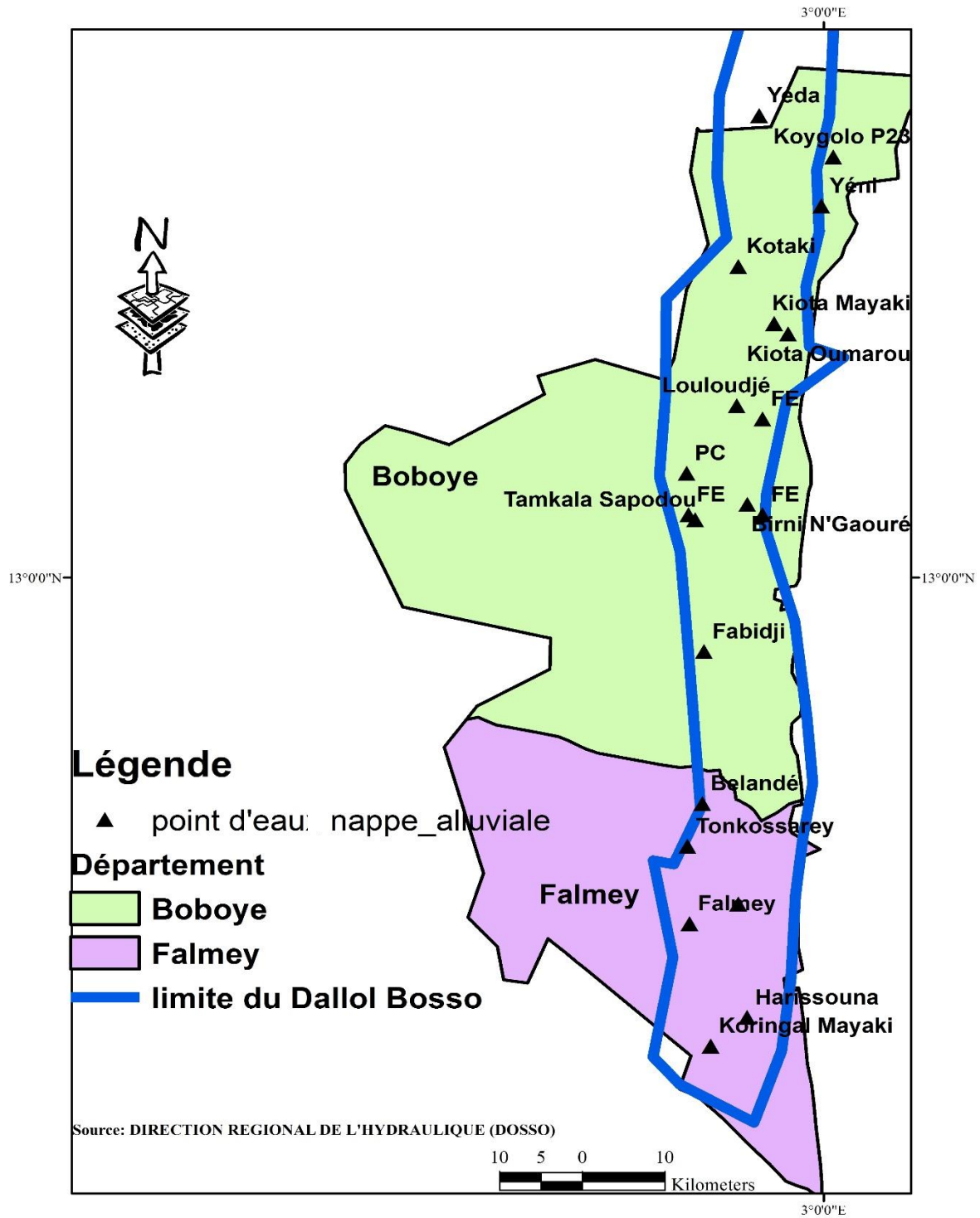


Figure IV-1: Points d’eaux analyses de la nappe alluviale

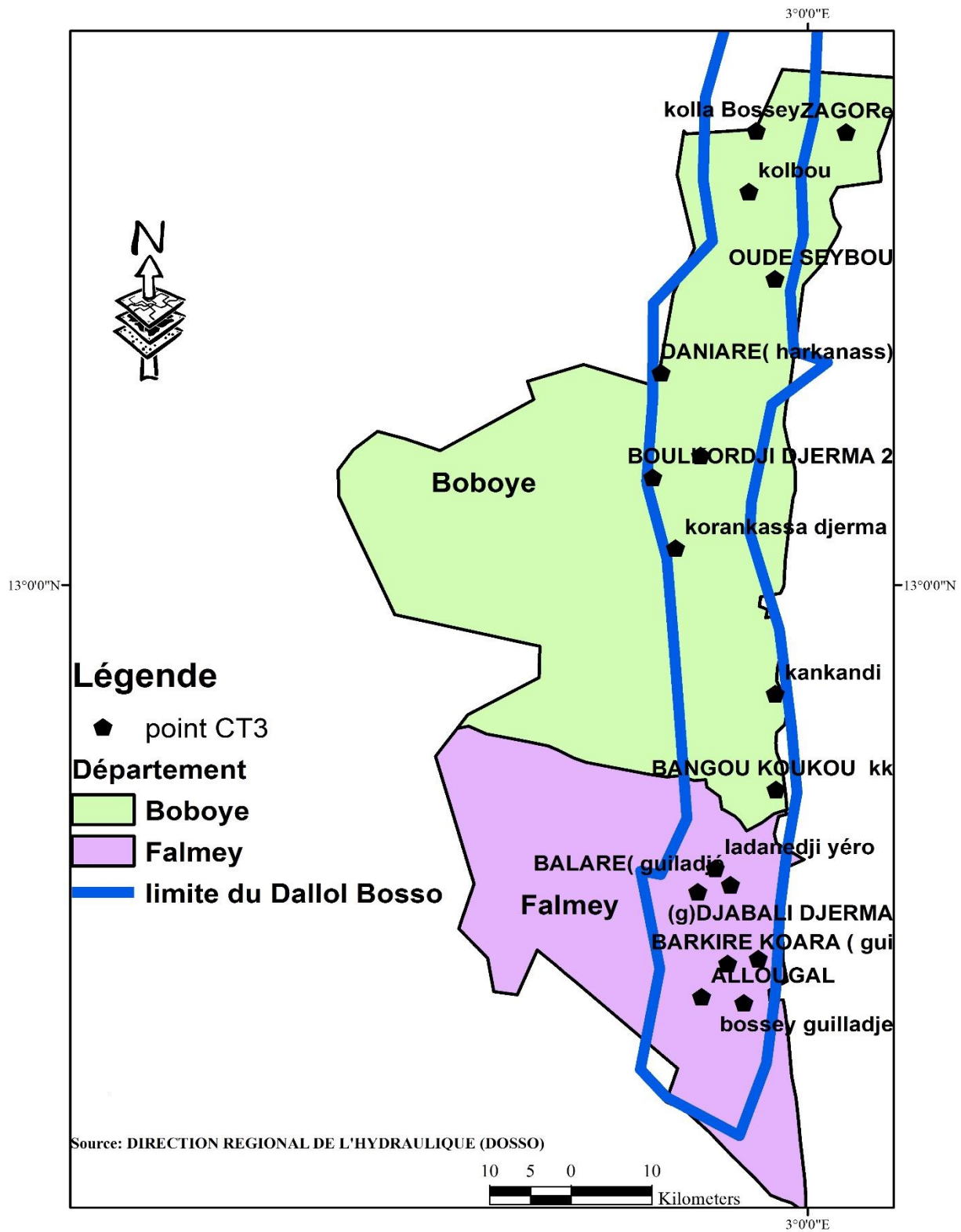


Figure IV-2: Points d'eaux analysés du CT3

INTRODUCTION

La recherche et l'exploitation des données chimiques et des documentations portant sur la zone d'étude a pour but la connaissance des caractéristiques physiques et hydrochimiques des eaux souterraines (alluvions + CT3). Cette connaissance passe par la détermination de leurs faciès chimiques et leur évolution dans l'espace et dans le temps, ainsi que leur aptitude à la boisson et à l'irrigation.

I. Traitement de données

a) Contrôle de la qualité des analyses

La balance ionique représente l'équilibre entre les cations et les anions présents dans l'eau (*in Benandelouahid, 2018*). Elle permet de vérifier la qualité des analyses des ions majeurs, calculée par la relation :

$$Balance\ Ionique = \frac{\sum cations - \sum anions}{\sum cations + \sum anions} * 100$$

Lorsque la valeur est inférieure ou égale à 5 %, le résultat analytique est considéré comme acceptable.

b) Etude des caractéristiques physico-chimiques

Les principaux paramètres étudiés sont :

- La température et le pH
- Les anions et cations : ce sont les éléments chimiques présents dans l'eau, à savoir les ions majeurs (K^+ , HCO_3^- , Na^+ , Cl^- etc.), les éléments trace (Fe, F^- , NO_3^- , NO_2^- etc.) dont certains sont indésirables pour la consommation à un taux élevé (*Normes OMS, 2006*)
- La conductivité : la conductivité mesurée sur le site par le conductivimètre permet d'apprécier la minéralisation de l'eau.
Conductivité < 100 μ s/cm : minéralisation très faible.
100 μ s/cm < conductivité < 200 μ s/cm : minéralisation faible.
Conductivité > 1000 μ s/cm : minéralisation excessive.
- le Programme national de gestion intégrée des ressources en eaux du Niger (PANGIRE) a mis en place des piézomètres d'observation de la nappe alluviale dont nous avons étudié l'évolution de la conductivité de 2005 à 2019

c) Représentations graphiques des éléments chimiques

Le diagramme de Piper et le diagramme semi-logarithmique de Schoeller Berkhaloff, seront utilisés pour déterminer respectivement les faciès hydrochimiques.

A l'aide du logiciel Diagramme (Simler, 2002), le traitement a permis de caractériser les eaux souterraines selon leurs faciès

d) Etude statistique : Analyse en Composante Principale (ACP)

Pour le traitement par l'ACP, on utilise le logiciel XLSTAT.

L'étude a porté sur les éléments suivants: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , F^- , Fe, minéralisation

e) Détermination de la qualité bactériologique des eaux

La qualité des eaux de boisson du point de vue bactériologique de la nappe alluviale plus assujettie à la pollution sera comparée aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2006). Quinze points d'eau ont été choisis, dont une majorité ne faisant pas partie des points choisis pour la caractérisation physico-chimique du fait que leur Balance ionique dépassaient 5% (fig.IV-3).

