

N° d'ordre :

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



Université d'Oran 2  
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers  
Département de Géologie.

**Mémoire :**

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Hydrogéologie.

**Thème :**

Synthèse hydrogéologique et qualité des eaux du  
Continental Intercalaire : Région de Zinder, Sud Niger

Présenté par :  
Mohamed Sallah Moulaye Tayib  
Noma Dari Chawaâtou

Soutenu le : 11/07/2021

Devant le jury composé de :

BORSALI Toufik	Maître-Assistant A	Univ. Oran 2	Président
MEBROUK Naima	Professeur	Univ. Oran 2	Encadreur
ABLAOUI Halima	Maître-Assistant A	Univ. Oran 2	Examinatrice

Année : 2020-2021

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce mémoire de fin de cycle de Master, nous remercions :

Le Professeur Mebrouk Naima pour la qualité patente de son enseignement depuis notre premier cycle universitaire en général et l'encadrement de ce mémoire en particulier. Nous vous remercions pour tous vos efforts.

Monsieur Mafaki Mahamadou Abibou expert hydrogéologue à cetic-consult pour la collecte des données nécessaires à la réalisation de ce mémoire.

Madame Hafida Dekkiche pour son aide pendant ce travail

A l'ensemble du corps professoral du département de Géologie de l'université d'Oran 2 et singulièrement ceux de la spécialité d'Hydrogéologie pour nous avoir donné une bonne formation et appréciable tout au long de notre cursus universitaire.

L'ensemble des membres du jury qui ont accepté de juger et améliorer la qualité de ce travail. Nous vous exprimons toute notre gratitude.

Notre cher pays le NIGER pour la merveilleuse opportunité qu'il nous a offert ici en Algérie.

Notre pays d'accueil l'ALGERIE pour son hospitalité.

Toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

A ma mère FATIMA ABDOURAHAMANE

A mon père MOHAMED SALLAH

Aucun mot ne pourrait qualifier mes sentiments et mon profond respect pour vos sacrifices dans mon éducation, merci d'avoir cru en moi. Qu'ALLAH vous récompense, vous bénisse et vous garde longtemps. AMEEN

A la défunte mère de Chawaâtou RABI GAMBO qui nous a quittés à la fleur de l'Age, qu'ALLAH lui accorde le repos et le paradis éternel. AMEEN

A mon oncle SAHAKA SALLAH et sa femme MARIAM : merci pour tous vos soutiens et conseils. Qu'ALLAH vous bénisse. AMEEN

A ma tante SAFIA HAMID et ses filles MALIKA et MASSAOUDA : merci pour tout.

A mes frères et sœurs : MOHAMED LAMINE, ABDOUL HAMID, MARIAM et ALKASSOUM : merci pour vos soutiens, conseils, amour et encadrement ; JE VOUS AIME.. Qu'ALLAH vous bénisse. AMEEN

A CHAWAATOU : merci d'avoir été courageuse et endurente tout au long de la réalisation de ce travail. Je suis très heureux de t'avoir connu et de faire intégralement partie de ta vie. Tu es une sœur, une amie et un binôme hors pair. Qu'ALLAH te bénisse. AMEEN

Merci à tous mes compatriotes étudiants en Algérie.

Merci à tous mes camarades de promotion.

Moulaye Tayib

## DEDICACES

Je remercie tout d'abord ALLAH Azzawadjal Créateur et Maître de toute chose de me montrer ce jour en bonne santé. Du profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers :

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien que vous m'apportez depuis mon enfance.

A ma défunte mère RABI GAMBO, qui n'a pas pu voir ce jour, qu'ALLAH le Très Haut lui accorde sa miséricorde et l'accepte dans le paradis firdaws. AMEEN

A mon père NOMA DARI, je vous souhaite une longue vie pleine de santé, de bonheur et d'amour.

A mes chers frères et sœur

En espérant que ce travail vous inspirera à atteindre ce niveau et même à le dépasser. Hamsa, Sofiane, Assane, Ousseini et Khalid, je vous aime de toutes mes forces. Qu'ALLAH vous guide toute votre vie, vous bénisse et vous garde pour moi. AMMEN

A Tayib

Je tiens à remercier la merveilleuse âme qui t'as mis au monde et éduquer pour être la perle rare que tu es. Ce travail ne saurait avoir lieu sans toi mon meilleur ami et compagnon pour toujours. Je souhaite à travers ces quelques mots te remercier de m'avoir supporté toutes ces années et surtout d'avoir été présent dans les moments difficiles. Merci d'être mon ami et mon binôme. Puisse ALLAH éterniser cet Amour et cette Amitié et qui nous unit. AMEEN

Et enfin je dédie ce travail à toutes les bonnes personnes que je n'ai pas pu citer ci-dessus. Merci pour vos soutiens et vos encouragements.

Chawaâtou, Poupou



# TABLE DES MATIERES

Liste de Figures .....	7
Liste des Tableaux.....	8
Liste des abréviation .....	9
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE.....</b>	<b>2</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>I. Présentation de la zone d'étude.....</b>	<b>2</b>
I.1. Contexte géographique .....	2
I.2. Contexte géomorphologique et pédologique .....	3
I.2.1. Cadre géomorphologique.....	3
I.2.2. Cadre pédologique .....	4
I.3. Activité socio-économique .....	5
I.3.1. Agriculture.....	5
I.3.2. Élevage .....	5
I.3.3. Eau et assainissement .....	5
<b>II. Contexte hydro-climatique.....</b>	<b>5</b>
II.1. Les zones climatiques du Niger.....	5
II.2. La région de Zinder .....	6
<b>Conclusion.....</b>	<b>7</b>
<b>CHAPITRE II : CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....</b>	<b>8</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>8</b>
<b>I. Le bassin des Illemeden.....</b>	<b>9</b>
I.1. Tectonique .....	11
I.2. Histoire géologique.....	11
<b>II. Contexte géologique de la région de Zinder .....</b>	<b>13</b>
II.1. Socle cristallin et cristallophyllien du Damagaram-Mounio.....	13
II.2. Les formations sédimentaires de la région de Zinder.....	14
<b>Conclusion.....</b>	<b>15</b>
<b>CHAPITRE III : HYDROGÉOLOGIE ET HYDRODYNAMIQUE.....</b>	<b>16</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>16</b>
<b>I. Hydrologie de la région de Zinder .....</b>	<b>16</b>
<b>II. Hydrogéologie.....</b>	<b>16</b>
II.1. Système aquifère Illemeden .....	16
II.2. Hydrogéologie de la région de Zinder.....	17
II.2.1. Piézométrie .....	17
II.2.2. Procédures de forage .....	18
II.2.3. Log stratigraphique.....	19
<b>III. Hydrodynamique.....</b>	<b>20</b>
III.1. Épaisseur .....	20
III.2. Transmissivité .....	20
III.3. Porosité et Coefficient d'emmagasinement .....	21

III.4. Débit d'exploitation .....	22
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>22</b>
<b>CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE .....</b>	<b>23</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>23</b>
<b>I. Balance ionique.....</b>	<b>25</b>
<b>II. Paramètres physiques.....</b>	<b>25</b>
II.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH) .....	25
II.2. La température (T°c) .....	26
<b>III. Paramètres chimiques.....</b>	<b>26</b>
III.1. Ions majeurs .....	26
a) Les cations .....	27
b) Les anions .....	27
III.2. Les éléments trace .....	27
a) Fer Total.....	27
b) Fluorures.....	27
III.3. La conductivité.....	28
<b>IV. Représentations graphiques des analyses.....</b>	<b>29</b>
IV. 1. Diagramme de Piper .....	29
IV.2. Diagramme de Schöeller Berkaloff .....	30
IV.3. Diagramme de Stiff.....	31
<b>V. Potabilité des eaux du Continental Intercalaire.....</b>	<b>32</b>
V.1. Dureté de l'eau .....	32
V.2. Éléments indésirables.....	33
a) Nitrate .....	34
b) Nitrites .....	34
V.3. Caractéristiques bactériologiques des eaux du Continental Intercalaire.....	34
V.4. Comparaison des éléments chimiques des eaux aux normes de l'OMS (2006) et Algériennes (2009).....	35
<b>VI. Aptitude des eaux à l'irrigation.....</b>	<b>36</b>
VI.1. Évaluation du risque de salinité .....	36
VI.2. Diagramme de Riverside .....	37
VI.3. Diagramme de Wilcox .....	38
VI.4. La pression partielle du CO2 (pCO2).....	38
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>40</b>
<b>RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>40</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>41</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>44</b>

## Liste de Figures

FIGURE I 1: CARTE ADMINISTRATIVE DU NIGER.....	2
FIGURE I 2: CARTE ADMINISTRATIVE DE LA REGION DE ZINDER .....	3
FIGURE I 3: CARTE DU RELIEF DU NIGER .....	4
FIGURE I 4: LES PRINCIPALES ZONES CLIMATIQUES DU NIGER .....	6
FIGURE II- 1: STRUCTURE D'ENSEMBLE D'AFRIQUE DE L'OUEST.....	8
FIGURE II- 2: CARTE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DE L'AFRIQUE DE L'OUEST .....	9
FIGURE II- 3: LIMITE GEOLOGIQUE DU BASSIN D'ILLEMEDEN.....	10
FIGURE II- 4: EXTENSION DES TRANSGRESSIONS MARINES DU CRETACE SUPERIEUR AU CENOZOÏQUE DANS LE BASSIN DES ILLEMEDEN .....	12
FIGURE II- 5: CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE DU SOCLE DU DAMAGARAM MOUNIO.....	14
FIGURE II- 6: CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE DE LA REGION DE ZINDER .....	15
FIGURE IV 1 : LOCALISATION PAR SATELITE DES FORAGES.....	24
FIGURE IV 2 : CARTE DE POSITIONNEMENT DES FORAGES MODIFIEE.....	24
FIGURE IV 3: HISTOGRAMME DES VALEURS DU pH .....	26
FIGURE IV 4: HISTOGRAMME DES VALEURS DE TEMPERATURES .....	26
FIGURE IV 5: HISTOGRAMME DES VALEURS DES FeT .....	27
FIGURE IV 6: : HISTOGRAMME DES VALEURS DE FLUOR .....	28
FIGURE IV 7: HISTOGRAMMES DES VALEURS DE CONDUCTIVITE .....	29
FIGURE IV 8: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DIAGRAMME DE PIPER DES EAUX DU CI.....	30
FIGURE IV 9: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DIAGRAMME DE SCHÖELLER BERKALOFF DES EAUX DU CI .....	31
FIGURE IV 10: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DIAGRAMME DE STIFF DES EAUX DU CI.....	32
FIGURE IV 11: HISTOGRAMME DES VALEURS DE NITRATES.....	34
FIGURE IV 12: HISTOGRAMME DES VALEURS DE NITRITES.....	34
FIGURE IV 13: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DIAGRAMME DE RIVERSIDE DES EAUX DU CI .....	37
FIGURE IV 14: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU DIAGRAMME DE WILCOX DES EAUX DU CI.....	38

## Liste des Tableaux

TABLEAU III 1 : DEBITS D'EXPLOITATIONS DE 9 FORAGES SUR 13 .....	22
Tableau IV 1: balance ionique des échantillons.....	25
TABLEAU IV 2: CLASSIFICATION DE LA MINERALISATION EN FONCTION DE LA CONDUCTIVITE .....	28
TABLEAU IV 3: CLASSIFICATION DES EAUX EN FONCTION DE DURETE .....	33
TABLEAU IV 4: :VALEURS DES DURETES AU NIVEAU DE CHAQUE FORAGE.....	33
TABLEAU IV 5: VALEURS DES COLIFORMES TOTAUX ET FECAUX.....	35
TABLEAU IV 6: RECAPITULATIF DES TENEURS ET COMPARAISON AUX NORMES DE L'OMS ET NORMES ALGERIENNES.....	35
TABLEAU IV 7: CLASSIFICATION EN FONCTION DU SAR.....	36
TABLEAU IV 8: VALEURS DES SAR CALCULEES .....	36
TABLEAU IV 9: VALEURS DES PCO2.....	39



## Liste des abréviations

CI/H	Continental Intercalaire/Hamadien
CI	Continental Intercalaire
CT	Continental Terminal
DRH/Z	Direction régionale de l'hydraulique / Zinder
OSS	Observatoire de Sahara et du Sahel
CNEDD	Conseil National de l'environnement pour un développement durable
IGNN	Institut géographique National du Niger
SAI	Système aquifère Illemeden
M	Mètre
m <sup>2</sup>	mètre carré
m <sup>3</sup>	mètre cube
Km <sup>2</sup>	Kilomètre carré
mg/l	Milligramme par litre
mEq/l	milliéquivalents par litre
μS/cm	micro siemens par centimètre
°f	degrés français
m <sup>3</sup> /h	mètre cube par heure
m <sup>3</sup> /an	mètre cube par an
Atm	Atmosphère
Cond	Conductivité
T	Température
UFC/100ml	Unité formant colonie par cent millilitre
SAR	Sodium Absorption and Radio
OMS	Organisation mondiale de la santé
Bi	Balance ionique
N	Nord
W	Ouest
S	Sud
E	Est
WS	Sud-ouest
NE	Nord-Est
cetic-consult	Bureau d'étude, conseils, consultants

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

L'eau est source de vie « A partir de l'eau, nous avons constitué toute chose vivante » Coran, sourate des prophètes (verset 30).

L'hydrogéologie est la science de l'eau dans les roches. Son domaine repose essentiellement sur plusieurs disciplines : la géologie, l'hydrologie, l'hydrodynamique, la géophysiques, la géostatistiques et l'hydrochimie. La priorité pour cette science d'étudier les propriétés physico chimiques sont les facteurs endogènes (biologie et réaction dans les formations géologiques) et exogènes (anthropique) de l'environnement.

Sur terre 97,5% de l'eau est salée et contenue dans les océans, les 2,5% sont de l'eau douce et répartie dans les nappes, les glaciers et les cours d'eau superficiels.

L'eau potable est une eau que l'on peut boire ou utiliser à des fins domestiques et industrielles sans risque pour la santé.

La région sahélienne a toujours été confrontée aux problèmes d'eau car les ressources superficielles sont réduites à des cours d'eaux temporaires et peu de cours d'eaux permanents.

Au Niger, l'hydrologie est caractérisée par deux cours d'eaux permanents qui sont le fleuve Niger et le lac Tchad mais ces ressources demeurent insuffisantes. Aussi, les nappes d'eau constituent une ressource exploitable très importante dans le pays.

Les plus grandes nappes se localisent dans le système aquifère Illemenden. Il est constitué du Continental Terminal et du Continental Intercalaire/ Hamadien, appartenant au grand bassin des Illemeden qui couvre à peu près la moitié du territoire nigérien. Les besoins en eau au Nord de Zinder ont poussé les autorités à exploiter la nappe du CI qui se situe à de grandes profondeurs.

Le but de ce travail est de faire une synthèse géologique, hydrogéologique du Nord de la région de Zinder, ainsi qu'une étude de la qualité des eaux sur la base de l'analyse des paramètres physico chimiques et bactériologique permettant ainsi d'évaluer la potabilité de eaux du CI dans cette région.

# CHAPITRE I : CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

## Introduction

Le Niger est le pays le plus vaste de l'Afrique Occidentale avec une superficie de 1267000 Km<sup>2</sup>, situé entre les parallèles 11°37' et 23°33' de latitude Nord et les méridiens 16° de longitude Est et 0°10' de longitude Ouest. Le Niger est limité au Nord par l'Algérie et la Libye, au Sud par le Bénin et le Nigeria, à l'Est par le Tchad et à l'Ouest par le Burkina et le Mali (Figure I-1).

Le Niger est un pays du sahel totalement enclavé, caractérisé par un climat de type sahélien avec une saison sèche sur environ huit à dix mois (d'octobre à mai), une saison des pluies de trois à quatre mois (juin à septembre) et une importante variation du nombre de jours de pluie du nord au sud.

Le Niger est subdivisé administrativement en huit régions : Agadez, Dosso, Diffa, Maradi, Tahoua, Tillabéri, Zinder et Niamey la capitale (Figure I-1).



Figure I 1: Carte administrative du Niger (in Hassane Saley A., 2018)

## I. Présentation de la zone d'étude

### I.1. Contexte géographique

La région de Zinder est située dans la partie Sud de la république du Niger, entre 12°48' et 17°30' de latitude Nord et entre 7°20' 12°00' de longitude Est et couvre une superficie de 155778 km<sup>2</sup>. Elle est délimitée par la région de Diffa à l'Est, la région de Maradi à l'Ouest, la région d'Agadez au Nord et au Sud par la république Fédérale du Nigeria.

La région de Zinder est subdivisée administrativement en dix départements dont : Gouré, Magaria, Matamèye, Mirriah, Tesker, Takiéta, Kantché, Dungass, Belbedji et Tanout (Figure I-2).

