

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des sciences appliquées**

**Département Hydraulique et Génie Civil**



**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Hydraulique

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydriques

**Présenté par :**

**KRABA SALAH**

**Etude hydro chimique des eaux de la nappe  
alluvionnaire de Immihrou et Oued Semmen  
et les Gueltas de Tassili n'Ajjer**

**Soutenu publiquement :**

Le : 06/07/2019

**Devant le jury :**

**Mr. BOUAMRANE ALI**

**M.C.B**

**Président**

**UKM Ouargla**

**Mr. DERDOUS OUSSAMA**

**M.A.A**

**Examineur**

**UKM Ouargla**

**Année Universitaire : 2018 /2019**

# REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour achever ce modeste travail.

Je tiens aussi à adresser mes sincères remerciements à monsieur Hacini Messaoud qui m'a fait confiance en me proposant ce sujet intéressant, je le remercie pour m'avoir guidé pendant sa réalisation, pour toutes les connaissances en Hydrogéologie qu'il m'a transmises, pour sa sagesse et sa bonté.

Mes remerciements vont également à messieurs le président et les membres de jury.

J'adresse mes remerciements, également à monsieur HAZIL Sadek, pour son soutien durant tout

Enfin, Je tiens à remercier tous les professeurs et étudiants du département d'hydraulique de l'université de Ouargla, ainsi que tous les fonctionnaires de la DRE, de la subdivision de l'hydraulique et de la wilaya d'Illizi et Ouargla.

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect :*

- *A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard;*
- *A ma Chère femme et mes adorables enfants ; AYOUB, IMEN, MERYEM, ALLA .*
- *A mes frères ET mes sœurs*
- *A toute la famille KRABA;*
- *A mes amies*
- *A mes camarades de classe.*

KRABA Salah

## Liste des tableaux

Tab I.1 : espèces non domestiques protégées (OPNT ILLIZI.....	5
Tableau I.2: Moyennes mensuelles de l'évaporation (1990_1999). ....	10
Tableau I.3: Moyennes mensuelles de l'insolation (1990-1999) .....	13
Tableau I.4 : Autres phénomènes climatiques.....	13
Tab. I.5 : Nomenclature des formations du Paléozoïque du Sahara oriental .....	18
Tableau III.1: Les principales ressources en eau .....	42
Tableau III.2 : Caractéristiques des stations de prélèvement .....	51
Tableau III.3. Paramètres physico-chimiques et organoleptiques des eaux .....	52
Tableau III.4 : Normes de potabilité des eaux.....	65



## Liste des figures

Fig I.1. Localisation géographique Le Parc National Culturel du Tassili N'Ajjer.....	2
Fig I.2. Localisation géographique Le Parc National Culturel du Tassili N'Ajjer.....	3
Fig . I.3 : Températures (moyennes, minimales, maximales) annuelles (2008_2018).....	9
Fig. I.4 : Moyennes mensuelles de l'évaporation (1990_1999).....	10
Fig. I.5 : Précipitation moyennes annuelles (2008_2018).....	11
Fig I.6: la vitesse des vents moyens annuels (2008_2018) .....	12
Fig.I.7: moyennes mensuelles de l'insolation (1990_1999)...	13
Fig.I.8 : Carte géologique régionale.....	15
Fig I.9. Carte géologique du bassin d'Illizi.....	16
Fig I.10. Carte géologique du bassin d'Illizi(Etude d'un barrage inféro-flux à Djanet Mission II : Etude Géologique) ENHYD ALGER .....	17
(Fig I.11) : Coupe géologique du bassin d'Illizi (Sonatrach /exploration).....	22
Fig III.12. Colonne stratigraphique type du bassin d'Illizi (Sonatrach /2007).....	23
Fig I.13 Carte structurale de la région mémoire de fin d'étude ING d'état thème. les ressource hydrique de la willaya illizi(2011) .....	25
Fig I. 14. Schéma structural du bassin d'Illizi (Sonatrach/exploration).....	27
Fig II.2 : Le GPS 9.0.183 PRO apk For Android du portable.....	33
Fig III.A.1: La disposition des nappes dans le bassin d'Illizi.....	34
Fig III.A.2. Carte piézométrique de la nappe du dévonien inférieur.....	43
Fig III.A3 : Mode de fonctionnement d'un Gueltas dans le Tassili n'Ajjer.....	44
Fig III.A.4 : Gueltet Essendilène.....	45
Fig III.A.5 : Gueltet Ihrir.....	46
Fig III.A.6 : Gueltet Fadhenounne.....	47
Fig III.A7 : Gueltet Tamadjert.....	48
Fig III.A.8.1 : Gueltet Ifni.....	48
Fig III.A.8.2 : Gueltet Ifni .....	49
Fig III.A.9: Gueltet Aharhar .....	49
Fig III.1. : Variation du pH.....	53
Fig III.1.1 : Variation du Ph des Gueltas.....	53
Fig III.2.: Variation de la conductivité électrique des eaux infero-flux .....	54
Fig III.2.1: Variation de la conductivité électrique des eaux des Gueltas.....	54
Fig III.3: Classification de Oeud Immihrou selon Piper.....	59
Fig III.3.1: Classification de Oeud Semmen selon Piper.....	60
Fig III.4 : classification des eaux des Gueltas du Tassili n'Ajjer selon Piper des.....	61
Fig III.5 : Classification de Oeud Immihrou selon schoëller-berkaloff.....	62
Fig III.5.1: Classification de Oeud Semmen selon schoëller-berkaloff.....	64
Fig III.6 : Classification des Geltas de Tassili n'Ajjer selon schoëller-berkaloff.....	65

## Sommaire

<b>I CONTEXTE GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>I.1. Géographie .....</b>	<b>2</b>
<b>I.2 Géomorphologie .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2.1 Le relief dunaire, .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.2 Le relief de plateau .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.3Le relief de plaine.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3 La faune.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3.1 Poissons .....</b>	<b>5</b>
<b>I.3.2. Amphibiens.....</b>	<b>5</b>
<b>I.3.3.Reptiles.....</b>	<b>5</b>
<b>I.3.4.Mammifères.....</b>	<b>5</b>
<b>I.3.5. Oiseaux.....</b>	<b>5</b>
<b>I.3.6 - Espèces protégées.....</b>	<b>6</b>
<b>I.4-La flore.....</b>	<b>6</b>
<b>I.5 Economie général de Tassili.....</b>	<b>7</b>
<b>II. Climatologique.....</b>	<b>8</b>
<b>1: La Température .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Evaporation.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Précipitation .....</b>	<b>10</b>
<b>4. L'écoulement .....</b>	<b>11</b>
<b>5. Les vents .....</b>	<b>11</b>
<b>6. Insolation .....</b>	<b>12</b>
<b>7. Humidité relative .....</b>	<b>13</b>
<b>8. Autres phénomènes climatiques .....</b>	<b>13</b>
<b>9. La couverture végétale .....</b>	<b>13</b>
<b>III GEOLOGIE.....</b>	<b>14</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>14</b>
<b>1 Géologie régionale.....</b>	<b>14</b>
<b>2 Géologie locale.....</b>	<b>15</b>
<b>2-1 Le socle cristallin.....</b>	<b>15</b>
<b>2-2 La couverture sédimentaire.....</b>	<b>16</b>
<b>3 Litho stratigraphie du bassin d'Ilizi.....</b>	<b>17</b>
<b>3-1 Le Cambrien.....</b>	<b>18</b>
<b>3-1-1 L'unité I.....</b>	<b>19</b>
<b>3-1-2 L'unité II.....</b>	<b>19</b>
<b>3-2 Ordovicien.....</b>	<b>19</b>
<b>3-2-1 L'unité III-1.....</b>	<b>20</b>
<b>3-2-2 L'unité III-2.....</b>	<b>20</b>
<b>3-2-3 L'unité III-3.....</b>	<b>20</b>
<b>3-2-4 L'unité IV.....</b>	<b>20</b>
<b>3-2-4-1 L'unité IV-2.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.4.2 L'unité IV-3.....</b>	<b>20</b>
<b>3-3 Le Silurien.....</b>	<b>20</b>
<b>3-4 Le Dévonien.....</b>	<b>21</b>
<b>4 Structure et Tectonique.....</b>	<b>23</b>
<b>5 Les principaux éléments structuraux du bassin d'Ilizi.....</b>	<b>24</b>
<b>6 Evolution géodynamique du Tassili n'Ajjer.....</b>	<b>27</b>
<b>7 La phase panafricaine.....</b>	<b>28</b>
<b>7-1 La phase tectonique.....</b>	<b>28</b>
<b>7-2 La phase calédonienne.....</b>	<b>29</b>
<b>7-3 La phase frasnienne.....</b>	<b>29</b>

8 Evénements tectoniques du cycle hercynien.....	29
8-1. La phase N 40° d'âge Viséen.....	30
8-2 La phase N 120° d'âge Permien .....	30
CONCLUSION .....	30
Chapitre : II .....	31
MOYENS ET METHODES.....	31
II MOYENS ET METHODES.....	32
1. Principes théoriques.....	32
2. Échantillonnage.....	32
3. Analyses physico-chimiques.....	32
3.1 La Couleur.....	32
3.2 L'odeur et saveur.....	33
3.3 La température; la conductivité; le pH et le TDS:.....	33
3.4 Salinité.....	33
4. Positionnement des points d'eau d'échantillonnage.....	33
5. Dosage des éléments.....	34
5.1. Dosage des chlorures.....	34
5.1.1. Principe .....	34
5.1.2 Réactifs.....	34
5.1.3. Matériel.....	34
5.1.4 Mode opératoire.....	34
5.1.5 Calculs.....	35
5.2 Dosage de Na et K.....	35
5.2.1. Principe.....	35
5.2.2. Réactifs.....	35
5.2.3. Mode opératoire.....	35
5.2.4. Préparation des gammes d'étalonnage.....	35
5.2.5. Calculs.....	35
5.3. 1. Principe.....	35
5.3.2. Réactifs.....	36
5.3.3. Dosage.....	36
Etape I :.....	36
Etape II :.....	36
Etape III :.....	36
5.3.4. Calculs.....	36
5.4. Dosage de sulfates.....	37
5.4.1. Principe.....	37
5.4.2. Réactifs.....	37
5.4.3. Matériel.....	37
5.4.4. Mode opératoire.....	37
5.4.5. Calculs.....	38
5.5. Indicateur noir eirochrome.....	38
5.5.1 Préparation de l'indicateur.....	38
5.5.2 Conservation.....	38
Chapitre : III.....	39
RESULTATS ET DUSCUSSIONS.....	39
RESULTATS ET DUSCUSSIONS.....	40
III HYDROGEOLOGIE.....	40
Introduction.....	40
2. La nappe du Dévonien inférieur.....	40
3. La nappe d'Inféro-Flux (Alluviale) de l'Oued Djanet.....	40
4. La nappe d'Inféro-Flux d'Oued Illizi.....	41
5. La nappe d'Inféro-Flux (Alluviale) de l'Oued AFRA.....	41

6. La nappe d'Inféro-Flux de Bordj El Haoues.....	41
7. La nappe alluviale d'Inféro-flux de l'Oued d'Ihrir.....	41
8. La nappe de l'Inféro-Flux (Alluviale) de l'Oued Sa.men.....	42
9 : La piézométrie de la nappe du Dévonien inférieur.....	43
10. Les Gueltas.....	44
10.1. L'alimentation:.....	44
10.2. Types de Gueltas.....	45
10.2.1 Gueltas pérennes.....	45
10.2.2 Gueltas temporaires.....	45
11. Les Gueltas les plus importantes du tassili n'Ajjer.....	46
11.1.Guelta d'Essendilène.....	46
11.2. Gueltet Ihrir.....	47
11.3. Gueltet Fadhenounne.....	47
11.4. Gueltet Tamadjert.....	48
11.5 Gueltet Ifni.....	48
11.6. Gueltet Aharhar.....	49
Conclusion.....	50
<b>III HYDROCHIMIE.....</b>	<b>51</b>
Introduction.....	52
-chimiques.....	52
2 Odeur et saveur.....	52
3 Potentiel d'hydrogène PH.....	52
4. Conductivité électrique.....	53
5. Les Cations.....	54
5.1. Le Calcium (Ca).....	54
5.2. Le Magnésium (Mg).....	55
5.3. Le Sodium (Na).....	55
5.4. Le Potassium (K).....	55
6. Les Anions.....	56
6.1. Les Chlorures (Cl).....	56
6.2 Les Sulfates (SO4).....	56
6.3. Les Bicarbonates :.....	56
6.4. Balances ioniques :.....	56
7. Le faciès chimique.....	57
7.1 Outils d'analyse.....	57
7.2 Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.).....	57
7.3 Classification des eaux.....	57
7.4 Diagramme de piper.....	57
8 Diagramme de schoëller-berkaloff.....	61
9. Potabilité des eaux.....	64

## Introduction

L'eau source de la vie et de développement, compte parmi les richesses naturelles les plus précieuses, ayant une importance considérable pour le développement social et économique des pays.

L'expansion démographique et l'élévation du niveau de vie ont engendré une demande sans cesse de l'eau.

Cette situation alarmante, illustre parfaitement l'absence d'une maîtrise organisationnelle de distribution et de disponibilité en eau de bonne qualité. L'accroissement rapide de l'utilisation de ces ressources en eau sans une politique de planification et de gestion a créé des situations graves, pouvant avoir des conséquences préjudiciables et irréversibles sur le milieu.

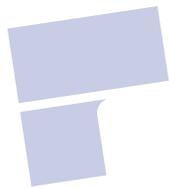
Le respect d'une gestion en eau cohérente et rigoureuse est la seule manière de préserver cette précieuse ressource, qui est dans une grande partie du Sahara est vulnérable et très faiblement renouvelable. (Fossile)

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays (TRAVI, 1993)

Pour le Tassili n'Ajjer, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines. Nappe de cambro-ordovicien, dévonien inférieur, la nappe alluvionnaire des oueds et les eaux de surface dit les Gueltas à travers la zone d'étude

Par le baie de cette étude consacre a mettre en lumière les potentialités aquifères dont dispose le tassili n'Ajjer (Wilaya d'Illizi) , leurs emplacements ( nappe inféro-flux et les Gueltas) , leurs qualités (étude hydro-chimique) , et évidemment l'exploitation et gestion de ces ressources négligées.

*Chapitre : I*  
**CONTEXTE GENERAL**

 pdfelement

# I Géographie

## I.1. Géographie

Le tassili n'Ajjer est un massif montagneux situé au sud-est de l'Algérie, haut plateau aride constitué de grès, à plus de 1000 m d'altitude et s'étendant au centre du Sahara sur 50 à 60 Km d'Est en Ouest, et sur 800 Km du Nord au Sud, soit une superficie de près de 120.000 Km<sup>2</sup> (fig I.1).

Elle est située à l'extrême sud-est du pays. Elle fait partie du vaste ensemble appelé Bas Sahara. Elle est comprise entre 24° 33' et 30°34 de latitude Nord et 9° 29' et 12°00 de longitude Est. Elle est une zone frontalière,



**Figure I.1. Localisation géographique (Parc National Culturel du Tassili N'Ajjer)**

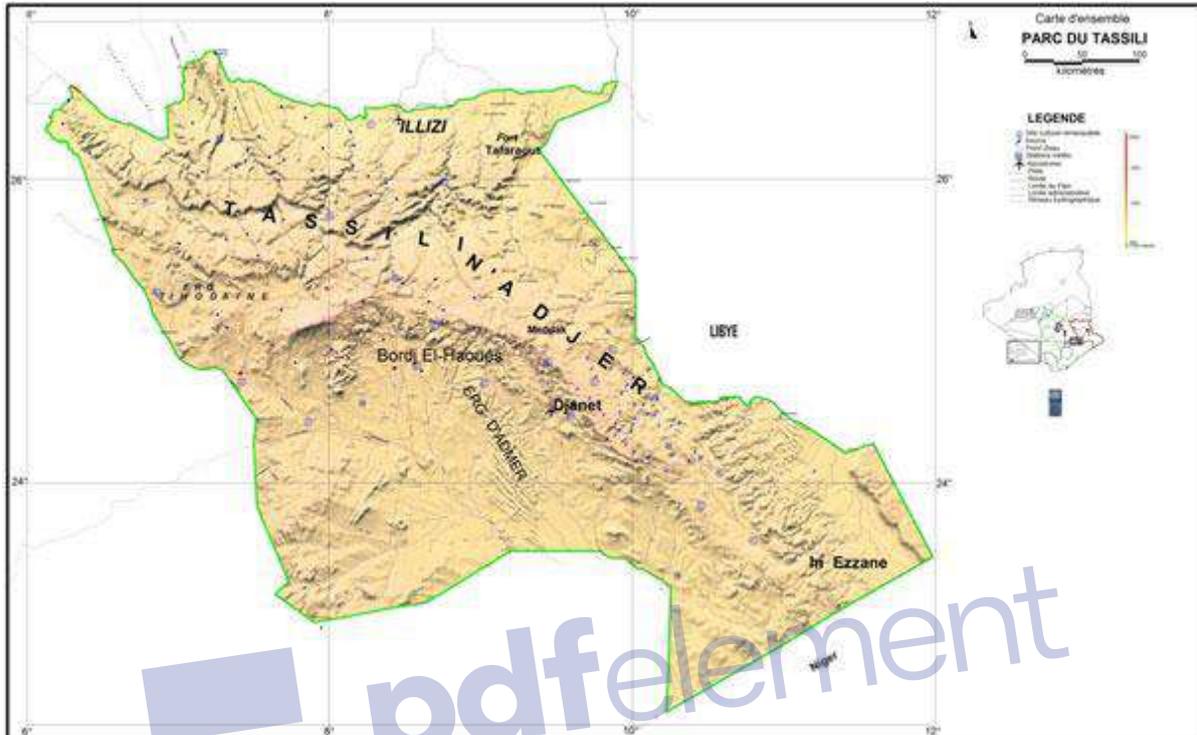
Géographiquement, le Tassili n'Ajjer est un immense plateau, occupe une position stratégique, elle est limitrophe (fig I.2) avec deux pays sur une frontière de près de 1219 Km :

- ❖ La Libye à l'Est sur près de 1006 Km ;
- ❖ Le Niger au Sud sur près de 213 Km.

A l'intérieur du pays, le Tassili n'Ajjer est limitée par :

La wilaya de Tamanrasset à l'Ouest et Sud-Ouest ;

- ❖ La commune de B.O.D au Nord-Ouest et ;
- ❖ La commune d'Illizi au Nord.



**Figure I.2 : Localisation géographique (Parc National Culturel du Tassili N'Ajjer)**

Sa population résidente estimée au 31/12/2010 est de 57 100 Habitants et cette dernière est en majorité agglomérée (agglomérations chef-lieu de communes), soit 59% de la population totale de la wilaya. Les chefs lieu des communes d'Illizi (CLW) et Djanet comptent une population de 23 116 habitants, soit 40.48 % de la population totale de la wilaya. [1]

## I.2 Géomorphologie

La morphologie de la région est très accidentée, notamment la zone des Tassilis qui présente des escarpements montagneux culminant à plus de 1400 mètres.

Le Tassili n'Ajjer est caractérisée par une morphologie assez contraste, avec des zones totalement planes paysage de hamadas et regs et des zones à reliefs accidentés représentant les ergs et les escarpements montagneux.

Dans son cadre régional, on distingue 03 principales formes géographiques caractérisant le territoire de Tassili, à savoir :

- Relief dunaire ;
- Relief de plateau ;
- Relief de plaine;

**I.2.1 Le relief dunaire**, où l'on peut le voir en trois endroits différents, au nord le grand erg oriental composé de dunes de sables pouvant atteindre les *200 mètres* de hauteur couvrant la plus grande partie Nord (*Bordj Omar Driss*). Au centre, ce sont les ergs Issaouane-Irarren, Issaouane-Tifernine et Erg Bourarhet. Au sud-ouest, l'erg d'Admer et l'erg Tihodaine.