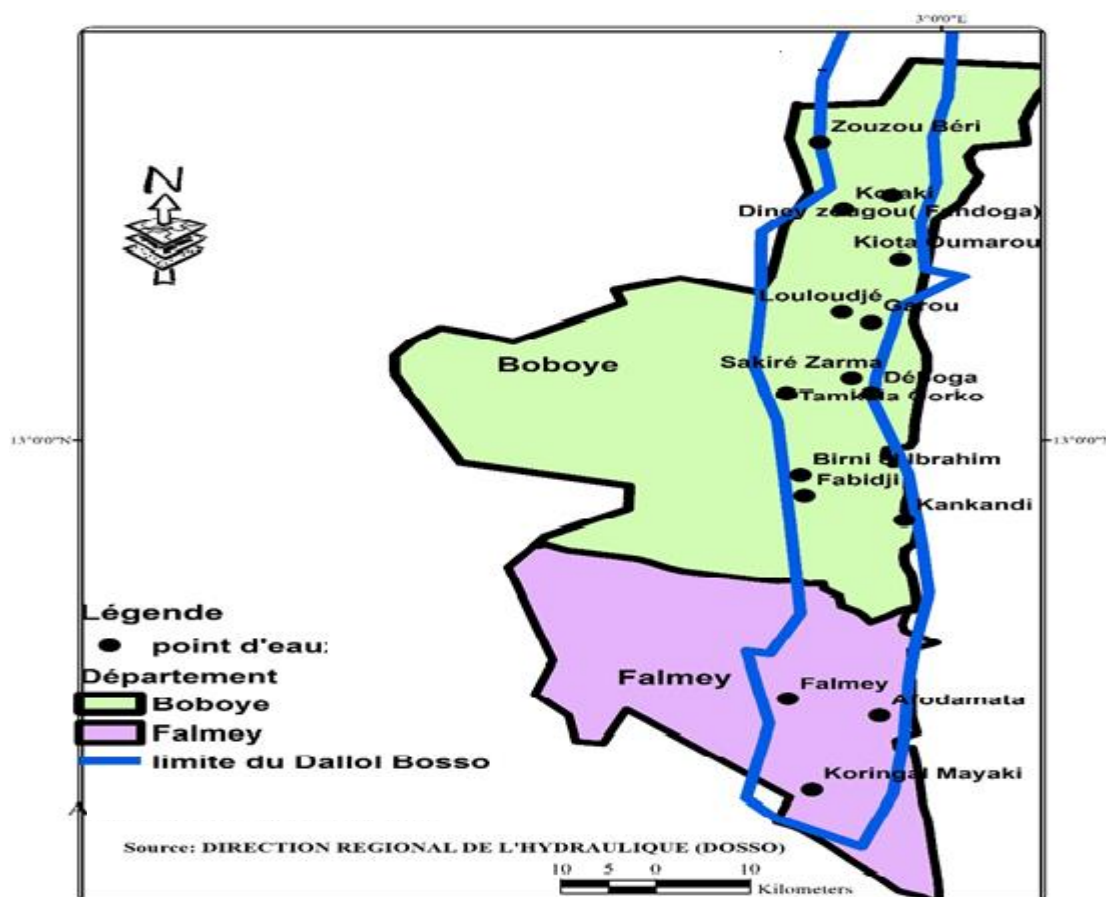


Figure IV-3 : Carte de répartition des points choisis pour analyses bactériologiques

f) Appréciation de la qualité des eaux pour la consommation humaine

Les valeurs maximales et minimales des éléments majeurs, des substances non désirables (nitrate, fluor, nitrite et fer) ainsi que celles du pH et la conductivité, sont également comparées aux normes de l'OMS (2006).

g) Détermination des aptitudes des eaux à l'irrigation par le SAR

La méthode du taux d'absorption du sodium ou Sodium Absorption Ratio [SAR] donnée par le diagramme Riverside, peut être déterminée par la relation (US Salinity Laboratory Staff, 1954):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca + Mg)}}$$

Dont:

SAR est l'indice de risque, et les teneurs en Na, Ca et Mg de l'eau sont en meq/l.

Les indices SAR en ordonnées et les conductivités des eaux permettront de classer les eaux d'irrigation en quatre (4) classes, selon leur aptitude à l'irrigation.

SAR<10 : eau à faible danger d'alcalinisation des sols (eau excellente)

SAR<18 : eau avec un danger d'alcalinisation des sols assez appréciable (eau bonne)

18<SAR<26 : eau avec un danger d'alcalinisation important (eau convenable)

SAR>26 : eau présentant un danger d'alcalinisation très forte (eau médiocre).

I. Caractérisation des paramètres physico-chimiques

I.1. La Balance ionique

Les résultats de la balance ionique des 34 échantillons, dont 16 échantillons de la nappe alluviale du Dallol Bosso et 18 de la nappe libre du continental terminal au niveau du Dallol Bosso, sont donnés par les tableaux 1 et 2 (annexe 2)

✓ Pour la nappe alluviale :

La Balance ionique varie de 1 à 5 %, ces analyses peuvent être considérées comme fiables.

✓ Pour la nappe libre du CT3

La balance ionique varie de 1 % à 4 %. Ces balances étant < 5%, les analyses peuvent être considérées comme fiables.

I.2. Les paramètres physiques

I.2.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH des eaux potables recommandé est compris entre 6,5 et 8,5. La détermination du pH constitue une mesure de la concentration des ions (H^+) dans l'eau selon la formule suivante :

$$pH = -\log (H_3O^+)$$

Les valeurs du pH de ces eaux (fig.VI-1 et 2) sont comprises entre 5,9 et 7,2 avec une moyenne de 6,33 et un écart-type de 0,36 pour les eaux de la nappe alluviale, tandis qu'elles sont comprises entre 4,96 à 7,4 avec une moyenne de 6,39 et un écart-type de 0,63 pour la nappe du CT3

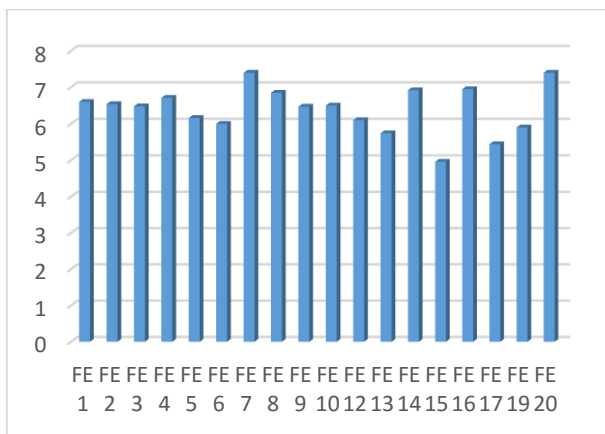


Figure V-1 : pH des eaux du CT3

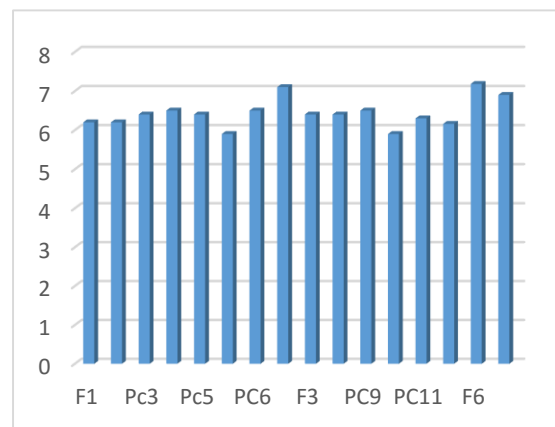


Figure V-2 : pH des eaux de la nappe alluviale

Avec une valeur moyenne de pH égale à 6,41, les eaux (CT3 + alluvions) sont légèrement acides. Boubacar Hassane (2010) a aussi noté une tendance acide des eaux de la nappe du CT3 dans la ville de Niamey à 104 Km de la zone d'étude.

I.2. La Température

La température de ces eaux (tableau 2, annexe 2) varie de 26.8 °C à Guillaré peulh (Birnie) à 32.1°C à Deboga (Boboye) pour les eaux de la nappe alluviale.

Pour les eaux du CT3, la valeur de la température varie de 26.3 °C à Kollo Bossey (Boboye) à 30.1°C à Kankandi (Falmey).

I.3. Les paramètres chimiques

I.3.1. Les éléments majeurs

I.3.1.1. Les cations

Les cations prédominants des eaux de la nappe alluviale sont : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$,

Pour le CT3, ce sont : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ (Tableau IV-1)

Tableau V-1 : Valeurs moyennes des cations (extrait du tableau, annexe)

Teneurs moyennes (meq/l)		
Cations	alluviale n=16	CT3 n= 17
Ca	0,91	0,96
Mg	0,38	0,29
K	0,48	0,07
Na	1,5	2,24

Ainsi, les concentrations maximal des cations sont respectivement de (tab.V-2) : 12.43 meq/l (Na^+) ; 3.83 meq/l (Ca^{++}) ; 1.47 meq/l (Mg^{++}) ; 0.36 meq/l (K^+), pour le CT3 et de : 7.78 meq/l (Na^+) ; 2.28 meq/l (Ca^{++}) ; 1..67 meq (K^+); et 1.21 meq/l (Na^+), au niveau du CT3

L'origine de la teneur élevée en sodium peut être due à la contamination par les eaux des mares (koris) qui se remplissent en saison pluvieuse et se concentrent en sels par évaporation en saison sèche.

Au niveau du CT3, les teneurs en potassium sont faibles, sauf pour le forage de Bankoukou qui dépasse la norme OMS (0.31meq/l) (tab. V-2). En effet, ce forage possède les concentrations les plus élevées en : Ca, K, et Na. Ce pic de potassium pourrait être d'origine naturelle. Par contre au niveau de la nappe alluviale, la majorité des points d'eau ont une concentration élevée en potassium qui pourrait s'expliquer par l'utilisation des engrais chimiques comme le NPK sur les sites maraichers.

En effet, pour atteindre l'autosuffisance alimentaire à travers l'initiative 3N (les Nigériens nourrissent les Nigériens), le Dallol Bosso de par sa nappe alluviale avec un niveau statique qui varie de 0 à 5 m (DRH/Dosso) est très sollicité pour les cultures de contre saison.

Oren O. et al. (2009), ont aussi noté une contamination des eaux souterraines par les ions potassium avec des concentrations variant entre 20 mg/L et 120 mg/L de K^+ , dans une zone aride d'Israël du fait de l'utilisation des engrais dans l'agriculture.

Chapitre V : Résultats et Discussion

Cette hypothèse est confortée par les conclusions de Somé K. *et al.* (2009), qui ont relevé une augmentation des teneurs en potassium pour les eaux de surface du fait de l'utilisation des engrais.

Tableaux V-2 : Teneurs en cations des nappes libres du Dallol Bosso

cation en meq/l (nappe alluviale)						cation en meq/l (nappe du CT3)					
Piezometre	type	Ca	Mg	K	Na	Nom des villages	type	Ca++	Mg++	K+	Na+
Kotaki	F1	0,84	0,36	0,09	0,54	AFO DAMATA	FE 1	1,08	0,16	0,10	2,36
Yéni	PC1	0,64	0,24	0,08	0,63	BALARE	FE 2	2,46	1,48	0,16	8,08
Tonkossaré	PC3	1,68	0,36	0,23	0,54	BARKIRE KOARA	FE 3	0,48	0,04	0,05	0,82
Falmey	PC4	0,64	0,04	0,99	1,24	DJABALI DJERMA	FE 4	2,30	0,53	0,07	4,10
Koringal						BOULELGAOURI M	FE 5	0,96	0,61	0,05	1,93
Mayaki	PC5	0,96	0,36	0,49	1,53	DANIARE	FE 6	0,06	0,06	0,02	0,12
Kiota						bossey	FE 7	2,16	0,24	0,04	3,69
Oumarou	F2	0,32	0,24	0,13	0,90	OUDE SEYBOU	FE 8	0,80	0,06	0,04	0,86
Kiota						kolbou	FE 9	0,32	0,16	0,03	0,23
Mayaki	PC6	1,60	1,17	0,13	2,14	ZAGORé	FE 10	0,48	0,12	0,08	0,61
Yeda	PC7	0,96	0,44	0,66	7,78	ladanedji yéro	FE 13	1,04	0,93	0,05	1,89
Koygolo P23	F3	1,84	0,81	0,34	1,12	kolla Bossey	FE 14	0,36	0,12	0,04	1,61
Tamkala						BOULKORDJI DJER	FE 15	0,24	0,24	0,16	0,40
Sapodou	PC8	0,68	0,32	0,52	0,49	BANGOU KOUKOU	FE 16	3,84	0,41	0,37	12,43
Belandé	PC9	0,76	0,24	0,75	0,96	korankassa	FE 17	0,20	0,16	0,02	0,06
Guilladjé	PC10	0,36	0,16	0,38	1,01	kankandi	FE 19	0,56	0,24	0,13	1,88
Harissouna	PC11	2,80	1,21	1,67	2,63	ALLOUGAL	FE 20	1,52	0,26	0,06	3,18
Tamkala Gor	F5	0,06	0,02	0,52	0,98						
Birniel Alfari	F6	0,40	0,06	0,54	0,82						
Guilaré Peul	F7	0,16	0,04	0,21	0,74						

NB : F= forage et PC= puits

I.3.1.2. Les anions

On constate que les Bicarbonates dominent largement tous les anions aussi bien des eaux de l'aquifères des alluvions que dans ceux du CT3 avec des concentrations moyennes respectivement : 1.84 meq/l (alluviale) et 1.64 meq/l (CT3) (tableau VI-3).