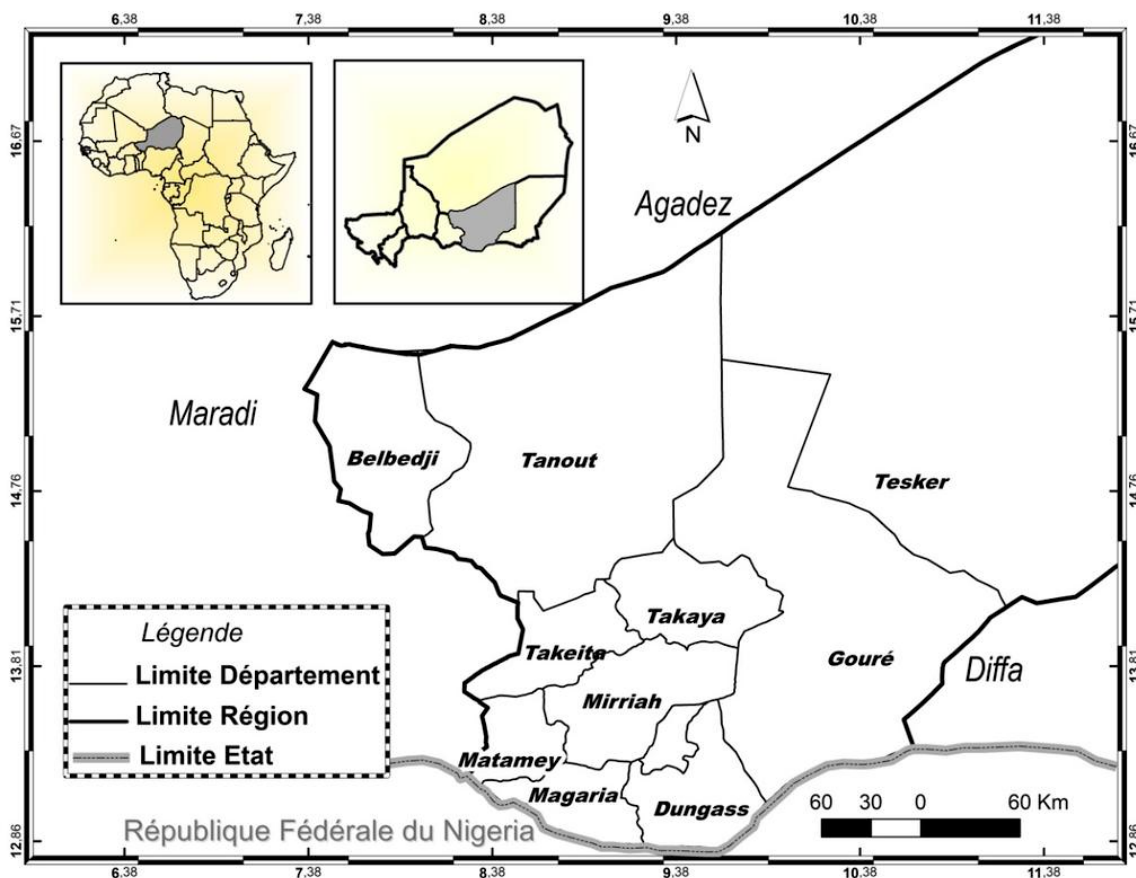


Figure I 2: Carte administrative de la région de Zinder

(Source : fond cartographique IGNN; auteur : Malan Souley B., 2012)

## I.2. Contexte géomorphologique et pédologique

### I.2.1. Cadre géomorphologique

Morphologiquement, le Niger se présente comme une très vaste pénéplaine ancienne, avec une altitude moyenne d'environ 350 mètres.

Il est dominé néanmoins par quelques points culminants dans le massif de l'Aïr qui s'étend sur environ 300 km du Nord au Sud et sur environ 200 km d'Est en Ouest, dont par exemple : le Mont Bagzame d'environ 2022 mètres d'altitude, le massif de Djaddo, avec le Mont Toummo de 1022 mètres d'altitude. Ces deux massifs sont séparés par le désert du Ténéré et le grand erg de Bilma (*in Hassane Saley A., 2018*) (Figure I-3).

La région de Zinder est caractérisée par un relief relativement plat dont l'altitude moyenne se situe entre 450 et 500 m selon la Direction Regionale de l'Hydraulique/Zinder (DRH/Z, 2008). Cependant, on rencontre par endroit des massifs d'altitudes plus élevées, c'est le cas du Termit avec un pic à

710 m. Par opposition à ces massifs, on rencontre dans le bassin de la Korama (Magaria, Kantché, Mirriah) des dépressions dont l'altitude moyenne tourne autour de 320 m. Cette zone des vallées est occupée par d'anciennes dunes de sables stabilisées et consolidées. On rencontre également des nombreux Talweg inter- dunaires profonds de plusieurs dizaines de mètres, formant ainsi un chapelet de cuvettes sèches ou inondées selon les saisons (DRH/Z, 2008).

Dans le Sud, le Sud-Ouest et l'extrême Est du Département de Gouré, on rencontre des formations de dunes vives d'origine éoliennes, stabilisées dans la partie Est (DRH/Z, 2008)

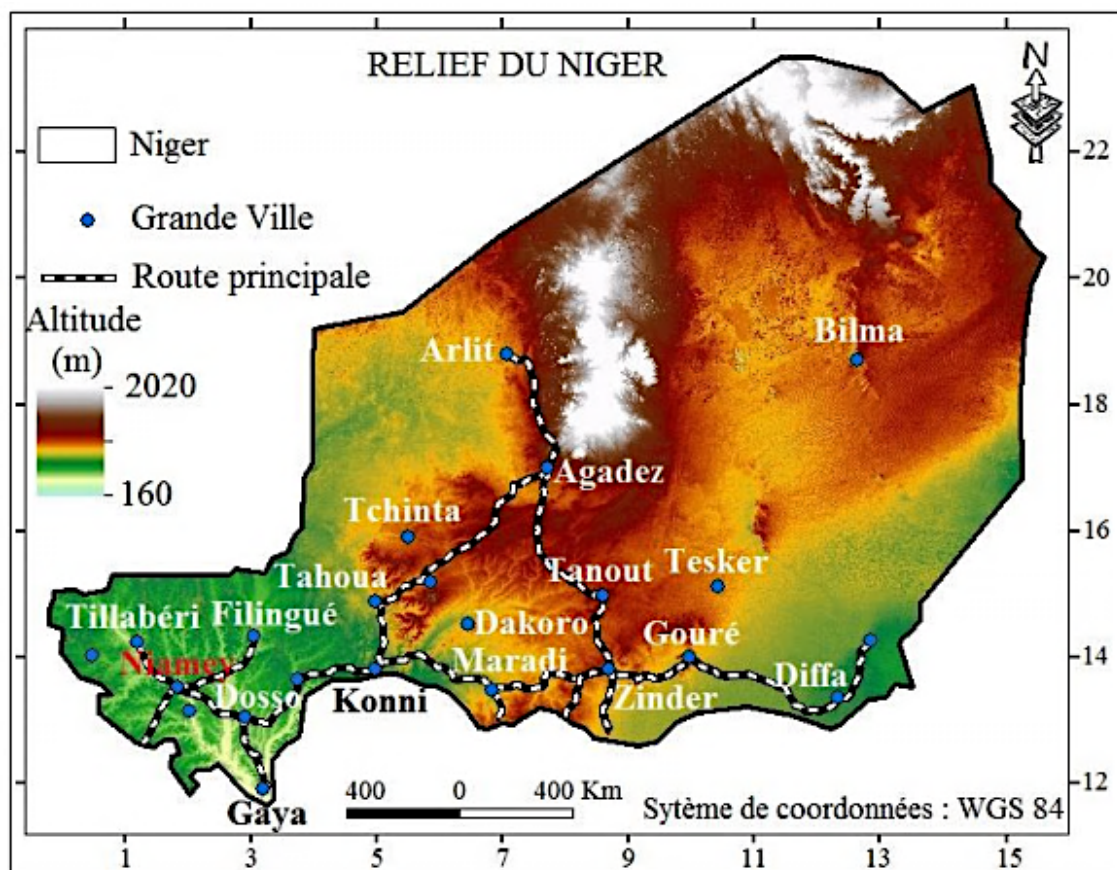


Figure I 3: Carte du relief du Niger (in Hassane Saley A., 2018)

### I.2.2. Cadre pédologique

On distingue, d'un point de vue pédologique, plusieurs types des sols. Certains sont caractéristiques du climat (sols zonaux), d'autres liés à des particularités locales (sols inter zonaux et sols azonaux) (DRH/Z, 2008). Parmi les sols zonaux on rencontre, du Nord au Sud :

- Les sols évolués très pauvres en matière organique, caractérisant le désert absolu
- Les sols sub-arides tropicaux de texture sableuse, pauvres en matière organique, se trouvant en particulier en zone pastorale ;

- Les sols ferrugineux tropicaux constituant l'essentiel de la zone agricole. Ainsi, les sols sableux sont dominants dans la Région de Zinder.

### **I.3. Activité socio-économique**

#### **I.3.1. Agriculture**

C'est l'activité principale économique des populations basée sur un système agricole saisonnier pluvial pratiquée dans les champs dunaires situés dans les plaines et les plateaux. Les productions agricoles sont le mil, le sorgho, le niébé (haricot), le sésame et le gombo. On enregistre un déficit agricole une année sur trois dû aux irrégularités pluviométriques. Les cultures irriguées sont extrêmement faibles dans le département en raison de l'insuffisance des eaux de surface mais aussi de la profondeur de la nappe ; mais ces dernières années, on enregistre une hausse tendancielle des sites maraichers grâce à l'appuis de l'état et de ses partenaires. En plus des irrégularités climatiques, l'agriculture est aussi soumise à la pression parasitaire.

#### **I.3.2. Élevage**

L'élevage le plus répandu dans la région est de type pastoral et est pratiqué aussi bien par les nomades que les sédentaires. Il est essentiellement composé des bovins, des dromadaires, des ovins, des caprins, des asines, d'équins et de la volaille.

#### **I.3.3. Eau et assainissement**

L'approvisionnement en eau au Nord de la région de Zinder est assuré par un dispositif hydraulique urbain et rural composé par des puits et des forages. Dans les milieux urbains la distribution d'eau est assurée par la société d'exploitation des eaux du Niger (SEEN) ; et en milieu rural, des coopératives sont chargées de gérer les puits et les forages.

## **II. Contexte hydro-climatique**

### **II.1. Les zones climatiques du Niger**

Le Niger est caractérisé par quatre zones climatiques (Figure I-4) :

La zone saharienne reçoit en moyenne moins de 150 mm de pluie par an

La zone sahélo-saharienne avec une moyenne pluviométrique de 150 à 300 mm par an

La zone sahélienne dont la moyenne pluviométrique se situe entre 300 à 600 mm par an

La zone sahélo-soudanienne reçoit en moyenne 600 à 800 mm par an

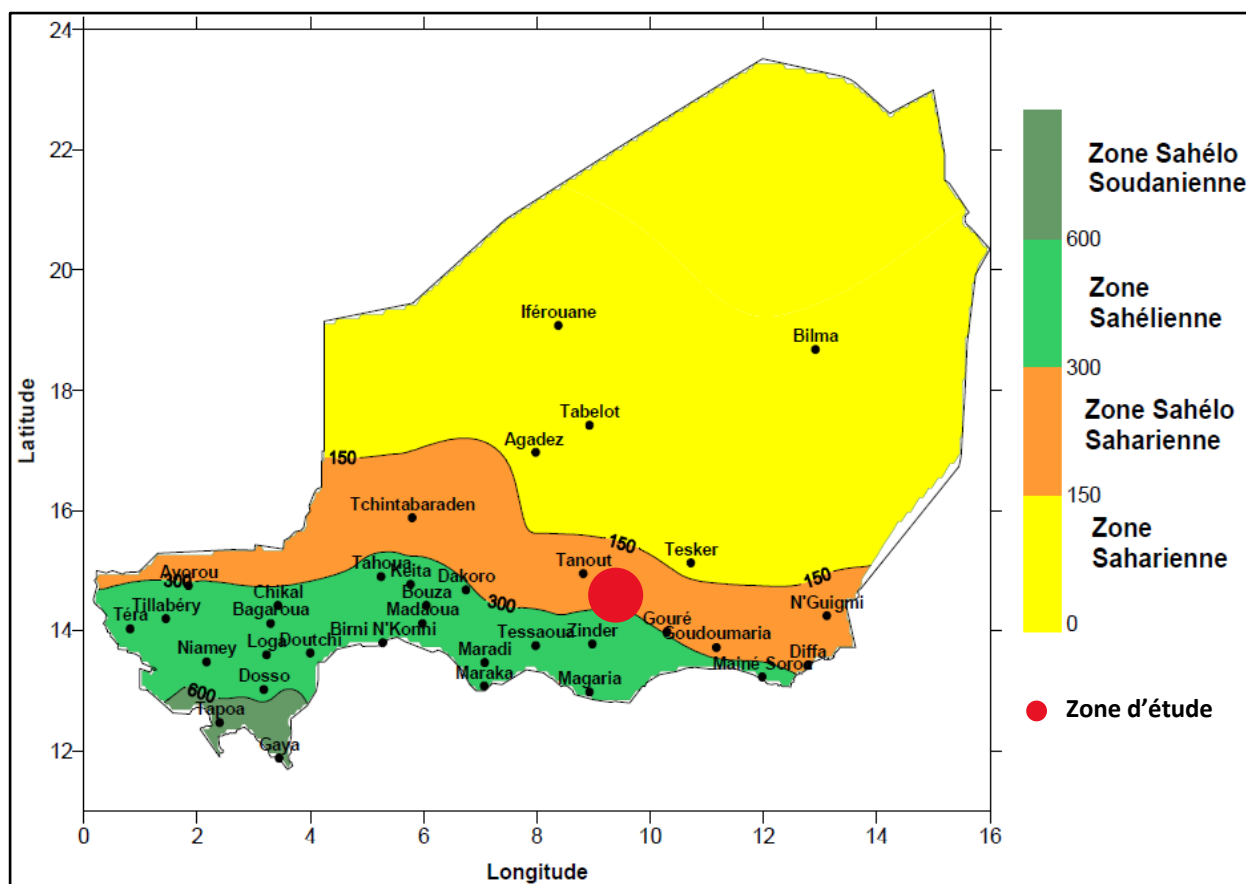


Figure I 4: Les principales zones climatiques du Niger (source : CNEDD, 2009)

## II.2. La région de Zinder

La région a un climat de type sahélien avec transition vers le climat désertique au Nord. Il est caractérisé par deux (02) saisons bien distinctes :

- Une saison des pluies de 4 à 5 mois, de mai-juin à septembre-octobre
- Une saison sèche sur le reste de l'année (octobre-novembre à avril-mai).

La pluviométrie est caractérisée par une importante variation spatio-temporelle, avec des cumuls moyens interannuels qui croissent du Nord (Tanout 159 mm en 2016) au Sud (Magaria : 532 mm en 2016). Le déficit pluviométrique qu'a connu la région depuis plusieurs années, est caractérisé par le déplacement des isohyètes vers le Sud. Ainsi aujourd'hui, l'isohyète 200 mm se stabilise à la latitude de Tanout. Ce déplacement des isohyètes a permis la subdivision de la région en trois (03) zones climatiques suivantes :

- Une zone désertique au Nord de l'isohyète 100 mm (extrême-Nord du Département de Gouré)

- Une zone intermédiaire ou Sahélo- Saharienne entre les isohyètes 200 et 400 mm, qui s'étend sur le Nord des Départements de Gouré et de Tanout, avec pour limite théorique au Sud, l'isohyètes 350 mm (considérée comme limite légale Nord des cultures sous pluies) ;
- Une zone Sahélo-Soudanienne entre les isohyètes 400 et 700 mm, couvrant les Départements de Magaria, Kantché et le Sud Mirriah. *(In Salmanou S.,2018).*

## **Conclusion**

La région de Zinder est située dans la partie Sud du Niger. Elle a un relief relativement plat dont l'altitude moyenne se situe entre 450 et 500 m avec une altitude maximale pouvant atteindre les 710 m. Sa pédologie est constituée par plusieurs types des sols. Certains sont caractéristiques du climat (sols zonaux), d'autres liés à des particularités locales (sols inter zonaux et sols azonaux). Les principales activités socio-économiques de la région de Zinder sont l'Agriculture et l'élevage. La région est caractérisé par un climat de type sahélien avec transition vers le climat désertique au Nord. Le déplacement des isohyètes vers le Sud de la région a conduit à un déficit pluviométrique sur plusieurs années subdivisant la région en trois zones climatiques.



## CHAPITRE II : CONTEXTE GÉOLOGIQUE

### Introduction

Les cratons (Figure II-1) et les bassins sédimentaires sont les grandes unités qui résument l'histoire géologique de l'Afrique de l'Ouest (Arnould, 1961 ; Ducelier, 1963 ; Trompettes, 1963 - 1973 ; Kenedy, 1964 ; Tempier, 1969 *in Jourda.*, 2005).

Le craton Ouest africain est considéré comme stabilisé depuis la fin de l'orogénèse éburnéenne (- 1700 Ma) (Favreau., 2000).

La géologie du Sud-Ouest du Niger est présentée succinctement dans le cadre régional de l'Afrique de l'Ouest (Favreau., 2000) (Figure II-2).

Le Continental Intercalaire au Nord de la région de Zinder constitue une section du grand bassin des Illemenden (Figure II-2).