- Les monts du Tinghert ;
- Les monts de l'Ajjer.

Dans son cadre régional, on distingue les entités géomorphologiques suivantes :

- L'erg Essaouane ;
- Les monts du Tinghert ;

Les monts de l'Ajjer Il est le plus gros massif volcanique de l'Ajjer et culmine à 2158 m au mont Azaou. Les basaltes de ce dernier recouvrent une partie des grès du Tassili interne. Dans cette région, le socle atteint près de 2000 m d'altitude.

### **I.2.2 Le relief de plateau**

Au Nord, la hamada de Tihert de direction Sud-Ouest / Nord-Est ,

Au sud, le TASSILI N'AJJER où est localisé le plateau de Feddenoun. Les altitudes sont assez élevées et dépassent 1500 mètres.

### **I.2.3 Le relief de plaine**

Il couvre une infime portion de la partie sud, C'est la plaine d'Admer, située entre les communes de Bordj El Haoues et Djanet.

## **II. Environnement**

### **I.3 La faune**

Une mise à jour de l'inventaire des vertébrés actuels du Tassili a été essentiellement réalisée par le BERRE (1989), cette mise à jour a été complétée par les universitaires algériens engagés dans le cadre du projet "Conservation et utilisation durable de la diversité biologique d'importance mondiale dans les parcs du Tassili et de l'Ahaggar" en 2000.

### I.3.1 Poissons

Généralement identifiés dans les Gueltas, surtout dans les sites d'Ihrir et Immihrou, relique d'un passé humide : *Barbus déserté*, *Barbus biscarensis*, *Clriasgarienpinus*, *Gambusia affinis* (espèce introduite) et *Tilapia zillii*.

### I.3.2. Amphibiens

On connaît cinq espèces dont deux sont seulement signalées, ils sont inféodés aux milieux humides et traduisent par leur présence la qualité biologique des milieux fréquentés : *Ranaridibunda*, *Phychadena mascaraniensis*, *Bufo regularis*, *Bufo mauritanicus* et *Bufo viridis*.

### I.3.3.Reptiles

Il s'agit d'un groupe mal connu au Tassili en raison de leur caractère très furtif vingt une espèces sont réparties en huit ordres : *Crocodyl usnilotus* (crocodile du Nil) disparu du Tassili en 1924, *Cérastes*, *Cerastesvipera*, *Psammophissibilans*, *Malpolonmoilensis*, *Lytorhynchusdiadema*, *Coluberrhodorachis*, *Chalcidesocellatus*, *Scincusscincus*, *Varanusgriseus*, *Mesalinarubropunctale*, *Acanthodactylussp.* *Agama imperialis*, *Agama mutabilis*, *Uromastix acanthinurus*, *Ptydactylushasselquisti*, *Stenodactylusstenodactylus*, *Tarentolaephippiata*, *Tropicolotesstudneri*.

### I.3.4.Mammifères

Répartis en **14** familles, **31** espèces. Les petits mammifères (**8** familles et **16** espèces) ne semblent pas en danger car peu exigeant pour leur alimentation, aucune de ces **16** espèces n'est mentionnée sur la liste rouge de l'**UICN**. [3]

Les Quinze (15) autres espèces de mammifères de grande et moyenne taille recensée dans le Tassili se répartissent comme suit :

Carnivores : 09 espèces (03 familles) dont 04 sur la liste rouge de l'UICN (*acinonyxjubatus*, *vulpes rueppelli*, *fennecuszerda* et *lycaon pictus*).

Herbivores : 07 espèces (03 familles) dont 05 sur la liste de l'UICN (*gazella dorcas*, *gazellaleptoceros*, *addax nasomaculatus*, *oryx gazella* et *ammostraguserbia*).

### I.3.5. Oiseaux

Un travail a été réalisé par dans le cadre du projet FEM/PNUD "Conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique d'intérêt mondial dans les parcs du Tassili et de l'Ahaggar". La liste publiée comporte 134 espèces (dont 41 espèces nicheuses du Tassili) pour 37 familles.

### I.3.6 - Espèces protégées

Les espèces protégées par le décret présidentiel N° 509-83 du 20/08/1983 et l'arrêté du 17/01/1995 complétant la liste des espèces non domestiques protégées, signalées dans le Tassili N'Ajjer sont les suivantes [4] :

**Tableau I.1:**

N°	Tamahaq	Français	Latin
01	<i>Izem</i>	<i>Oryx Al Ghazalle</i>	<i>Oryxgazella</i>
02	<i>Ahenkodh</i>	<i>Gazelle dorcas</i>	<i>Gazelladorcas</i>
03	<i>Akarouche</i>	<i>Chat des sables</i>	<i>Felis margarita</i>
04	<i>Imestar</i>	<i>Aigle royal</i>	<i>Aquila chrysaetos</i>
05	<i>Akaoka</i>	<i>Daman des rochers</i>	<i>Procaviacapensis</i>
06	<i>An'hill</i>	<i>Autruche d'Afrique Nord</i>	<i>Struthiocamelus</i>
07	<i>Akorhi</i>	<i>Fennec</i>	<i>Fennecuszerda</i>
08	<i>Tamaoulet</i>	<i>Bihoreau gris</i>	<i>Nycticoraxnycticorax</i>
09	<i>Emeterter</i>	<i>Agame variable</i>	<i>Agama mutabilis</i>
10	<i>Aguezzeram</i>	<i>Fouette queue</i>	<i>Uromastyxacanthinurus</i>
11	<i>Ebegui</i>	<i>Renard famélique</i>	<i>Vulpusrueppelli</i>
12	<i>Oudad</i>	<i>Mouflon à manchettes</i>	<i>Ammotraguslervia</i>
13	<i>Amellal</i>	<i>Addax</i>	<i>Addax nasomaculatus</i>
14	<i>Amaïs</i>	<i>Guépard</i>	<i>Acinonyxjubatus</i>

**Tab I.1 : espèces non domestiques protégées (OPNT ILLIZI)**

### I.4-La flore

La flore fait partie de la région botanique dite "Saharo-arabique" qui s'étend du Sahara Occidental jusqu'à la péninsule arabe. Cette région s'intercale entre la région méditerranéenne au Nord et Soudano-angolane (exclusivement tropicale) au Sud. La flore comprend donc pour l'essentiel des espèces propres au désert africain auxquelles s'ajoutent des éléments méditerranéens et tropicaux. Il s'agit souvent d'espèces méditerranéennes, saharo-sindiennes, saharo-angolanes. L'endémisme au Tassili est assez remarquable et le taux peut y être très élevé (50% environ selon Bousquet).

Les sites les plus remarquables du point de vue floristique sont :

- Les oueds: Oued Immihrou, l'oued Issendilen, oued Tarat, oued Semmen, oued Takhmelt, oued Djerat.
- Les zones de pâturage : Dider, Oued Tarat.
- Les gueltas : Issendilène, Ihrir, Imihrou, Djerat, IfniAharhar, Tamadjert..Etc.

### II.3 Les zones humides:

Les fonds de vallées constituent encore des zones humides mais la plus remarquable est la région d'Ihrir (classée le 02/02/2001 comme zone humide d'intérêt mondial pour 3.600 hectares (1) sur la liste de la convention sur les zones humides de "Ramsar") avec des gueltas fossiles, permanentes toutes l'année, avec une diversité biologique très peu connue nécessitant des études poussées et de mesures de conservation spécifiques.

#### II.4 Parcs nationaux et réserves naturelles :

Le Parc National du Tassili N'Ajjer offre un éventail de richesses qu'il convient de conserver et de valoriser, les paysages, la faune, la flore ainsi que les sites archéologiques qu'il recèle sont considérés comme exceptionnels dans le Sahara.

Classé patrimoine de l'humanité par l'UNESCO en 1982 pour la richesse de ses monuments archéologiques puis en tant que réserve de la biosphère en 1986 dans le cadre du programme Man & Biosphère (MAB) pour une diversité biologique unique (Cyprès du Tassili, Guépard, mouflon à manchettes, etc...) dans le Sahara central.

Ces derniers temps les institutions internationales commencent à s'intéresser à ce Parc. Le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) via le PNUD vient de lancer un projet sur la "Conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique d'intérêt mondial dans les parcs du Tassili et de l'Ahaggar".[5]

#### I.5 Economie général de Tassili

Sa position géographique, son éloignement des grands centres industriels localisés au nord du pays, son climat désertique et son relief impraticable notamment la partie centre, sont les principales contraintes du développement économique de Tassili.

L'économie dans le Tassili n'Ajjer dépend essentiellement des approvisionnements en différents matériaux de construction et autres produits, cependant l'industrie d'exploitation des hydrocarbures par la SONATRACH au nord de Tassili et les activités artisanales diversifiées à caractère familial au niveau de la zone du *Tassili* et la commune de Bordj Omar Driss sont prédominantes.

L'agriculture à l'échelle de Tassili repose sur des programmes d'action de mise en valeur de petits périmètres agricoles, celle-ci constituera à moyen terme, la deuxième richesse vu les potentialités existantes en eau et disponibilité des terres.

Par l'évaluation et l'appréciation du niveau de développement économique de la wilaya, l'ensemble des communes de la wilaya sont classées zones à promouvoir. Ces dernières forment deux zones hétérogènes:

Zone Sud, s'identifie aux communes d'Illizi, Bordj El Houasse et Djanet et elle forme la Tassili, cette zone sud se caractérise par Un potentiel touristique et artisanal important.

- Une position frontalière stratégique.
- Un enclavement par rapport au reste de Tassili notamment les communes de Bordj El Houasse et Djanet.
- Un relief rocailleux et impraticable.

Les communes de Djanet et Bordj El Houasse recèlent de grandes potentialités touristiques dont le PARC NATIONAL du TASSILI classé patrimoine de renommée mondiale.

Au même titre que la zone nord, la zone sud ne compte aucune activité industrielle, les seules activités recensées au niveau de la commune de Djanet ne concernent que la PMI orientée au tourisme et à l'artisanat. [1]

## II. Climatologique

### Introduction

Le Tassili n'Ajjer a connu un bouleversement climatique marqué par une succession de phases humides et de phases arides (O.P.N.T., 2006).

Les phases humides sont attestées par un réseau hydrographique très développé, les gueltas, et par une flore de souche méditerranéenne et une grande faune qui l'accompagne. Alors que les phases arides sont caractérisées par des pluies rares et irrégulières, qui tombent souvent sous forme d'averses.

Les températures très contrastées et les vents fréquents, accentuent l'évaporation.

La situation géographique de sud de Tassili n'Ajjer (Djanet) lui confère un climat agréable en comparaison avec celui du Sahara central et la soumis à des influences tropicales (Dubief, 1999).

Cette sévérité du climat et en plus de la pluviosité quasi négligeable pendant l'année ajoutée en plus au relief très varié et très vaste, entraîne des répercussions sur la biodiversité du milieu. Il y a lieu de relever quelques particularités :

En 2001, une averse orageuse a causé la mort de trois personnes.

En 2004, la durée habituelle du vent de sable (habituellement de Mars à Mai) s'est prolongée jusqu'à fin Juin.

Il y a même neigé sur la région d'année (2004). Les quelques flocons de neige tombés n'ont duré qu'une nuit dans la région, tandis que sur les hauteurs de STAH et de OHANET, la neige est resté plus d'une journée.

En 2019, Le 31 mai 2019, la région a été frappée par un typhon accompagné de pluie, avec des perles froides tombant pour une durée de 13 min.

Notre étude climatologique a été basé sur les principaux paramètres climatiques suivants (température, précipitation, évaporation, pluviométrie, vents et insolation...).

### 1: La Température

La température est un facteur devient plus important quand il est en interaction avec d'autres facteurs climatiques. Ce facteur est important qui détermine le climat d'une région. Pour notre étude, il existe deux périodes distinctes allant de *Novembre à Mars* pour la période froide et de *Juin à Septembre* pour la saison chaude. (Fig. 01).

La température minimale est de 4°C tandis que la température maximale est de + 29°C.

Les nuits sont glaciales (froid sec) et les jours sont chauds avec des vents de sable particulièrement durant la période Février-Mars.

Le reste de l'année, c'est-à-dire: à partir de *Mai à Septembre*, c'est la période des grandes chaleurs avec une moyenne de température de +41°C et des pics allant jusqu'à + 47°C. (fig. I.3).

- Moyenne des maximales.....41°C
- Moyen ..... 5°C
- Maximum extrême .....55°C
- Minimum extrême..... -6°C

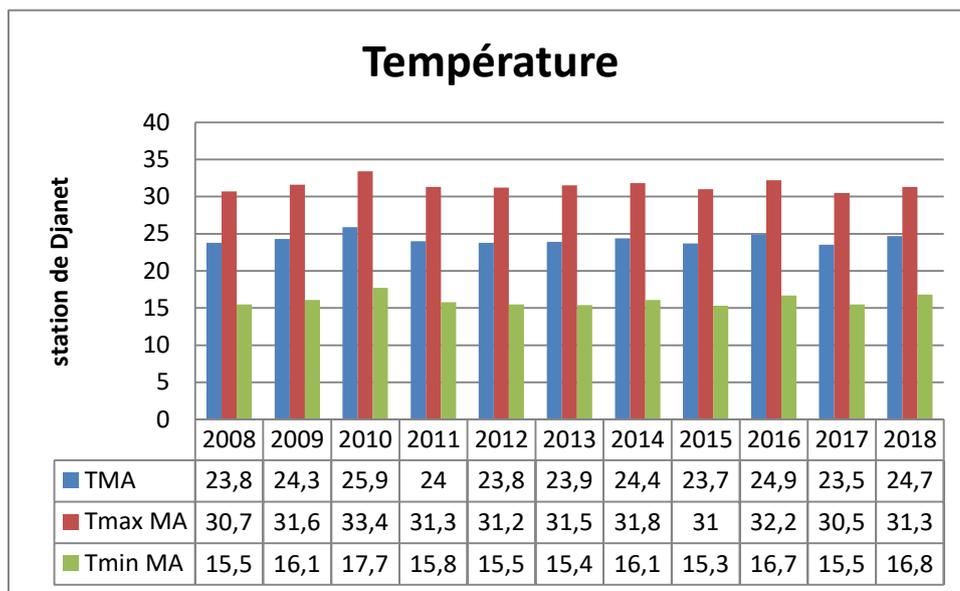


Fig. I.3 :Températures (moyennes, minimales, maximales) annuelles (2008\_2018) [8][9]

## 2. Evaporation

L'évaporation permet le retour de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur, elle dépend d'autres facteurs climatiques. Elle est très importante dans cette région et on distingue deux périodes: (fig.I.4)

En été, de Mai à Septembre avec un maximum de 646.6 mm au mois de Juillet.

En hiver et pendant la période froide, d'Octobre à Avril avec un minimum de 195.6 mm pour le mois de Décembre.

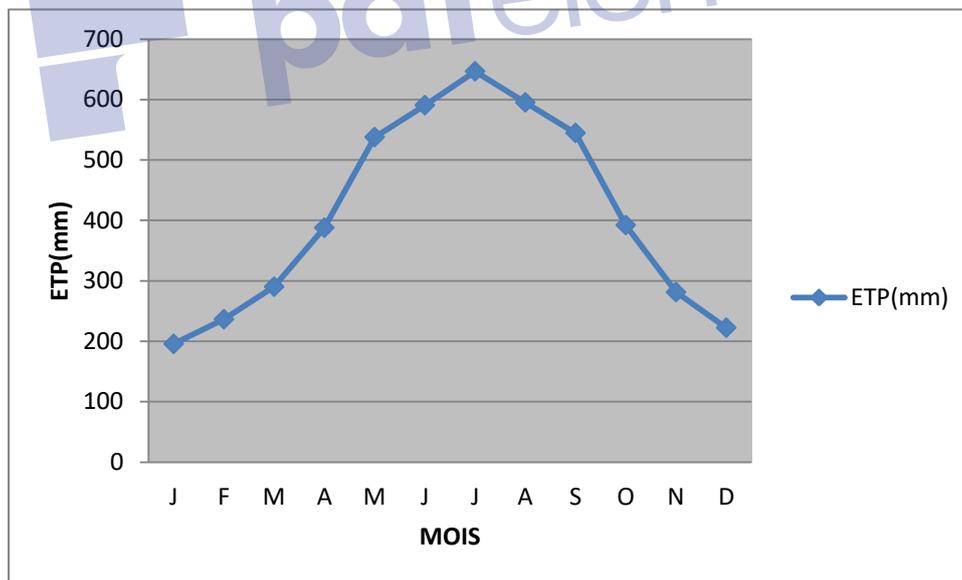
Le taux d'évaporation au plan d'eau libre est de : 4820.6 mm/an.

On dispose d'une série d'évaporation mensuelles qui englobe la période (1990\_1999) voir (tableau I.2).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ETP (mm)	195.6	236.4	290.2	387.8	537.8	590.6	646.6	595.2	544.6	392.2	281.2	222.4

**Tableau I.2:** Moyennes mensuelles de l'évaporation (1990\_1999).

(La station météorologique d'Illizi) [10]



**Fig. I.4 :** Moyennes mensuelles de l'évaporation (1990\_1999). [10]

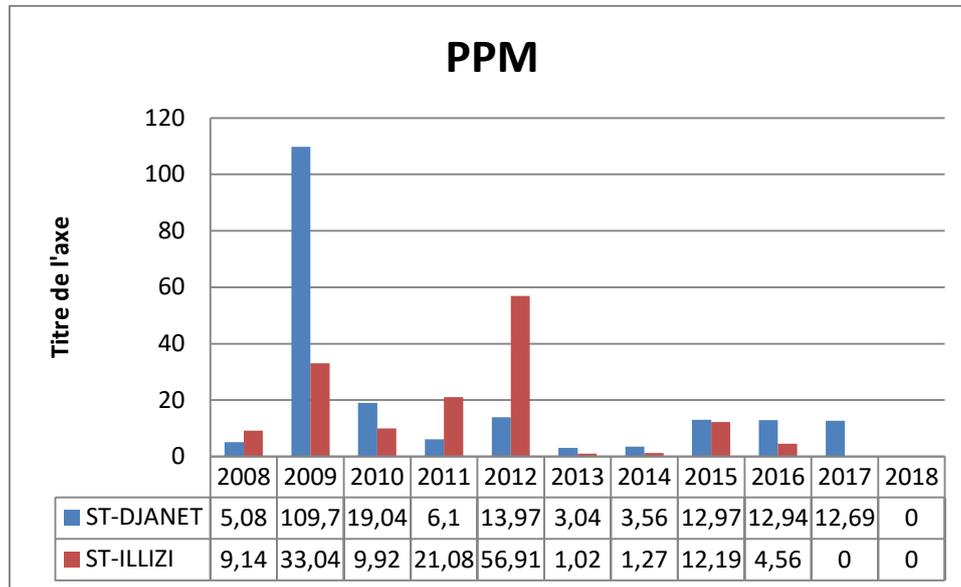
## 3. Précipitation

Elles sont faibles et irrégulières sur toutes les saisons, la sécheresse prédomine.

Sur des données récoltées pendant 30 années, Les précipitations moyennes sont respectivement de 4.8 mm pour la saison froide et moins de 1mm pendant la saison chaude

(Juillet, Aout). Exceptionnellement, la région a connu quelques pluies importantes et averses torrentielles en 2009 (109.7.8 mm), en 1994 (56.91 mm) et 2012.

On dispose d'une série d'observations annuelle qui englobe la période (2008-2018) ( fig. I.5)



**Fig. I.5 : Précipitation moyennes annuelles (2008\_2018). [8] [9]**

#### 4. L'écoulement

Les pluies de forte intensité tombant sur la région provoquent des écoulements sur les reliefs engendrant des crues plus ou moins importantes soumettent la région à d'importants écoulements et parfois particulièrement violents, occasionnant d'importants dégâts lors de leur passage, nous mentionnons quelque période de retour des crues des oueds suivants:

En 1996 oued Imihrou , oued Semen , oued Illizi, oued Tarat et oued Djanet.