Chapitre V : Résultats et Discussion

Tableaux V-3 : Valeur moyenne des anions des eaux des nappes libres du Dallol Bosso

concentration en meq/l		
anions	alluviale n=16	CT3 n= 17
HCO ₃	1,64	1,84
Cl	1,38	0,53
SO ₄	1,32	0,32

En ce qui concerne le chlorure et le sulfate, leurs teneurs moyennes sont relativement faibles, toutefois leur dispersion est importante (annexe 1 et 2) dans les deux eaux :

- Pour le sulfate, il varie de 0 à 1.20 meq/l (0 à 48 mg/l) au niveau de la nappe alluviale et de 0.02 à 5.12 meq/l (1 à 246 mg/l) pour le CT3
- Pour le chlorure, de 0 à 7.38 meq/l (262 mg/l) au niveau du CT3 et 0.03 à 4 meq/l (1 à 140 mg/l) au niveau de la nappe alluviale.

Les teneurs sont élevées en bicarbonates et en chlorures (fig.V-3) dans certains endroits (avec au niveau du CT3 deux point dépassant la norme OMS (200 mg/l) (fig.V-3-b).

Cela pourrait être dû à l'extraction du natron dans le Dallol Bosso au niveau des mares temporaires. Le natron est un minéral ou roche évaporitique exploité depuis l'antiquité. En effet, selon Moussa, (2013) dans les différentes communes du département de Boboye (Koygolo, Kiota et Harkanassou), les femmes extraient le natron traditionnellement.

La formation du natron est beaucoup plus due à la présence d'eaux saumâtres apportées par les eaux naturellement chargées en bicarbonate de sodium et en chlorure de sodium (Farges et Foucault, 2013).

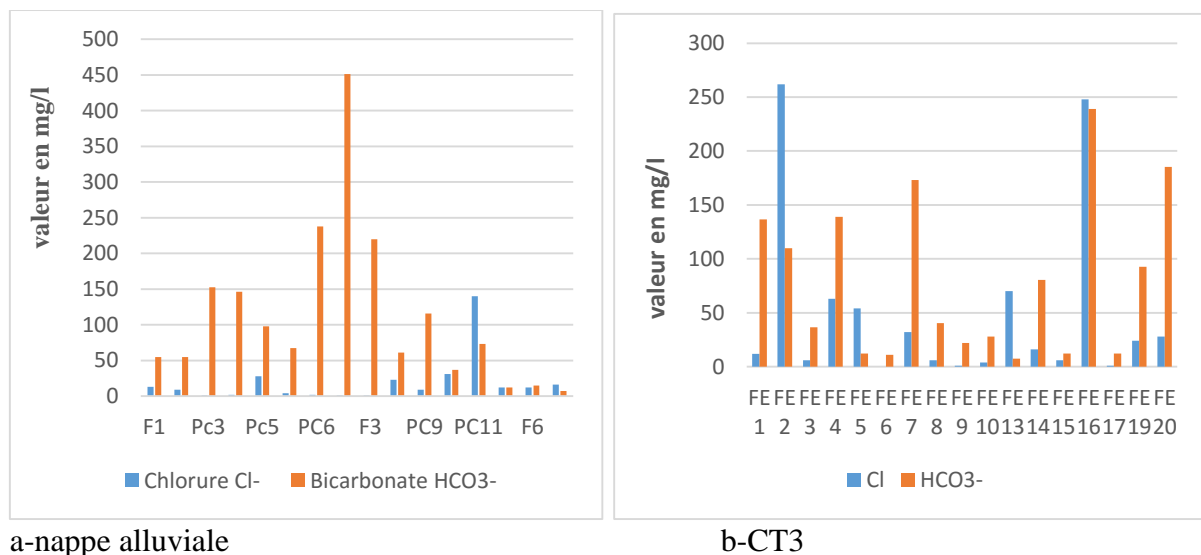


Figure V-3 : teneurs en Cl⁻ et HCO₃⁻ de la nappe alluviale et du CT3

I.3.2. Les éléments traces

a) Fer total

Dans le cas du fer, la concentration est la somme de l'ion Fe^{2+} et Fe^{3+} . Il peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries susceptibles de précipiter le fer ou de corroder les canalisations.

La teneur en fer pour une eau de boisson selon l'OMS ne doit pas dépasser 1 mg/l. Ainsi, la teneur en fer dans les deux nappes varie, pour la nappe alluviale de 0.07 à 6.1 et de 0 à 4.25 mg/l dans le cas du CT3 (annexe 1 et 2).

L'origine du fer dans ces eaux est due à une présence de dépôts oolithiques ferrugineux dans le Dallol Bosso. En effet, les travaux de J.B. Dixon et al, (1990), ont confirmé la présence de ces dépôts ferrugineux dans le lit du Dallol Bosso

b) Fluorures

La concentration en fluorure est faible dans les deux nappes, elle varie de 0 à 1.46 mg/l pour la nappe alluviale, et de 0 à 1.26mg/l pour le CT3 (annexe 1 et 2).

Les concentrations sont inférieures à 1.5 mg/l (Normes OMS, 2006). Néanmoins, les forages de Balaré (CT3) et de Yéda (alluvions), avec des concentrations respectives de 1.26 mg/l et de 1.46mg/l, doivent faire l'objet d'un suivi régulier afin de prévenir une augmentation des concentrations, pour éviter le cas de Tibiri (Maradi/ Niger), où les eaux distribuées par la société Nigérienne des eaux avait une teneur très élevées en fluor, ce qui a engendré une malformation osseuse au niveau des enfants nés pendant cette période.

I.4. La conductivité

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux (alluvions + CT3) (fig.V-4 et 5) sont :

- Pour le CT3, la minéralisation est relativement faible, avec une conductivité qui varie de 16.53 à 833 $\mu\text{s/cm}$ dans la majorité des points d'eaux, dont 76% ont une valeur inférieure à 500 $\mu\text{s/cm}$ (fig.V-4).
Mais il ressort deux points dont la minéralisation est relativement élevée (1550 $\mu\text{s/cm}$ à Balaré et 2190 $\mu\text{s/cm}$ à Bangou-koukou).
- En ce qui concerne la nappe alluviale, elle varie de 74 à 1210 $\mu\text{s/cm}$, avec plus de 80% des valeurs inférieures ou égales à 400 $\mu\text{s/cm}$ (fig.V-5)

En comparant ces valeurs à la classification de la conductivité, on peut dire que les eaux (CT3+alluvions) du Dallol Bosso sont faiblement à moyennement minéralisées (très douces). Selon Ousseini (2016), la faible minéralisation de la nappe alluviale pourrait s'expliquer par le fait que les eaux circulent dans les terrains sableux et gréseux riches en minéraux silicaté, présents aussi dans le CT3.

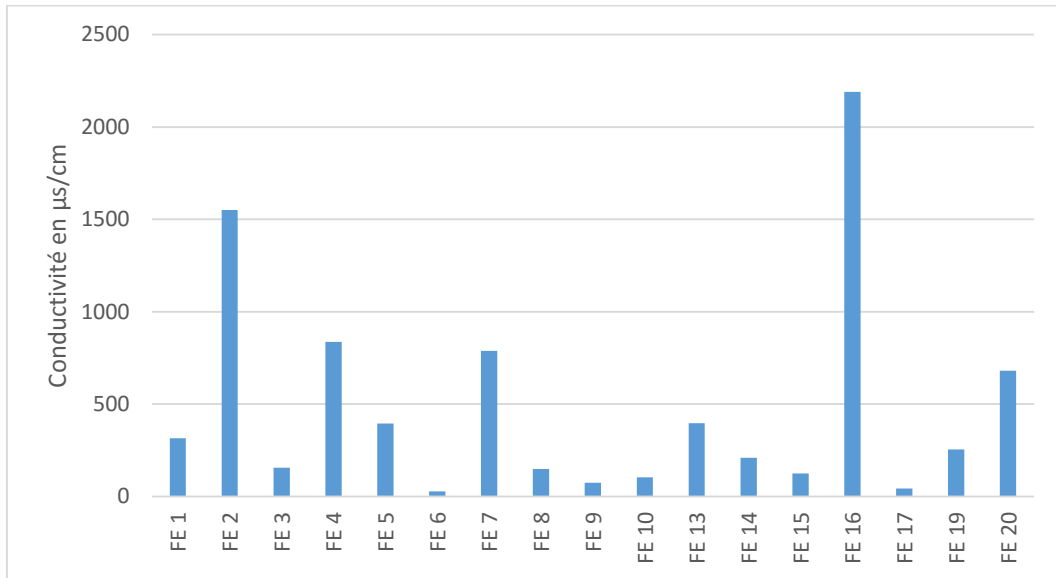


Figure V-4: Valeurs de la conductivité de la nappe du CT3

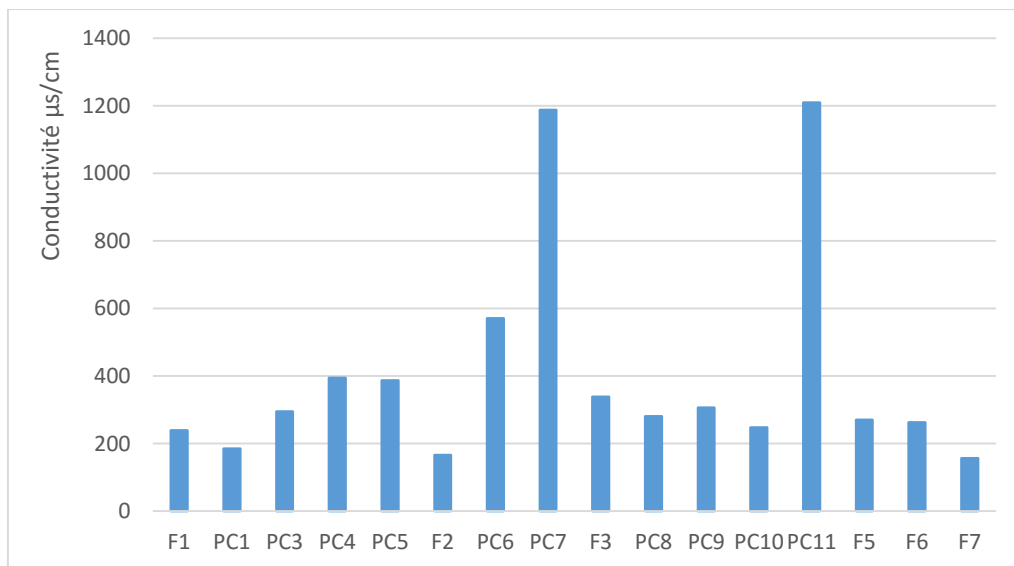


Figure V-5 : Valeurs de la conductivité de la nappe alluviale

Les pics de conductivités constatés peuvent être dû soit :

- à une erreur de mesure
- à une salinisation de ces points d'eaux causée par l'extraction du natron ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) dans le lit du Dallol Bosso au niveau des mares temporaires ou semi permanentes
- ou à une pollution anthropique

I.4.1. Etude des variations saisonnières de la conductivité de la nappe alluviale

Dans le cadre du programme de gestion intégrée des ressources en eaux, le PANGIRE (programme national des gestions intégrées des ressources en eaux du Niger) possède des piézomètres d'observations, et procède à des campagnes de mesure des paramètres in situ au niveau des différents piézomètres dont ceux de la nappe alluviale du Dallol Bosso.