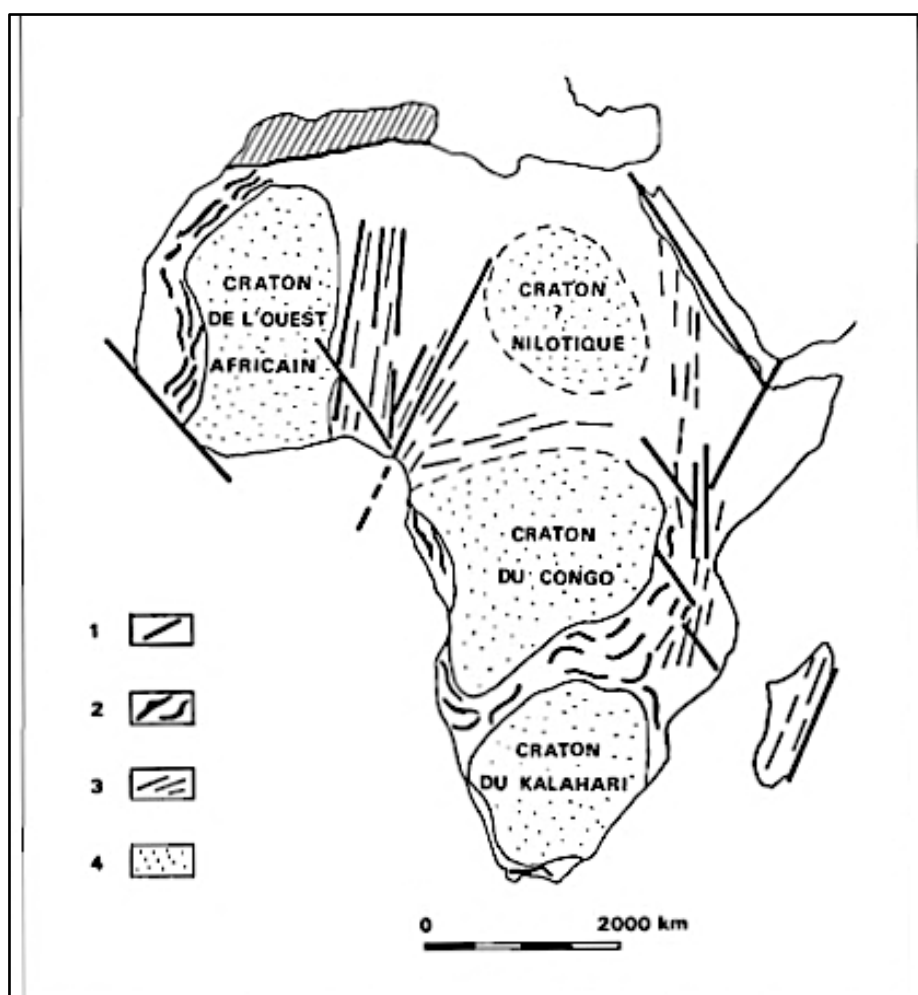


Figure II- 1: Structure d'ensemble d'Afrique de l'Ouest (Rocci, 1965) ; 1 : fractures profondes (linéaments) ; 2 : zones de plissements (fin antécambriens – Paléozoïques) ; 3 : zones de rajeunissement ; 4 : zones stables (cratons). Les zones 2 et 3 forment les zones mobiles

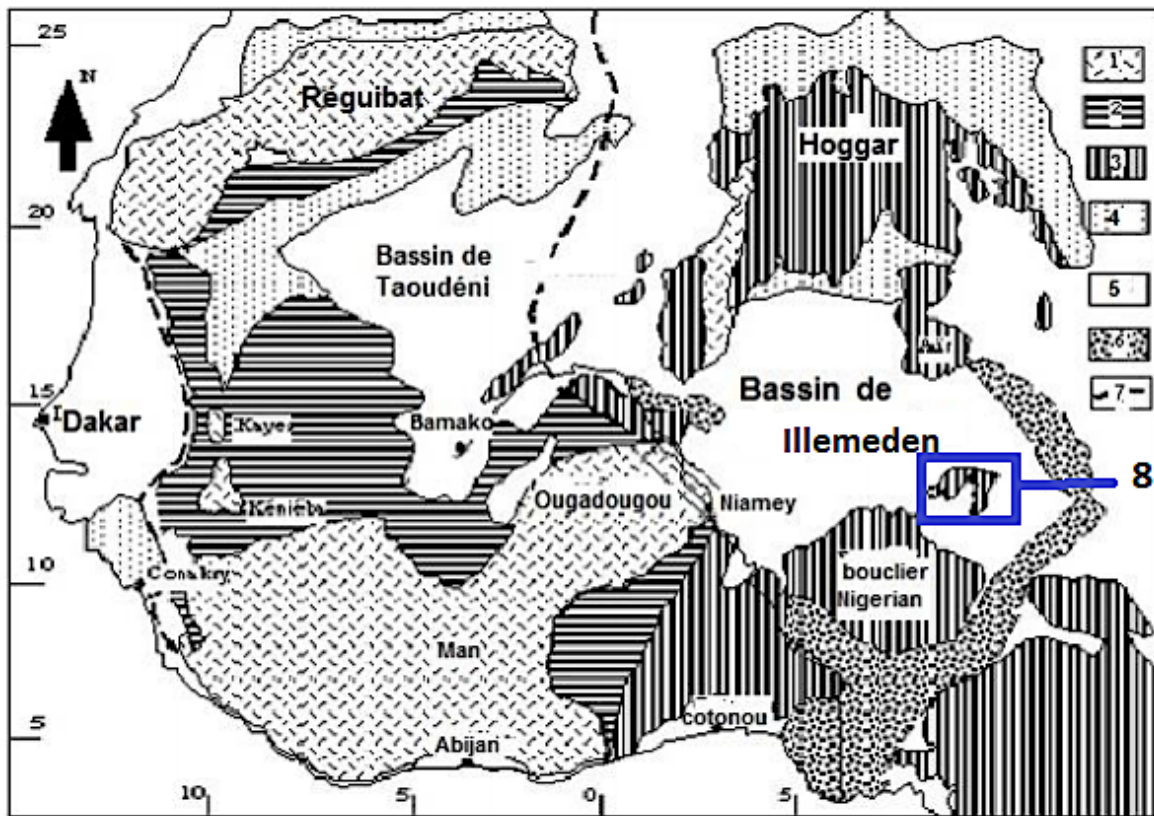


Figure II- 2: Carte géologique schématique de l'Afrique de l'Ouest (Moreau, 1982 ; in Ousmane, 1988).

- 1 : Dorsale, 2 : Couverture de plate-forme, 3 : Socle de la zone mobile, 4 : Couverture primaire, 5 : Formations secondaires, tertiaires et quaternaires, 6 : Fossés créacés, 7 : Front de chaînes panafricaines et chaînes hercyniennes, 8 : socle du Damagaram-mounio

## I. Le bassin des Illemeden

Le bassin sédimentaire d'Illemeden-Irhazer appelé aussi bassin du Niger s'étend sur plus de 1 000 km du Nord au Sud (10° et 23°N) et 800 km d'Est en Ouest (0° et 16°E). Il est partagé entre l'Algérie (80 000 km<sup>2</sup>), le Bénin (30 000 km<sup>2</sup>), le Mali (31 000 km<sup>2</sup>), le Niger (434 000 km<sup>2</sup>), et le Nigéria (60 000 km<sup>2</sup>) (*Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS).*, 2011) (Figure II-3).

Il est encadré par les boucliers de la zone mobile panafricaine (boucliers touareg au Nord et nigérien au Sud), celui du craton Ouest Africain (bouclier du Man à l'Ouest), le graben de Téfidet-Kafra-Ténére-Termit à l'Est, et enfin le fossé de Maiduguri au Nigéria au Sud-Est. Ce bassin communique avec celui de Taoudéni-Tanezrouft (partagé entre le Mali et l'Algérie) par le graben de Gao (« détroit de Gao »). A l'Est, il est séparé du bassin du lac Tchad (cuvette tchadienne) par le seuil du Damergou, de direction Nord-Nord-Ouest/Sud-Sud-Est, entre les massifs de l'Air au Nord et celui du Damagaram au Sud. Ce seuil constitue une ligne de partage des eaux souterraines, et la limite orientale du bassin.

Le bassin sédimentaire d'Illemeden-Irhazer est composé de trois sous-bassins :

- Le Tin Séririne-Irhazer partagé entre l'Algérie et le Niger, comblé par des séries paléozoïques et mésozoïques,
- Le Tamesna partagé entre l'Algérie, le Mali et le Niger, renfermant le Continental Intercalaire sensu stricto,
- L'Illemeden partagé principalement entre le Mali, le Niger, accessoirement entre le Nigeria et le Bénin, renferme les séries du Continental Intercalaire, Continental Hamadien et ceux du Continental Terminal (*In OSS,2005*).

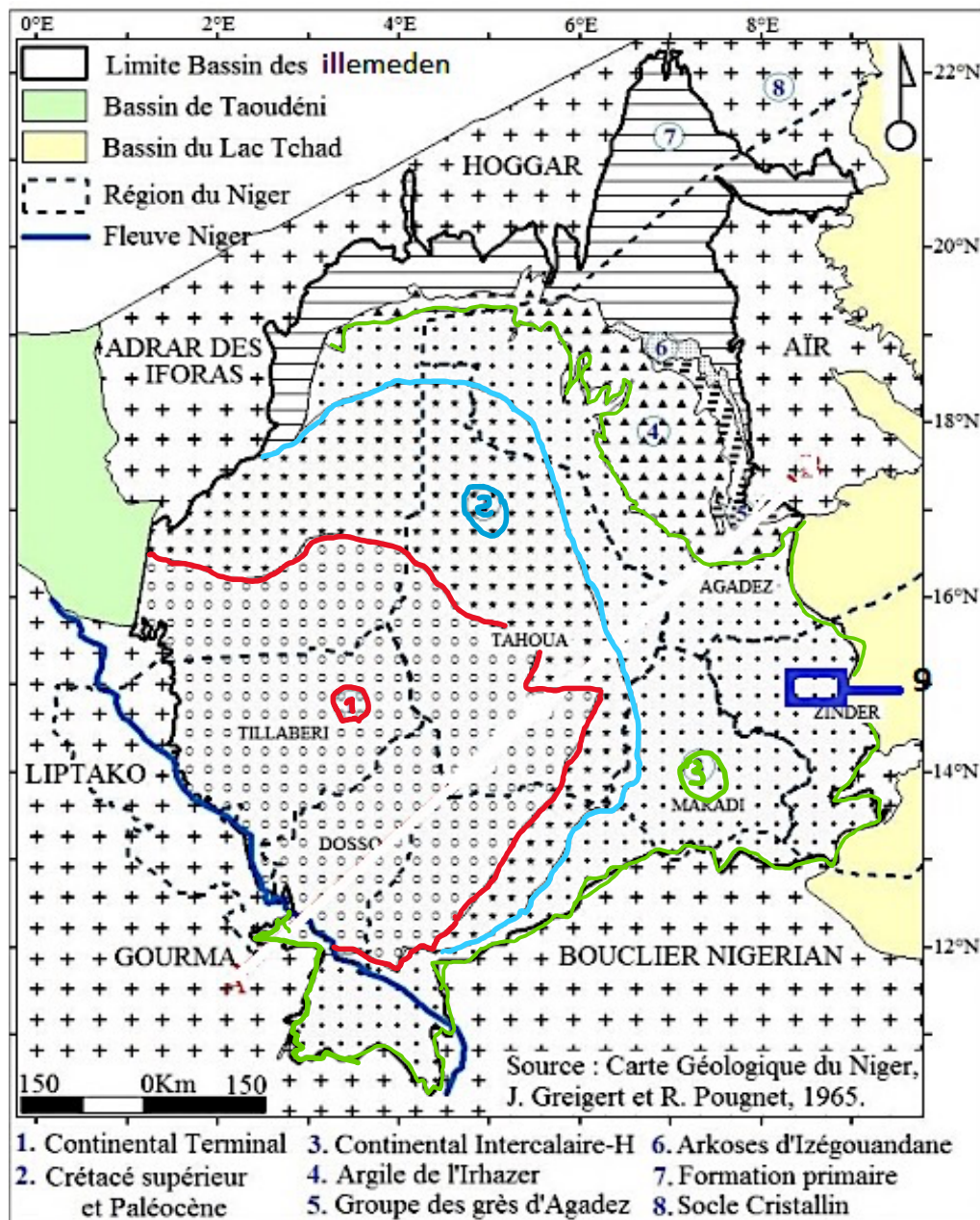


Figure II- 3: Limite Géologique du bassin d'Illemeden

(d'après carte géologique du Niger, J. Greigert et R. Pognet, 1965) ; 9 : zone de réalisation des forages

## **I.1. Tectonique**

À l'ouest du bassin, la structure tectonique est dominée par le fossé de Gao, et par la faille de Kandi (Figure II- 4) issue du bouclier nigérian 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 Illemeden 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.

## **I.2. Histoire géologique**

L'histoire du bassin des Illemeden avant le dépôt du continental terminal est marquée par des périodes de transgressions marines (Greigert, 1966, *in Magary 2018*) (Figure II-4) et se résume 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 Cénomanién supérieur, le golfe mésogéen existant déjà à l'Est de l'Air pénètre dans le Niger Occidental (Greigert J., 1966) lui rapporte 3 épisodes transgressifs (t1, t2, t3) chacun d'entre eux déborde sur le 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 Illemeden (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 fluviaux 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 attapulgités) (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.

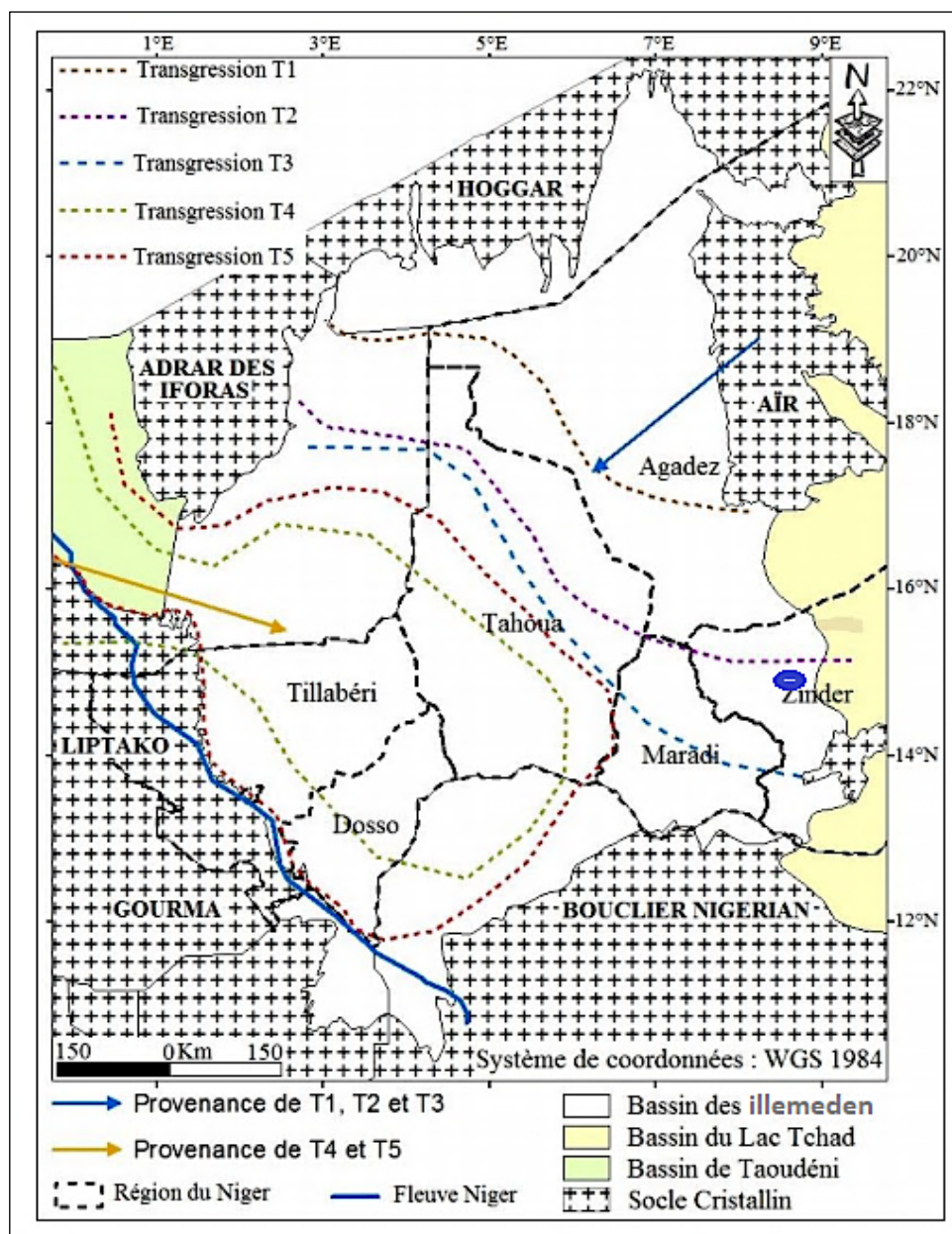


Figure II- 4: Extension des Transgressions Marines du Crétacé Supérieur au Cénozoïque dans le bassin des Illemeden (Greigert, 1966a ; Abdoukarim, 1988 ; Monfort, 1997 ; Miko, 1999)

## **II. Contexte géologique de la région de Zinder**

La Région de Zinder se situe structuralement dans la zone mobile panafricaine (Bessoles et Trompette, 1980), qui est un vaste domaine large d'environ 5000 km et s'étendant entre les Cratons Ouest-Africain (à l'Ouest) et du Congo (au Sud-Ouest), la plaque arabique (à l'Est) et marquant une inflexion vers l'Afrique de l'Est, précisément dans la zone des grands lacs (Figure II-2). La région est marquée par des pointements de socle du massif de Damagaram-Mounio, représentés par des roches cristallines et cristallophylliennes (DHR/Z, 2008)

Les pointements de socle séparent deux grands ensembles sédimentaires : le bassin des Illemeden au Nord et au Nord-Ouest et le bassin du Tchad (ou du Niger Oriental) au Sud-Est. Les formations géologiques rencontrées (Figure II-3) des plus anciennes aux plus récentes sont respectivement celles du Précambrien (granites, schistes et quartzites) du Crétacé (grès de Koutous, grès argileux, argile et calcaire marin) et celles du Quaternaire (les alluvions récents) (*In Salmanou S., 2018*).

### **II.1. Socle cristallin et cristallophyllien du Damagaram-Mounio**

Plusieurs auteurs ont étudié la géologie du Damagaram-Mounio (Faure, 1950-1952, Faure, 1962 ; Black, 1960 ; Greigert et Pougnet, 1967 ; Rudolf, 1968 ; Mignon, 1970 ; Mignon et Pouquet, 1970 ; Karche et Vachette, 1976 ; Bessoles et Trompette, 1980 ; Ousmane, 1988. Greigert et Pougnet (1967) ont fait la synthèse de la géologie du Damagaram-Mounio, tandis que Mignon et Fouquet (1970) ont établi une esquisse de la carte géologique et structurale au 1/200000 (Figure II-5).