En 2006 oued Imihrou , oued Semen , oued Illizi, oued Tarat et oued Djanet

En 2011 oued Imihrou , oued Semen , oued Illizi, oued Tarat et oued Djanet.

En 2018 oued Imihrou , oued Semen , oued Illizi, oued Tarat et oued Djanet

En 2019 oued Imihrou , oued Semen , oued Illizi, oued Tarat et oued Djanet [11]

#### 5. Les vents

Les vents sont très variables et les vitesses moyennes sont inférieures à 5 m/s.

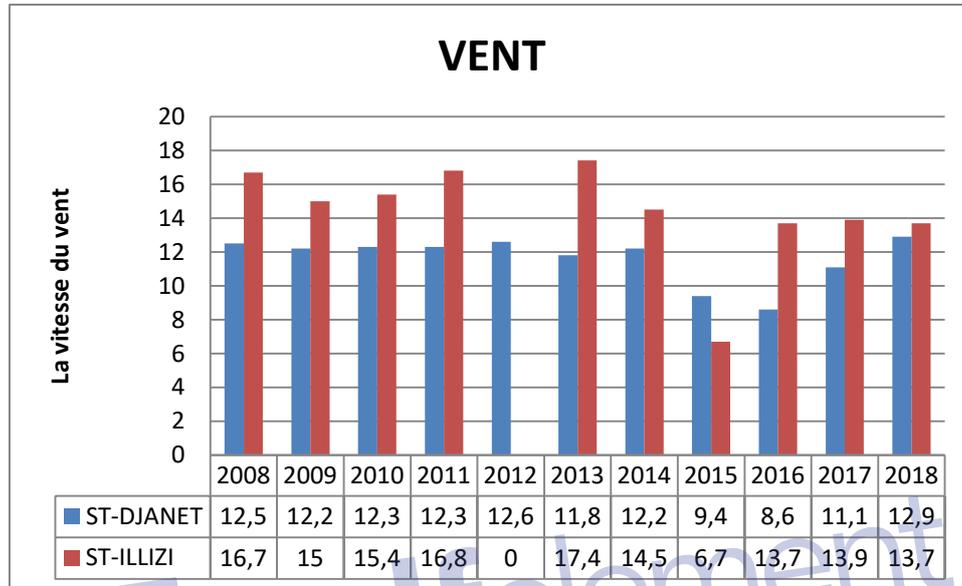
Les vents calmes représentent 15 %, les vents dominants sont orientés Nord-Est.

Ces vents sont souvent chargés de particules agressives (dépôts) qui exercent une érosion caractéristiques des régions désertiques sahariennes.

Les vents violents de type sirocco (Nord, Sud et Est) se situent généralement en période sèche avec un gradient de 10 m/s en moyenne.

Pendant la période froide ou humide, c'est la prédominance des vents calmes de direction Ouest et Nord-Ouest.

- Direction dominante.....*Est Ouest* ;
- Vitesse maximale (rafale) .....*180 Km/h* ;
- Vitesse moyenne.....*10 à 60 Km/h.*



**Fig I.6:** la vitesse des vents moyens annuels (2008\_2018).  
(La station météorologique d'Ilizi et Djanet) [8] [9]

Les autres phénomènes associés aux vents sont les tempêtes de sable qui sont des particules soulevées par les vents forts et transportées très loin au Nord et au Sud, occasionnant une diminution de la visibilité et rendant l'air irrespirable et en paralysant les activités notamment le transport terrestre et aérien. L'autre phénomène s'appelle la brume de sable qui attient 06 jours en moyenne par an et la chasse de sable avec une moyenne de 04 jours par ans. Le tableau N° 04 représente les moyennes mensuelles de la vitesse du vent durant la période (2008\_2018). La période de la plus venteuse est Mars /Juin avec une vitesse de 4-5m/s. (fig.I.6)

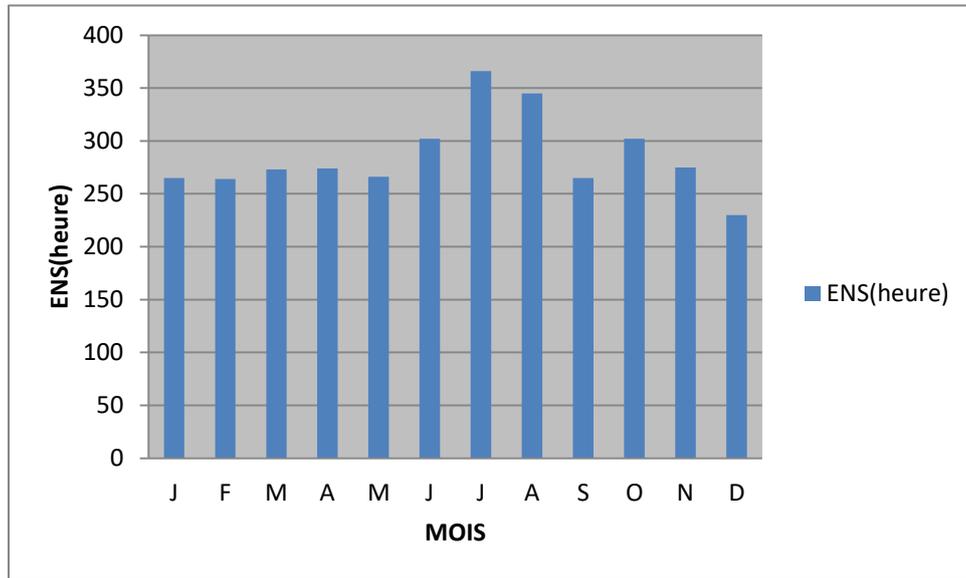
## 6. Insolation

En moyenne, elle dure 10 heures par jour et varie naturellement selon les saisons et est chaude, mais reste très élevée pendant l'année. L'insolation moyenne journalière est de : 8-9 heures en hiver et 10-12 heures en été. Le tableau suivant (N° 05) représente les moyennes mensuelles de l'insolation durant la période (1990-1999). (Fig. I.7)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ens :h	265	264	273	274	266	302	366	345	265	302	275	230

**Tableau I.3:** Moyennes mensuelles de l'insolation (1990-1999).

(La station météorologique d'Ilizi) [8] [9]



**Fig.I.7:** moyennes mensuelles de l'insolation (1990\_1999).

**7. Humidité relative**

- ❖ Moyenne en été.....18<sup>0</sup>/.
- ❖ Moyenne en hiver.....32<sup>0</sup>/.

**8. Autres phénomènes climatiques**

La région d'Ilizi est caractérisée par des autres phénomènes tels que brumes de sable, tempêtes de sable, etc., résumés dans le tableau ci-après (Tableau I.4) :

Phénomènes	Gelée	Grêle	Orage	Brouillard	Brume de sable	Tempête de sable	Chasse de sable
Nombre de jours par an	2	3	44	2	72.5	18	52.6

**Tableau I.4 :** Autres phénomènes climatiques

**9. La couverture végétale**

Les conditions naturelles (structure du sol, climat aride, faiblesse des eaux de surfaces) ne permettent pas l'existence d'une couverture végétale importante à l'exception des oueds et aux alentours des gueltas.

### III GEOLOGIE

#### Introduction

Du point de vue géologique, Tassili n'Ajjer est de type plate-forme intra tectonique, assez stable, dont la couverture sédimentaire d'une épaisseur maximale 3000 m, essentiellement constituée de dépôt Paléozoïque au Sud, où elle forme le Tassili. Les dépôts enforcis au centre de la cuvette et affleurant sur sa marge méridionale formant le paysage Tassilien Mésozoïques, sont à l'inverse érodés dans la moitié sud du bassin et affleurant au centre en une succession de falaises orientées Est-ouest, les dépôts tertiaires sont bien représentés dans le Nord-est.

Il s'agit d'un vaste monoclinale ayant pendage vers le Nord, frottement structuré par différentes phases orogéniques. La faible épaisseur de la couverture, revient aux jeux successifs des mouvements tectoniques. Tassili n'Ajjer est apparenté à des bassins de plate-forme à substratum infracambrien fortement pédiplaine. Il est représenté par des grandes variétés des roches métamorphiques, cristallines, volcaniques, sédimentaires légèrement anamorphosées.

Le relief précambrien nivelé de façon presque parfait à former une immense surface sur laquelle repose en discordance une série sédimentaire. A l'actuelle d'une plate-forme étendue, les mouvements eustatiques ont engendré des mers épicontinentales, des lacs et des lagunes, généralement confinés, donnant des milieux privilégiés d'un foisonnement biologique et par conséquent d'une sédimentation importante en matière organique.

#### 1 Géologie régionale

Tassili n'Ajjer fait partie de la synéclyse Est Algérienne ; La série stratigraphique comprend des terrains d'âge Paléozoïque qui affleurent dans sa partie méridionale et d'âge Mésozoïque à Cénozoïque qui affleure dans sa partie septentrionale (Fig 01). L'histoire structurale du Tassili n'Ajjer découle de l'érogène pana-africaine conditionnée par la mise en place des boucliers Est et Ouest africains. Le style structural est représenté par de grands accidents subméridiens verticaux observables sur tout le substratum PE. Ils peuvent être interprétés comme des décrochements dont le déplacement horizontal peut atteindre la centaine de Km (Caby, 1968 et Vitel 1975). A ces failles majeures, se conjugue un réseau de failles NE-SW dextres et de failles NW-SE senestre des 02 blocs continentaux selon une direction Est-ouest.

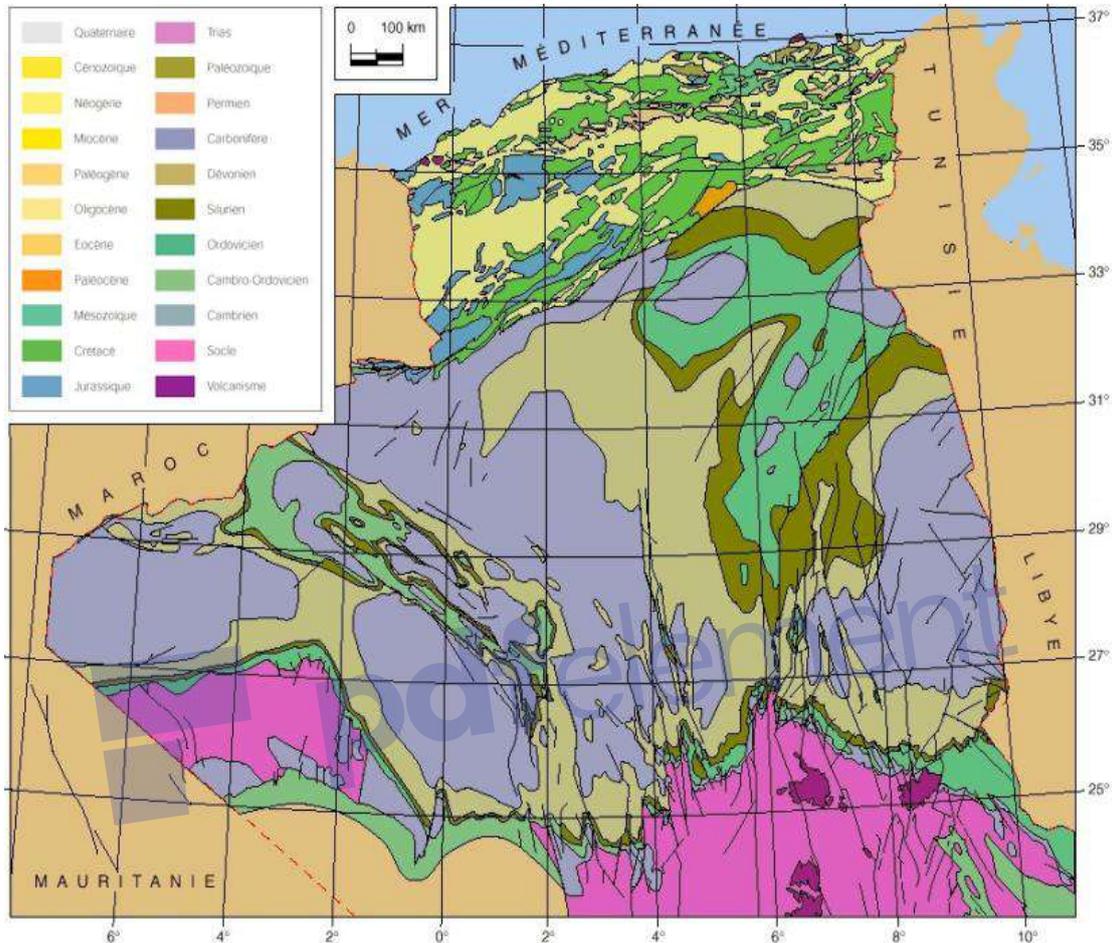
Sur le plan tectonique, Tassili n'Ajjer fait partie du bassin d'Illizi ; les accidents qui ont affecté ce dernier et présenté des directions méridiennes, d'orientation NE-SO et NO-SE.

Les principaux éléments structuraux qui caractérisent Tassili n'Ajjer sont :

- Le môle d'Ahara au Nord de direction E-W ;

- La voûte de Tin-Fouye, dans la partie Nord-Ouest ;
- Le môle de la Tihenboka à l'Est.

D'une manière générale la dépression centrale d'Illizi s'individualise entre le môle d'Amguid El Biod à l'Ouest et le môle de la Tihenboka à l'Est (Fig I.8).



**FIG.I.8 : CARTE GEOLOGIQUE REGIONALE MEMOIRE DE FIN DETUDE ING D'ETAT THEME. LES RESSOURCE HYDRIQUE DE LA WILLAYA ILLIZI(2011)**

## 2 Géologie locale

La géologie du Tassili n'Ajjer se présente sous deux grandes unités distinctes du point de vue litho stratigraphie, à savoir :

### 2-1 Le socle cristallin

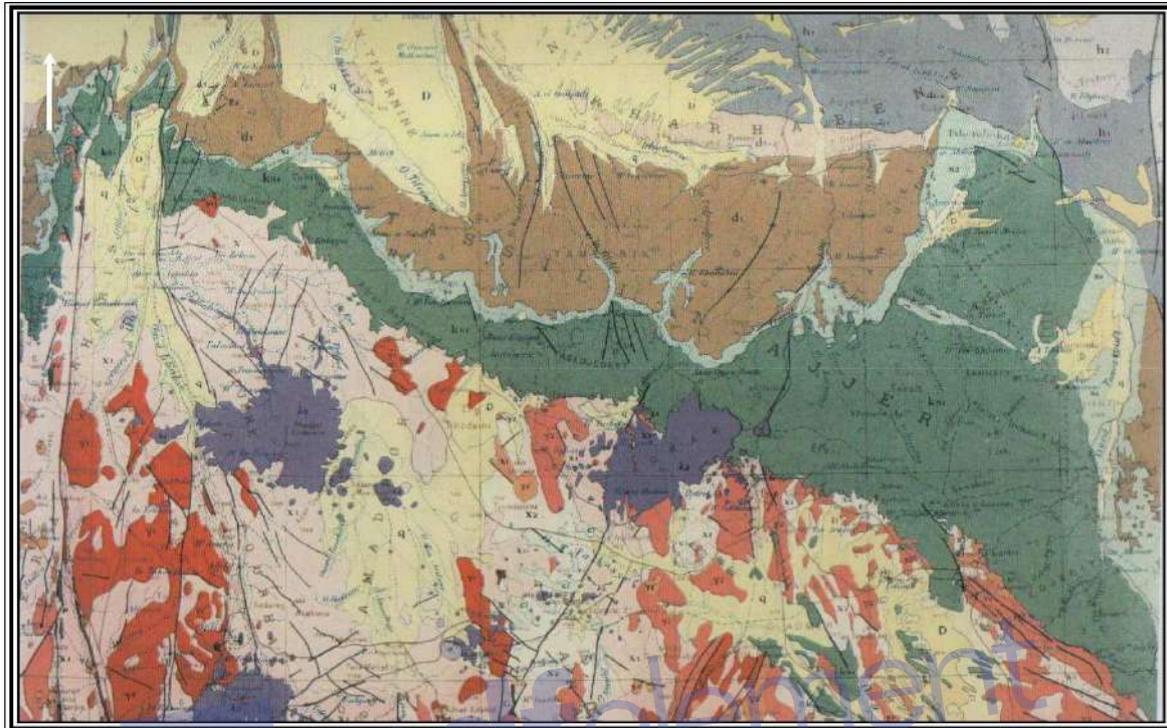
Il est d'âge Précambrien qui affleure à Djanet et Bordj Omar Driss; Celui-ci se subdivise en deux grandes séries métamorphiques séparées par une importante discordance.

Il s'agit de :

- Le Suggarien: Schiste très métamorphosé ;
- Le Pharusien: Conglomérats, quartzites, schistes et méca - shistes.

## 2-2 La couverture sédimentaire

Cette couverture est représentée essentiellement du bas en haut par : le Paléozoïque (Cambro-ordovicien, Silurien, Dévonien et le Carbonifère). ( Fig I.9)



Echelle : 1/3.000

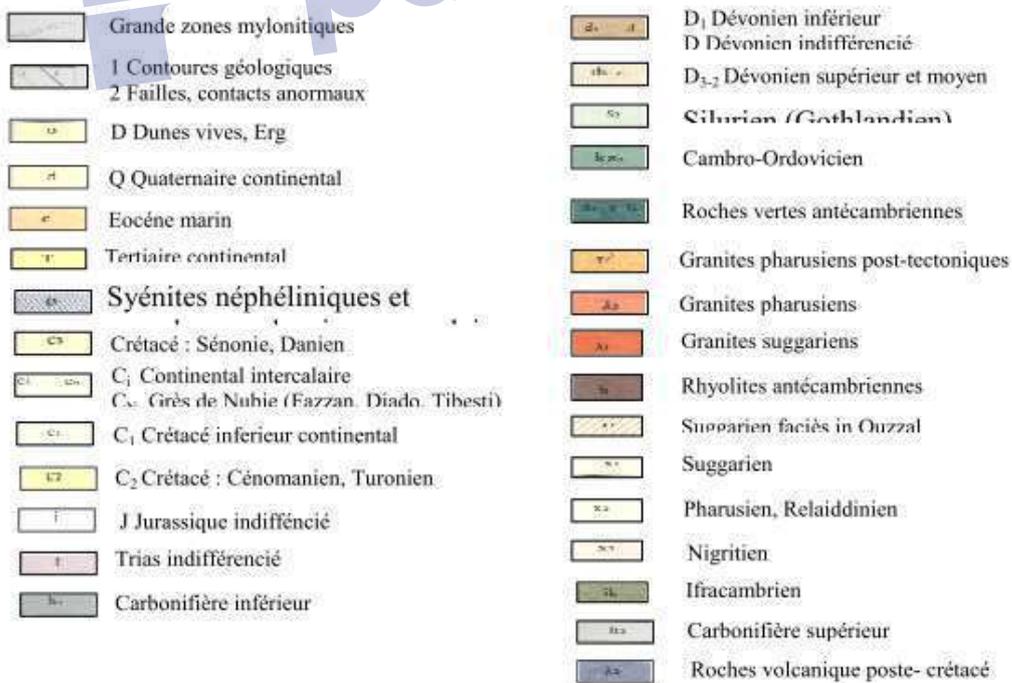


Fig. 2 – Formations géologiques du Tassili n'Ajjer (Menchikoff, 1962 cité par Abdoun, 2002)

### 3 Litho stratigraphie du bassin d'Ilizi

La couverture sédimentaire du Tassili n'Ajjer repose en discordance majeure sur la surface Intra-Tassilienne qui nivelle un socle plissé constitué de roches sédimentaires métamorphiques, cristallophylliennes et volcanique (fig03).

La coupe lithologique type du Tassili n'Ajjer est constituée d'une série sédimentaire globalement détritique allant du Cambrien au Paléogène dans laquelle les terrains Paléozoïques occupent les deux tiers de l'épaisseur totale de la série. La litho stratigraphie des séries Paléozoïques Tassilienne a été établie grâce aux études réalisées sur les affleurements par Beuf et Al, (1963, 1971), Dubois (1967) et Biju -Duval et Al (1968).