Dans le but de connaître l'évolution de la minéralisation de la nappe alluviale de 2005 à 2019, cinq piézomètres ont été choisis avec des mesures de conductivité variant en saison hivernale et en saison sèche.

Ainsi, l'observation des courbes de variation (fig.V-6) montre une variation assez marquée d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre. Toutefois, pour la majorité des piézomètres (sauf Kiota Mayaki), la conductivité est inférieure à 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Cela confirme une minéralisation relativement faible de la nappe alluviale du Dallol Bosso. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Daddy (1993), Guero (2003), dans la région de Dosso et d'Ousseini (2016), sur la nappe alluviale.

Au niveau du piézomètre de Kiota Oumarou, on remarque une hausse de la teneur qui passe de 173 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en décembre 2012 à 657 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en juin 2015. Cette augmentation de la conductivité pourrait s'expliquer par le fait que ce puits est situé au sein d'un jardin et qu'il soit surexploité, mais également par les variations saisonnières dues à l'évaporation intense en saison sèche. Le niveau statique de ce puits selon Ousseini (2015) varie de 0 à 2m, ce qui le rend très vulnérable aux actions anthropiques.

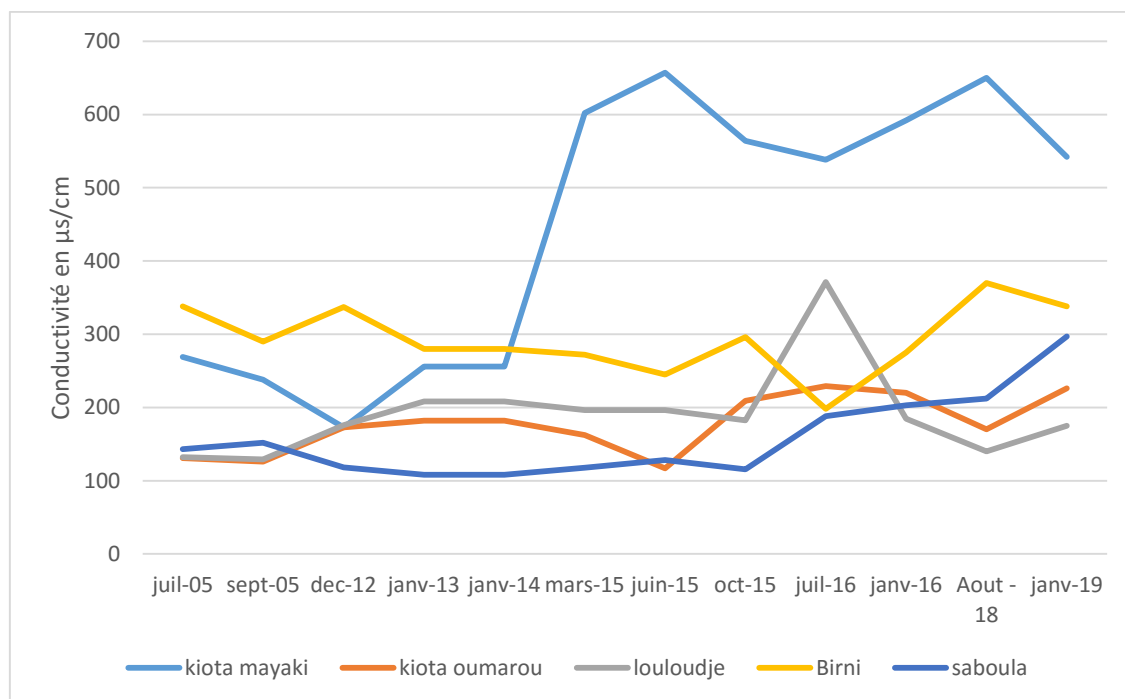


Figure V-6 : Variation des conductivités des 5 Ouvrages d'observations de la nappe alluviale du Dallol Bosso

I.4. Représentation graphique des éléments chimiques

a) Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est composé de deux (2) triangles et d'un losange.

Ces deux triangles permettent de représenter respectivement les proportions relatives des différents cations et anions. A droite, c'est le faciès cationique et à gauche, c'est le faciès anionique. Le losange permet de synthétiser le faciès global.

Ainsi, pour la nappe du CT3, le diagramme de Piper (fig.V-7) fait ressortir, que sur les 17 échantillons analysés :

- ❖ 8 sont de faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique soit 47%
- ❖ 6 sont bicarbonaté sodique et potassique soit 35 %
- ❖ 3 chlorurés et sulfatés, calcique et magnésiennes soit 18 %

Concernant la nappe alluviale, sur les 16 échantillons analysés, on a : (fig.V-8) :

- ❖ 6 de faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique soit 37.5%
- ❖ 6 de faciès bicarbonaté sodique et potassique soit 37.5%
- ❖ 4 de faciès bicarbonaté calcique et magnésien soit 25%

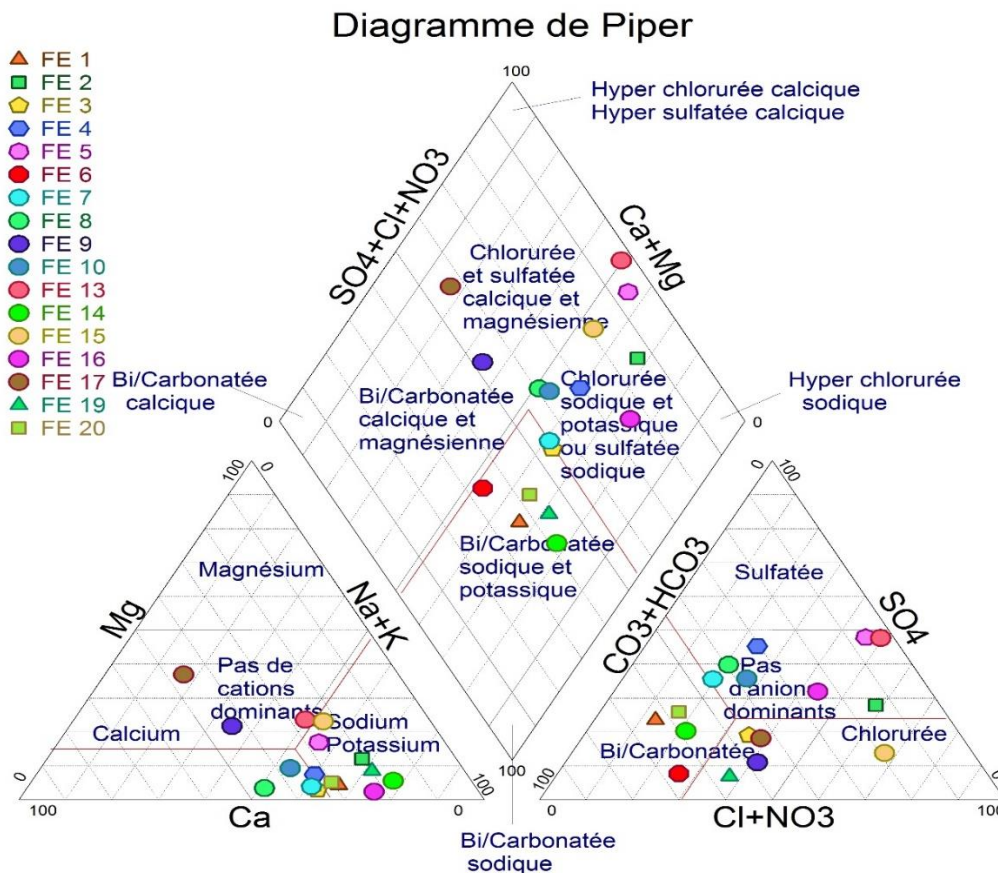


Figure V-7 : Représentation sur le diagramme de Piper des eaux du CT3

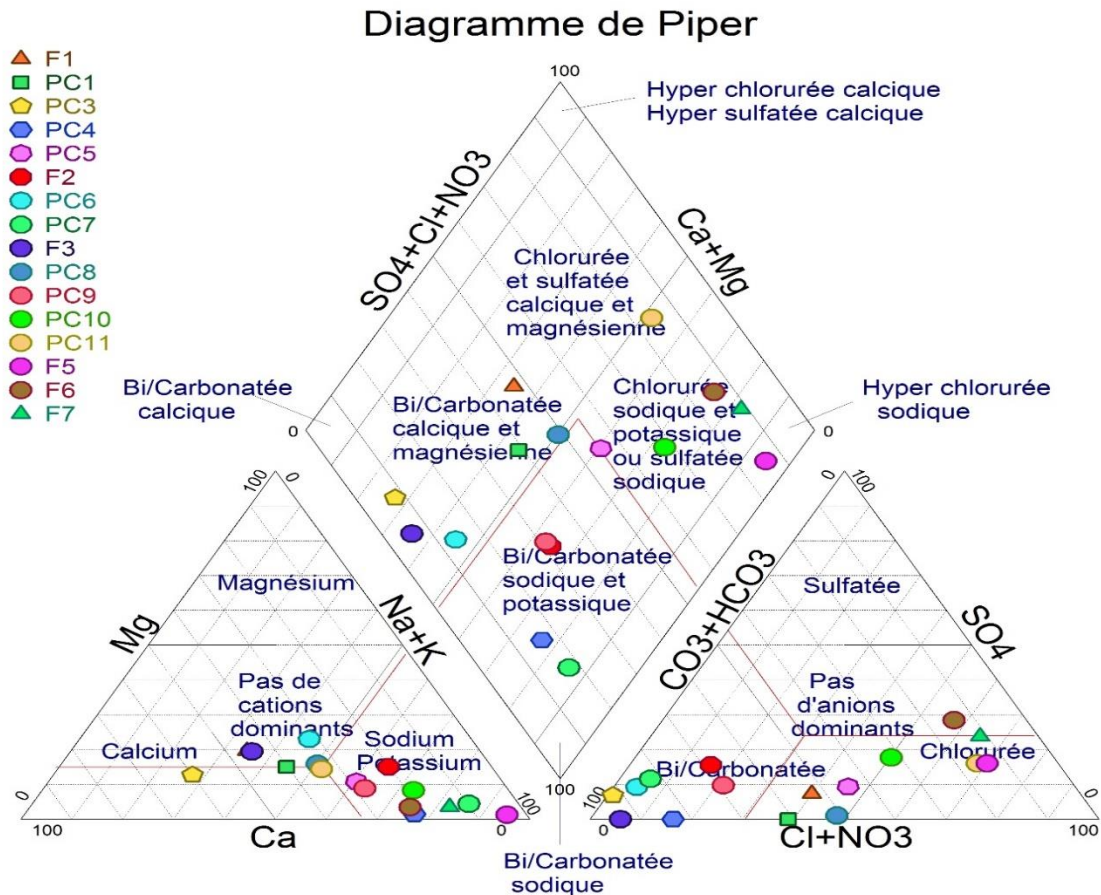


Figure V-8 : Représentation sur le diagramme de Piper des eaux de la nappe alluviale

b) Diagramme de Schoeller Berkloff.

Il s'agit d'un diagramme logarithmique qui permet de représenter un ensemble d'eaux aux concentrations différentes avec une bonne précision.

Pour les deux nappes, ce sont les analyses des 14 premiers points d'eaux qui sont concernés

Les représentations des diagrammes de Schoeller Berkloff des deux nappes (fig.V-9 et 10) montrent que les eaux de certains ouvrages se superposent (parallélisme). Ce qui explique que, ces eaux appartiendraient à une même famille.