La région du Damagaram-Mounio constitue un seuil où le cristallin affleure en boutonnière (Greigert et Pougnet, 1967) entre les bassins des Illemeden à l'Ouest et du Tchad à l'Est. Il constitue un massif d'environ 3600 km<sup>2</sup> d'orientation générale 50°N (Mignon, 1970).

Les formations du socle cristallin et cristallophyllien de ce massif sont des appendices des boucliers touareg et Benin-Nigeria remobilisés au cours de l'orogénèse panafricaine et cratonisés depuis 500±100 Ma (Bessoles et Trompette., 1980 ; *in Ousmane., 1989*). Par la suite, un magmatisme intra-plaque de type alcalin a affecté le socle du Damagaram-Mounio entre 320 et 290 Ma. Sur ces formations, on retrouve en discordance stratigraphique les formations du Crétacé moyen représentées par les grès du Continental Hamadien au Nord et à l'Ouest et les dépôts Quaternaires (dunes de sables, alluvions, colluvions) vers le Sud et l'Est.

Les principales unités lithologiques (Faure, 1951; Black, 1967; Mignon, 1972; Ousmane, 1978 *in Ousmane, 1988*) comprennent les formations métamorphiques (gneiss à silicate calcique, gneiss migmatitique, quartzite et micaschiste), le granite ancien (granite porphyroïde calco-alcalin, granite alcalin, granite tardi-tectonique) et le granite jeune ou Younger granite (granite à riébeckite, granite à biotite, Complexe annulaire de Gouré, le granite alcalin à deux temps de cristallisation, le granite

hyperalcalin, le microgranite, la syénite, la rhyolite, le tuf fin et grossier, brèche rhyolitique) (*In Salmanou S.,2018*).

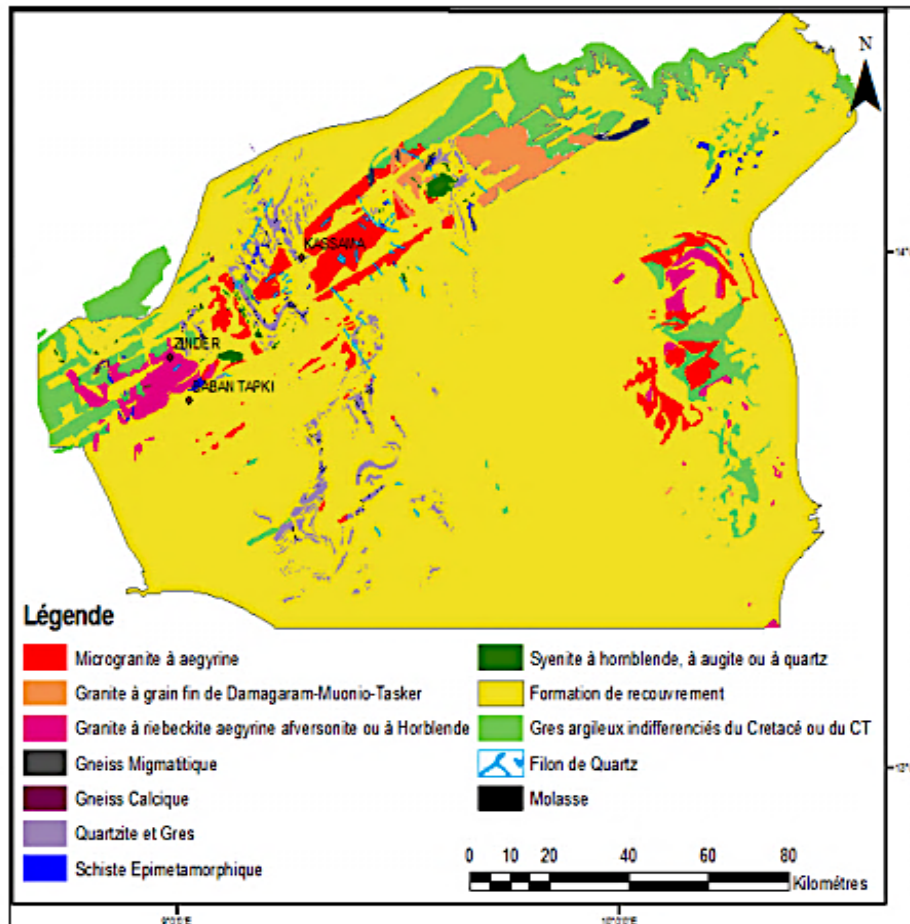


Figure II- 5: Carte géologique simplifiée du Socle du Damagaram Mounio au 1/200000

(Mignon, 1970, modifié)

## II.2. Les formations sédimentaires de la région de Zinder

Elles sont représentées par les formations du Continental Terminal et du Continental Intercalaire/Hamadien, les quaternaires et les alluvions (Figure II-6).

Le Continental Intercalaire/Continental Hamadien regroupe toutes les formations d'origine continentale postérieures aux argiles de l'Irhazer. Ces formations se sont constituées essentiellement au Crétacé, dans un bassin de sédimentation limité par les affleurements du socle cristallin. Le Continental Intercalaire comprend de bas en haut les Grès du Tégama, les argiles de Farak et le Continental Hamadien. Dans l'Ouest du sous bassin d'Illemeden, le Continental Intercalaire est recouvert par les formations marines du Crétacé Supérieur ou par celles du Continental Terminal (*In OSS.,2005*).

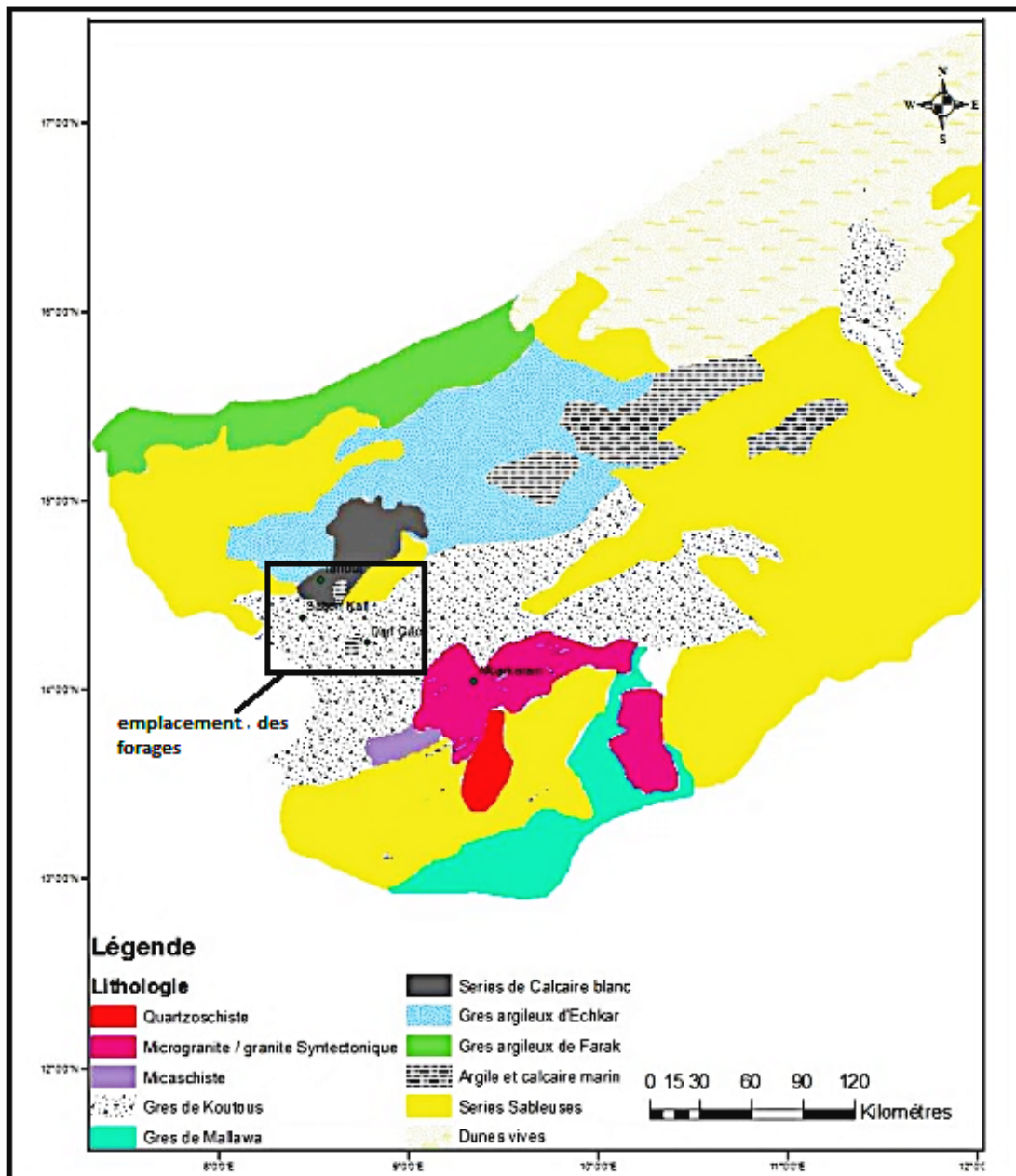


Figure II- 6: Carte géologique simplifiée de la région de Zinder extraite de la carte géologique du Niger au 1/2000000 (Greigert et Pougnet, 1965)

## Conclusion

Les formations sédimentaires au Nord de Zinder, sont d'un point de vue tectonique très stables et ne présentent pas de failles. La zone où les forages ont été réalisés est caractérisée par des séries de calcaires blancs, des grès de Koutous, des séries sableuses et des argiles et calcaires marins.

Ces formations contiennent les nappes du Continental Intercalaire/Hamadien et représentent un potentiel hydrogéologique important.



# CHAPITRE III : HYDROGÉOLOGIE ET HYDRODYNAMIQUE

---

## Introduction

Le système aquifère Illemeden qui comprend le Continental Terminal et le Continental Intercalaire/Hamadien est l'un des plus importants du pays.

Les données de 13 forages utilisés pour la rédaction de ce mémoire sont partielles mais permettent avec certaines références bibliographiques de faire une synthèse de l'hydrogéologie de la région.

## I. Hydrologie de la région de Zinder

Il n'existe aucun cours d'eau permanent dans la région. Le réseau hydrographique en partie fossile est essentiellement composé de cours d'eau temporaires (Koris) qui alimentent les mares et les lacs. Les principaux Koris sont la Korama, le Zermou, le Goulbi May Farou et la Tarka. On dénombre plus de 300 mares dans la région, dont une vingtaine d'entre elles sont permanentes (DRH/Z, 2008). Ces dernières cumulant une superficie d'environ 3.000 ha de terres irrigables et cultivables. Ces mares sont réparties en 4 catégories : les mares liées aux ruissellements, les mares liées aux nappes locales (ou sources), les mares associées aux nappes importantes (ou sources) et les cuvettes inter-dunaires (DRH/Z, 2008).

## II. Hydrogéologie

### II.1. Système aquifère Illemeden

L'extension géographique des deux principaux aquifères du SAI est établie sur une carte (Figure III-1). La superficie du CT est de l'ordre de 203 000 km<sup>2</sup> et celle du CI de l'ordre de 486 000 km<sup>2</sup>. L'ensemble du système aquifère couvre un domaine de l'ordre de 500 000 km<sup>2</sup> (*in OSS, 2011*).

Les formations du Continental Intercalaire sont principalement d'âge Mésozoïque (Trias à Albien), leur mise en place pouvant toutes fois débiter au Permien. Les ressources du système aquifère Illemeden sont considérée comme non renouvelable (Seguin., 2008 et Margat., 2008, 2014).



Figure III 1 : Extension des deux couches CI et CT du système aquifère Illemmeden (Source : OSS., 2011)

## II.2. Hydrogéologie de la région de Zinder

Dans la région de Zinder, les formations aquifères rencontrées sont : l'aquifère discontinu du socle, l'aquifère multicouche du Continental Intercalaire/Hamadien (CI/H), l'aquifère du Continental Terminal et les aquifères alluvionnaires du quaternaire (*in Salmanou S., 2018*).

La zone d'étude se situe au niveau du Continental Intercalaire. Néanmoins, très peu d'études hydrogéologiques ont été réalisées au Nord de la région de Zinder. Les recherches faites dans le cadre de ce mémoire ainsi que les forages réalisés par cetic-consult ont permis d'estimer certains aspects hydrogéologiques.

### II.2.1. Piézométrie

La figure III-2 est La carte piézométrique du Continental Intercalaire réalisée par l'Observatoire du Sahara et du Sahel. Elle correspond à un régime d'équilibre daté d'environ 1970 ; les valeurs piézométriques ponctuelles observées ou estimées récoltées dans la bibliographie ; le débit des exutoires (le fleuve Niger et la rivière Rima) jaugé à cette date (*In OSS., 2011*).

L'exutoire naturel principal de la nappe du CI est constitué par le fleuve Niger qui est drainant et vers lequel les eaux convergent. Les eaux du Continental Intercalaire ont un sens d'écoulement général du Nord vers le Sud (*In OSS., 2011*).

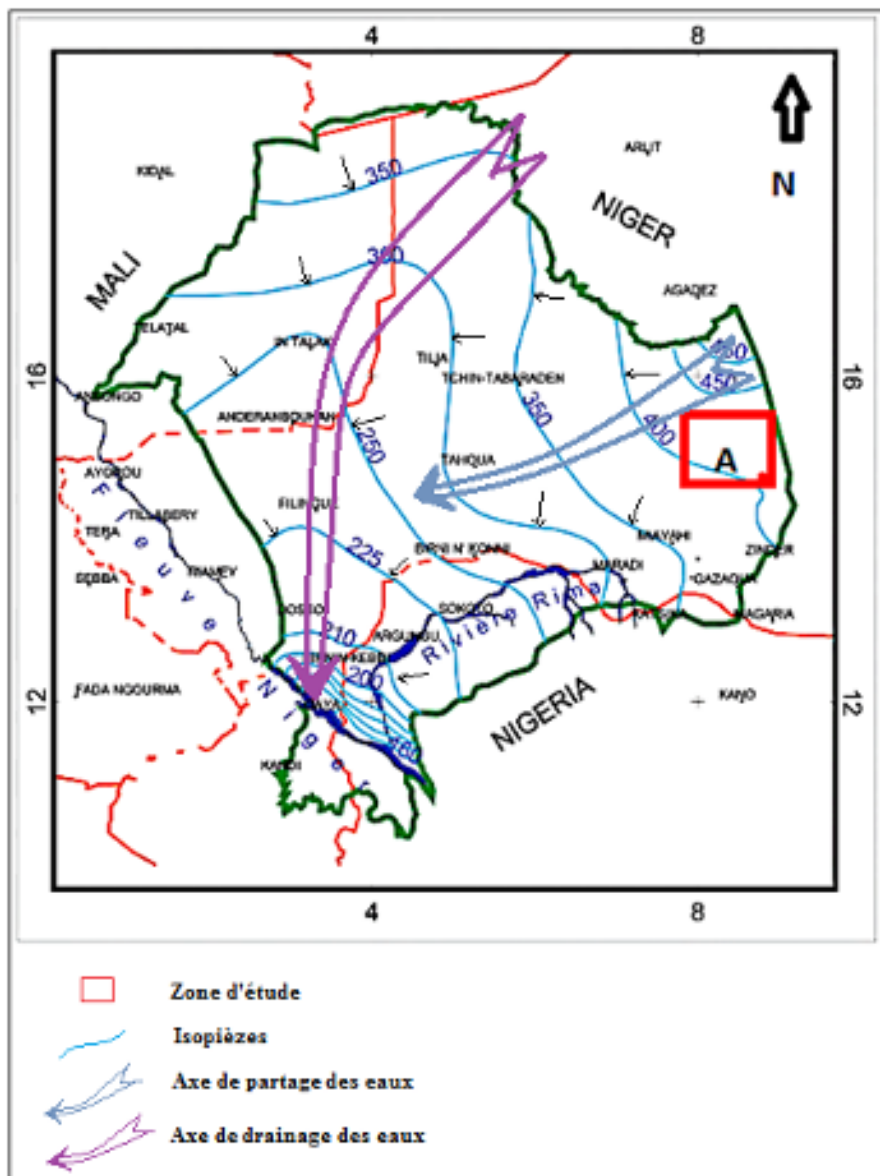


Figure III 2: Carte piézométrique du Continental Intercalaire modifiée ; A : zone d'étude (Source : OSS., 2011)

L'examen de la carte piézométrique du Continental Intercalaire (Figure III-2) montre que les principales zones d'alimentation des nappes du CI sont : les massifs du Hoggar au Nord et la rivière Rima au Sud (In OSS., 2011)

## II.2.2. Procédures de forage

Les forages sont au nombre de 13 et ont été réalisés entre 2018 et 2019 sous la supervision de ceticconsult (Bureau d'étude, conseils, consultants). Les étapes de leur réalisation sont les suivantes :

- **Implantation**

Une étape qui consiste à utiliser les données des cartes, anciennes études hydrogéologiques et géologiques, le tout dans un contexte représentatif du secteur qui réunit les conditions de foration.

- **La foration**

Cette étape est celle de la réalisation du forage avec une sondeuse qui utilise la boue pour faire remonter les formations géologiques traversées. Plusieurs types de boues peuvent être utilisés. C'est au cours de cette étape que les logs stratigraphiques sont réalisés.

- **Équipement**

Permet de proposer un plan de captage après interprétation des résultats de la diagraphie couplée avec la description des échantillons prélevés à chaque mètre foré. Elle permet ainsi de déterminer la quantité de gravier additionnel, le diamètre des crépines et des tubes pleins et leur longueur tout au long de l'ouvrage.