Le découpage litho stratigraphique est principalement basé sur une description morphologique des séries sédimentaires (Fig I.10).

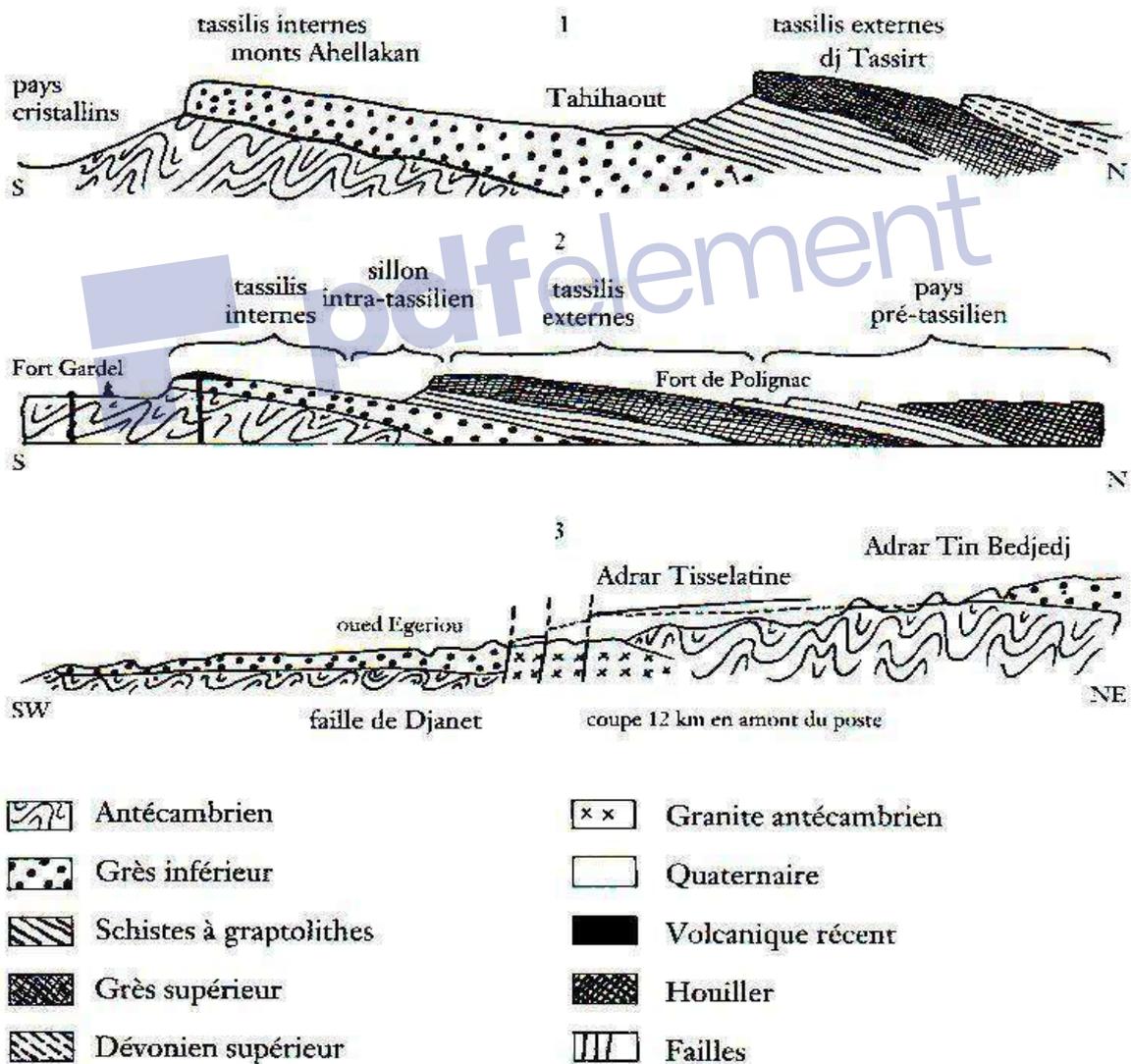


Fig I.10. Carte géologique du bassin d'Ilizi(Etude d'un barrage inféro-flux à Djanet  
Mission II : Etude Géologique) ENHYD ALGER

Etage	Sous étage	Tassili n'Ajers (affleurement)	Illizi-Tinrhert (sub surface)	
	Trias	Zarzaïtine Inférieur		
Carbonifère	Stéphanien	Série de Tiguentourine		
	Westphalien	Série d'El Adeb Larache		
	Namurien Inférieur	Série d'Oued Oubarakat		
	Viséen	Série des Grès d'issendjel		
Silurien – Dévonien	Dévonien Supérieur et moyen	Série de Gara Mas-Melouki F2		
		Série de Tin Méras F3		
	Dévonien Inférieur	Formation d'Orsine F5 F4		
		Formation de l'Oued Samène : Barre Supérieure	Formation des Grès de Hassi-Tabankort	C3 C2 C1
		Formation du Tamelrik : Trottoirs Barre Moyenne		
	Ludlow	Formation de Tifernine : Talus à Tigillites Barre Inférieure		
		Formation d'Atafeitafa ou zone de passage	Formation de Méderba	M2 M1
Wenlock-TaranonLlandoverly	Formation de l'Oued Immihrou		Formation des argiles à Graptolites ou Silurien argileux	
Cambro-Ordovicien	Ashgil	Formation de Tamadjert (IV) ou Formation Argilo-Gréseuse de Félar-Félar		
	Caradoc-landeilo-Llanvirn	Formation d'In Tahouit		
	ArenigTremadoc	Formation des Ajers	-Banquette III-2 -Vire du Mouflon III-1 -Grès de Tin Taradjelli II	-Quartzites de Hamra -Argilo-gréseux d'In Kraf -Grès de Hassi Leila
			Conglomérat d'El Mungar I	
Infracambrien et Précambrien	Séries intermédiaires et Socle Cristallo-Métamorphique			

**Tab. I.5 :** Nomenclature des formations du Paléozoïque du Sahara oriental à l'affleurement-Tassili n'Ajjer- et en sub surface -Illizi/Tinrhert- (Bekkouche, 1984).

La série stratigraphique type du bassin d'Illizi (de plus de 3 000 m d'épaisseur), est représentée par :

### 3-1 Le Cambrien

Il est constitué par une succession de formation détritique, essentiellement gréseuse.

#### 3-1-1 L'unité I

Elle est représentée par une série épaisse de 300 m, est principalement formée de lentilles de grés conglomératiques, Ils représenté en discordance sur le socle d'âge PE et de composition granitique et métamorphique, ils sont identiques à ceux rencontrés à l'affleurement an Hoggar. Les dépôts glaciaires et épandages molassiques du Nord-Est du Hoggar comblèrent les grabens formées à la fin du cycle orogénique Pan-Africain. Les conglomérats d'El Moungar décrite par Chanut et Nyssen 1959, sur la dorsale d'Amguid El Biod, appartenant à cette unité, dont 250 mètres de conglomérats à ciment argileux et galets de quartz roulés, à éléments de quartzite et de socle remaniés. Ces dépôts sont représentatifs de l'unité I du E-O. La série de conglomérats d'El Moungar représente les derniers termes de démantèlement de la chaîne pana Africaine.

#### 3-1-2 L'unité II

L'arrachement total de la chaîne Pan-Africaine se traduit par une immense surface d'érosion qui s'étale sur environ 20 millions de Km<sup>2</sup> à légère pente vers le Nord, l'érosion est réalisée sur des conditions climatiques semi arides. Sur cette surface de base affecte la PFS, épandages fluviaux apparentés aux réseaux en tresse, à orientations Sud-Nord (Bœuf et la, 1971).

En substratum, l'unité II est assez bien représentée dans Tassili n'Ajjer set se biseaute au niveau du moled'ahara. De point de vue lithologique, ce sont des grés essentiellement moyens à fins, azoïques à nombreuses stratifications obliques entrecroisées. Ils évoluent d'un matériel grossier et mal classé à la base vers des sédiments plus fins au sommet. La morphoscopie des grains de quartz passant de l'anguleux à l'arrondi, l'homogénéité de taille des éléments ont une tendance progressive. La disparition du ciment argileux en faveur d'une salification secondaire des grains de quartz ayant un caractère suggère une sédimentation à dépôt fluviale devenant plus marin vers la fin l'unité

### 3-2 Ordovicien

L'amorce de la transgression marine au sommet de l'unité est représentée par un court épisode régressif se traduisant par des érosions. Les 1ers dépôts sont franchement marins, plus ou moins riches en faune datée du Trémadoc inférieur (Canbaz, 1967). Dans la région de Hassi-Massaoud; il y a indication d'un contact traditionnel aboutissant à une généralisation de l'environnement marin à l'Arénigien supérieur. Il y a une difficulté pour la précision de la limite entre le cambrien et l'ordovicien.

A l'échelle du Tassili n'Ajjer, l'Ordovicien est subdivisé en quatre unités.

### 3-2-1 L'unité III-1

Elle est représentée par des grès fins entrecroisés à passées argile-saleuses parfois riche en Tigillite, et de grès quartzeux. Leur milieu de dépôt est présumé littoral, marin peu profond et parfois lagunaire et leur âge Tremadocien. Une série type est observée à l'affleurement à la bordure méridionale du Bassin d'Illizi, c'est la formation de la vire de mouflon elle passe latéralement au complexe argilo-gréseux à Tigillite de Tigueutorine.

### 3-2-2 L'unité III-2

Elle est formée essentiellement de grès Quartzeux a quartzites, montrant également des Tigillite et d'âge Arginine inférieur vers l'Illizi, représenté par la formation de la banquette, puis dans le plateau de Tinrhert par la formation des quartzites à Tigillite et par les quartzites de Hamra vers le Nord-Est des bassin de l'Erg Oriental.

### 3-2-3 L'unité III-3

Est représenté par des grès fins à grossiers à stratifications obliques est Tigillite, à passés argileuses fréquentes.

Il y a un contenu riche en faune par droit (Trilobites, Brachiopodes, lamellibranches) caractéristique de l'Arénigien supérieure du llandivecien et du llandeiliens sigue d'un l'environnement franchemeux marin. Les teneurs relatives fiables et enfer 50% de Kaolinite dans les argiles indiquent un climat chaud et humide. son épaisseur peut atteindre 40 à 200 mètres en moyenne constituée de grès micacés fins à ciment argileux ou siliceux à Scolithos alternant avec de rares passées d'argilite ; Cette série passe vers le sommet à des grès grossiers à fins à Scolithos et à stratifications obliques qui s'enrichit en argile vers le sommet.

### 3-2-4 L'unité IV

Son épaisseur est de 100 à 300 mètres en moyenne. Cette formation repose en discordance sur l'unité III-3:

#### 3-2-4-1 L'unité IV-2

Caractérisée par une série de comblement des paléotopographies façonnées par l'avancement des glaciers est constituée de dépôts variés.

#### 3.2.4.2 L'unité IV-3

Elle est caractérisée essentiellement Par des grés appelée la dalle terminal.

### 3-3 Le Silurien

Il est représenté par une puissante formation argileuse silurienne connue sous le nom d'argiles à graptolites traduisant un milieu franchement marin à tout la plate-forme saharienne. Le mouvement geossif dû à la déglaciation commencé à la fin de l'ordovicien s'est poursuivi de manière progressive jusqu'au silurien supérieur. Une étude de Ragozina (1987) donne un âge silurien supérieur à de nombreux sédiments qui recouvrent directement l'ordovicien supérieur dans certains nombres de sondages du centre du bassin d'Illizi. Les datations basées sur les acritazchées, chitinozoaires et Tasmanacées appuyées par quelque test de contrôle par les graptolites. Le Silurien est composé de bas en haut par quartes (04) formations :

- La formation de l'Oued Immihrou la plus puissante formée d'argiles à graptolites d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 300 m avec de rares intercalations silteuses, caractérisée par une série condensée appelée argiles radioactives très fossilifère et très riche en matière organique d'une épaisseur de plus de 30 m ;
- La zone de passage connue sous le nom de "formation de l'attafdaifa". Cette unité présente un facies argilo-gréseux avec de nombreuses intercalations silteuses. Elle correspond à la sous-unité "M" du réservoir F6 ;
- La barre inférieure est caractérisée par sa nature gréseuse dont les grés sont moyens et grossiers à stratification oblique, d'une épaisseur moyenne de 30 m. elle correspond à la sous-unité A du réservoir F6. de grés fins à moyens à stratifications obliques.

Le talus à Tigillites est formé d'alternances d'argiles silteuses et de grés fins argileux associés à des terriers d'une 40 à 50 m. il correspond à la sous-unité B du réservoir F6.

### 3-4 Le Dévonien

Le Dévonien n'a pas de limite stratigraphique nette. Il commence par un ensemble argilo-gréseux qui passe progressivement du silurien au dévonien tous par les litho-faciès que par la faune. C'est la jone de passage, qui couvre environ tout le gédinien. Il se termine par le retrait maximum de la mer et l'extension de la sédimentation gréseuse des strunien (Fig I.11).

A l'échelle du bassin d'Illizi, il est représenté en général par le Dévonien inférieur d'une puissance de l'ordre de plus de 200 m Les séries dévoniennes ont été observées à l'affleurement et subdivisée en deux (02) grands ensembles :

- La barre moyenne présente une épaisseur d'environ 40 à 50 m et à



La fin du Silurien est marquée par les mouvements épirogéniques calédoniens qui ont conduits à l'émersion de vastes régions dont l'érosion constitue la source d'apport des séries détritiques du Dévonien inférieur.

**Le Dévonien inférieur gréseux**

Il est rattaché à un réseau fluvial à forme de méandre.

Le Dévonien inférieur argileux gréseux pendant âge Emschérien est marqué par le début d'une transgression marine qui se poursuit jusqu'au Dévonien supérieur.

Au Dévonien moyen et supérieur une sédimentation est essentiellement argileuse à intercalations de niveaux carbonates fossilifères témoignant l'installation d'un milieu marin à la fin du Dévonien.

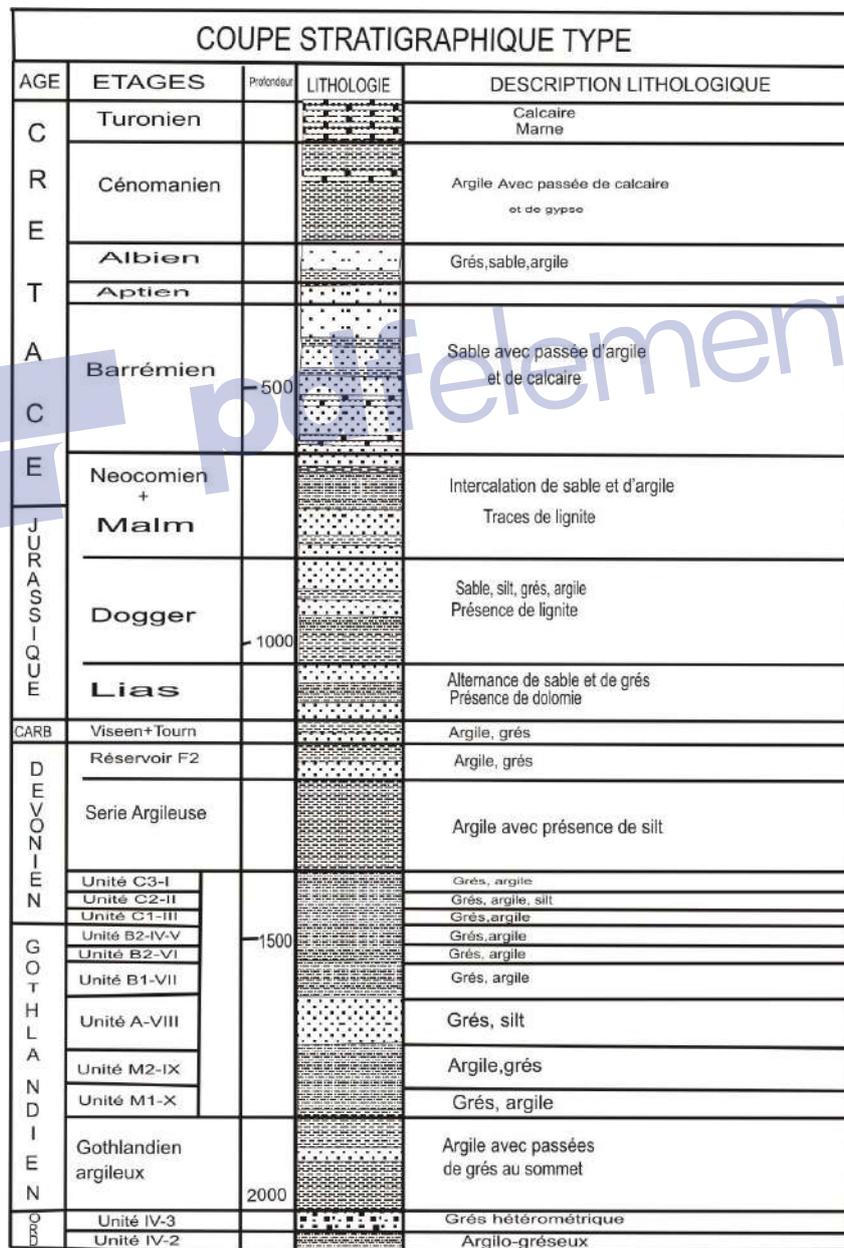


Fig III.12. Colonne stratigraphique type du bassin d'Ilizi (Sonatrach /2007)

#### 4 Structure et Tectonique

Tassili n'Ajjer ne représente qu'une entité de la plate-forme saharienne. Il se range dans la catégorie des bassins intracratoniques stables de type synclise qui se sont formés dans la partie Nord du Gondwana, et comprenant d'Est en Ouest : les bassins de Kufra et de Murzuk (Libye), du Mouydir, de l'Ahnet, de Sbaa, de Reggane et de Tindouf (Algérie). L'image structurale actuelle est reliée aux différentes phases tectoniques ayant affecté la région depuis le Cambrien jusqu'au Quaternaire. L'individualisation du bassin s'est faite à la fin du Silurien et au cours du Dévonien inférieur.

Tassili n'Ajjer est traversé par des accidents subméridiens pour la plupart panafricains (600 Ma). Au Nord, cette région est recouverte par le plateau Crétacé supérieur de Tinrhert. A son extrême sud, les formations paléozoïques offrent des affleurements d'une qualité exceptionnelle sur la bordure septentrionale du Hoggar.(Fig I.13).

Le basculement du bassin d'Illizi vers le Nord marque le dernier événement tectonique majeur manifesté dans le bassin de l'Erg oriental. Il existe des faibles de faible amplitude effectuant les dépôts quaternaires ont été enregistré sur le môle d'Amguid El Abiod et aussi un volcanisme d'âge quaternaire dépose des coulées basaltiques sur les Tassilis internes et le bouclier Targui. [17]

#### 5 Les principaux éléments structuraux du bassin d'Illizi

La structure globale du bassin d'Illizi correspond à un vaste monoclinale faiblement inclinée vers le Nord-Ouest. Cette monoclinale est limitée par une succession de plis bien marqué formant un vaste anticlinorium ces plis sont coffrés et souvent faillés dans la région de Tihouda..., diebel Essaoui-Mellène et Djebel Khanfoussa. Tassili n'Ajjer est constitué d'éléments géotectoniques à grand rayon de courbure (bombement de Tin Fouyé, haut fond de Tihamboka, Monoclinale d'Illizi), il est divisé en une succession de dépressions ou de sillons par une série d'axes majeurs qui sont d'Ouest en Est :

L'axe d'Amguid El Biod qui forme la bordure occidentale du bassin et qui le sépare du bassin de Mouydir à l'Est ;

- L'axe de Tan Elak ;
- L'axe d'Essaoui Mellène ;
- L'axe passant par Maouar Tin Tayart ;
- L'axe de Feddenoun ;
- L'axe de la Tihenboka.