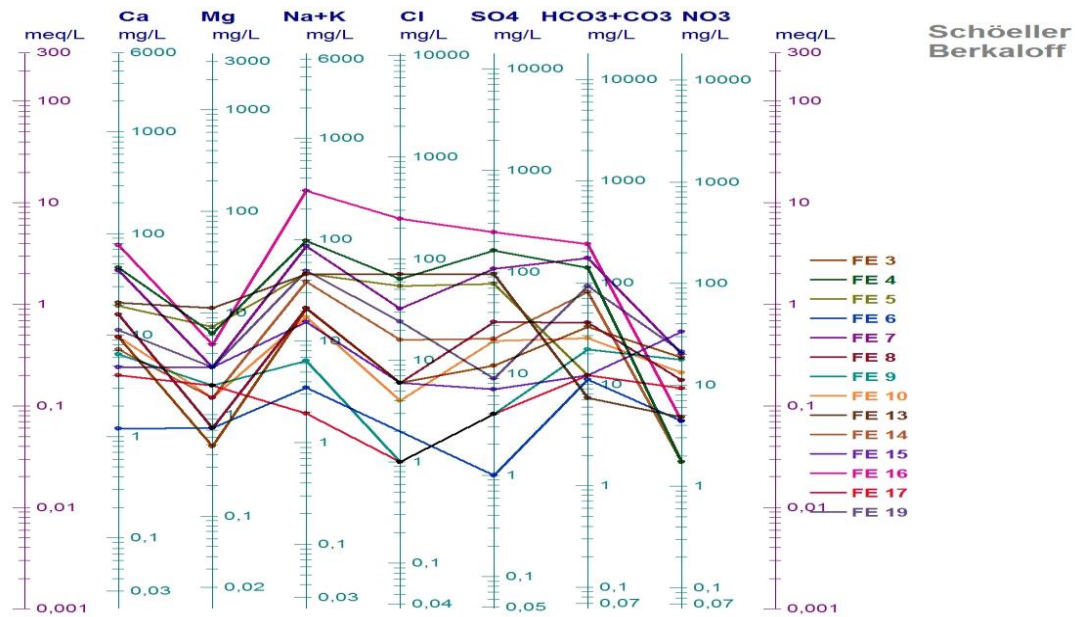


Figure VI-9 : Représentation graphique de Scholler des eaux du CT3

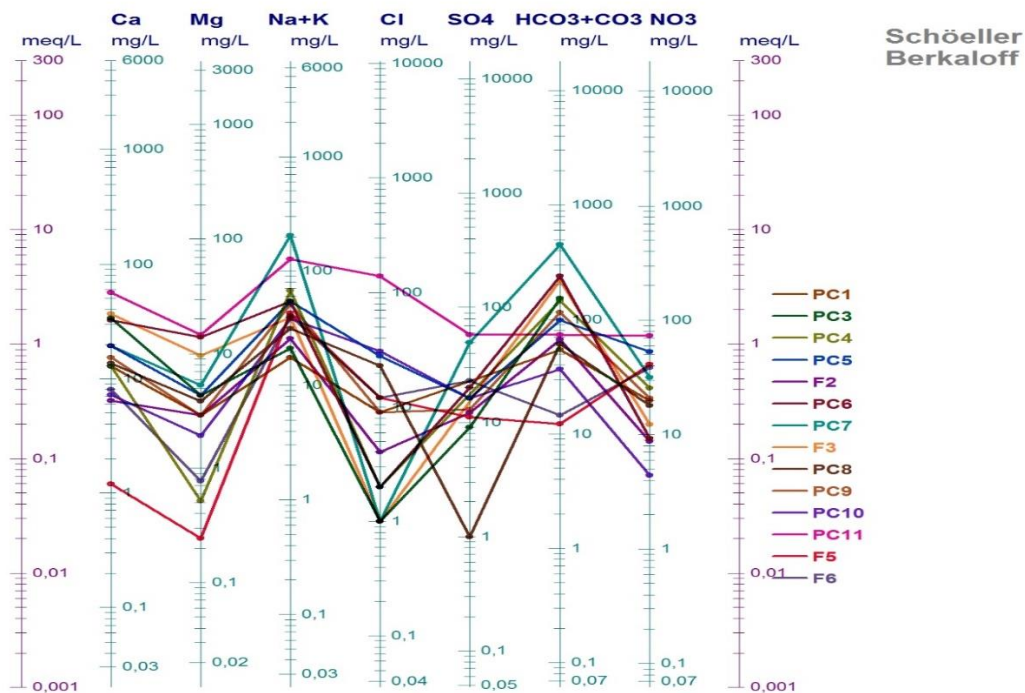


Figure.V-10: Représentation graphique de Scholler de la nappe alluviale

II. Etude statistique (ACP)

L'analyse en composante principale est une méthode statistique multidimensionnelle descriptive, utilisable comme aide à l'interprétation d'une matrice de données. Les matrices de données physico-chimiques comportent « m » analyses (ou points échantillonnés) sur « n »

Chapitre V : Résultats et Discussion

variables (ou éléments mesurés). Ainsi, pour avoir une bonne corrélation entre deux éléments, la valeur du coefficient de corrélation entre ces deux éléments doit être proche de 1.

Pour les deux nappes étudiées, il ressort que la majorité des éléments chimiques sont corrélées positivement (tab.V-4 et 5). Les meilleures corrélations positives dans l'ordre décroissant sont dans le tableau V-6.

Tableau V-4 : Matrice de corrélation des éléments chimique de la nappe alluviale

Variables	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	k ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Fer	F ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻
Ca ²⁺	1										
Mg ²⁺	0,886	1									
Na ⁺	0,231	0,294	1								
k ⁺	0,457	0,285	0,306	1							
Cl ⁻	0,567	0,490	0,079	0,743	1						
NO ₃ ⁻	0,302	0,229	0,283	0,743	0,702	1					
No ₂ ⁻	0,092	0,100	-0,089	0,048	0,139	0,335	1				
Fe ⁻	0,160	-0,040	-0,131	0,233	-0,178	-0,140	-0,187	1			
F ⁻	0,234	0,436	0,867	-0,073	-0,143	-0,040	-0,040	-0,268	1		
SO ₄ ⁻	0,455	0,473	0,729	0,607	0,632	0,607	0,276	-0,331	0,541	1	
HCO ₃ ⁻	0,373	0,408	0,824	0,067	-0,247	-0,089	-0,206	0,167	0,853	0,369	1

Tableau V-5 : Matrice de corrélation des éléments chimique de la nappe du CT3

Variables	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Fe	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	HCO ₃	F ⁻	SO ₄ ⁻
Ca	1										
Mg	0,533	1									
K	0,757	0,265	1								
Na	0,919	0,518	0,821	1							
Fe	-0,176	-0,128	-0,181	-0,197	1						
Cl	0,862	0,750	0,741	0,925	-0,157	1					
NO ₃ ⁻	-0,379	-0,174	0,090	-0,234	0,150	-0,207	1				
NO ₂ ⁻	-0,013	-0,288	0,200	0,016	-0,104	-0,119	0,249	1			
HCO ₃	0,686	0,113	0,567	0,775	-0,215	0,517	-0,165	0,276	1		
F ⁻	0,555	0,696	0,370	0,627	-0,178	0,772	-0,056	0,077	0,302	1	
SO ₄ ⁻	0,910	0,628	0,652	0,929	-0,217	0,876	-0,345	-0,183	0,692	0,577	1

Chapitre V : Résultats et Discussion

Tableau V-6 : Les meilleures corrélations positives dans l'ordre décroissant

Nappe alluviale		Nappe du CT3	
Eléments chimiques	Valeur de la matrice	Eléments chimiques	Valeur de la matrice
Mg ²⁺ et Ca ²⁺	0,886	Cl et Na	0,925
F ⁻ et Na ⁺	0,867	Na et Ca	0,919
HCO ₃ ⁻ et Na	0,824	SO ₄ et Ca	0,910
NO ₃ et K	0,743	Cl et Ca	0,862
Cl et K	0,743	Na et K	0,821
SO ₄ et Na	0,729	HCO ₃ et Na	0,775
NO ₃ et Cl	0,702	K et Ca	0,757

Le pourcentage de variance (axes F1 et F2) est supérieur à 60% dans le cas des deux nappes. Il montre deux groupes principaux de répartition des individus (points d'eau) : les moins minéralisées à gauche de l'axe et les plus minéralisées à droite (fig.V-11). Ainsi, l'espace des variables chimiques fait ressortir :

- Pour la nappe alluviale, une bonne corrélation entre le bicarbonate et le sodium, en effet ils présentent respectivement, le cation et l'anion majeurs des eaux de la nappe. On remarque aussi une étroite corrélation entre le Cl⁻, NO₃⁻ et K⁺ qui pourrait être en relation avec la pollution de la nappe par endroits (fig.V-11-b)
- Pour le CT3, les ions Ca²⁺, Cl⁻, Na⁺ et SO₄⁻ sont bien corrélés entre eux, par contre les ions NO₃⁻ et NO₂⁻ sont les plus proches de l'origine de l'axe, ce qui indique leur moindre corrélation avec les autres éléments, en raison de leur origine, probablement due à la pollution anthropique (fig.V-11-a).

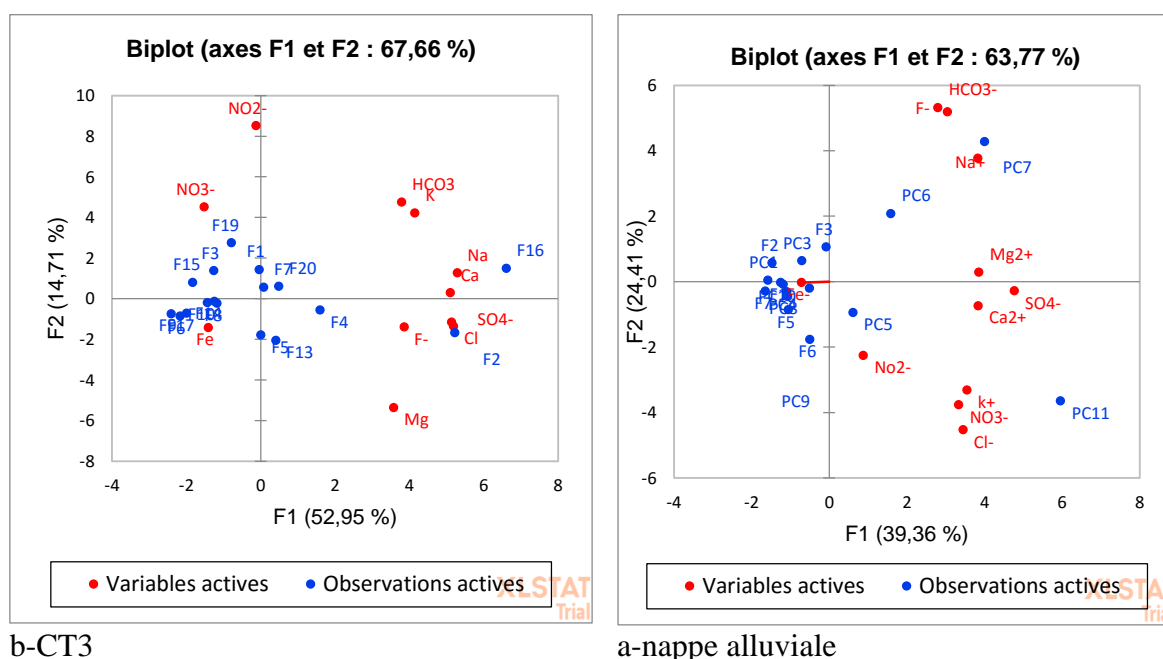


Figure V-11 : Répartition des facteurs et des variables des eaux (alluviale + CT3)

III. Potabilité des eaux des nappes libres (alluviale + CT3)

III.1. Eléments indésirables

a) Nitrate

La teneur en nitrate dans les deux nappes varie (annexe 1et 2) :

- De 0 à 33.44 mg/l avec une moyenne de 9,88 mg/l et un écart-type de 8,55 pour le CT3
- Et de 0 à 73.48 mg/l avec une moyenne de 23,71 mg/l et un écart-type de 20.25 pour la nappe alluviale.