- **Développement**

L'étape du développement consiste au nettoyage du forage par la méthode du soufflage. Elle est nécessaire afin de dégager la boue introduite au cours de la foration et d'augmenter la productivité du forage. La fin de cette étape est caractérisée par un pompage à l'eau jusqu'à l'obtention de l'eau claire.

- **Essai de pompage**

Les essais de pompage sont faits afin de déterminer les conditions d'exploitation et de gestion. Les ouvrages ont été équipés par des tubages en acier, en acier casing, et acier inoxydable dans leur majorité et équipés de pompe immergée tels que Grundfos SP60 A-1, Grundfos XSP30/16.

### **II.2.3. Log stratigraphique**

La profondeur des forages varie de 198m (Boye) à 650m (Tarfass). Les principales formations traversées sont des grès, des grès argileux, des sables, des sables argileux et argiles (Figure III-3).

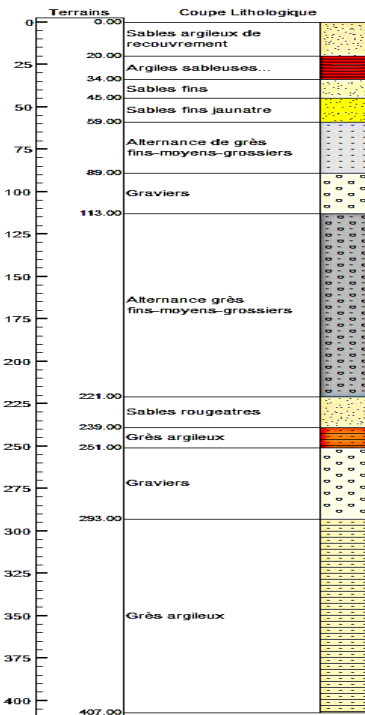


Figure III 3: Coupe géologique du forage de Dan-Gao (Source : cetic-consult., 2018)

### III. Hydrodynamique

#### III.1. Épaisseur

Sur la base d'une centaine de coupes géologiques sélectionnées dans la base de données géologiques, il a été possible d'estimer les épaisseurs des formations du Ci. Les épaisseurs du Ci résultent de la soustraction des côtes du mur à celles du toit du Ci lues sur les logs stratigraphiques. L'épaisseur moyenne ainsi déterminée est de 200 m (in OSS., 2011).

Le volume et l'aire du domaine du CI étant de 486 443 km<sup>2</sup>, le volume d'eau contenu dans cet aquifère s'établit à 9,72886.10<sup>13</sup> m<sup>3</sup> (soit 97 000 milliards de m<sup>3</sup>) (In OSS., 2011).

#### III.2. Transmissivité

La figure III-4 représente la carte des transmissivités connues du Continental Intercalaire.

Les interprétations d'essais de pompage plus récents et de plus longue durée donnent des transmissivités calculées par la méthode de Theis/Jacob de l'ordre de 6.10<sup>-5</sup> à 1.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s pour des perméabilités déduites de l'ordre de 10<sup>-5</sup> à 10<sup>-4</sup> m/s (Favreau., 2000). Considérant une épaisseur saturée variant de 10 à 90 m sur la zone de Kori – Dantiandou, les perméabilités peuvent être évaluées à partir des données disponibles entre 10<sup>-6</sup> à 10<sup>-3</sup> m/s (Massuel., 2005).

La transmissivité dans notre zone d'étude varie de 1.10<sup>-5</sup> à 6.3.10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s.

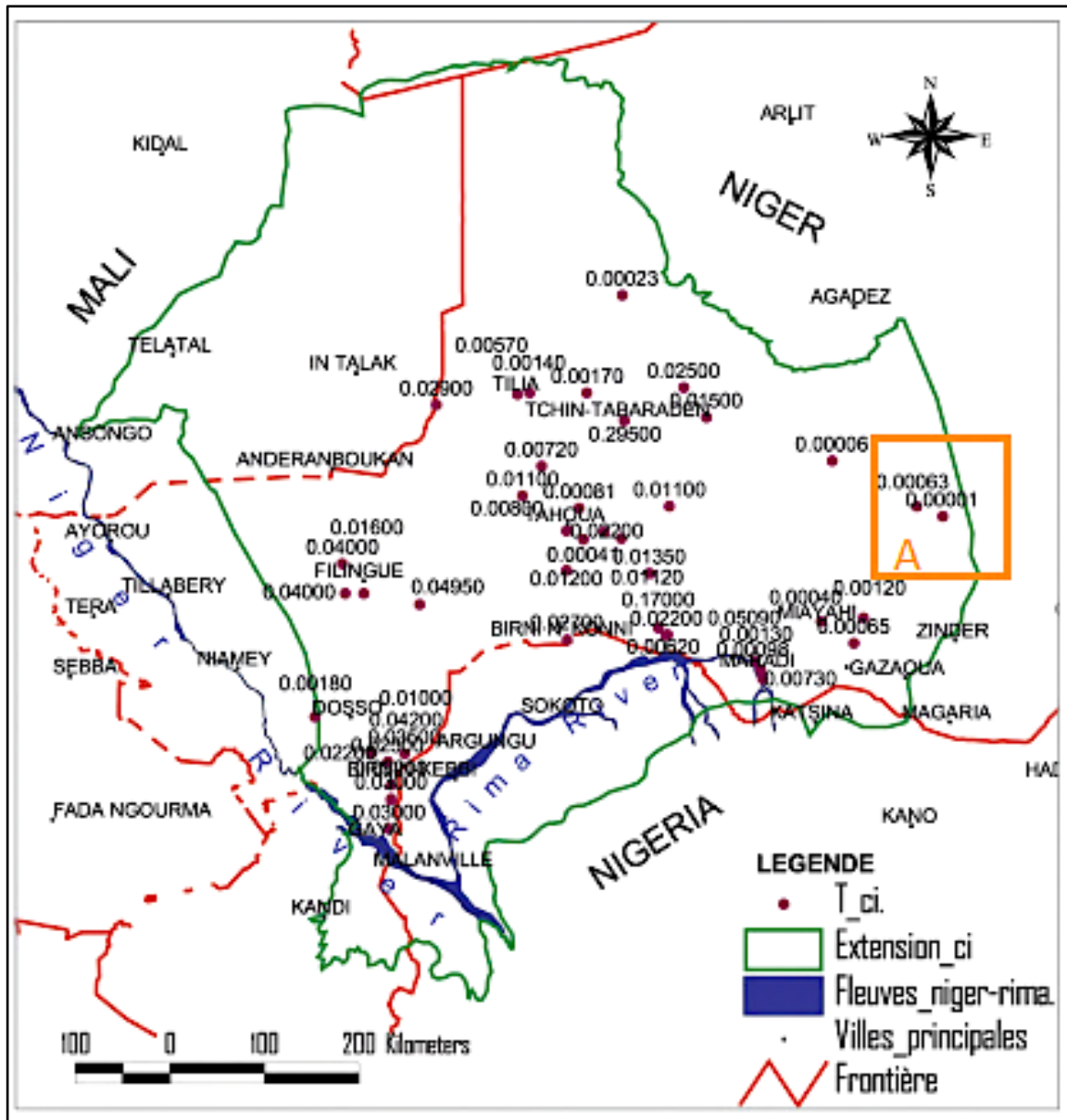


Figure III 4: Carte des transmissivités du Continental intercalaire ; A : zone d'étude (Source : OSS., 2011)

### III.3. Porosité et Coefficient d'emménagement

Il est considéré qu'en nappe libre, le coefficient d'emménagement équivaut à la porosité efficace. Les valeurs des coefficients d'emménagement dans les parties à nappe libre du CI sont de l'ordre de 4 % (In OSS., 2011).

Considérant une porosité efficace de 4 %, nous pouvons estimer les réserves du CI à  $(9,72886.10^{13} \text{ m}^3 \times 4/100) = 3\,891.10^9 \text{ m}^3$  (In OSS., 2011).

Avec un flux moyen annuel de recharge naturelle de  $0,05.10^9 \text{ m}^3/\text{an}$ , le taux de renouvellement de la nappe du CI s'établit à  $1,28.10^{-5}$  ; soit une durée de 77 820 ans environ (In OSS., 2011).

### III.4. Débit d'exploitation

Les débits d'exploitation des forages dans les deux communes de la zone d'étude sont résumés dans le tableau III-1

*Tableau III 1 : Débits d'exploitations de 9 forages sur 13*

<b>Forages</b>	<b>Débits d'exploitation (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Niveau Statique (m)</b>
Tarfass	37,7	46
Watantagai	35	48,03
Dan Barko	35	48,93
Kollala	30	98,18
Dalli	26	89,89
Dan Gao	26	8,89
Kandilwa	25	74,25
Boye	-	-
Kouyewa	-	-

## CONCLUSION

Le Continental Intercalaire du système aquifère Illemeden présente des caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques favorables à l'exploitation. La nappe du Continental Intercalaire renferme une importante réserve d'eau. Au niveau de la zone d'étude, elle se situe dans les formations sédimentaires sablo-argileuses et de grès argileux avec des débits d'exploitation qui témoignent d'un bon rendement dans la région.

## CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

---

### INTRODUCTION

L'hydrochimie (géo chimie) 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.

Dans le cadre de cette étude, les données utilisées comprennent l'ensemble des données bibliographiques et celles recueillies au niveau de cetic-consult avec des analyses physico-chimique faites par le laboratoire de la Direction Régional de l'Hydraulique de Zinder. Ces données sont issues des rapports techniques de 13 forages réalisés au Nord de la région de Zinder (figure IV 1 et 2). Parmi ces forages, six d'entre eux ont des analyses physico-chimiques complètes utilisés pour ce travail.

L'outil informatique utilisé pour le traitement des données à notre disposition est le logiciel d'hydrochimie « Diagrammes », développé par le laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Avignon-France. Ce logiciel a permis le traçage des différents diagrammes (Piper, Schöeller Berkaloff et Stiff) et de réaliser différents types de calculs (Balance ionique, pression partielle du CO<sub>2</sub>).

Dans cette étude nous avons aussi bien traité des données physico-chimiques que bactériologiques. Les principaux paramètres étudiés sont le pH, la température, les anions et cations majeurs (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), les éléments trace (Fe<sup>3+</sup>, F<sup>-</sup>), les éléments indésirables (NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), la conductivité et la dureté.

L'étude bactériologique en conformité avec les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et les normes algériennes porte sur les colonies de bactéries suivantes : Coliformes fécaux et Coliformes totaux.



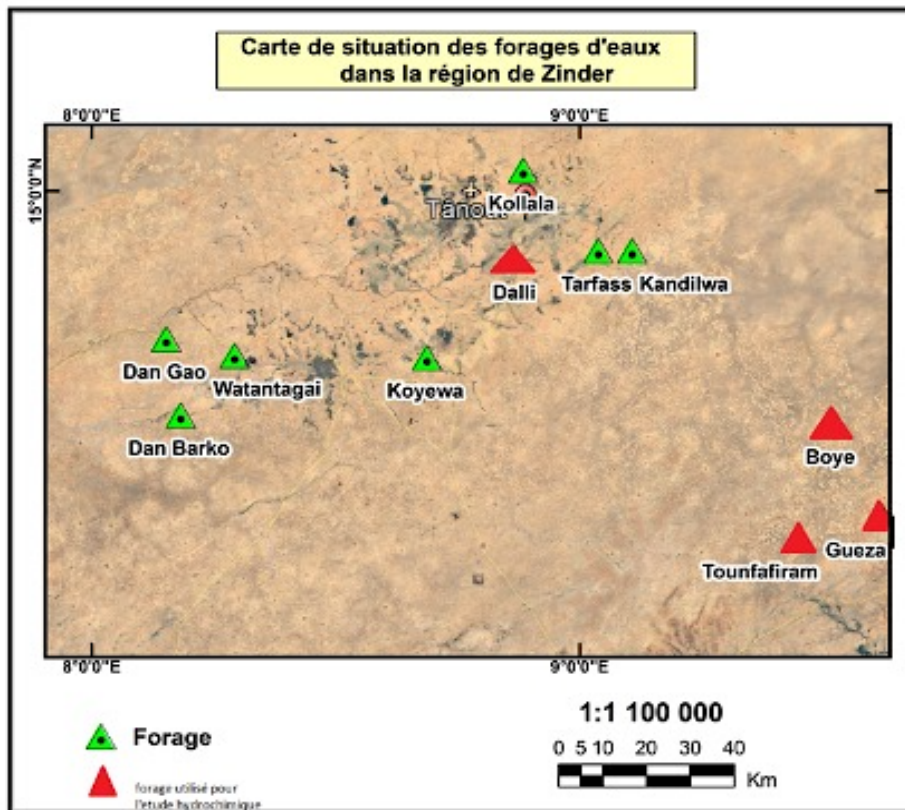


Figure IV 1 : Localisation par satellite des forages ; Source : Google Earth., 2021

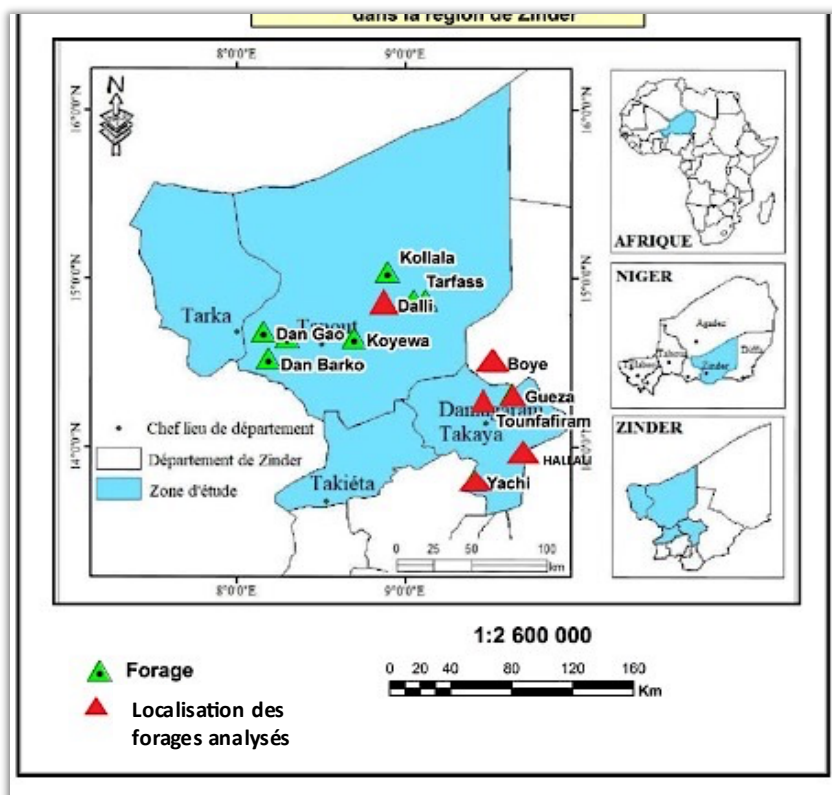


Figure IV 2 : Carte de positionnement des forages modifiée, Source : Sandao I., et al., 2019

## I. Balance ionique

La balance ionique est un paramètre très important puisqu'elle permet de contrôler la fiabilité des résultats analytiques. En effet, L'analyse est considérée comme bonne, si la valeur de cette balance, est inférieure ou égale à  $\pm 5\%$ . Celle-ci est exprimée par la formule (1) suivante :

$$Bi = \frac{\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions}}{\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions}} \times 100 \quad (1)$$

Avec,

Bi : erreur sur la balance ionique exprimée, en % ; Concentrations des cations et anions, en méq/L.

Le résultat de la balance ionique des 6 échantillons sont données par le logiciel diagramme. La teneur en Sodium a été calculé pour un seul forage (Dalli). Pour 6 échantillons la balance ionique varie entre -5 et 1 % (tableau IV-1). Ces analyses peuvent être considérées comme fiables.

Tableau IV 1: Balance ionique des échantillons

Nom de forage	Balance ionique (%)
Boye	+0
Dalli	-2
Yachi	-2
Gueza	-5
Tounfafiram	+1
Hallali	-2

## II. Paramètres physiques

### II.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 de pH de ces eaux sont comprises entre 6,93 à Guéza et 9,20 à Dalli (figure IV-3). On peut déduire à partir du pH que ces eaux sont neutres à alcalines.

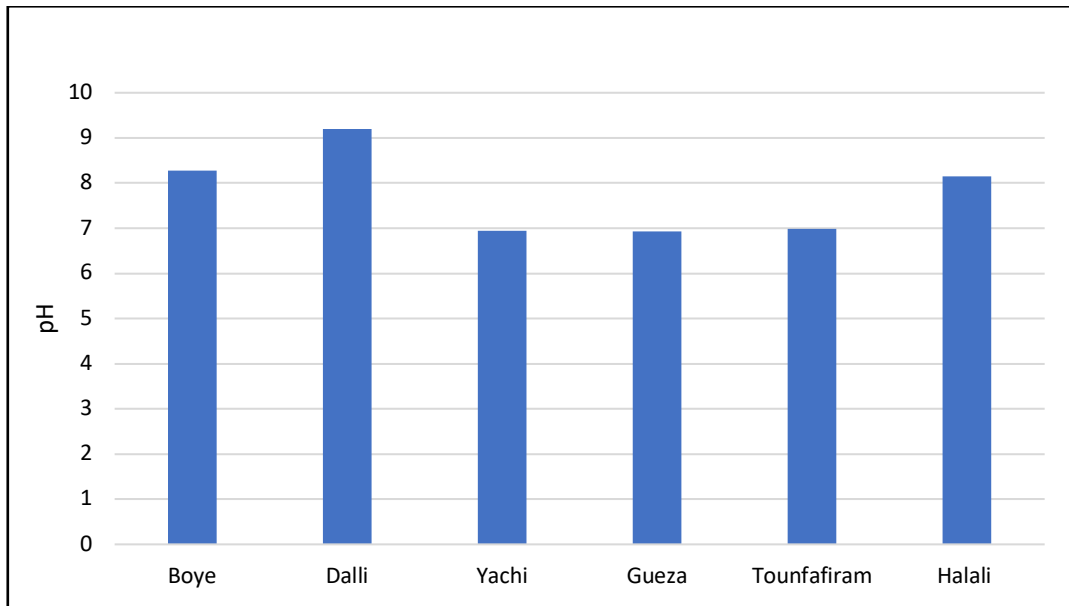


Figure IV 3: Histogramme des valeurs du pH

## II.2. La température (T°C)

Les températures (figure IV-4) de ces eaux varient de 24,30°C à Yachi à 28,80°C à Dalli.