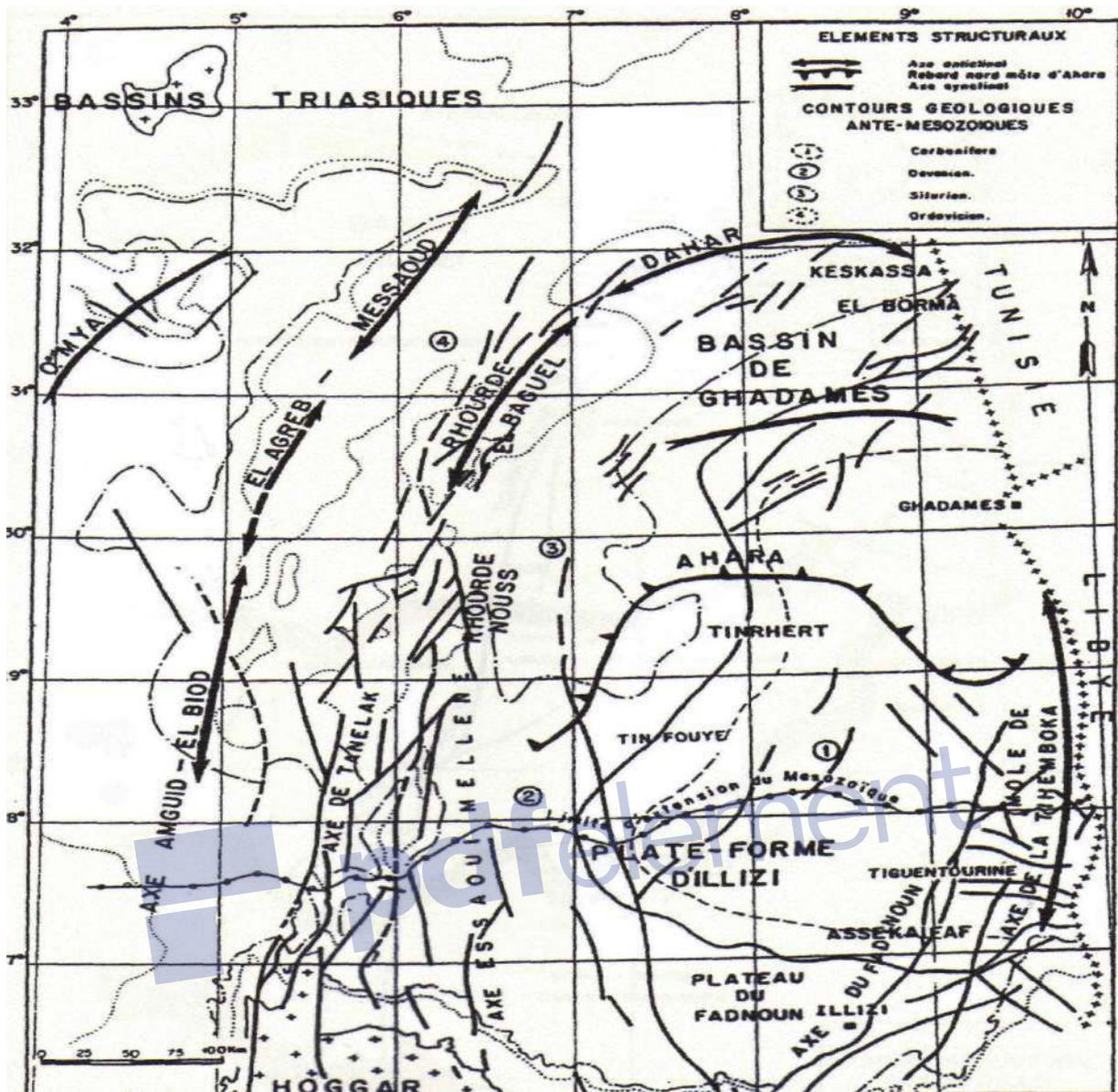


Figure I.13. Carte structurale de la région mémoire de fin d'étude ING d'état thème. les ressource hydrique de la willaya illizi(2011). [13]

Les directions de tous ces axes sont proches de la direction N-S. Ils sont accompagnés de failles importantes dues au rejet de failles profondes du socle. Celles-ci sont le prolongement des accidents panafricains qui ont affecté le socle du Hoggar sur des centaines de kilomètres et qui l'ou divisé en plusieurs compartiments. Ces failles majeures accompagnées de faisceaux de failles secondaires, ont joué au cours des temps géologiques lors des phases tectoniques successives en affectant la couverture sédimentaire du bassin.

En fonction des directions des failles et de celles des contraintes tectoniques, il y a eu des phases de compression, de distension et de décrochement. La plupart des structures anticlinales de la région sont en relation avec des failles. Un examen rapide du schéma

Structural du bassin montre l'individualisation structurale de trois régions en raison des orientations majeures des accidents, de leur densité et de leur continuité :

A l'ouest, la région d'Amguid El Biod comprise entre les dépressions Oued Mya - Mouydir (sa bordure Ouest) et le trend englobant le périclinal de Tin Tayart, les anticlinaux de Essaouane (Est et Ouest) et celui de Maouar.

Au centre, Tassili n'Ajjer proprement dit (nettement moins structuré) où se trouve l'ancien môle d'Ahara orienté approximativement Est-Ouest, celui-ci est compris entre le trend précédent et la grande zone d'accidents correspondant au trend de Feddenoun.

A l'Est, le môle de Tihamboka s'étendant entre le trend du Feddenoun et la frontière Algéro-Libyenne (cette région montre un style structural différent de la précédente) est caractérisé par trois directions de failles :

- Méridienne à subméridienne pour les accidents majeurs ;
- Nord-Ouest sud-Est à Ouest Nord-Ouest-est sud est Nord est Ouest ;
- Nord- Est. Sud- Ouest pour les accidents secondaires.

C'est dans le contexte particulier de cette région est place notre zone d'étude puisqu'elle se situe dans le permis In Amenas qui correspond en gros au môle de Tihamboka, Les épaisseurs de toutes les séries paléozoïques diminuent sur sa partie centrale la plus haute. [17]

Du Sud au Nord on a les structures locales de : Dômes à Collenias, Tan Amellel, Edjeleh, Tihalatine et Zarzaïtine (figure I.14).

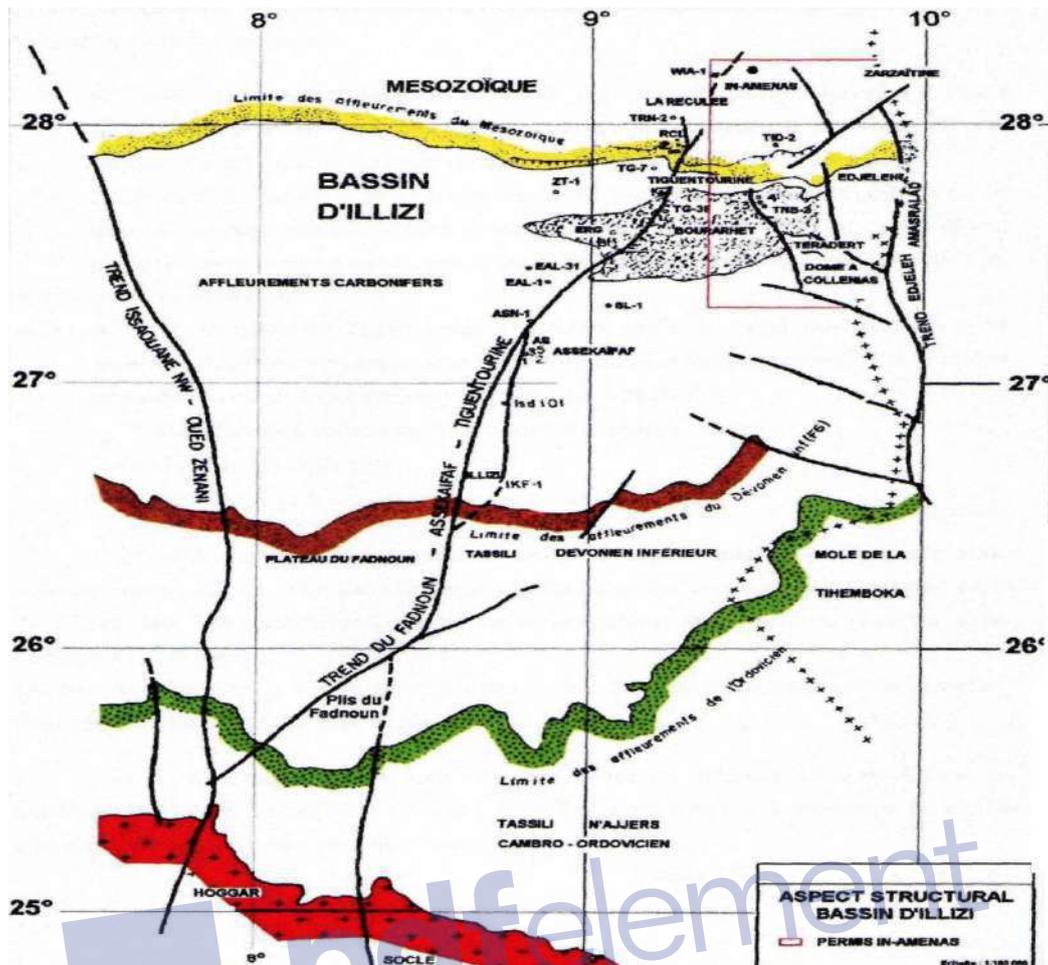


Fig I. 14. Schéma structural du bassin d'Ilizi (Sonatrach/exploration)

## 6 Evolution géodynamique du Tassili n'Ajjer

Les principaux événements tectoniques qui ont affecté Tassili n'Ajjer se sont déroulés :

- **Du Précambrien terminal-Cambrien inférieur** est caractérisé par l'événement panafricain ;
- **A l'Ordovicien supérieur** est caractérisé par la phase taconique du Silurien supérieur ;
- **Au Dévonien inférieur** est connu par la phase calédonienne ;
- **Au Dévonien supérieur** est connu par la phase frasinienne.

Ces différentes phases tectoniques, (compressives et distancives) se traduisent sur la sédimentation du bassin par des discordances ou des discontinuités sédimentaires. (Aiouna A., 1995; Aliev et al. 1971 ; Boudjemaa A., 1987; Echikh K., 1998 ; Skender M.S. et Arab M., 1996, Becipe 1975, H.Boumaghar 1998).

PERIODE MAX D'ACTIVITE	DIRECTION DE LA CONTRAINTE	EFFET SUR LE SYSTEM FAILLES	EFFET SUR LA SEDIMENTATION
PANAFRICAINNE	E-W 	Tectonique cassante créant des failles et des fractures conjuguées NW-SE & NE-SW.	Compartimentage du Craton du Sahara central.
CAMBRO-ORDOVICIENNE	NW-SE 	Mouvement normal le long des failles N-S.	Les variations de l'épaisseur sont contrôlées par la faille. Basculement NW de la plate-forme saharienne volcanisme.
TACONIQUE (Caradoc-Ashgilien)	E-W 	Mouvement inverse le long des failles N-S résultant. Formation des structures N-S.	Soulèvement des boucliers, Reguibat et Touareg.
CALEDONNIENNE (Silur-Devonien)	E-W 	Mouvement inverse ou décrochant le long des failles N-S.	Erosion le long des zones hautes d'orientation N-S & E-W (Tihemboka, Ahara).
FRASIEN	NW-SE 	Mouvement normal le long des failles NE-SW.	Non-dépôt et érosion locale (Mole d'Ahara). Volcanisme.
VISEEN (Hercynienne précoce)	N 40° 	Mouvement inverse ou décrochant le long des failles N-S. Début de formation de la chaîne varisque.	Erosion sur Tihemboka et soulèvement de l'Ouhgarta.
CARBONIFERE SUP A PERMIEN (Hercynienne principale)	N 120° 	Mouvement inverse ou décrochant le long des failles NE-SW (résultat de la formation de la Pangée).	Erosion sur les axes NE-SW.
RIFTING TRIAS-LIAS (Dislocation de la pangée)	NW-SE 	Réactivation des failles NE-SW se terminant au TAGS et S4.	Contrôle de la sédimentation par les failles entraînant une variation rapide d'épaisseur le long des failles NE-SW.
CRETACE INFÉRIEUR (Autrichienne)	E-W 	Réactivation des décrochements des failles N-S & NE-SW résultant du mouvement différentiel de la plaque européenne et de la plaque africaine.	Erosion des sédiments du Crétacé sous l'Aptien (l'Arche d'El Biod & l'Atlas). Effet léger sur le bassin de Berkine.
EOCENE (pyrénéenne)	N-S & NW-SE 	Début de chevauchement au nord résultant de la convergence de la plaque européenne. Décrochement de la faille S. Atlas.	
MIOCENE	NW-SE & N-S 	Episode de compression majeur dans le domaine atlasique.	Sédimentation prédominante de flyshs au Nord.
POST-VILLAFRANCHIEN (Alpine)	N-S 	Basculement et inversions de blocs. Période finale de compression dans le domaine atlasique. Evénement majeur de collision.	Soulèvement du Hoggar. Basculement du bloc d'El Borma.

Tableau I.15 : Evénement tectonique antéhercynien (Boujemaa ; 1987)

## 7 La phase panafricaine

Elle s'est déroulée 600-500 Ma en créant la chaîne panafricaine, par collision du paléo continent de l'Ahaggar contre le craton Ouest-Africain. La fin de cette phase correspond à une pénéplanation de cette chaîne et au début de l'histoire cratonique de la plate-forme saharienne. Le trait structural caractéristique du substratum précambrien est représenté par les grands accidents subméridiens. Ces accidents ont joué à plusieurs reprises durant l'histoire Paléozoïque et Mésozoïque du bassin et contrôlent les éléments structuraux.

Durant le Cambro-Ordovicien, une phase de distension mineure a eu lieu se traduisant par des variations d'épaisseurs et de faciès de part et d'autres d'accidents majeurs du socle.

### 7-1 La phase tectonique

Une importante discordance de ravinement glaciaire sépare la formation d'In Tahouite ou Argilo-gréseux supérieur (AGS, unité III-3) du Complexe Terminal dénommé Formation de Tamadjert due à la phase taconique qui s'est produite dans tout le Sahara. Les effets de cette

phase, sont amplifiés par les glaciations fini-ordoviciennes. Ainsi, la discordance tectonique suivie de l'érosion glaciaire va façonner les bassins sahariens essentiellement méridionaux.

Dans Tassili n'Ajjer, ces phénomènes ont engendré des érosions plus ou moins importantes selon les secteurs. Ces variations ont une ampleur d'érosions sont influencée par l'architecture structurale héritée de la phase tectonique. Le façonnement de la topographie s'est effectué avant et au cours du dépôt du Complexe Terminal par des érosions importantes qui ont affecté les séries cambro-ordoviciennes et atteignent souvent le socle.

Dans ces vallées sous dépassés les grés de bas niveau marin, surmontés par un niveau transgressif d'argiles micro-conglomératiques. L'ensemble est scellé par le dépôt de la dalle terminale.

Dans la région d'étude, on reste dans le même système de paléo-vallée bien connue ailleurs, notamment au Sud-Est du bassin d'Illizi, la différence réside peut-être dans l'étendue de ces dépressions, beaucoup plus larges et aussi moins complexes dans le détail.

En sub surface, l'effet de la structuration tectonique, ne peut être mis en évidence que par l'observation en sondage des dénivelées structurales dans les formations sous-jacentes. Dans la région d'étude, et à défaut d'informations sismiques suffisamment précises provenant d'horizons situés sous le toit de l'Ordovicien ; la manière d'évaluer le degré de structuration tectonique consiste à considérer les dénivelées structurales visibles au niveau de l'Argilo-gréseux supérieur [13] .

### **7-2 La phase calédonienne**

Elle se situe entre le Silurien et le Dévonien inférieur, ses manifestations sont observées au niveau du môle d'Ahara et du haut fond de Tihemboka, où cette phase a joué un rôle primordial dans leur mise en place. Des discordances et une importante érosion est observée durant cette période le long de ces zones hautes. C'est durant cette phase que Tassili n'Ajjer s'est individualisé. On observe aussi une érosion et une interruption de la sédimentation dévonienne le long de l'axe de Feddenoun.

### **7-3 La phase frasnienne**

Elle est considérée comme une phase calédonienne tardive, elle se traduit par un non dépôt de sédiments et une érosion profonde au niveau du môle d'Ahara (discordance frasnienne).

## **8 Evénements tectoniques du cycle hercynien**

Deux phases tectoniques majeures ont eu lieu durant le Carbonifère, représentant les mouvements tectoniques hercyniens qui terminent le cycle sédimentaire du Paléozoïque du bassin d'Illizi, Il s'agit de :

**8-1. La phase N 40° d'âge Viséen** (Mouvements hercyniens précoces) : Cette phase s'est située après le dépôt du Dévonien supérieur et au cours du Viséen. Elle interviendra sur la structuration des séries déposées antérieurement de la façon suivante (Beicip, 1975) :

La formation d'importantes structures le long d'accidents Nord-Ouest Sud-Est favorables à la direction de compression N 040;

Le jeu en décrochement le long des accidents méridiens et possibilité de création de plis d'entraînement dans la couverture.

Elle se traduit également par une érosion partielle des sédiments du Tournaisien-Viséen inférieur dans certaines structures locales du haut fond de Tihenboka.

**8-2 La phase N 120° d'âge Permien** (Mouvement hercynien majeur) : La phase hercynienne dont les effets structuraux sont les plus accusés résulte d'une compression régionale orientée N120 (des résultats structuraux, Bei cip, 1975). Les structures induites par cette phase, résultent d'un raccourcissement soit par compression soit par jeu en inverse le long des failles orientées elles même Nord-Est Sud-Ouest.

La mise en place de telles structures se fait à la faveur d'une phase de serrage post-Carbonifère orientée Nord-Est Sud-Ouest. Son influence sur les séries paléozoïques sera :

Maximum sur les failles Nord-Est Sud-Ouest, avec formation de plis de la famille des structures d'Assekaïfaf [17] .

Relativement importante sur les grands accidents méridiens surtout si ceux-ci sont légèrement obliques vers le Nord-Est ; le mouvement le long de ces failles pourra être à l'origine de grande structures Nord-Sud.

Lors de cette phase hercynienne majeure, les grands accidents NNO-SSE qui parcourent la région d'étude ont joué en décrochement sénestre. et la mise à part de quelques plis d'entraînement dans la couverture, on ne peut prévoir une structuration intense le long de ces failles.

Par contre, l'association dans une zone d'intersection d'un accident subméridien avec un accident orienté SO-NE aurait pu jouer un rôle favorable. Le jeu en faille inverse de l'accident SO-NE et la création d'une structure associée sera favorisée par le mouvement en décrochement sur l'accident subméridien.

## CONCLUSION

Tassili n'Ajjer est caractérisée par un climat typiquement saharien avec un été sec et chaud et un hiver relativement sec et doux. Les températures élevées pendant la saison estivale peuvent atteindre les 47°C au Nord et 40° au Sud de la zone , en moyenne avec d'importants écarts journaliers et des températures relativement basses en dessous de 10°C en hiver. Les précipitations sont très rares : elles ne dépassent guère les 50 mm/an en moyenne. Les vents sont abondants et deviennent plus fréquents et plus violents pendant la saison printanière.

## *Chapitre : II*

### **MOYENS ET METHODES**

pdfelement

## II MOYENS ET METHODES

### 1. Principes théoriques

Il existe plusieurs façons de déterminer la quantité d'une substance présente dans une portion de solution, c'est-à-dire d'effectuer le dosage de cette substance. Plusieurs réactions chimiques sont en effet spécifiques à un composé donné. Certaines, par exemple, produisent un composé coloré. L'intensité de la coloration peut être reliée à la concentration molaire volumique de la substance dosée, notamment au nombre de moles de la substance qu'on retrouve dans un litre de la solution. D'autres réactions impliquent un faible potentiel électrique (oxydoréduction) dont l'intensité peut être reliée à la concentration d'une substance. C'est ce phénomène qui est à la base du fonctionnement des électrodes spécifiques comme celle qu'on trouve sur un pH-mètre. Alors que d'autres réactions exploitent une variation du PH pendant le dosage ou encore la formation d'un précipité.