Pour le CT3, les valeurs sont inférieures à 50 mg/l (fig.V-12), valeur seuil préconiser par l’OMS pour les eaux de boisson ; alors qu’au niveau de la nappe alluviale (fig.V-13), le constat est qu’il existe des points d’eaux dépassant cette valeur. Cela pourrait être lié aux activités d’irrigation, avec l’utilisation des engrais chimiques et pesticides ou bien à une contamination par les fosses septiques parfois mal réalisées.

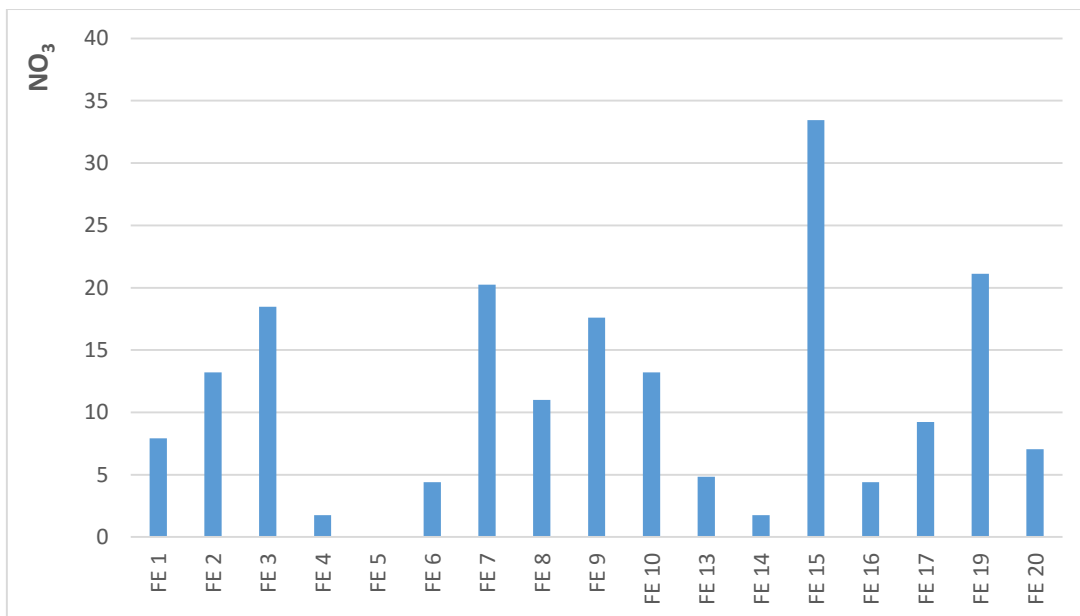


Figure V-12 : Teneurs en nitrates de la nappe du CT3

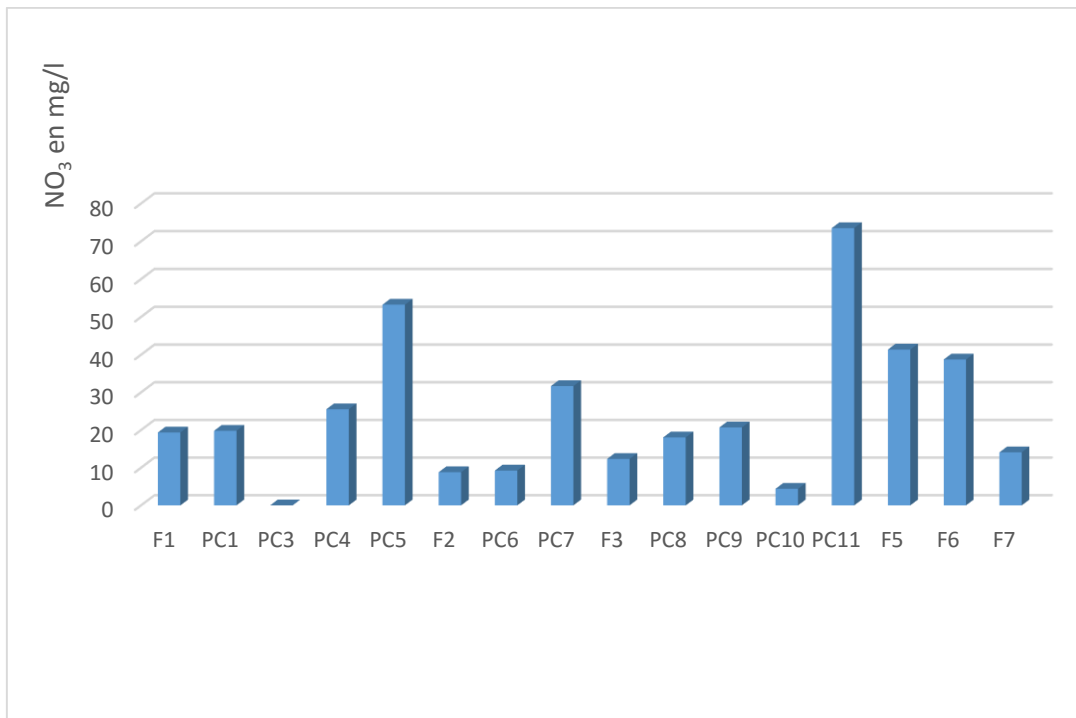


Figure V-13 : Teneurs en nitrate de la nappe alluviale

b) Nitrite

Les valeurs en nitrites oscillent de 0 à 0.24 mg/l pour la nappe alluviale, et de 0 à 0.14 mg/l pour le CT3 (tableaux 4 /annexe 5),

Au niveau des deux nappes, les valeurs en nitrites sont inférieures aux normes OMS (< 0,3 mg/l). Néanmoins la présence des nitrites dans les eaux de la nappe est un indicateur de pollution anthropique.

III.2. Caractéristiques bactériologiques

L'analyse bactériologique de la nappe alluviale faite par le PANGIRE en 2015 a fait ressortir que la plupart des eaux des ouvrages sont infectées par les coliformes totaux et coliformes fécaux.

La présence des coliformes fécaux constitue un bon indice de pollution essentiellement attribuée à une contamination d'origine fécale (anthropique).

En effet, seules les eaux de quatre ouvrages peuvent être utilisées pour la consommation (Garou, Déboga.. etc.), c'est la raison pour laquelle les eaux de la nappe alluviale ne sont plus exploitées par les services de l'hydraulique pour la consommation humaine (DDH/Boboye, 2019). Ainsi pour Ousseini (2016), l'origine de ses bactéries s'explique par le déficit du réseau d'assainissement dans le milieu. Les excréments des animaux qui finissent toujours leur course dans les puits, et les puits ne disposent pas de couvercles, ni de mur de clôture.

Dans le cas des forages (Niyya-Kokari), elle peut s'expliquer par le fait qu'ils ont été construits en zone urbaine (Birnie) tout près des habitations, ou également par manque de réseaux d'assainissement et la proximité des fosses septiques parfois mal réalisées. .

Chapitre V : Résultats et Discussion

Tableau V-7 : Etudes bactériologique des deux nappes (alluviale+CT3)

localités	types	Paramètre bactériologique	
		Coliformes totaux (/100ml)	Coliformes fécaux (/100ml)
Garou	FE	0	0
Déboga	FE	0	0
Tamkala Gorko	FE	13	7
Birni el Ibrahim	FE	26	TNC
Diney zougou(Fandoga)	FE	0	0
Sakiré Zarma	FE	0	0
Louloudjé	PZ	TNC	TNC
Kiota Oumarou	PZ	120	33
Kankandi	Pc	TNC	52
Zouzou Béri	Pc	334	128
Fabidji	PM	TNC	TNC
Koringal Mayaki		TNC	TNC
Kotaki	Pc	TNC	76
Afodamata		123	44
Falmey	Pc	TNC	TNC
Normes OMS		100 (Absent dans l'eau)	

III.3. Comparaison des éléments chimiques des eaux aux normes OMS (2006) et Algériennes

Afin d'apprécier l'aptitude des eaux du Dallol Bosso (Alluviale + CT3) à la consommation, les teneurs minimales et maximales des différents paramètres chimiques analysés au laboratoire, sont comparées aux normes de potabilité de l'OMS (2006) et Algériennes (tableau 6).

Il ressort que, pour une grande partie des éléments chimiques des eaux des nappes libres respectent les deux normes, sauf pour certains éléments (NO₃, K, Cl, etc.) que nous avons expliqué précédemment.

Chapitre V : Résultats et Discussion

Tableau.V-8 : Récapitulatif des teneurs des éléments chimiques obtenus comparés aux normes OMS (2006)

Paramètres	Unité	Normes OMS (référence au Niger)	Normes Algériennes	Teneurs des éléments (minimales et maximales)	
				Nappe alluvial	Nappe du CT3
<i>pH</i>		6,50 -8,50	6.5-9	6.5 -8.5	4.96 -7.4
<i>Conductivité</i>	µS /cm	1500 : c'est indicatif	2800	42.60 -1210	16.53 -2190
<i>Fer total</i>	mg/l	de 0,3 à 1. le fer ne constitue pas un problème de santé public même à une concentration élevée		0.07 -3.75	0 -5.22
<i>Calcium</i>	mg/l	100	200	0 -56	1.2-76.8
<i>Magnésium</i>	mg/l	50		0.48 -14	0.48 -17.74
<i>Sodium</i>	mg/l	250	200	10 -179	0.99 -286
<i>Potassium</i>	mg/l	12	12	2 -.29	0.60 -14.3
<i>chlorures</i>	mg/l	200	500	0 -140	0 -262
<i>Sulfates</i>	mg/l	400 jusqu'à 500 mg selon d'autres sources	400	2 -58	1 -246
<i>Nitrites</i>	mg/l	0,3	0.2	0 -0.24	0 -0.14
<i>Nitrates</i>	mg/l	50	50	0 -73.48	0 -33.44
<i>Fluorures</i>	mg/l	1,5		0 -1.46	0 -0.72

IV. Aptitude des eaux à l'irrigation

IV.1. Evaluation du risque de salinité (diagramme de Riverside)

Le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio) permet d'évaluer le risque de sodisation du sol par l'eau d'irrigation. Les eaux sont classées selon le risque croissant de sodisation.

Le diagramme est basé sur les valeurs du rapport du S.A.R et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Riverside afin de faciliter la caractérisation des eaux en fonction de leur aptitude à l'irrigation (fig.V-14 et 15).

Ainsi la majorité des points d'eaux des nappes libres ont un pouvoir alcalinisant faible, sauf 3 points, 1 de la nappe alluviale et les 2 autres du CT3 qui ont un pouvoir alcalinisant moyen. Les eaux des deux nappes libres sont très bonnes pour l'irrigation.