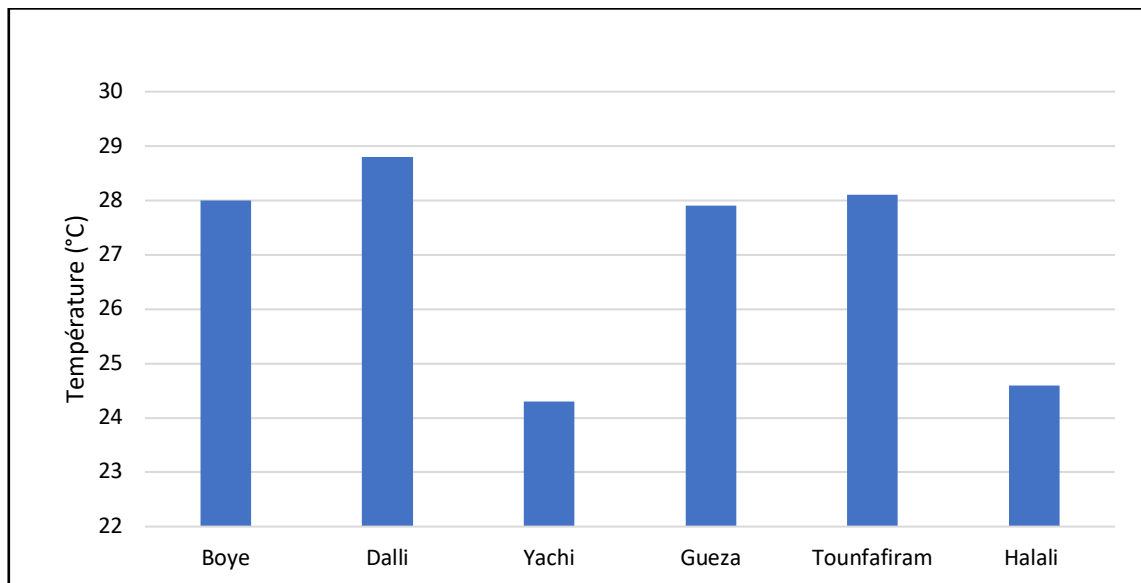


Figure IV 4: Histogramme des valeurs de températures

## III. Paramètres chimiques

### III.1. Ions majeurs

Pour déterminer les ions sodium manquantes de l'échantillon du forage de Dalli; nous avons utilisé l'équation de l'électro-neutralité :

$$2[\text{Ca}^{2+}] + 2\{\text{Mg}^{2+}\} + [\text{Na}^{+}] + [\text{K}^{+}] = [\text{HCO}_3^{-}] + 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^{-}]$$

$$\Rightarrow [\text{Na}^{+}] = ([\text{HCO}_3^{-}] + 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^{-}]) - ([\text{Ca}^{2+}] + \{\text{Mg}^{2+}\} + [\text{K}^{+}])$$

### a) Les cations

Les concentrations maximales des cations en mEq/l sont respectivement :  $\text{Na}^+ = 3,07$  mEq/l (Dalli) ;  $\text{Ca}^{2+} = 1,47$  mEq/l (Boye) ;  $\text{Mg}^{2+} = 0,45$  mEq/l (Boye) ;  $\text{K}^+ = 0,10$  mEq/l (Boye).

### b) Les anions

Les concentrations maximales des anions en mEq/l sont respectivement :  $\text{HCO}_3^- = 2,60$  mEq/l (Dalli) ;  $\text{SO}_4^{2-} = 1,21$  mEq/l (Dalli) ;  $\text{CL}^- = 0,49$  mEq/l (Dalli).

## III.2. Les éléments trace

### a) Fer Total

Sa concentration est la somme de l'ion  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ . Il permet la multiplication de certaines souches de bactéries susceptibles de précipiter le fer ou de corroder les canalisations.

Selon l'OMS, une eau destinée à la consommation ne doit pas dépasser 1 mg/l de teneur en fer total. Pour nos échantillons, les valeurs de fer total varient entre 0,01 mg/l (Boye) et 0,21 mg/l (Gueza) (figure IV-5).

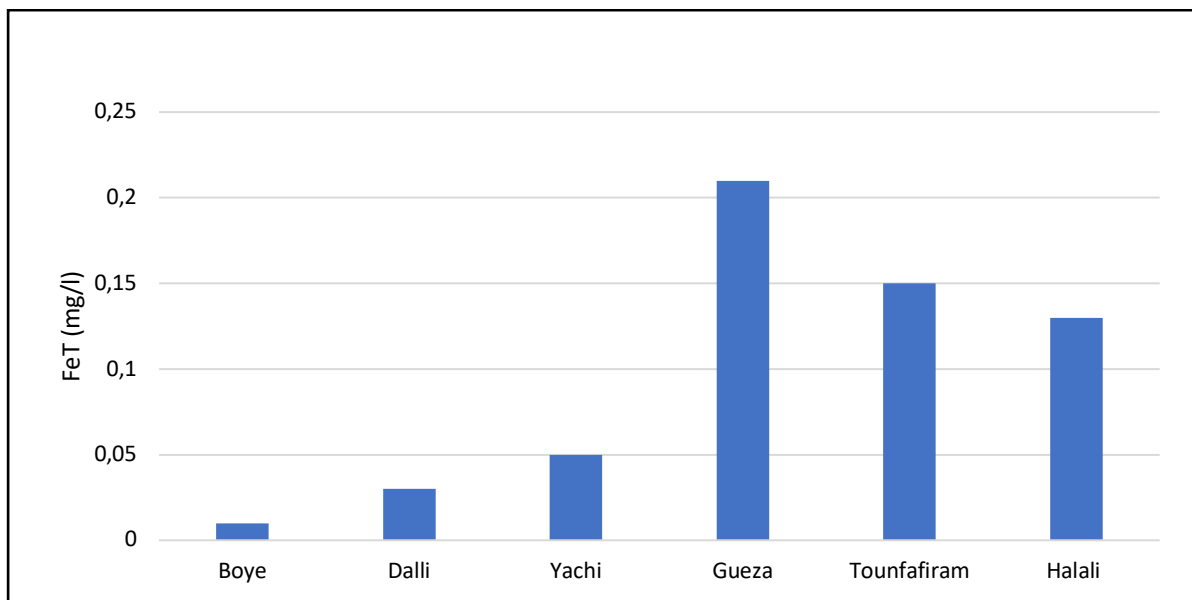


Figure IV 5: Histogramme des valeurs des FeT

### b) Fluorures

Les normes fixées par l'OMS pour les fluorures sont de 1,5 mg/l. Leurs valeurs dans nos analyses varient de 0,18 (Hallali) à 0,86 mg/l (Boye) (figure IV-6).

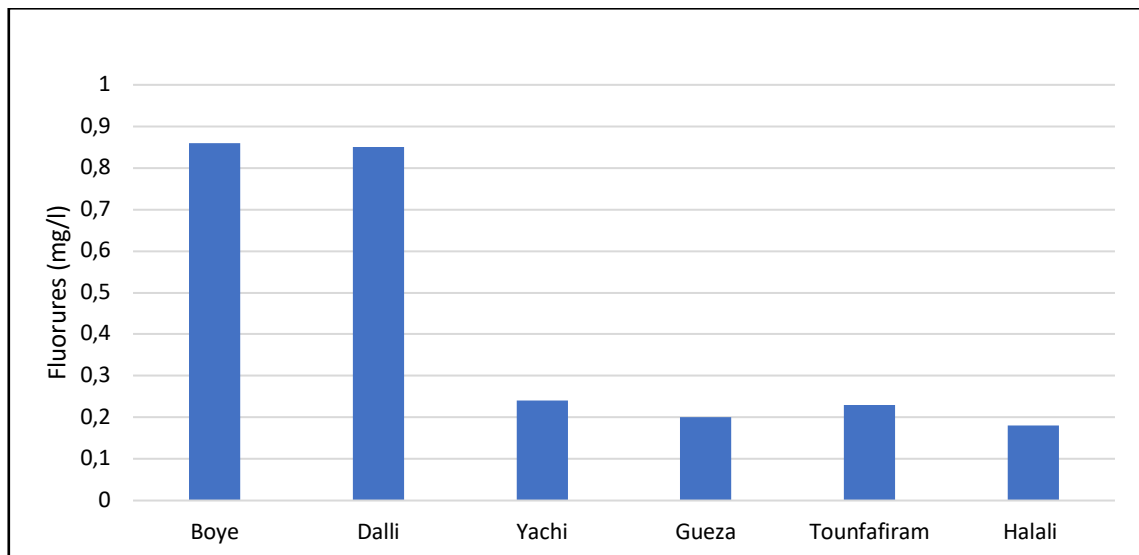


Figure IV 6: Histogramme des valeurs de fluor

L'évolution des teneurs en Fluor le long du profil de corrélation géologique établi à partir des coupes lithologique des ouvrages, montre que ce sont les ouvrages profonds (plus de 500 mètres), captant les niveaux plus argileux qui présentent des teneurs importantes en Fluor. Ce qui corrobore l'hypothèse des apports des éléments du fluor à partir des facies argileux du CI/H (Sandao I., et al.,2019).

### III.3. La conductivité

La conductivité est mesurée sur le site par le conductivimètre et permet d'apprécier la minéralisation de l'eau.

Tableau IV 2: Classification de la minéralisation en fonction de la conductivité

Conductivité	Minéralisation
Conductivité < 100 $\mu$ s/cm	minéralisation très faible
100 $\mu$ s/cm < Conductivité < 200 $\mu$ s/cm	minéralisation faible
Conductivité > 1000 $\mu$ s/cm	minéralisation excessive

Les valeurs des conductivités mesurées varient entre 87 (Gueza) et 406  $\mu$ s/cm (Dalli) (figure IV-7). 50% des valeurs sont inférieures à 200 $\mu$ s/cm octroyant à ces eaux une minéralisation faible ; Les 50% restant sont largement en dessous des normes de l'OMS qui sont de l'ordre de 1500  $\mu$ s/cm. Globalement, on peut dire que ces eaux sont faiblement à moyennement minéralisées.

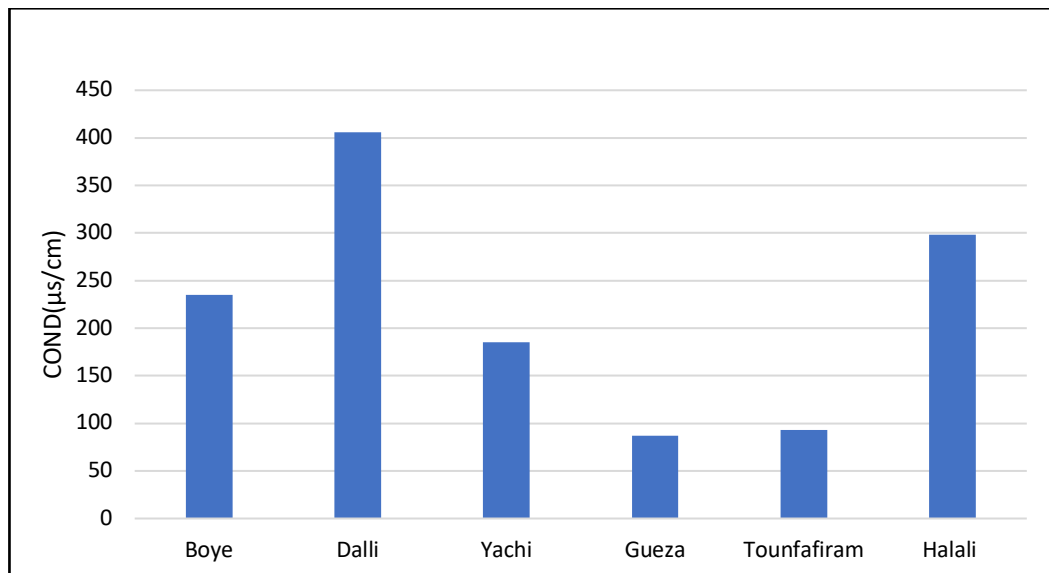


Figure IV 7: Histogrammes des valeurs de conductivité

## IV. Représentations graphiques des analyses

### IV. 1. Diagramme de Piper

Le diagramme triangulaire de Piper, est formé de deux petits triangles à sa base, dont l'un à gauche pour les cations et l'autre à droite pour les anions, et d'un losange, au-dessus de ces derniers. Les concentrations relatives des éléments, placées dans les triangles, sont projetées dans le losange, permettant ainsi de définir, les types de faciès chimiques des eaux analysées.

L'avantage du diagramme de Piper est sa facilité pour représenter plusieurs groupes d'analyses.

La représentation (figure IV-8) des échantillons analysés du Continental Intercalaire sur le diagramme de Piper présentent les faciès suivants :

- 1 faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique
- 1 faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien ou bi/carbonaté calcique et magnésien
- 1 faciès bi/carbonaté sodique et potassique
- 1 faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien
- 2 faciès bi/carbonaté calcique et magnésien

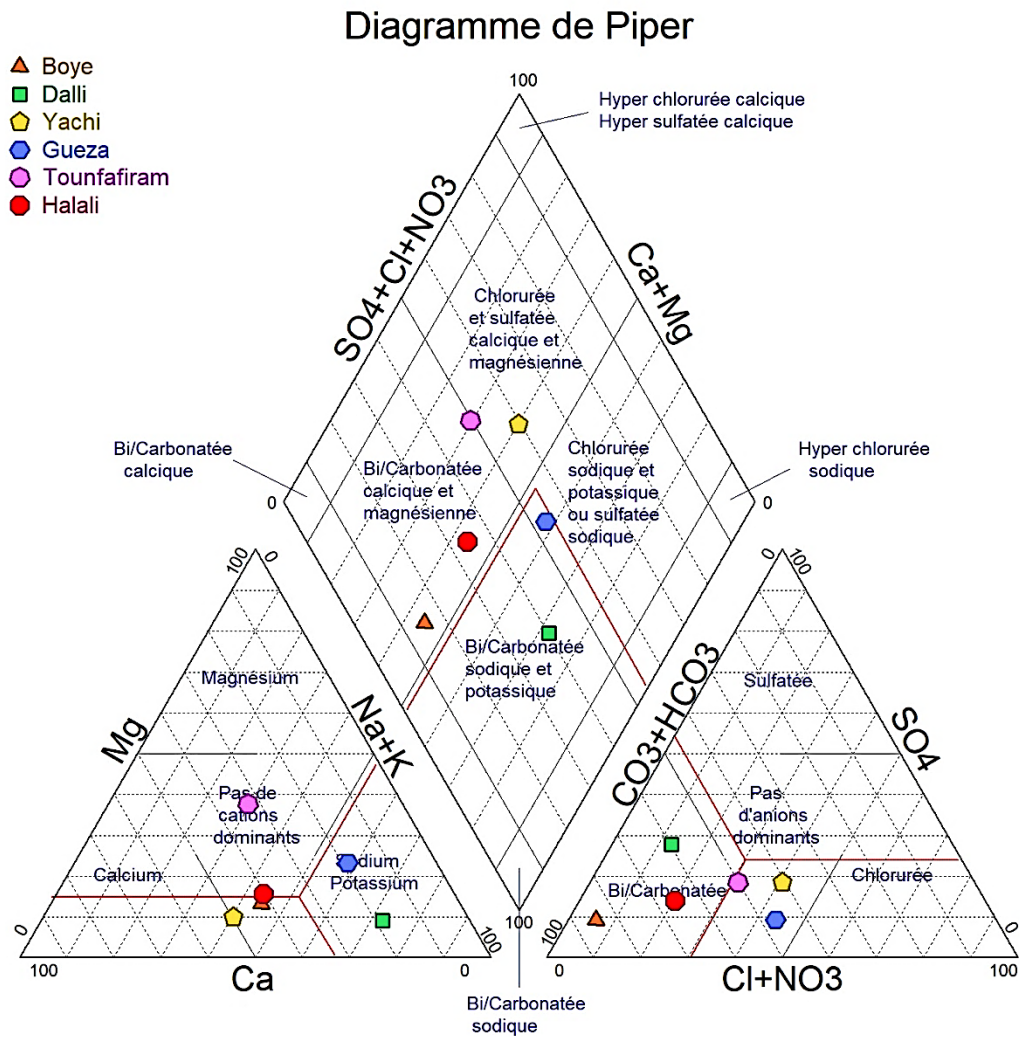


Figure IV 8: Représentation graphique des eaux du CI sur le diagramme de Piper

## IV.2. Diagramme de Schöeller Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff, est une représentation graphique semi-logarithmique, où sont portés sur des droites parallèles les différents ions majeurs. Les teneurs, en mg/L, desdits ions majeurs sont reliés par des segments de droites dont l'allure permet de savoir si les eaux sont de la même famille. Le diagramme de Schöeller-Berkaloff ne permet qu'une représentation limitée d'analyses (quatorze échantillons d'eau au plus).

La représentation du diagramme de Schoeller Berkaloff (figure IV-9) montre que les eaux se superposent (parallélisme), on peut alors déduire que ces eaux appartiendraient à une même famille.