### 2. Échantillonnage

Nous avons effectués une campagne de prélèvement de **19** stations au total, avec **14** prélèvements sur des stations souterraines (puits) et **5** prélèvements sur les eaux de surface (gueltas). (La campagne des prélèvements des échantillons s'est déroulé a partir du : 02/02/2019).

Les eaux souterraines proviennent d'un pompage solaire (système de pompage à l'énergie solaire) fait sur des puits situés à travers oued semmen et oued Immihrou et les stations des eaux de surface, ont été choisies de sorte à nous permettre d'établir une étude hydrochimie des eaux de surface (gueltas) à travers tassili n'Ajjer.

Nous avons effectué les prélèvements en profondeur et en utilisant des bouteilles en plastiques rincées avec l'eau de l'échantillon afin d'éliminer toute interaction entre la matière et l'échantillon. Les paramètres physiques ont été mesurés in situ ainsi que les flacons ont été rincées in situ avec l'eau de l'échantillon. En ce qui concerne la conservation des échantillons nous avons utilisé une glacière gardant la température, les analyses physico-chimiques ont été effectuées dans les premières 24 à 48 heures au laboratoire afin d'éviter toute altération des eaux échantillonnées.

### 3. Analyses physico-chimiques

#### 3.1 La Couleur

Nous avons estimé la couleur des eaux par un simple examen visuel des échantillons placés dans des récipients larges et incolores lors du prélèvement

### 3.2 L'odeur et saveur

Nous avons mis en évidence l'odeur et la saveur par simple examen lors du prélèvement.

### 3.3 La température; la conductivité; le pH et le TDS:

Nous avons effectué la mesure de ces paramètres à l'aide de l'outil (inoLAB\*PH/ION/Cond 750), après une immersion des électrodes dans le bêcher contenant de l'eau de l'échantillon ; en attendant la stabilisation des valeurs affichées sur l'écran (fig II.1).



Figure II.1. inoLAB\*PH/ION/Cond 750

### 3.4 Salinité

Elle est définie comme la somme des matières solides en solution contenues dans une eau, après conversion des carbonates en oxyde, après oxydation de toutes les matières organiques et après remplacement des iodures par une quantité équivalente de chlorures.

### 4. Positionnement des points d'eau d'échantillonnage

Les repères des points d'eau sont positionnés sur place à l'aide d'un GPS 9.0.183 apk (Pro) pour endroits du portable représenté dans la **figure (II.2)** :



Figure II.2 : Le GPS 9.0.183 PRO apk For Android du portable

## 5. Dosage des éléments

### 5.1. Dosage des chlorures

#### 5.1.1. Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution traitée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la précipite rouge caractéristique du chromate d'argent.

#### 5.1.2 Réactifs

- Nitrate d'argent  $\text{AgNO}_3$  0.1N ;
- Solution de chromate de potassium  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  saturée à 5 %.

#### 5.1.3. Matériel

- Burette de précision ;
- Capsules en porcelaine ;
- Baguettes d'agitation.

#### 5.1.4 Mode opératoire

- Prélever une prise d'essai de 10 à 50 ml de l'échantillon d'eau et les transférer dans une capsule en porcelaine ;
- Ajouter de 5 à 10 gouttes à la solution saturée de chromate de potassium ;
- Titrer avec  $\text{AgNO}_3$  0,1N jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge due à la précipitation de  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  ;
- Effectuer un essai témoin avec de l'eau distillée ;

### 5.1.5 Calculs

$$Cl^- (\text{en mg/l}) = \frac{(N - N') \cdot 0,1 \cdot 1000 \cdot A}{V}$$

Avec :

N= volume d'AgNO<sub>3</sub> utilisé pour titrer l'échantillon ;

N'= volume d'AgNO<sub>3</sub> utilisé pour titrer le témoin (l'eau distillé) ;

V= volume de la prise d'essai ;

A= inverse du rapport de dilution.

## 5.2 Dosage de Na et K

### 5.2.1. Principe

Pour doser les deux éléments, on utilise le spectrophotomètre a flamme.

### 5.2.2. Réactifs

- Solution mère de Na et K ;
- Solution étalons en Na et K.

### 5.2.3. Mode opératoire

#### 5.2.4. Préparation des gammes d'étalonnage

Préparer une dilution de deux solutions de K et Na de 1000 ppm à 100 ppm : prélever de solutions à 1000 ppm, 25 ml et les transférer dans deux fioles de 250 ml ; compléter au volume à d'eau distillé, on obtient deux solutions à 100 ppm de K et Na.

Préparer une série de solutions d'étalonnage de K et Na. Dans des fioles de 250 ml, introduire à partir des solutions à 100 ppm de K et Na, les volumes respectifs suivants : 2 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 ml. On obtient les gammes d'étalonnage suivantes : 25 ; 58 ; 94 ; 123 et 25 ppm de K et Na.

### 5.2.5. Calculs

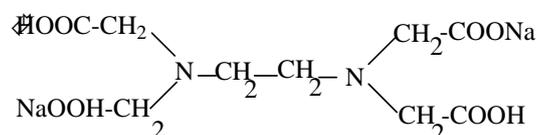
Les courbes étalons construites, à partir des solutions étalons, donnent directement les gammes ; puis les teneurs en Na et K sont exprimés en ppm.

## 5.3 Dosage du Ca et du Mg

### 5.3. 1. Principe

Les complexes sont certains acides aminopolycarboxylique, ou les sels de ces acides. Parmi eux, on utilise particulièrement le complexon III : sel sodique à double substitution de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA).

La formule développée du complexe III est :



Le complexons III, comme les autres complexons, forme avec Ca et Mg des complexes internes qui sont très stables et solubles (les très faibles valeurs des constantes d'instabilité des complexes correspondants. En particulier,  $K_{inst}$  du complexe avec Ca est égale à  $2,7 \cdot 10^{-11}$   $K_{inst}$  du complexe avec Mg est égale à  $2 \cdot 10^{-9}$ ).

Dans ce cas, le métal se substitue aux atomes d'hydrogène des groupes carboxyles COOH et se lie par une liaison de coordinence avec les atomes d'azote.

On détecte la fin du dosage par l'apparition du noir erichrome qui vire du rouge vin au bleu lorsque tous les Ca et Mg ont été complexés.

### 5.3.2. Réactifs

- Solution de l'EDTA 0.01 mol/l;
- Solution tampon pH = (8 à 10);
- Indicateur coloré noir erichrome T;
- Solution d'oxalate d'ammonium saturé  $(NH_3)_2C_2O_2$ .

### 5.3.3. Dosage

On prépare les échantillons par séries dans un bêcher de 50 ml, ajoute 5 ml de solution tampon pour 10 ml et suivre les étapes suivantes :

#### Étape I :

Le mode opératoire de cette étape est le suivant:

Ajouter de 7 à 8 gouttes d'indicateur coloré. Après avoir versé V ml de la solution d'EDTA jusqu'à ce qu'elle vire du rouge vin au bleu.

Cette opération fait à l'aide de température égale à 40°C dans un bain-marie.

#### Étape II :

- Prélever la solution obtenue de la 1<sup>er</sup> étape ;
- Faire précipiter l'oxalate de calcium en ajoutant goutte à goutte à la solution d'oxalate d'ammonium saturé jusqu'à la formation de précipités ;
- Filtrer le surnage en utilisant du papier filtre ; On obtient une solution filtrée

#### Étape III :

- Prélever la solution obtenue (10 ml) de la 2<sup>ème</sup> étape et suivez les mêmes dans la 1<sup>er</sup> étape (vers V<sub>1</sub> de l'EDTA jusqu'à la fin du dosage).

### 5.3.4. Calculs

$$N_{Mg} \text{ (méq/l)} = 1000 \times 0.02 \times nbs \times (V_1/V_{PE})$$

$$N_{Ca} \text{ (méq/l)} = 1000 \times 0.02 \times nbs \times (V - V_1) / V_{PE}$$

Avec :

V<sub>1</sub> = volume versé de l'EDTA ;

$V_{PE}$  = volume de prise d'essai ;

$V$  = volume verse totale ;

nbs = nombre du dilution.

## 5.4. Dosage de sulfates

### 5.4.1. Principe

La méthode gravimétrique présentée est basée sur le principe de faire précipiter les sulfates sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.

### 5.4.2. Réactifs

- Solution de chlorure de baryum à 10 % (dissoudre 25 g de  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$  dans 200 ml d'eau distillée) ;
- ajouter 12.5 ml d'HCl concentré ;
- compléter au volume à l'eau distillée.

### 5.4.3. Matériel

- Filtres sans cendres ;
- Entonnoirs ;
- Etuve de séchage ;
- Four à moufle ;
- Béchers de 250 ml ;
- Capsules en porcelaine résistantes à la calcination à 500 °C.

### 5.4.4. Mode opératoire

- Prélever 10 à 50 ml de l'eau à analyser et le transférer dans un bêcher de 250 ml ;
- Porter à douce ébullition à 60-65 °C dans un bain- marie ou sur un bain de sables ;
  - Faire précipiter les sulfates à chaud en ajoutant aux gouttes à gouttes à la pipette de la solution de chlorure de baryum. Quand il ne se forme plus de précipités, ajouter quelques gouttes de chlorure de baryum en excès ;
  - Laisser les béchers dans le bain-marie jusqu'à ce que le sulfates soient complètement déposés ;
  - Filtrer le surnageant en utilisant du pipier filtre sans cendre ;
  - Ajouter 30 à 40 ml d'eau distillée bouillante ;
  - laisser les béchers dans un bain- marie jusqu'au dépôt des sulfates.
  - Filtrer le surnageant et répéter cette opération 3 fois ;
  - Faire passer le précipité sur le filtre à l'aide d'eau bouillante ;
  - Laver le précipité à l'eau bouillante jusqu'à l'élimination complète des chlorures (faire le test à  $AgNO_3$ ) ;

- Transférer le filtre contenant le précipité dans une capsule tarée ;
- Faire sécher à l'étuve à 105°C pendant 1 heure ;
- Transférer la capsule dans un four à moufle, calciner à 500 °C pendant 1 heure ;
- Laisser refroidir la capsule dans le four, ensuite dans un dessiccateur ;
- Peser après refroidissement.

#### 5.4.5. Calculs

$$SO_4 \text{ (méq/l)} = B \times 8,56 \times 1000 \times (A/V)$$

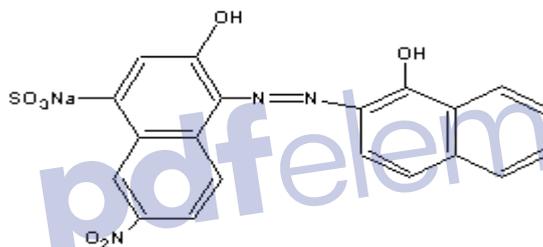
Avec :

- B = poids de BaSO<sub>4</sub> précipité ;
- V = volume de la prise d'essai ;
- A = inverse du facteur de dilution.

#### 5.5. Indicateur noir eirochrome

Cet indicateur à également une dénomination « chromogène noir spécial T ».

La formule développée de ce corps est la suivante :



L'eirochrome noir T donne avec les ions Ca et Mg des complexes solubles de couleur rouge vin. Ces complexes sont moins stables, c-à-d : qu'ils ont des valeurs de  $K_{inst}$  plus élevées que les complexes des mêmes métaux contenant le complexon III ( $K_{inst} = 3,9 \cdot 10^{-6}$  pour Ca le et  $K_{inst} = 10^{-7}$  pour Mg).

##### 5.5.1 Préparation de l'indicateur

On dissout 0.5 g d'eirochrome noir T dans 10 ml de mélange tampon ammoniacal et on amène, à l'aide de l'alcool éthylique, le volume jusqu'à 100 ml.

##### 5.5.2 Conservation

En règle générale la solution T ne doit pas être conservée plus de 10 jours.

*Chapitre : III*

**RESULTATS ET DUSCUSSIONS**



## RESULTATS ET DUSCUSSIONS

### III HYDROGEOLOGIE

#### Introduction

Le Tassili n'Ajjer présente des ressources en eaux souterraines et de surface qui se diffèrent d'une région à une autre à savoir la nappe du Cambro-ordovicien, du dévonien inférieur, d'Inféro-Flux et les Gueltas.

#### 1. La nappe du Cambro-ordovicien

Les formations gréseuses Cambro-ordoviciennes du Tassili présentent une très faible porosité, elles sont parcourues par un système de fissuration et de failles.

Ces caractéristiques leurs facilitent les circulations des eaux, d'où les grés du Tassili présentent une bonne perméabilité.

La minéralisation de l'eau varie entre 0,19 et 0,45 g/l ; le résidu sec peut atteindre 0,37g/l.

La nappe est exploitée à Djanet par 18 forages (y compris la source de Djanet). Elle est à une profondeur de 140 à 400 m dans la région de Djanet et 600 m a Tarat avec un débit mobilisé de 10 à 60 l/s.(28)

#### 2. La nappe du Dévonien inferieur

Cette nappe est contenue dans les formations paléozoïques, elle couvre la région d'Illizi et ses environs et captée à 250 et 1450 m de profondeur, respectivement dans les régions d'Illizi et L'Lahdeb-Larache et à 40m dans la région de oued semmen au Nord-Ouest du Tassili n'Ajjer avec un débit varie entre 5 et 10 l/s.

C'est un complexe argilo-gréseux, avec passage de 10m d'épaisseur d'argile rouge, gris-blanc à beige, et passées fins d'argile gris-fonces.

Les eaux du dévonien inferieur sont caractérisée par :

- Une couleur jaune ;
- Une température de 21 à 64 F° ;
- Une minéralisation totale de 0,3 à 0,56 g/l et un résidu sec de 0,62 g/l.

L'épaisseur totale du réservoir dépasse 200 mètres dans la plus grande partie. L'eau est jaillissante au Nord et à l'Est du Tassili n'Ajjer exactement dans la région d'Illizi. Les forages sont exploités à des débits de 5 à 30 l/s. Le nombre total de forages inventoriés est de 36 dont 17 sont en service et 12 à l'arrêt. [28]

#### 3. La nappe de l'Inféro-Flux (Alluviale) de l'Oued Djanet

Avant la découverte de la nappe Cambro-ordovicien, la nappe des alluvions de l'oued Djanet était la principale et l'unique ressource en eau de la région. C'est une petite nappe aquifère

couvrant une superficie de 17 km<sup>2</sup>; il s'agit des alluvions hétérogènes : sable limoneux et galets de petites tailles. Actuellement elle est captée par 24 forages (y compris 01 puits) dont 09 forages et 01 puits sont en service (on note que plusieurs puits sont disparus suite aux dernières crues en 2006). L'eau de cette nappe est de bonne qualité, le résidu sec varie entre 146 à 340 mg/l.

#### **4. La nappe d'Inféro-Flux d'Oued Illizi**

Cette nappe entaillée dans les formations du Dévonien moyen est caractérisée par une superficie relativement importante et une épaisseur moyenne de 25 m. La profondeur est de 40 à 50 m en moyenne. Le débit oscille entre 2 à 16 l/s. On compte 01 seul forage destiné à AEP dans la Ville d'Illizi et une vingtaine destiné pour l'irrigation.

#### **5. La nappe de l'Inféro-Flux (Alluviale) de l'Oued AFRA**

A l'exception des zones altérées sur une dizaine de mètres de profondeur pouvant donner lieu à des petites réserves d'eau, les formations cristallines sont réputées de très mauvais aquifères, donc elles sont très pauvres en ressources en eau.

Cependant, étant donné que la région est longée par des oueds, les épaisseurs des dépôts alluvionnaires sont assez conséquents d'où la certitude que la nappe de l'inféro-flux admet de bonnes perspectives dans la région.

Ainsi, pour subvenir aux besoins en eau de la population d'Afra, il serait judicieux d'exploiter la nappe d'inféro-flux par des puits dont la profondeur sera de 10 à 40 m, alors que son débit oscille entre 2 à 3 l/s ; On compte aussi 06 forage : 02 de bonne qualité alimentent la localité d'AFRA et 01 de mauvaise qualité. [11]

#### **6. La nappe d'Inféro-Flux de Bordj El Haoues**

BEH est situé entre le tassili interne et tassili externe, où se développe une longue dépression à fond plat de largeur variable due à la présence des argiles à graptolite du Gothlandien : c'est le sillon intra- tassilien (JM FREULON). L'inventaire a fait ressorti 05 puits à usage mixte (agglomération d'Ahrir) et 02 forages destinés pour l'A.E.P de Bordj El Haoues.

Le débit d'exploitation oscille entre 1 et 6 l/s, l'eau qui est de bonne qualité est caractérisée par un résidu sec variant de 320 à 860 mg/l.

#### **7. La nappe alluviale d'Inféro-flux de l'Oued d'Ihrir**

En l'absence de sondages profonds qui peuvent nous renseigner sur le comportement hydrogéologique des formations de cambro-Ordovicien, cette région reste très mal connue au point de vue ressources hydriques.

Par ailleurs, la nappe d'Inféro-Flux de l'oued qui traverse cet endroit constitue l'unique nappe, cette dernière est sollicitée par quelques puits admettant les informations suivantes :

- Profondeur varie entre 9 et 15 m
- Débit moyen par puits de l'ordre de 5 l/s ;
- Salinité de 300 à 400 mg/l. [11]

### 8. La nappe de l'Inféro-Flux (Alluviale) de l'Oued Semmen

Cette nappe entaillée dans les formations du Dévonien supérieur est caractérisée par une superficie relativement importante, d'une épaisseur moyenne de 20 m, avec une profondeur allant de 10 à 30 m en moyenne. Son débit oscille entre 2 à 3 l/s. On compte 01 seul forage à Oued IHEN et une trentaine puits dont dix (10) puits (équipés par des pompes solaires), sont destiné pour AEP. [28]

**Tableau III.1: Les principales ressources en eau**

N°	Nom de nappe	Localisation	Profondeur (m)
01	Cambro-ordovicien	Tin Alkoum, Djanet, Tarat, Immihrou, Tamadjert, B-H	100-600
02	Dévonien Inférieur	Illizi, Issendjel, Lahdeb Laarach	350-1450
03	Inféro-flux	Les oueds alluvionnaires	15-70
04	Les gueltas	Les Oueds: djarat, semmen, Ihrir, Aharhar, Immihrou, Faddennoun, Djanet, B-H	0.50 - 5

AGE	ETAGES	LITHOLOGIE	DESCRIPTION	PROF	Formation hydrogéologique	
C R E T A C E O C E N A I C E	Turonien		Calcaire Marnes	500	Cinquième nappe	
	Cénomanién		Argile Avec passées de calcaire et de gypse			
	Albien		Grès,sable, argile			
	Aptien					
	Barrémien		Sable avec passées d'argile et de calcaire			
	J U R A S S I Q U E	Neocomien + Malm		Intercalation de sable et d'argile Traces de lignite	1000	Quatrième nappe
		Dogger		Sable, silt, grès, argile Présence de lignite		
		Lias		Alternance de sable et de grès Présence de dolomie		
		Viséen+Tourn		Argile, grès		
	D E V O N I E N	Moyen et supérieur		Argile, grès  Argile avec présence de silt	1500	Troisième nappe
Inférieur			Grès, argile			
G O R T H L A N D I E N			Grès, argile et silt	2000	Deuxième nappe	
			Grès, silt			
			Argile, grès			
			Grès, argile			
			Argile avec passées de grès au sommet			
O C C I D I E N			Grès hétérométrique	2000	Première nappe	
			Argilo-gréseux			

Figure III.A.1: La disposition des nappes dans le bassin d'Ilizi [14]

### 9 : La piézométrie de la nappe du Dévonien inférieur

La carte piézométrique indique que l'écoulement des eaux dans cette nappe, se fait principalement du Nord-Ouest et du Sud-Est vers le centre du bassin (sous forme d'une dépression) ; c'est-à-dire : vers la zone fortement exploitée par pompage (fig III.A2).