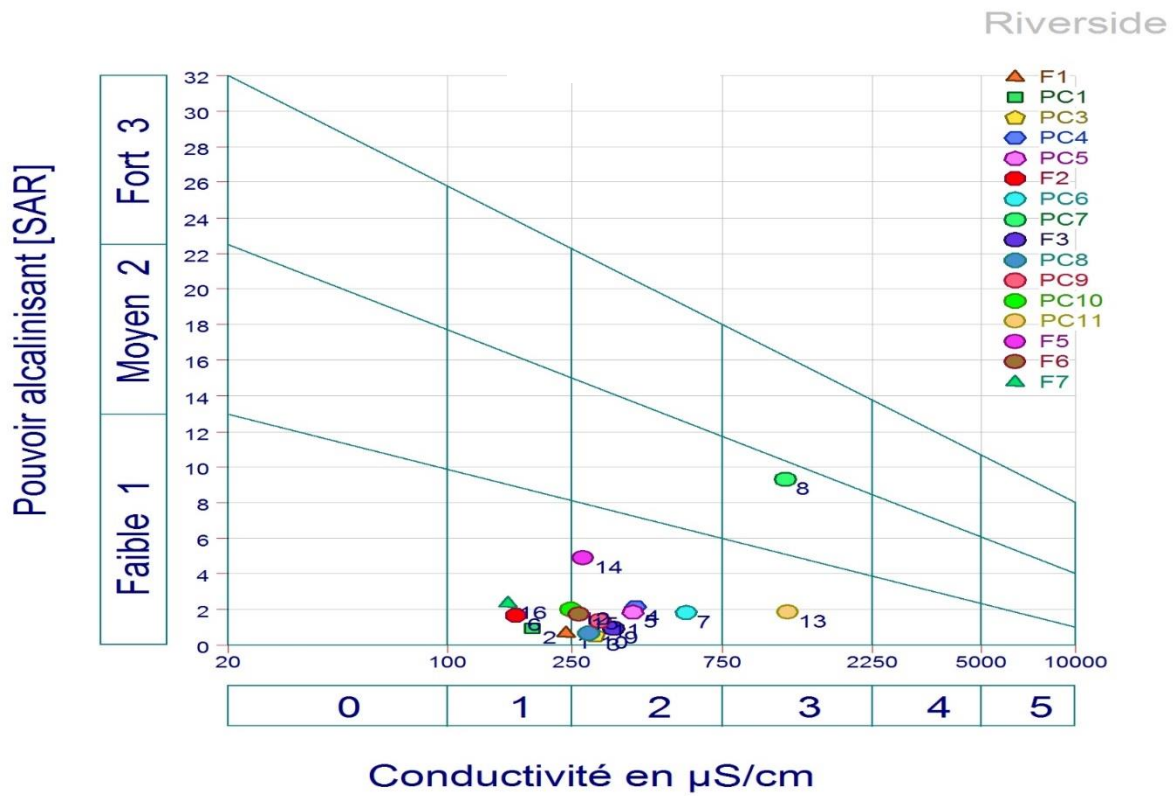


Figure V-14 : Diagramme du SAR de la nappe alluviale

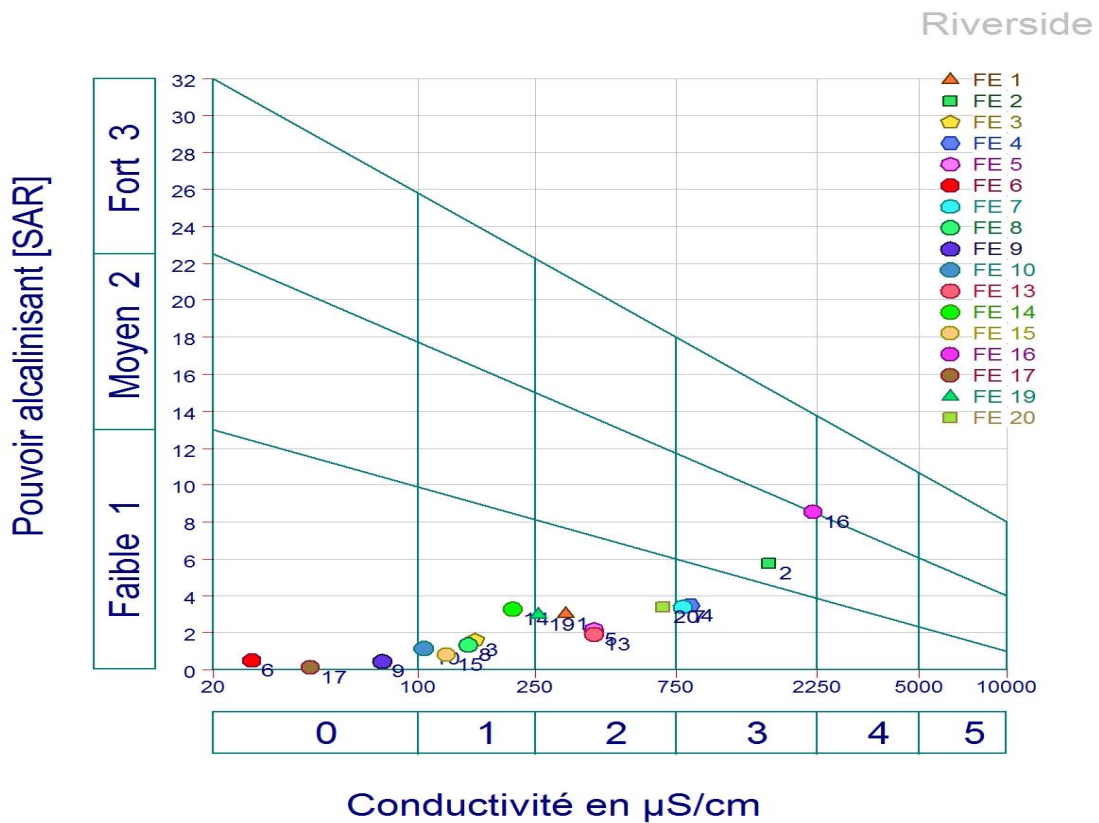


Figure V-15 : Diagramme du SAR pour le CT

CONCLUSION GENERALE

La région d'étude est située dans le bassin du Lullemeden. Ainsi, de par ses formations sédimentaires perméables superposées (CT, CI/CH), le Dallol Bosso renferme un à cinq aquifères, représentant ainsi un vaste réservoir d'eau douce.

Les nappes libres sont constituées de formations sableuses et alluvionnaires pour la nappe alluviale et sables silteux à gréseux avec parfois des bandes argileuses, pour le CT3. Elles sont faiblement minéralisées avec une prédominance du faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté dans les deux nappes. Pour la nappe alluviale, la variation moyenne de la conductivité mesurée dans cinq piézomètres entre l'année 2005 et 2019 est de 113 μ s/cm.

Ainsi, malgré la faible minéralisation de ces eaux (excellente pour la boisson), une très forte contamination bactérienne au niveau de la nappe alluviale, la présence d'éléments indésirables comme les nitrates, des teneurs élevées en potassium et en chlorure dépassant la norme OMS et Algérienne ainsi que la présence de nitrite ont été notées.

L'étude statistique des échantillons par l'analyse en composante principale (A.C.P) a permis de mettre en évidence la corrélation entre certains éléments chimiques comme Cl^- , K^+ et NO_3^- ayant des teneurs très élevées par endroits pour la nappe alluviale, et pouvant être donc d'origine anthropique.

RECOMMANDATIONS

Au terme de ce travail, nous recommandons fortement de faire un suivi régulier des points d'eaux Nia da Kokari, ainsi que les points d'eaux ayant des teneurs dépassant la norme OMS et aussi ceux de Yéda (alluvions) et Balaré (CT3) pour leurs teneurs en fluorures.

Des campagnes de sensibilisation envers la population et les maraichers sur les enjeux de la pollution des eaux souterraines au Niger sont également préconisées.

Enfin, il paraît indispensable de faire des études approfondies de l'impact des activités maraichères sur la nappe alluviale afin de connaître l'apport en nitrate, potassium, chlorure venant de cette activité au niveau de la nappe.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Abdou B., (2012). Evaluation de ressources en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako, Niger), Thèse de doctorat, Université de Liège, p 154.

Amadou H. et al., (2014). Analyses physico-chimique et bactériologiques des aquifères de la région de Tillabéry : Application des Méthodes D'analyses statistiques multi variées. Larhyss Journal : ISSN 1112-3680, n°20, décembre 2014, p.25-41

Aissata B., (2010) Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique, cas de la communauté urbaine de Niamey Niger. Thèse de Doctorat Université Abdou Moumouni de Niamey, 249p.

Armand C., (1986). Evaluation des ressources en eaux du Dallol Bosso (rapport de factibilité hydrogéologique). Rapport BRGM. Orléans, France.

Armand C., (1987). Actualisation de l'Atlas des eaux souterraines de la République du Niger, État des connaissances. Rapport BRGM, 87 NER 108. Orléans, France.

Barbiero L. Et Valles V., (1992) Aspects géo chimiques de l'alcalinisation des sols dans la vallée du Dallol Bosso. Cahiers. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXVII, n° 2, 1992, p. 143-152.

Benabdelouahid H., (2018). Balance ionique d'une eau de puits. Mémoire de licence. Université de Fès.

Castany J., (1983). Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. éd. Paris : Dunod,236 p.

Daddy G A., (1993). Etude des aquifères du Continental Terminal entre les Dallols Bosso et Maouri (République du Niger). *Thèse, Université de Liège, Belgique.*

Dehays / BRGM., (1990). Programme d'hydraulique villageoise du Conseil de l'Entente (Phases II et II bis). Études d'implantation et contrôle des travaux de points d'eau. Rapport final. Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement de la république du Niger. Rapport technique BRGM / BURGEAP, R 31874 : EAU 4S 90. Orléans et Paris, France.

Desconnets J C., (1994). Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes Endoréiques en milieu sahélien (Niger-Degré carré de Niamey). Thèse sciences de la Terre, Université de Montpellier II, France.

Favreau G., (2000). Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel : dynamique et géochimie de la dépression piézométrique naturelle du kori de Dantiandou (sud-ouest du Niger). Thèse de doctorat, Science de la Terre, Université de Paris XI, France, 353 p.

Greigert, J., Pougnet, R. (1965). Carte géologique de la république du Niger 1:2 000 000. BRGM éd. Paris, France

Guero (2003). Etude des relations hydrauliques entre les nappes du complexe sédimentaire de la bordure Sud-Ouest du bassin des Iullemeden : Approche géochimique et hydrodynamique. Thèse, Université Paris XI ORSAY.

Hanni I., (2014). Hydrochimie et analyse statistique multivariée des eaux de la nappe du Continental Intercalaire : Régions du Touat, Tidikelt Occidental et In Sala, Mémoire d'ingénieur, Université d'Oran 2. 79 p.

Hassan D., (2013). Apport de la Télédétection et du système d'information géographique à l'étude du risque d'inondation dans la vallée du Dallol Bosso : Cas de la ville de Birni N' Gaouré dans le Boboye (Ouest du Niger). Mémoire, Université Félix HOUPHOUET BOIGNY.p74.

Idrissa Issa., (2017). Etude de synthèse globale de l'état hydrochimique des points d'eaux du Murdjajo. Mémoire, Université d'Oran 2

Dixon J.B. et al., (1990). Geomorphic features and associated iron oxides of the Dallol Bosso of NIGER (WEST AFRICA). Catana inter-discipline journal of soil science, vol. 17, p. 41-54

Maigary (2018). Evaluation des potentialités des ressources en eau de la nappe alluviale du Dallol Bosso : Cas du degré carre de Fillingue (région de Tillabéry au NIGER), approches géophysique, Hydrogéologique, Hydrochimique et Isotopique. Thèse doctorat, Université de Niamey, p117-147

Moussa H., (2013). Mise en valeur des ressources en eaux dans le Dallol Bosso. Mémoire, Université de Niamey. p 57

Moussa H G., (2015). Impact des activités anthropiques, de la variabilité et du changement climatique sur les ressources en eaux du Dallol Maouri. Mémoire de master, Université de Niamey.