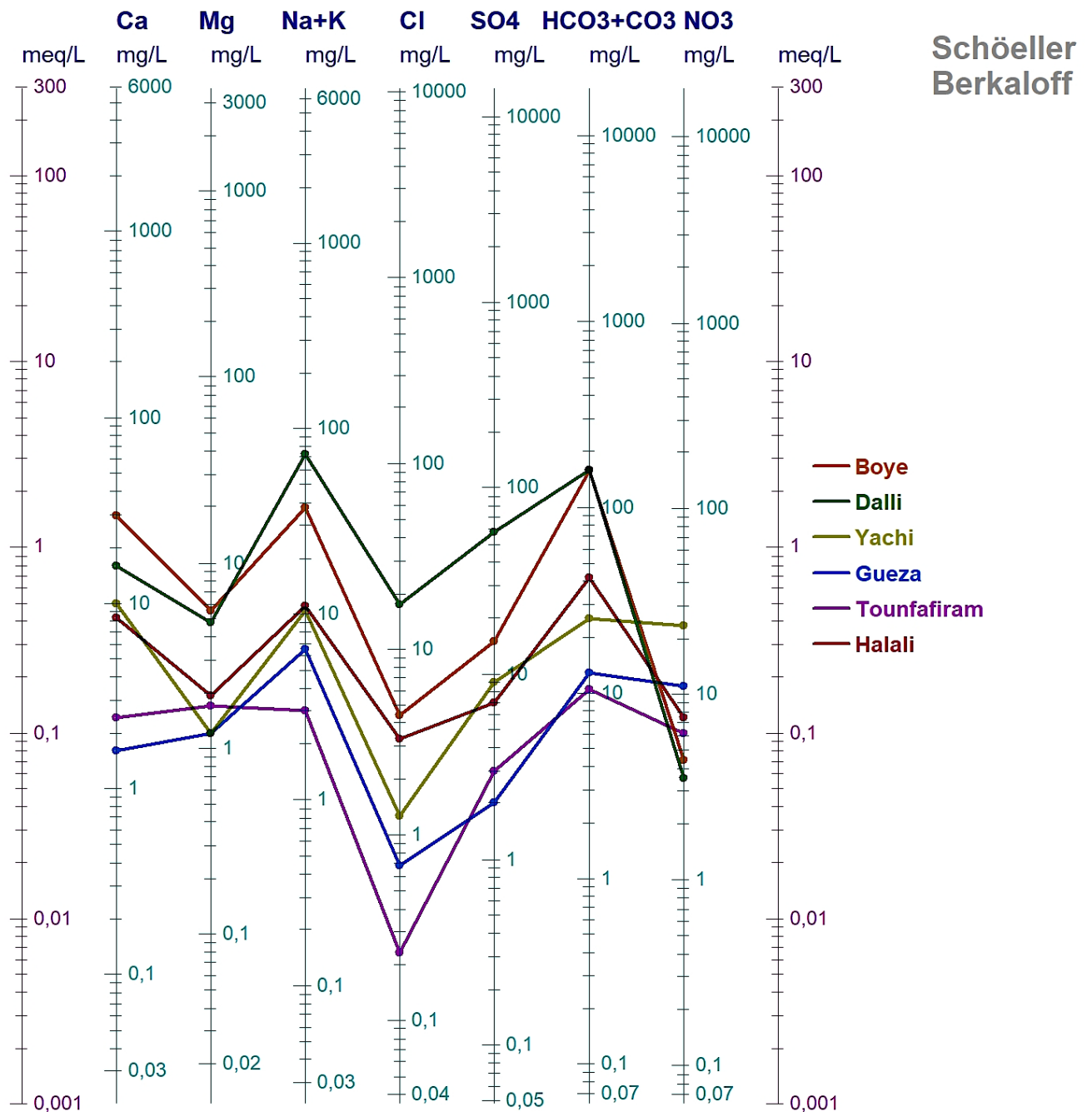


Figure IV 9: Représentation graphique des eaux du CI sur le diagramme de Schöeller Berkloff

### IV.3. Diagramme de Stiff

le diagramme de Stiff permet la représentation de chaque échantillon sous forme d'un polygone. La forme géométrique du polygone dépend de la teneur des différentes espèces chimiques présentes dans l'échantillon. Ainsi la distinction du faciès de l'eau se base sur la forme du polygone. Les ions majeurs sont reportés sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical d'origine. Les cations sont représentés à gauche ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ ) et les anions à droite ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{NO}_3^-$ ).



Le diagramme de Stiff (Figure IV-10) obtenu à partir des échantillons d'eau a permis de classer les eaux en trois groupes, en fonction de leur minéralisations :

- Une minéralisation moyenne : les forages de Boye et Dalli ;
- Une faible minéralisation : les forages de Yachi et Hallali et
- Une très faible minéralisation : les forages de Guéza et Tounfafiram

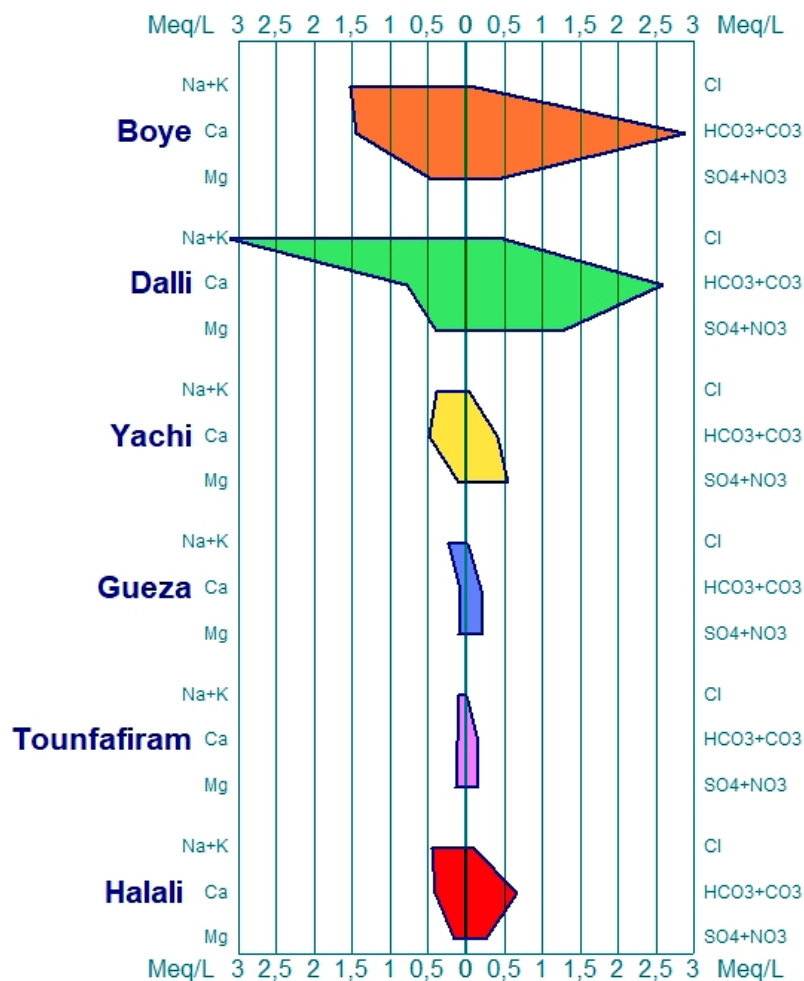


Figure IV 10: Représentation graphique des eaux du CI sur le diagramme de Stiff

## V. Potabilité des eaux du Continental Intercalaire

### V.1. Dureté de l'eau

C'est un indicateur du pouvoir de réaction de l'eau avec le savon : une eau dure exige une quantité considérable de savon pour produire de la mousse ; par ailleurs, elle provoque aussi l'entartrage des canalisations d'eau chaude, des chaudières et des appareils managers. Cette dureté de l'eau n'est pas liée à une substance uniquement, mais plutôt à divers ions métalliques polyvalents dissous. Les principaux ions responsables de la dureté dans une eau sont principalement le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le

magnésium ( $Mg^{2+}$ ) ; les ions strontium, baryum, fer et manganèse y contribuent également (Sawyer and Mc Carty., 1967).

Elle est calculée par le titre hydrotimétrique, qui traduit la capacité de l'eau à réagir avec le savon (Yapo et al., 2010), donné par la formule (2), et exprimé en ppm de carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) ou en degré français ( $^{\circ}f$ ). Un degré français ( $^{\circ}f$ ) est en %, sans dimension, qui équivaut à 10 mg/L de  $CaCO_3$ .

$$TH^{\circ} = Ca^{2+} \times \frac{CaCO_3}{Ca} + Mg^{2+} \times \frac{CaCO_3}{Mg} \quad (2)$$

Les résultats de dureté de l'eau permettent de classer celle-ci en plusieurs groupes (Tableau IV-3)

Tableau IV 3: Classification des eaux en fonction de dureté

NATURE DES EAUX	VALEUR DU TH( $^{\circ}f$ )
Eau douce	TH < 6 $^{\circ}f$
Eau modérément douce	6 $^{\circ}f$ < TH < 12 $^{\circ}f$
Eau dure	12 $^{\circ}f$ < TH < 18 $^{\circ}f$
Eau très dure	TH > 18 $^{\circ}f$

Les valeurs de la dureté varient entre 0,9  $^{\circ}f$  et 9,98  $^{\circ}f$  ( tableau IV-4). La majorité des valeurs de la dureté ne dépasse pas les 6 $^{\circ}f$  ce sont donc des eaux douces.

Tableau IV 4: Valeurs des duretés des eaux des forages

Forages	TH( $^{\circ}f$ )
Boye	9,85
Dalli	6
Yachi	3
Gueza	0,9
Tounfafiram	1,3
Hallali	2,9

## V.2. Éléments indésirables

Ces éléments sont les nitrates et les nitrites. Leur présence est un indicateur de pollution anthropique. Les teneurs de ces éléments dans les eaux du CI sont infimes. Ces eaux ne sont donc pas polluées.

### a) Nitrate

La concentration des nitrates varie entre 3,52 mg/l à Dalli et 23,32 à Yachi (figure IV-11), aucune des concentrations en nitrates ne dépasse les normes de l’OMS fixées à 50 mg/l.

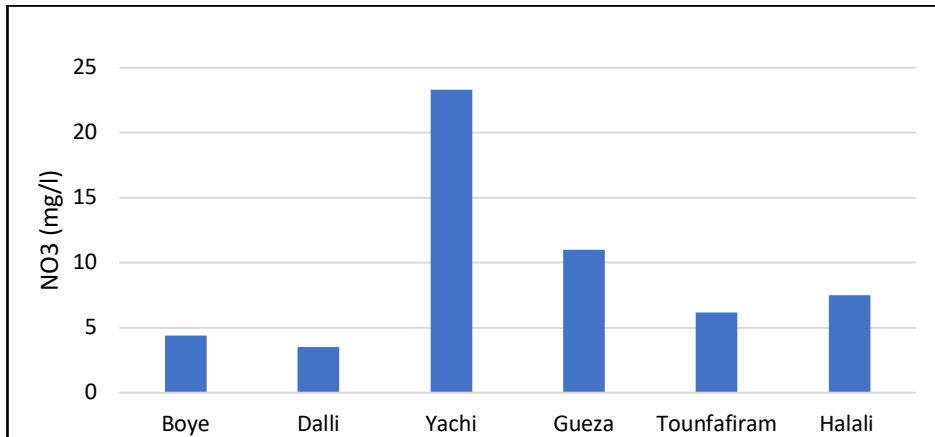


Figure IV 11: Histogramme des valeurs de nitrates

### b) Nitrites

Les valeurs en concentration des nitrites varient entre 0 et 0,01mg/l (figure V-12). Selon l’OMS, les teneurs en nitrites ne doivent pas dépasser 0,3 mg/l.

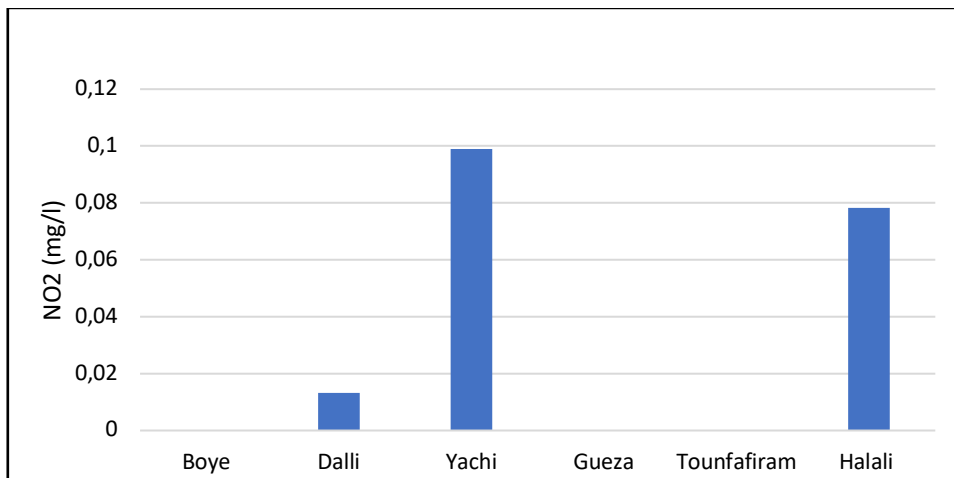


Figure IV 12: Histogramme des valeurs de nitrites

## V.3. Caractéristiques bactériologiques des eaux du Continental Intercalaire

Les coliformes fécaux sont des indicateurs de pollution essentiellement fécale.

Les résultats de l’analyse bactériologique (tableau IV-5) montrent que les valeurs de toutes les eaux analysées sont nulles pour les coliformes fécaux ainsi que pour les coliformes totaux à l’exception du forage de Dalli où 3 UFC/100 ml ont été détectés alors que les normes de l’OMS sont de 10 UFC/100 ml. Ces eaux ne présentent donc pas un danger bactériologique et sont bonnes pour la consommation.

Tableau IV 5: Valeurs des coliformes totaux et fécaux

Forages	Coliforme totaux	Coliforme fécaux	Unité
Boye	0	0	UFC/ 100 ml
Dalli	3	0	UFC/100 ml
Yachi	0	0	UFC/100 ml
Gueza	0	0	UFC/100 ml
Tounfafiram	0	0	UFC/100 ml
Hallali	0	0	UFC/100 ml

#### V.4. Comparaison des éléments chimiques des eaux aux normes de l'OMS (2006) et Algériennes (2009)

Pour mieux assurer la qualité des eaux de la nappe du CI/H et son aptitude à la consommation, les teneurs maximales et minimales des paramètres chimiques sont comparées aux normes de potabilité de l'OMS (2006) ainsi qu'aux normes algérienne (2009) (tableau IV-6).

On peut déduire de cette comparaison que les eaux de la nappe du Continental Intercalaire au Nord de la région de Zinder respectent les normes de potabilité de l'OMS et les normes Algériennes.

Tableau IV 6: Récapitulatif des teneurs et comparaison aux normes de l'OMS et normes algériennes

Paramètres	Unité	Norme OMS ( référence au Niger)	Norme Algérienne (2009)	Teneur des éléments minimales et maximales
pH	-	6,5 - 8,5	6,5 – 9	6,93 – 9,20
Conductivité	µs/cm	1500 : c'est indicatif	2800	87 – 406
TH	°f	<50	50	0,9 – 9,85
Fer Total	mg/l	0,3 – 1	0,3	0,01 – 0,21
Calcium	mg/l	100	200	1,6 – 29,4
Magnésium	mg/l	50	150	1,2 – 5,52
Sodium	mg/l	250	200	1,8 – 70,62
Potassium	mg/l	12	15	1,2 – 4
Chlorures	mg/l	200	500	0,23 – 17,5
Sulfates	mg/l	400 jusqu'à 500	400	2 – 58
Nitrites	mg/l	0,3	0,2	0 – 1,15
Nitrates	mg/l	50	50	3,52 – 23,32
Fluorures	mg/l	1,5	1,5	0– 0,86

## VI. Aptitude des eaux à l'irrigation

### VI.1. Évaluation du risque de salinité

La méthode du taux d'absorption du sodium ou Sodium Absorption Ratio [SAR] donnée par le diagramme Riverside, peut être déterminée par la relation (3) (US Salinity Laboratory Staff, 1954)

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{1}{2}(\text{Ca} + \text{Mg})}} \quad (3)$$

SAR est l'indice de risque, et les teneurs en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  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 (tableau IV-7):

Tableau IV 7: Classification en fonction du SAR

SAR	Aptitude à 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)

Les résultats des calculs du SAR déterminés par la relation (3) sont regroupés dans le tableau IV-8.

Tableau IV 8: Valeurs des SAR calculées

NOM	SAR (mEq/l)
Boye	1,48
Dalli	3,98
Yachi	0,60
Gueza	0,65
Tounfāfiram	0,22
Hallali	0,77

Les SAR < 10 => une bonne aptitude à l'irrigation. Ces eaux ont un faible danger d'alcalinisation des sols et sont donc excellentes pour l'irrigation.

## VI.2. Diagramme de Riverside

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 est de représenter les échantillons sur le diagramme de Riverside afin de faciliter la caractérisation des eaux en fonction de leur aptitude à l'irrigation.