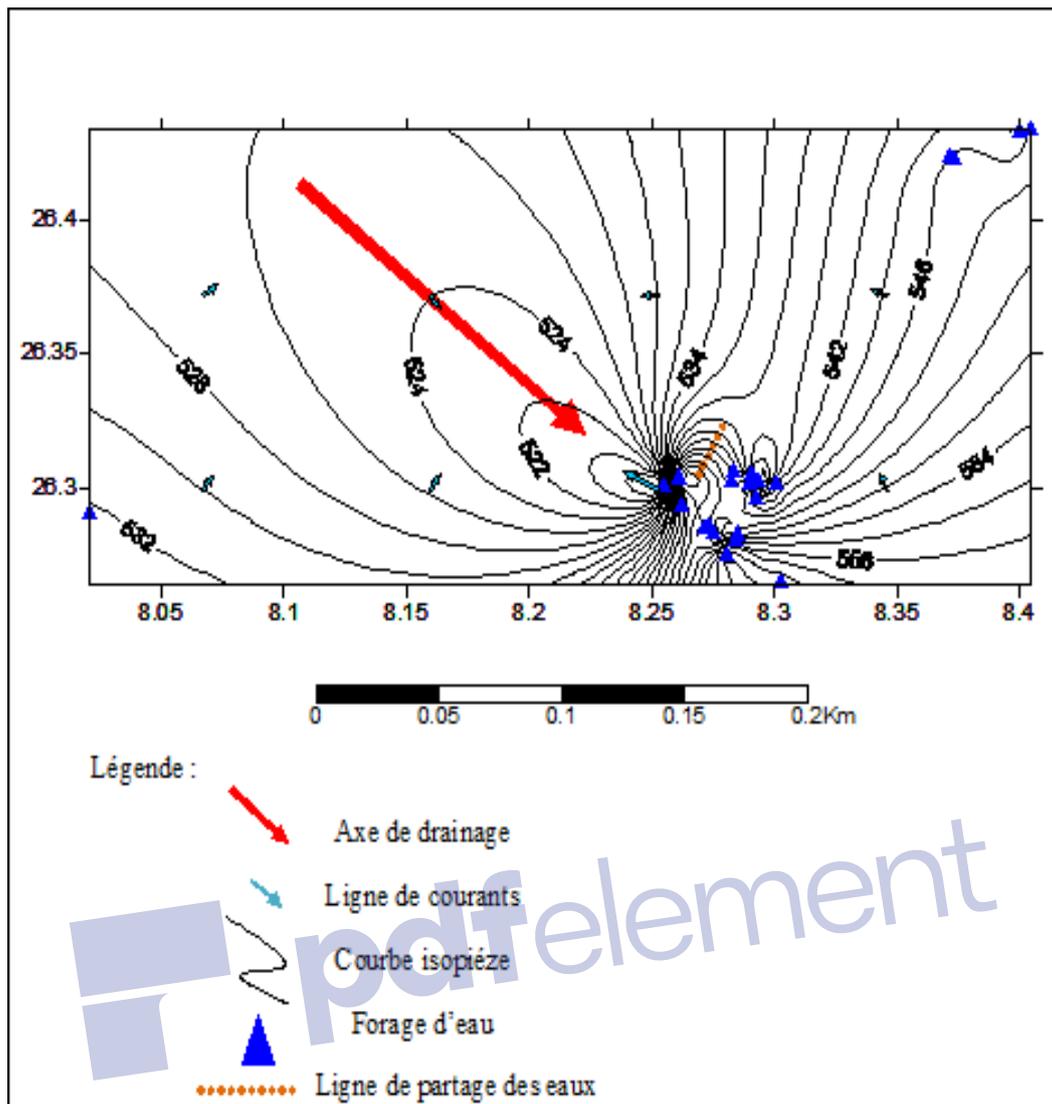


Figure III.A.2. Carte piézométrique de la nappe du dévonien inférieur [29]

## 10. Les Gueltas

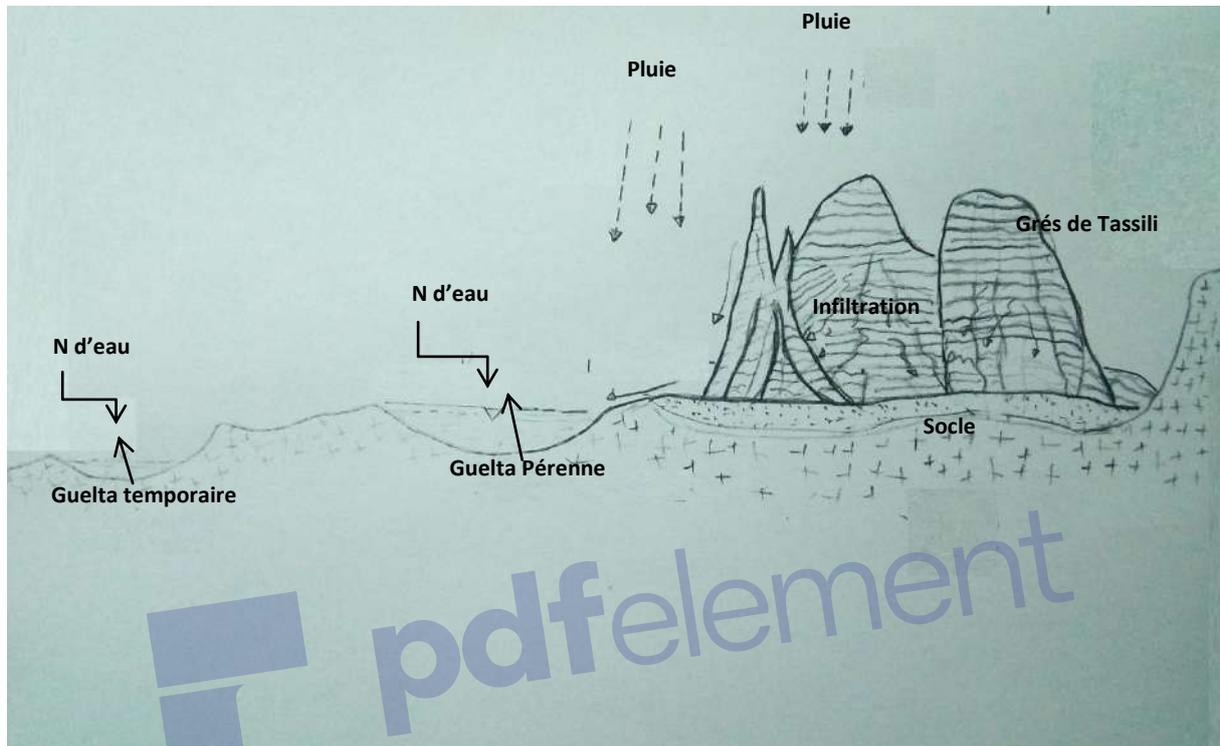
La guelta (Aguelmam) correspond à une dépression ou une cuvette dans le désert où l'eau s'accumule suite à une crue ou à de fortes pluies provoquant la création d'un bassin. Les Gueltas sont des collections d'eau, des mares « réservoirs » temporaires ou pérennes, elles sont relativement nombreuses dans le Tassili n'Ajjer.

Elle appartient à l'ensemble des zones humides des milieux désertiques comme le chott, la daya et la sebkha .

### 10.1. L'alimentation:

Les Gueltas sont alimentées par le ruissellement des eaux de pluie (figIII.A.3) ou par des sources ou l'inféro-flux, en contexte désertique; cela peut être une résurgence naturelle. « Dubief (1999) »,

À travers leurs renouvellement périodique, les Gueltas créent un micro climat ou un écosystème qui permet la préservation des animaux aquatiques tels que les poissons, les amphibiens et certains crustacés qui dépendent de l'existence permanente d'eau. La Guelta joue aussi le rôle d'abreuvoir sur lequel se base le mode de vie des nomades, ainsi que de relais pour les oiseaux migrateurs.



**Figure III.A3 :** Mode de fonctionnement d'un Guelta dans le Tassili n'Ajjer

## 10.2. Types de Gueltas

Il existe plusieurs types de Gueltas.

### 10.2.1 Gueltas pérennes

Ce type de Guelta permanente est caractérisé par sa grande longueur, parfois allant jusqu'à 60 mètres ou plus et tout dépend de la profondeur, de la nature et de la couches sur laquelle repose cette Guelta.

La guelta de « Barhou » peut atteindre en temps de pluie des dimensions de 100m de long et 5 m de profondeur. (O.P.N.T Illizi).

Leurs alimentation est assurée soit par les ruissèlements ou à partir des aquifères qui se réfère à une couche de roche perméable assez propice à l'eau souterraine.

### 10.2.2 Gueltas temporaires

En raison des fluctuations saisonnières liées aux conditions météorologiques des précipitations et des températures de surface, des changements à court et à moyen terme qui

se produisent en raison du changement climatique, des pluies occasionnelles contribuent à l'approvisionnement et l'alimentation des Gueltas.

Mais les inconvénients de ces Gueltas : c'est l'eau stagnante, sa mauvaise odeur et sa couleur noire, comme les Gueltas du Tassat et Takhamalt.

## 11. Les Gueltas les plus importantes du tassili n'Ajjer

### 11.1. Guelta d'Essendilène

- Altitude : 1161 m
- Profondeur :  $\approx 0.5$  m
- Rivage rocheux de la Guelta dans le Canyon ;
- Placée au pied du Tassili n'Ajjer dans le Sud algérien ;
- Gueltas encerclées par des falaises vertigineuses.
- Essendilène : une vallée déserte et une belle gorge ; Célèbre pour ses sources d'eau claire ainsi que sa flore verdoyante ;
- Essendilène, perle de verdure qui se confronte aux colonnes de grès. Au cœur de ses roches pointant vers le ciel ;
- Guelta d'eau fraîche se révèle ;
- Caché par des lauriers roses ;
- Un oued sublime cet éden célébrer autrefois par Frison-Roche ;
- Des paysages merveilleux.



Figure III.A.4 : Guelte Essendilène

### 11.2. Gueltet Ihrir

Il existe plusieurs Gueltas dans Oued Ihrir permanent en raison des canyons qui l'entoure. Grasse à ces Gueltas, la zone d'Ihrir es classée comme zone humide empêchent l'évaporation ; fond tantôt rocheux tantôt sédimenteux. Ses eaux sont légèrement dures (minéralisées) ; Contient peu de crustacés probablement en raison de la présence de prédateurs (poissons) ; il s'agit de copépodes cyclopoïdes.



Figure III.A.5 : Gueltet Ihrir

### 11.3. Gueltet Fadhenounne

- Artificielle et temporaire d'une altitude de 1224 m ;
- D'une longueur de 60 m
- D'une profondeur entre 0.2-1.8 m;
- Contient des copépodes ;
- Elle pourrait s'avérer aussi intéressante comme abris pour d'autres crustacés comme la mare de Takhemelt.



**Figure III.A.6 : Gueltet Faddennoun**

#### 11.4. Gueltet Tamadjert

- Gueltet Oued Tamadjert à une altitude de 1140 m ;
- C'est une cuvette de forme marmite ;
- Rivage rocheux ;
- Eau bien clair.



**Figure III.A.7 : Gueltet Tamadjert**

#### 11.5 Gueltet Ifni

- Mare à fond rocheux dans le lit d'oued Ifni ;
- Elle se remplit par ce dernier ;

- Guelta permanente à 837 m d'altitude ;
- Profondeur varie entre 0,6 - 4 m ;
- Elle contient des *Streptocephalus rubricaudatus*, des insectes, des copépodes cyclopoïdes et calanoïdes, des ostracodes, des cladocères Chydoridae, Ceriodaphniasp, Macrothrixsp, Daphniasp ;
- Les mares rocheuses du lit d'Ifni sont intéressantes et à préserver.



Figure III.A.8.1 : Gueltet Ifni



Figure III.A.8.2 : Gueltet Ifni

### 11.6. Gueltet Aharhar

- Guelta Inerjen permanente à une altitude 1068 m ;
- D'une profondeur de 6m et d'une longueur de 50 m ;
- Caché par des lauriers roses ;
- Eau clair.



Figure III.A.9 : Gueltet Aharhar

L'étude hydrogéologique de la région a permis de distinguer les réservoirs les plus importants dans la région :

- La nappe cambro-ordovicienne exploitée au sud de la wilaya notamment à Bordj El Houes, Tarat et Djanet ;
- La nappe du Dévonien inférieur exploitée à Illizi et ses environs, notamment Askifef et H'deb Laarache ;
- Les nappes des inféro-flux des oueds exploitées par des puits dans les régions d'Illizi, Afra, Tamadjert, Immihrou, Bordj El Houes et Djanet
- les gueltas exploitées par les nomades dans les différents oueds à travers la région de tassili.

 pdfelement

### III HYDROCHIMIE

#### Introduction

Ce chapitre a pour objectif de définir la qualité physico-chimique des eaux qui nous permettra d'expliquer l'origine et l'évolution des éléments chimiques afin de mieux comprendre le fonctionnement du système aquifère. Cette étude est basée sur l'analyse et interprétation de 19 échantillons. L'analyse des éléments chimiques a été effectuée au niveau du Laboratoire de Géologie du Sahara (LGS) de l'université de Ouargla sur les éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>).

Les stations de prélèvement sélectionnées sont représentées dans le tableau (III.2)

**Tableau III.2 : Caractéristiques des stations de prélèvement**

	symbole	désignation	x	y	z
<b>Oued Semmen</b>	<b>a</b>	Hassi doussa	26°29'66.40"	7°47'87.00"	498.8
	<b>b</b>	Hassi tihintalmounte	26°31' 47.70 "	7°55' 06.70 "	500.2
	<b>c</b>	Hassi karnethakem	26°29 53.30 "	7°48 13.10 "	491.2
	<b>d</b>	Hassi bilaliamou	26°31' 51.00 "	7°40' 27.70 "	485.1
	<b>e</b>	Hassi amar	26°34 72.80 "	7°38 92.00 "	475.5
	<b>f</b>	Hassi tikraratine	26°28 36.40 "	7°48 49.10 "	506.6
	<b>g</b>	Hassi issebilen	26°28' 97.50 "	7°55' 06.70 "	500.2
	<b>h</b>	iganeghan	26°28 50.40 "	7°42' 15.40 "	499.7
<b>Oued Immihrou</b>	<b>k</b>	Hassi ifedil	25°32 36.10 "	8°9' 42.60 "	1163
	<b>m</b>	Hassi indjedidhe 101	25°48 28.40 "	8°41 00.10 "	684
	<b>n</b>	Hammame tihoubar	25°57 13.70 "	8°44 39.10 "	648
	<b>o</b>	Hassi indjedidhe 102	25°48 8.60 "	8°41 00.10 "	692
	<b>p</b>	Hassi tihoubar 101	25°56 25.90 "	8°43 36.40 "	644.2
	<b>z</b>	forage tihoubare	25°56 35.70 "	8°4345.90 "	659.2
<b>Les Gueltas</b>	<b>1</b>	Essendilène	24° 57,553'	009° 00,566'	1172
	<b>2</b>	Ihrir	25° 24,918'	008° 25,018'	1034
	<b>3</b>	Tamadjert	25° 36' 36''	007° 19' 32,1''	1140
	<b>4</b>	Aherher	25° 32,594'	007° 59,461'	1068
	<b>5</b>	Ifni	25° 46,360'	007° 55,635'	837

#### Analyse des paramètres physico-chimiques

Les résultats d'analyse des paramètres physiques et organoleptiques, sont mentionnés dans le tableau (III.3).

**Tableau III.3.** Paramètres physico-chimiques et organoleptiques des eaux  
(Tassili n'Ajjer, 2019)

Paramètres	symbole	couleur	Odeur Saveur	PH	Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Salinité (‰)	T.D.S (mg/l)
<b>Oued Semmen</b>	A	Incolore	Sans	7.48	6180	0.3	1123
	B	Incolore	Sans	7.57	378	0.4	1241
	C	Incolore	Sans	7.43	6420	0.3	1045
	D	Incolore	Sans	7.21	2790	0.0	624
	E	Incolore	Sans	7.32	4570	0.0	599
	F	Incolore	Sans	7.55	571	0.0	559
	G	Incolore	Sans	7.79	386	0.0	599
	H	Incolore	Sans	7.40	577	0.3	1088
<b>Oued Immihrou</b>	K	Incolore	Sans	7.18	409	0.2	870
	M	Incolore	Sans	7.35	12950	0.2	844
	N	Jaunâtre	Sans	6.80	3480	/	/
	O	Incolore	Sans	7.34	738	/	/
	P	Incolore	Sans	7.44	5910	0.0	466
	Z	Jaunâtre	Sans	6.64	3690	0.2	844
<b>Les Gueltas</b>	Issendilen	Incolore	Sans	7,86	200,3	/	/
	Ihrir	Incolore	Sans	9,09	921	/	/
	Tamadjert	Incolore	Sans	8,30	295	/	/
	Aharhar	Incolore	Sans	8,38	341	/	/
	Ifni	Incolore	Sans	7,18	1276	/	/

### 1 Couleur

Après un simple examen visuel sur les échantillons placés dans des récipients, nous avons constaté que les eaux souterraines Immihrou a une couleur jaunâtre, (la nappe de cambro-ordovicien), linfero-flux de oued semmen, Immihrou et les eaux de guelta incolores transparentes.

### 2 Odeur et saveur

Aucune odeur ou saveur caractéristiques ont été constatées pour ces eaux.

### 3 Potentiel d'hydrogène PH

Le pH indique le caractère acide ou basique de l'eau. Il est lié à la nature des terrains traversés. D'une façon générale, les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant de terrains pauvres en calcaires ou siliceux ont un pH voisine de 7.