MHE., (1996). Atlas des ressources hydrauliques des Cantons de Birnie, Harikanassou, koygolo du département de Boboye (Ministère de l'hydraulique et de l'environnement de la République du Niger. Niamey).

MHE., (2006). Atlas des ressources hydrauliques du Canton de Birni du département de Boboye (. Ministère de l'hydraulique et de l'Environnement de la République du Niger. Niamey)

Ousmane B., (1988). Etude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahélienne du Niger (Liptako, Sud-Maradi et Zinder-Est), Thèse de doctorat d'état, Université de Niamey.

Ousseini I., (2016). Evaluation quantitative et qualitative de la Nappe alluviale de Dallol Bosso : Cas des départements de Birni N'Gaouré et Falmey. Mémoire, Université de Niamey. P 79

Rapport provisoire BSIRA., (2009). Etude hydrogéologique en vue de la réalisation d'ouvrages hydrauliques dans le département de Boboye (Région de Dosso). P 12 – 15.

Sylvain M., (2005). Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du Sud – Ouest Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du Kori de Dantiandou sur la période 1992 – 2003. Thèse doctorat, Université de Montpellier II. p238.

Somé *et al.*, (2009). Pollution agricole des eaux dans le bassin du Nakanbé : Cas des réservoirs de Loumbila et de Mogtéo au Burkina Faso. Sud Sciences et Technologies : ISSN 0796-5419, n°16. p22

Tampo L. *et al.*, (2015). Application des méthodes statistiques à l'étude hydrochimique des eaux d'un hydrosystème tropical : Cas du bassin versant de la rivière Zio (TOGO). European Scientific Journal ISSN : 1857-7431, vol.11 n°14. p22

Annexes

Annexe 1 : Résultats d'analyse chimique de la nappe alluviale

Piézomètre	Concentration en mg/l											
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Fer Total	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	SO ₄ ⁻	Cond
Kotaki	16,8	4,35	3,5	12,5	0,37	13	19,36	0,0132	54,9	0,15	6	239
Birni N'Gaouré	4,8	3,87	7,3	71,16	6,1	51	14,52	0,0957	91,5	0	24	329
Yéni	12,8	2,9	3	14,5	0,05	9	19,8	0,033	54,9	0,19	0	185
Louloudjé	2,4	5,8	15,45	26,8	25,4	1	72,6	0,0693	79,3	0	29	173
Tonkossarey	33,6	4,35	8,8	12,4	0,99	1	0	0,0825	152,5	0,27	9	295
Falmey	12,8	0,52	38,5	28,54	3,75	2	25,52	0	146,4	0	0	394
Koringal Mayaki	19,2	4,35	19,16	35,2	0,05	28	53,24	0,1023	97,6	0,26	16	387
Kiota Oumarou	6,4	2,9	5,07	20,6	0,11	4	8,8	0,0198	67,1	0,28	12	166
Kiota Mayaki	32	14,03	5,07	49,3	0,21	2	9,24	0,1287	237,9	0,99	20	571
Yeda	19,2	5,32	25,6	179	0,2	1	31,68	0,01122	451,4	1,46	50	1188
Koygolo P23	36,8	9,68	13,3	25,7	2,99	1	12,32	0	219,6	0,3	0	338
Tamkala Sapodou	13,6	3,87	20,09	11,3	0,37	23	18,04	0,02	61	0,15	1	281
Fabidji	3,2	0,97	3,63	9,97	2,12	4	14,96	0,033	36,6	0	2	76
Belandé	15,2	2,9	29,23	22,1	0,47	9	20,68	0,0165	115,9	0,12	13	306
Guilladjé	7,2	1,93	15	23,3	0,65	31	4,4	0	36,6	0,2	16	247
Harissouna	56	14,52	65,3	60,4	0,46	140	73,48	0,0825	73,2	0,26	58	1210
Garou	17,6	2,916	24,26	50	0,07	72	31,6	0,062	12,2	0,29	36	793
Déboga	2,4	1,45	12,71	16,66	0,1	16	36,52	0,06	12,2	0,22	11	239
Tamkala Gorko	1,2	0,243	20,35	22,5	0,14	12	41,36	0,046	12,2	0,2	11	270
Birniel Alfari	8	0,77	21,25	18,97	0,99	12	38,72	0,2409	14,64	0,03	23	263
Guilaré Peulh	3,2	0,486	8,05	17	0,47	16	14,08	0,0726	7,32	0,23	12	156

Annexes

Annexe 2 : les résultats d'analyse chimique de la nappe du CT3

	Concentration en mg/l											
	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cl	NO3-	NO2-	HCO3	F-	SO4-	Cond
F1	21,6	1,94	3,75	54,39	0,03	12	7,92	0,09	136,64	0,42	40	316
F2	49,2	17,74	6,1	185,87	0,16	262	13,2	0,01	109,8	1,27	175	1550
F3	9,6	0,49	2,03	18,86	0,03	6	18,48	0,1	36,6	0,63	12	156
F4	46	6,31	2,67	94,36	0,56	63	1,76	0,02	139,08	0,19	162	837
F5	19,2	7,29	1,97	44,4	0,21	54	0	0	12,2	0,39	76	395
F6	1,2	0,73	0,74	2,75	0,97	0	4,4	0,01	10,98	0,18	1	27
F7	4,2	2,92	1,47	84,82	0,13	32	20,24	0,02	173,24	0,41	108	789
F8	16	0,73	1,4	19,7	0,09	6	11	0,02	40,26	0,4	32	148
F9	6,4	1,94	1,03	5,32	5,22	1	17,6	0,01	21,96	0,21	4	75
F10	9,6	1,46	3,1	14,1	0,09	4	13,2	0,01	28,06	0,24	21	104
F13	20,8	11,18	1,93	43,41	0,23	70	4,84	0	7,32	0,42	95	396
F14	7,2	1,46	1,64	37,1	0,08	16	1,76	0,03	80,52	0,07	22	209
F15	4,8	2,91	6,08	9,29	0,06	6	33,44	0,01	12,2	0	7	124
F16	76,8	4,86	14,3	286	0,24	248	4,4	0,04	239,12	0,63	246	2190
F17	4	1,94	0,66	1,3	0,21	1	9,24	0,01	12,2	0,21	4	43
F19	11,2	2,92	5,26	43,27	0,8	24	21,12	0,15	92,72	0,29	9	255
F20	30,4	3,16	2,35	73,19	0,04	28	7,04	0,04	185,44	0,29	66	681

Annexes

Annexe 3 : Calcul de la balance ionique des points d'eaux du CT3

CT3	BI	Cations	Anions	Ca	Mg	Na	K	Fe(II)	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2
FE 1	0,02	3,70	3,54	1,08	0,16	2,37	0,10	0,00	2,24	0,34	0,83	0,13	0,00
FE 2	-0,04	12,16	13,05	2,46	1,46	8,08	0,16	0,01	1,80	7,39	3,64	0,21	0,00
FE 3	0,03	1,39	1,32	0,48	0,04	0,82	0,05	0,00	0,60	0,17	0,25	0,30	0,00
FE 4	-0,03	7,01	7,46	2,30	0,52	4,10	0,07	0,02	2,28	1,78	3,37	0,03	0,00
FE 5	0,04	3,55	3,31	0,96	0,60	1,93	0,05	0,01	0,20	1,52	1,58	0,00	0,00
FE 6	0,04	0,29	0,27	0,06	0,06	0,12	0,02	0,03	0,18	0,00	0,02	0,07	0,00
FE 7	-0,02	6,13	6,32	2,16	0,24	3,69	0,04	0,00	2,84	0,90	2,25	0,33	0,00
FE 8	0,02	1,75	1,67	0,80	0,06	0,86	0,04	0,00	0,66	0,17	0,67	0,18	0,00
FE 9	0,02	0,92	0,76	0,32	0,16	0,23	0,03	0,19	0,36	0,03	0,08	0,28	0,00
FE 10	0,03	1,29	1,22	0,48	0,12	0,61	0,08	0,00	0,46	0,11	0,44	0,21	0,00
FE 13	-0,03	3,90	4,15	1,04	0,92	1,89	0,05	0,01	0,12	1,97	1,98	0,08	0,00
FE 14	-0,03	2,14	2,26	0,36	0,12	1,61	0,04	0,00	1,32	0,45	0,46	0,03	0,00
FE 15	-0,01	1,04	1,05	0,24	0,24	0,40	0,16	0,00	0,20	0,17	0,15	0,54	0,00
FE 16	0,03	17,05	16,11	3,83	0,40	12,44	0,37	0,01	3,92	7,00	5,12	0,07	0,00
FE 17	-0,02	0,44	0,46	0,20	0,16	0,06	0,02	0,01	0,20	0,03	0,08	0,15	0,00
FE 19	0,02	2,84	2,73	0,56	0,24	1,88	0,13	0,03	1,52	0,68	0,19	0,34	0,00
FE 20	-0,03	5,02	5,32	1,52	0,26	3,18	0,06	0,00	3,04	0,79	1,37	0,11	0,00

Annexes

Annexe 4 : Balance ionique (BI) des eaux de la nappe alluviale

Nom des points	BI	Cations [meq]	Anions [meq]	Concentration en meq/l										
				Ca	Mg	Na	K	Fer	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	F
Kotaki	4%	1,850	1,712	0,838	0,358	0,544	0,090	0,020	0,900	0,367	0,125	0,312	0,000	0,008
Yéni	3%	1,588	1,484	0,639	0,239	0,631	0,077	0,003	0,900	0,254	0,000	0,319	0,001	0,010
Tonkossarey	2%	2,852	2,731	1,677	0,358	0,539	0,225	0,053	2,499	0,028	0,187	0,000	0,002	0,014
Falmey	4%	3,109	2,867	0,639	0,043	1,241	0,985	0,201	2,399	0,056	0,000	0,412	0,000	0,000
Koringal Mayaki	4%	3,340	3,597	0,958	0,358	1,531	0,490	0,003	1,600	0,790	0,333	0,859	0,002	0,014
Kiota Oumarou	1%	1,590	1,620	0,319	0,239	0,896	0,130	0,006	1,100	0,113	0,250	0,142	0,000	0,015
Kiota Mayaki	5%	5,037	4,576	1,597	1,155	2,144	0,130	0,011	3,899	0,056	0,416	0,149	0,003	0,052
Yeda	4%	9,848	9,055	0,958	0,438	7,786	0,655	0,011	7,398	0,028	1,041	0,511	0,000	0,077
Koygolo P23	5%	4,252	3,842	1,836	0,797	1,118	0,340	0,161	3,599	0,028	0,000	0,199	0,000	0,016
Tamkala Sapodou	1%	2,022	1,969	0,679	0,318	0,492	0,514	0,020	1,000	0,649	0,021	0,291	0,000	0,008
Belandé	1%	2,731	2,764	0,758	0,239	0,961	0,748	0,025	1,900	0,254	0,271	0,334	0,000	0,006
Guilladjé	2%	1,950	1,889	0,359	0,159	1,014	0,384	0,035	0,600	0,874	0,333	0,071	0,000	0,011
Harissouna	5%	8,312	7,557	2,794	1,195	2,627	1,670	0,025	1,200	3,949	1,208	1,185	0,002	0,014
Tamkala Gorko	5%	1,587	1,446	0,060	0,020	0,979	0,520	0,008	0,200	0,338	0,229	0,667	0,001	0,011
Birniel Alfari	5%	1,885	1,689	0,399	0,063	0,825	0,544	0,053	0,240	0,338	0,479	0,624	0,005	0,002
Guilaré Peulh	5%	1,170	1,062	0,160	0,040	0,739	0,206	0,025	0,120	0,451	0,250	0,227	0,002	0,012

Annexes

Annexe 5 : Répartitions des régions (Wilaya) du Niger