Les eaux étudiées ont un pouvoir d'alcalinisation faible et sont donc très bonne pour l'irrigation (figure IV-13)

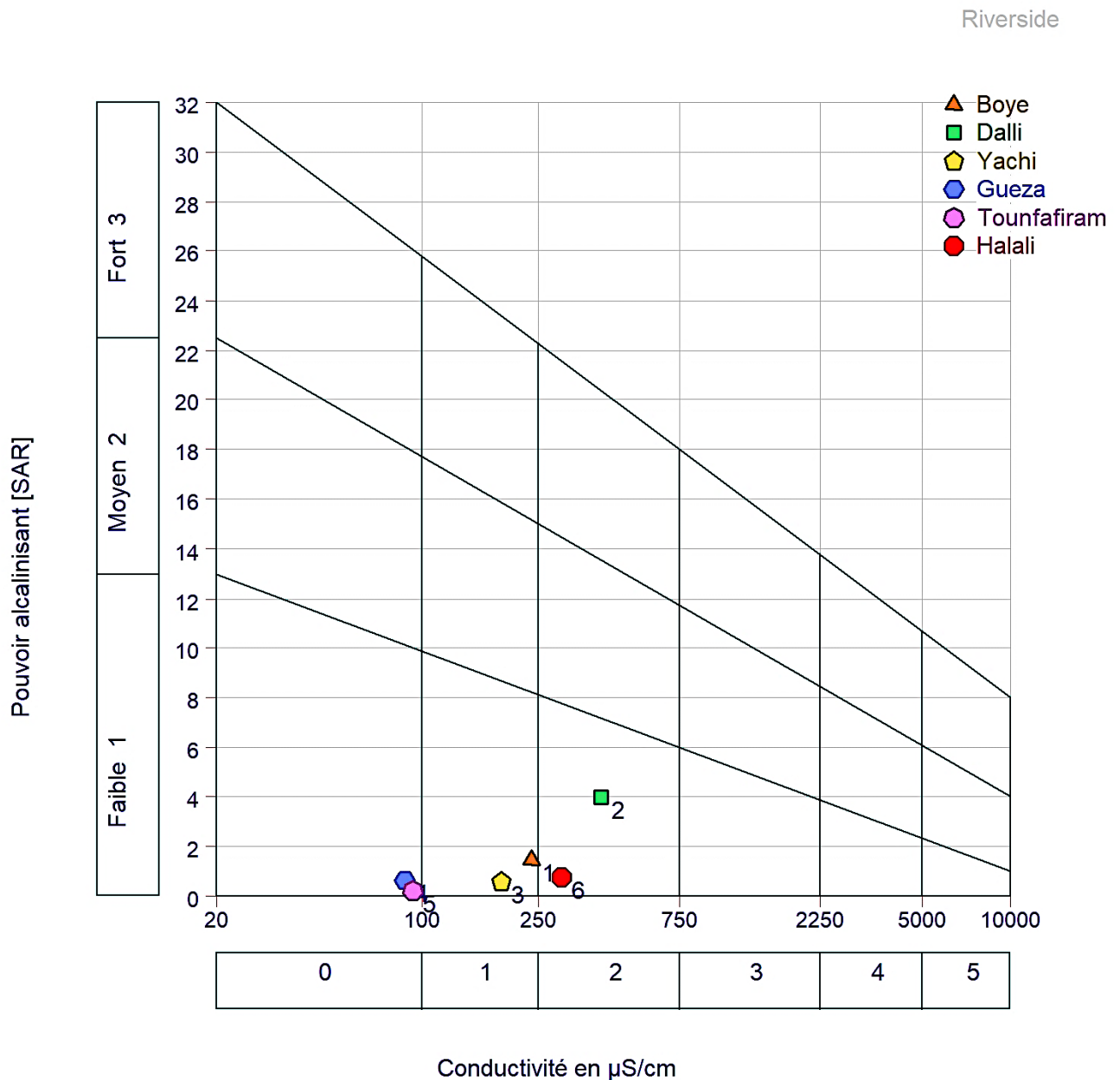


Figure IV 13: Représentation graphique des eaux du CI sur le diagramme de Riverside

### VI.3. Diagramme de Wilcox

Permet d'évaluer les risques de salinisation des sols afin de mettre en valeur l'aptitude des eaux à l'irrigation, Ces eaux sont excellentes (figure IV-14)

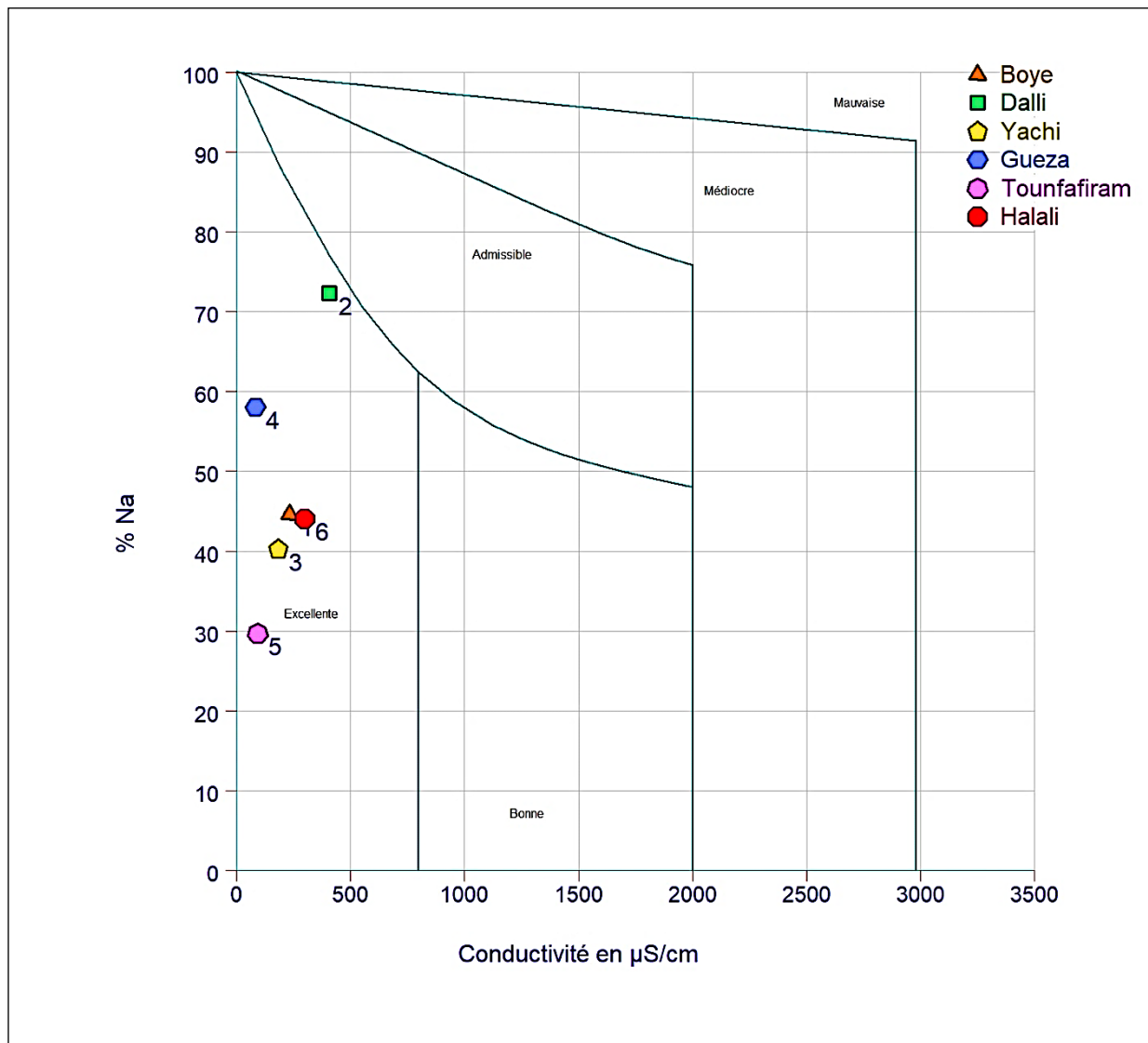


Figure IV 14: Représentation graphique des eaux du CI sur le diagramme de Wilcox

### VI.4. La pression partielle du CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>)

Les valeurs de la pression partielle du CO<sub>2</sub> permettent de déterminer la nature de la nappe et la provenance de l'eau en fonction du CO<sub>2</sub>, de l'atmosphère, du sol et du sous-sol.

La valeur du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est de  $3,4 \cdot 10^{-4}$  atm et de 0,1 atm dans le sol.

L'utilisation du logiciel Diagramme a permis de déterminer la pression partielle du CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) au niveau de chaque forage dont les valeurs sont regroupées dans le tableau IV-9.

Tableau IV 9: Valeurs des pCO<sub>2</sub>

<b>Forages</b>	<b>pCO<sub>2</sub> (atm)</b>
Boye	8.10 <sup>-4</sup>
Dalli	1.10 <sup>-4</sup>
Yachi	3.10 <sup>-3</sup>
Gueza	1,70.10 <sup>-3</sup>
Tounfafiram	1,23.10 <sup>-3</sup>
Hallali	3,2.10 <sup>-4</sup>

Les valeurs de pCO<sub>2</sub> de eaux étudiées sont proches de celle de l'atmosphère. Cette approximation place la nappe du CI (dans la zone d'étude) dans le système ouvert définie par Dever L.,( 1985). On peut alors déduire que la nappe du CI est libre à partiellement libre par endroits.



## CONCLUSION GENERALE

---

La région d'étude est située dans le bassin des Illemeden. Ce dernier, connu par ses formations sédimentaires perméables, renferme la nappe du Continental Intercalaire/Continental Hamadien, qui représente un vaste réservoir d'eau douce.

La nappe du CI/H est constituée de formations sableuses et argileuses, de grès, de grès argileux et d'argiles.

La conductivité varie de 87 à 405  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Ces eaux sont donc faiblement minéralisées avec une prédominance du faciès bicarbonaté calcique et magnésien, et ne présentent aucune pollution bactériologique.

Les éléments indésirables tels que le nitrate ou le nitrite, sources de pollution anthropique, ont été détecté avec des teneurs largement en dessous de la norme de l'OMS et des normes algériennes.

Les teneurs en Fluor, bien que faibles, sont liés aux formations argileuses.

En conclusion, les eaux du Continental Intercalaire peuvent être considérées comme de très bonne qualité aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour l'irrigation.

## RECOMMANDATIONS

---

La réalisation des forages au niveau du Continental Intercalaire dans la région de Zinder doit prendre en compte les captages profonds dans les formations argileuses afin d'éviter toute forme de pollution naturelle, notamment au fluor.

Afin de préserver la qualité des eaux de la nappe étudiée, il faut veiller à réduire toute activité pouvant être source de contamination anthropique.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Black R., (1966).** Sur l'existence d'une orogénie riphéenne en Afrique occidentale. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 262, sér. D, 1046-1049
- Boukari M., (2019)** Hydrochimie et Potabilité des eaux des nappes libres du Dallol Bosso (Alluvions et Continental Terminal CT3) : Régions de Birnie et Falmey (NIGER). Mémoire université Oran 2.
- Castany G., (1983).** Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. éd. Paris : Dunod, 236 p.
- CNEDD., (2009).** Carte des zones climatiques du Niger, conseil de l'Environnement pour un développement durable CNEDD.
- Dever L., (1985).** Approche chimique et isotopiques des interactions fluides matrices en zone non saturée carbonaté. Th. Doct. Univ. Paris 11, 196 p
- Faure H. (1966).** Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post paléozoïque du Niger oriental, Edition BRGM ;
- 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.
- Garba M., (2018).** Rapport technique de forage de boye. Cetic-consult.
- GREIGERT J. (1978)** Atlas des eaux souterraines de la République du Niger. Etat des connaissances, rapport BRGM, 79 AGE001, Orléans, France
- Greigert, J., Pougnet, R. (1965).** Carte géologique de la république du Niger 1:2 000 000. BRGM éd. Paris, France.
- Guero A. (2003).** Etude des relations hydrauliques entre les différentes nappes du complexe sédimentaire de la bordure Sud-Ouest du bassin des Iullemeden (Niger) : approches géochimique et hydrodynamique. Thèse de doctorat Université Paris Sud 11, Orsay, 265 pages.
- Hassane Saley A., (2018).** Évaluation des ressources en eau de l'aquifère du Continental Intercalaire/Hamadien de la Région de Tahoua (bassin des Iullemeden, Niger) : impacts climatiques et anthropiques. Géochimie. Université Paris Saclay (COMUE); Université de Niamey.
- Kuicha et al., (2013).** l'Hydrochimie et l'isotope de l'environnement à la connaissance des ressources en eaux souterraines de yaoundé.
- Laboratoires d'analyses DRH/ ZINDER., (2019).** Analyses chimiques et bactériologiques des échantillons de dalli, kouyewa, kollala, gueza, tounfafiram, yachi et hallali.
- Maina A., (2018).** Rapport technique de forage profond de dalli. Cetic-consult.
- Maina A., (2018).** Rapport technique de forage profond de kollala. Cetic-consult.
- Maina A., (2018).** Rapport technique de forage profond de tarfass. Cetic-consult.
- Maina A., (2019).** Rapport technique de forage profond de kandilwa. Cetic-consult.

**MALAM SOULEY B., (2012).** Carte administrative de la région de Zinder. Fond cartographique de l'Institut Géographique National du Niger IGNN.

**Ministère de l'Hydraulique., (2009).** Etude des possibilités d'intégrer les forages à faible cout au dispositif d'alimentation en eau des communautés rurales au Niger. Rapport final-2009.

**OSS., (2005).** Ressources en eau et gestion des aquifères transfrontaliers de l'Afrique du nord et du sahel. Observatoire du Sahara et du sahel. IHP-IV series on grouwndwater N°11.

**OSS., (2011).** Système Aquifère d'Iullemeden Tome III, observatoire du Sahara et du sahel.

**Ousmane B. (1978)** Contribution à l'étude hydrogéologique de socle du Sahel : l'hydrogéologie de Damagaram Occidental (environs de Zinder Niger), Thèse de 3ème USTL, Montpellier ;

**Ousmane B. (1988)** Etude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahéenne du Niger (Liptako, Sud Maradi et Zinder Est), Thèse de doctorat d'état, Université de Niamey. 175 pages ;

**Rabe S., (2011).** État de la connaissance et de la gestion des eaux souterraines au Niger. Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement Direction Générale de l'Hydraulique Direction des Ressources en eau.

**RAF/7/011., (2017).** Gestion intégrée et durable des systèmes aquifères et des bassins partagés de la région du Sahel. Rapport du projet régional de coopération technique appuyé par l'AIEA

**Rocci G., (1965).** Essai d'interprétation de mesures géochronologiques. La structure de l'Ouest Africain. Coll. Int. Géochronol., Nancy. Sci.Terre, X, 461-478.

**Salmanou S., (2018).** Evaluation des ressources en eau dans la Commune rurale de Droum, haut bassin versant de la Korama/Région de Zinder. Thèse Université de Abdou moumouni faculté des sciences techniques.

**Sandao I et al., (2019).** Teneur en Fluor dans les eaux souterraines et ses impacts dans l'alimentation en eau des populations du Nord-Ouest de la Région de Zinder, Niger; AFRIQUE SCIENCE 15(5) (2019) 348.

**Sandao I., (2010)** Contribution à la connaissance de l'état actuel des ressources en eau du bassin de la Korama : Sud de la Région de Zinder, mémoire de DEA, Université de Niamey, (2010) 96 pages.

**Sandao I., (2013)** Etudes Hydrodynamique, Hydrochimique et Isotopique des eaux souterraines du bassin versant de la Korama / Sud Zinder, Niger : Impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques. Thèse Université de Abdou moumouni faculté des sciences techniques.

**Sandao I., Tawaye A., (2016).** Quelles ressources et quels enjeux pour la gestion de l'eau au Niger. Ministère de l'hydraulique et de l'assainissement, conférences sur l'eau –Ps-RESACOOOP, LYON 2016.

**Seguin, 2008 ET Margat, 2008, 2014.** *Géosciences \_LA REVUE DU BRGM POUR UNE TERRE DURABLE*, p 62.

**Seydou N., (2019).** Rapport technique de forage profond de dan-barko. Cetic-consult.

**Seydou N., (2019).** Rapport technique de forage profond de watantagai. Cetic-consult.

**Urvoy Y., (1936).** Structure et modelé du Soudan français (Colonie du Niger). In: Annales de Géographie, t. 45, n°253, 1936. pp. 19-49.

## Annexe

Tableau des analyses chimiques

Paramètres	Boye	Dalli	Yachi	Gueza	Tounfafiram	Hallali
Ca (mg/l)	29,4	16	10	1,6	2,4	8,4
Mg (mg/l)	5,52	4,8	1,2	1,2	1,68	1,94
Na (mg/l)	33,3	70,62	7,5	4,5	1,8	9,5
K (mg/l)	4	2	3	2	1,2	1,6
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	136,6	158,6	25,01	12,81	10,37	42,09
SO <sub>4</sub> (mg/l)	15	58	9	2	3	7
Cl (mg/l)	4,42	17,5	1,27	0,69	0,23	3,28
CO <sub>3</sub> (mg/l)	38,5	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> (mg/l)	4,42	3,52	23,32	11	6,16	7,48
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0	0,013	0,099	0	0	0,078
FeT (mg/l)	0,01	0,03	0,05	0,21	0,15	0,13
F (mg/l)	0,86	0,85	0,24	0,2	0,23	0,18
pH	8,28	9,2	6,95	6,93	6,98	8,15
COND(μs/cm)	235	406	185	87	93	298
T(°C)	28	28,8	24,3	27,9	28,1	24,6
TH (Mg/l)	98,5	60	30	9	13	29

Valeurs des ions majeurs en mEq/l

Paramètres	Boye	Dalli	Yachi	Gueza	Tounfafiram	Hallali
Ca	1,47	0,80	0,5	0,08	0,12	0,42
Mg	0,45	0,39	0,10	0,10	0,14	0,16
Na	1,45	3,07	0,33	0,20	0,08	0,41
K	0,10	0,05	0,08	0,05	0,03	0,04
HCO <sub>3</sub>	2,24	2,60	0,41	0,21	0,17	0,69
SO <sub>4</sub>	0,31	1,21	0,19	0,04	0,06	0,15
Cl	0,12	0,49	0,04	0,02	0,01	0,09