Les normes édictées par la réglementation nationale et internationale en matière de potabilité de l'eau recommandent un pH situe entre 6,5 et 9,5. En comparant les résultats obtenus (**fig III.1**) à ces normes, il ressort que leur pH est normal étant donné qu'il est compris entre 7,8 et 6.64 pour les eaux de linfero-flux et entre 7,18 à 9.05 les eaux des gueltas. (**fig.III.1.1**)

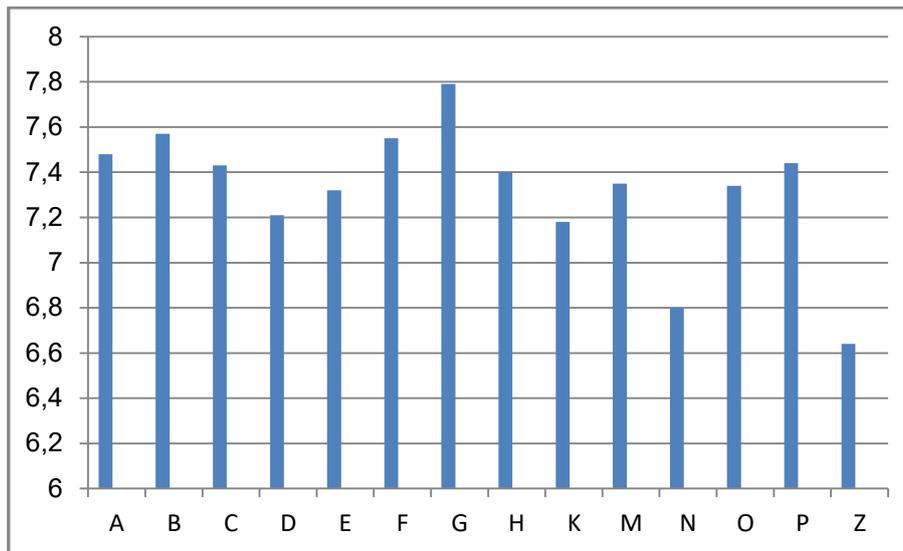


Figure III.1. : Variation du pH

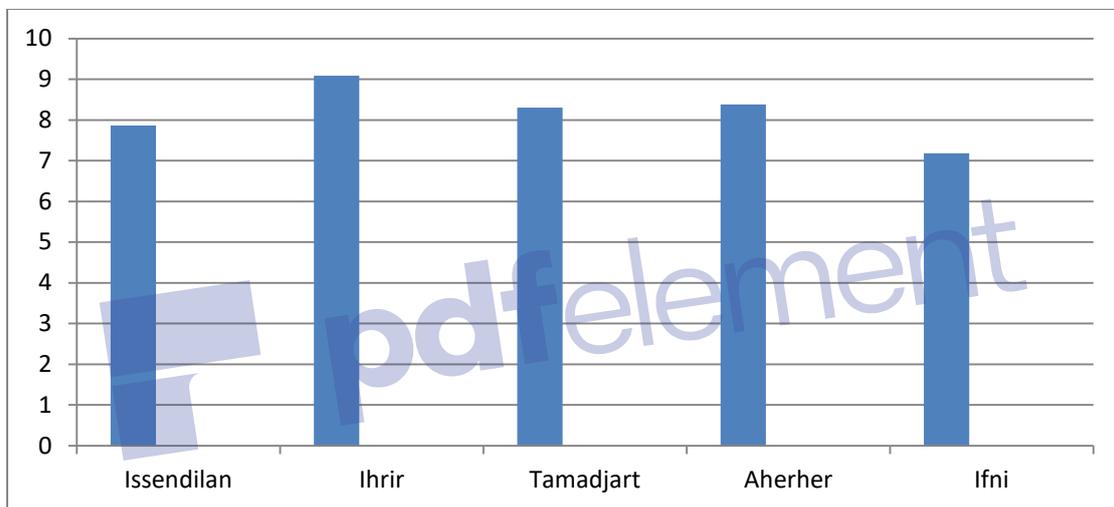
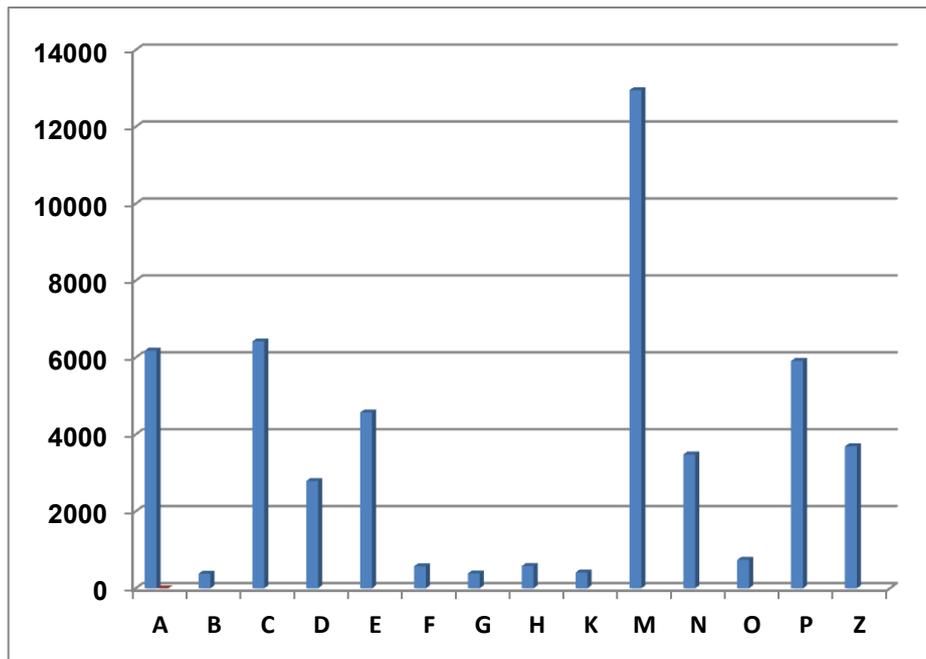


Figure III.1.1 : Variation du Ph des Gueltas

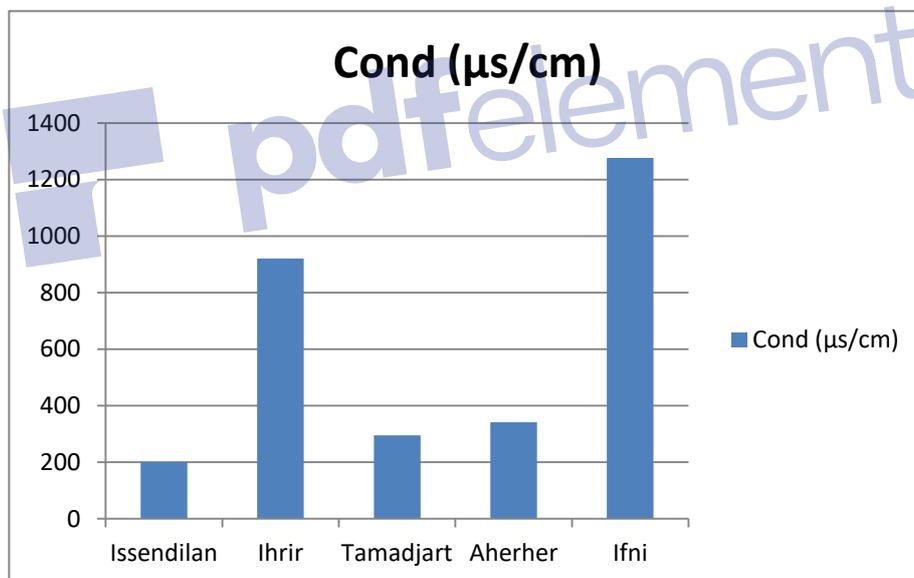
#### 4. Conductivité électrique

La conductivité permet de savoir le degré de minéralisation de l'eau où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous formes d'ions chargés électriquement.

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux de la zone d'étude (**fig.III.2**) sont comprises entre 378 et 12950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  c'est une valeur maximale pour les nappes de l'infero-flux et entre 200.5 et 1276 pour les Gueltas (**fig.III.2.1**)



**Figure III.2.: Variation de la conductivité électrique des eaux (oued Immihrou et oued semmen)**



**Figure III.2.1: Variation de la conductivité électrique des eaux des Gueltas**

## 5. Les Cations

### 5.1. Le Calcium (Ca)

Le Calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates ; est un composant majeur de la dureté de l'eau. Il est généralement l'élément le plus dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés.

D'après les normes Algériennes pour l'eau potable, la valeur maximale admissible est de 200 mg/l, en la comparant avec les résultats d'analyses (6.83--- 85.31), ils sont dans les normes de potabilité.

### 5.2. Le Magnésium (Mg)

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre.

Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (chimie de la potasse, alliages, pyrotechnie, batteries sèches, réducteur chimique, etc.) font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes, allant de quelques milligrammes à, quelquefois, plusieurs centaines de milligrammes par litre.

La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du Jurassique ou du Trias moyen). À partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. S'ils ne provoquent pas de phénomènes toxiques, les sels de magnésium et surtout les sulfates ont un effet laxatif à partir de 400 à 500 mg/l.

A titre indicatif, les anciennes directives du Conseil des Communautés Européennes indiquaient comme teneur du magnésium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 30 mg/l et une concentration maximal admissible de 50 mg/l. L'ancienne réglementation française retenait comme valeur limite 50 mg/L. Les réglementations actuelles ne préconisent pas de normes pour ce paramètre.

Les résultats trouvés respectent la réglementation à l'exception les eaux du hassi blIAMOU qui est de l'ordre de 85,07 mg/L.

### 5.3. Le Sodium (Na)

Le Sodium est un métal alcalin toujours présent dans les eaux naturelles mais en proportion très variables, il provient du lessivage des formations géologiques riches en (NaCl).

Les concentrations de tous les points d'eaux sont inférieure à la norme avec intervalles varié entre 6.10 et 61.26 mg/l, elles sont faiblement à modérément sodique.

### 5.4. Le Potassium (K)

Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles et ne dépasse pas habituellement 15 mg/l. Les directives du Conseil des Communautés Européennes indiquent comme teneur en potassium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 10 mg/L et une concentration maximale admissible de 12 mg/L. la réglementation française retient cette même teneur limite de 12 mg/L.

Les concentrations du K varient de 1.33 à 8.26 mg/L. Ces valeurs sont faibles et par conséquent conformes aux normes à l'exception les eaux du hassi inajedidhe et forage tihoubar qui est de l'ordre de 33.62-54.90mg/L.

## 6. Les Anions

### 6.1. Les Chlorures (Cl)

Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 mg/L, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Ils sont aussi susceptibles d'amener une corrosion dans les canalisations et les réservoirs, en particulier pour les éléments en acier inoxydables, pour lesquels les risques s'accroissent à partir de 50 mg/L.

L'OMS recommande pour la teneur en chlorures dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250 mg/L pour des considérations gustatives et des risques de corrosion.

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau prélevées, ont révélées des quantités normales de chlorures allant de 0.02 à 15.2 mg/l. Selon les normes locales de potabilité des eaux, une valeur maximale admissible de 500 mg/l.

### 6.2 Les Sulfates (SO4)

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire un gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande comme valeur limite 250 mg/L. Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française retiennent cette dernière valeur.

Les concentrations trouvées sont supérieures aux normes admises par l'O.M.S.

### 6.3. Les Bicarbonates :

Concernant les ions bicarbonates, il n'existe pas de concentration maximale admissible légale. Les eaux analysées sont caractérisées par une concentration varie entre 250,10 mg/l ( F1 Tihoubar) et 396,50 mg/l (Hammem).

### 6.4. Balances ioniques :

Le contrôle des résultats de l'analyse d'une eau naturelle peut être effectué par l'intermédiaire du bilan ionique : c'est-à-dire par la vérification de l'équation d'électro neutralité. En théorie, et pour un pH voisin de 7, la somme des anions exprimée doit correspondre exactement à la somme des cations exprimé de la même manière.

Somme des cations (meq/L) = Somme des anions (meq/L).

Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

$$\frac{(\sum \text{cations} - \sum \text{anions})}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} * 100$$

Où :

BI : la balance ionique exprimée en pourcentage ;

$\Sigma$  La somme des cations (unités en meq/l) ;

$\Sigma$  La somme des anions (unités en meq/l).

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais conclusion lors de l'analyse.

En règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante :

- $1\% < BI < 1\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses excellentes ;
- $5\% < BI < 5\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses acceptable ;
- $10\% < BI < 10\%$  : Fiabilité des résultats d'analyses médiocre ;
- $BI > 10\%$  : Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

## 7. Le faciès chimique

Pour la couverture de toute la région d'études nous avons exploites toute le résultat d'analyse chimique disponible .les facies caractérisant l'eau de l'infero-flux et les Gueltas.

### 7.1 Outils d'analyse

Pour interpréter les résultats d'analyses, nous avons utilisé les logiciels suivants :

### 7.2 Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon, qui nous permet de classer les eaux en faciès chimique et en classe d'eau potable et d'irrigation, et de construire en particulier les diagrammes de Piper, de Schoeller-Berkaloff et de Riverside

### 7.3 Classification des eaux

Les nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une eau, induisent l'utilisation des représentations graphiques. L'objectif principal est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution ou de la comparer à d'autres eaux de compositions physico-chimiques voisines ou de proximité géographique. Les quatre graphiques de Piper, Stiff, Stabler et Schoeller-Berkaloff sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes.

### 7.4 Diagramme de piper

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Dans ce losange, le pôle haut correspond à 100% de sulfate et chlorure et 100% de calcium et magnésium, le pôle bas représentant 100% de carbonate et bicarbonate et 100% de sodium et potassium.

L'analyse chimique des eaux d'un forage et d'une source (hammam) a révélée un faciès sulfaté magnésien.

Pour les puits Oued Semmen et Immihrou L'analyse chimique des eaux a révélé une légère tendance de migration vers le faciès sulfaté calcique (Fig. III.3 et III.3.1).

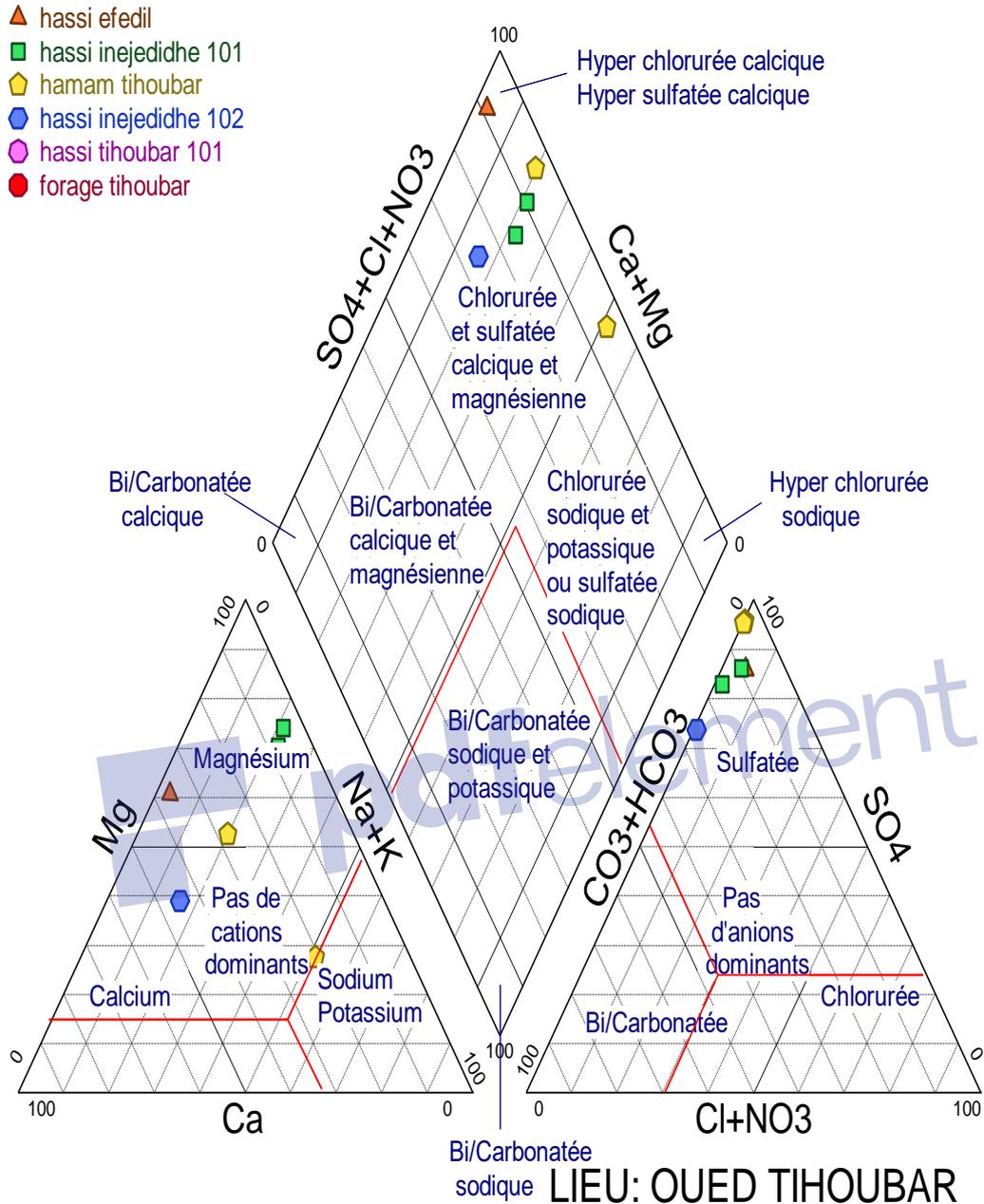
Concernant les eaux des Gueltas, le faciès chimique est chloruré (à Ifni) ; et bicarbonaté calcique et magnésien (à Issendilen, Aharhar, Ihrir et Tamadjert) (Fig. III.4).

Ces résultats sont confirmés par les diagrammes de Schoeller-Berkaloff (Fig. III.5 ; III.5.1 et III.6.).

 pdfelement

A

### Diagramme de Piper

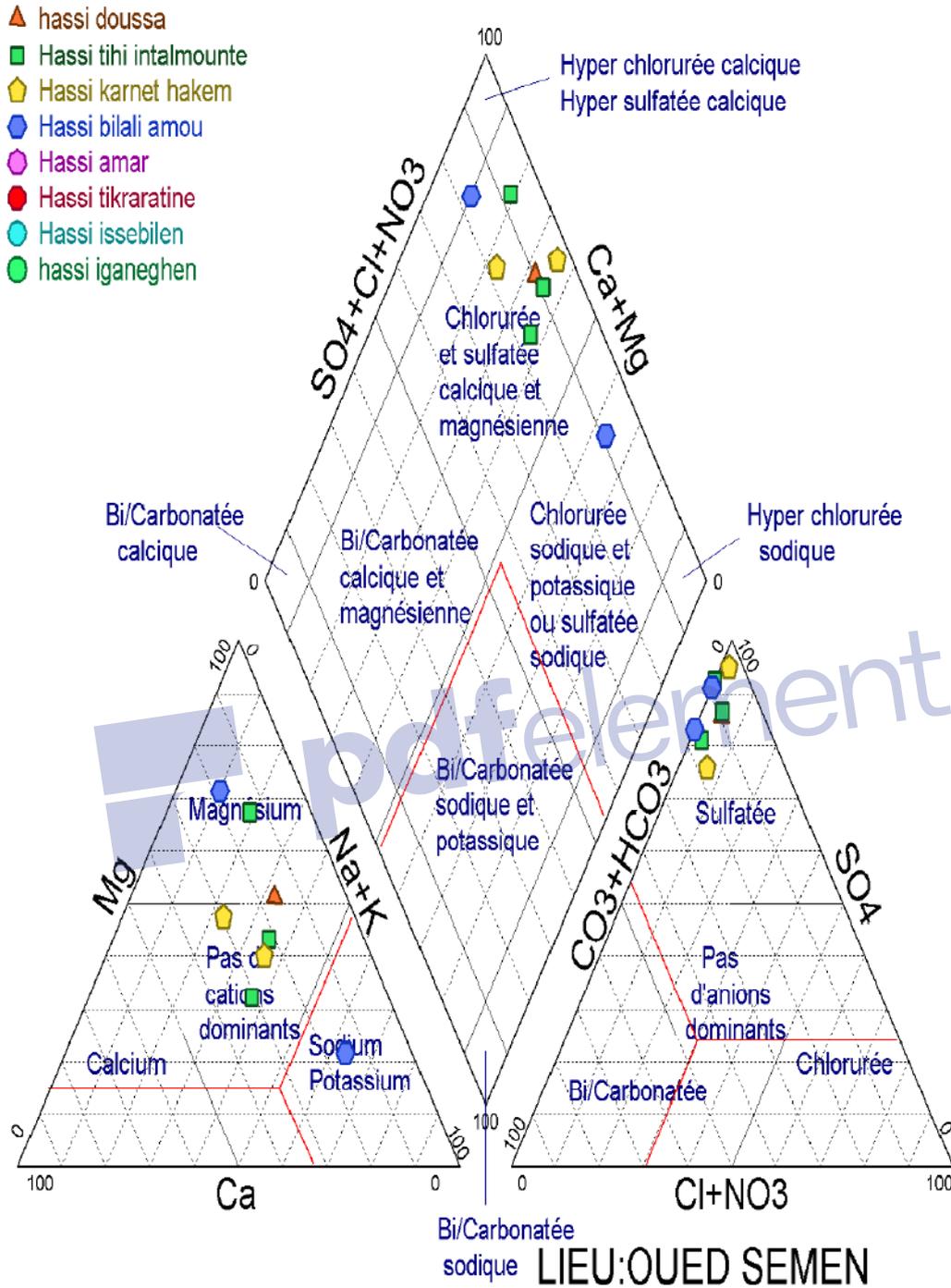


**Figure III.3: Classification de Oued Immihrou selon Piper**

On remarque à partir du diagramme de piper que pour les eaux de Oued Tihoubar le nuage des points montre auqu'une dominance cationique du calcium et du magnésium.

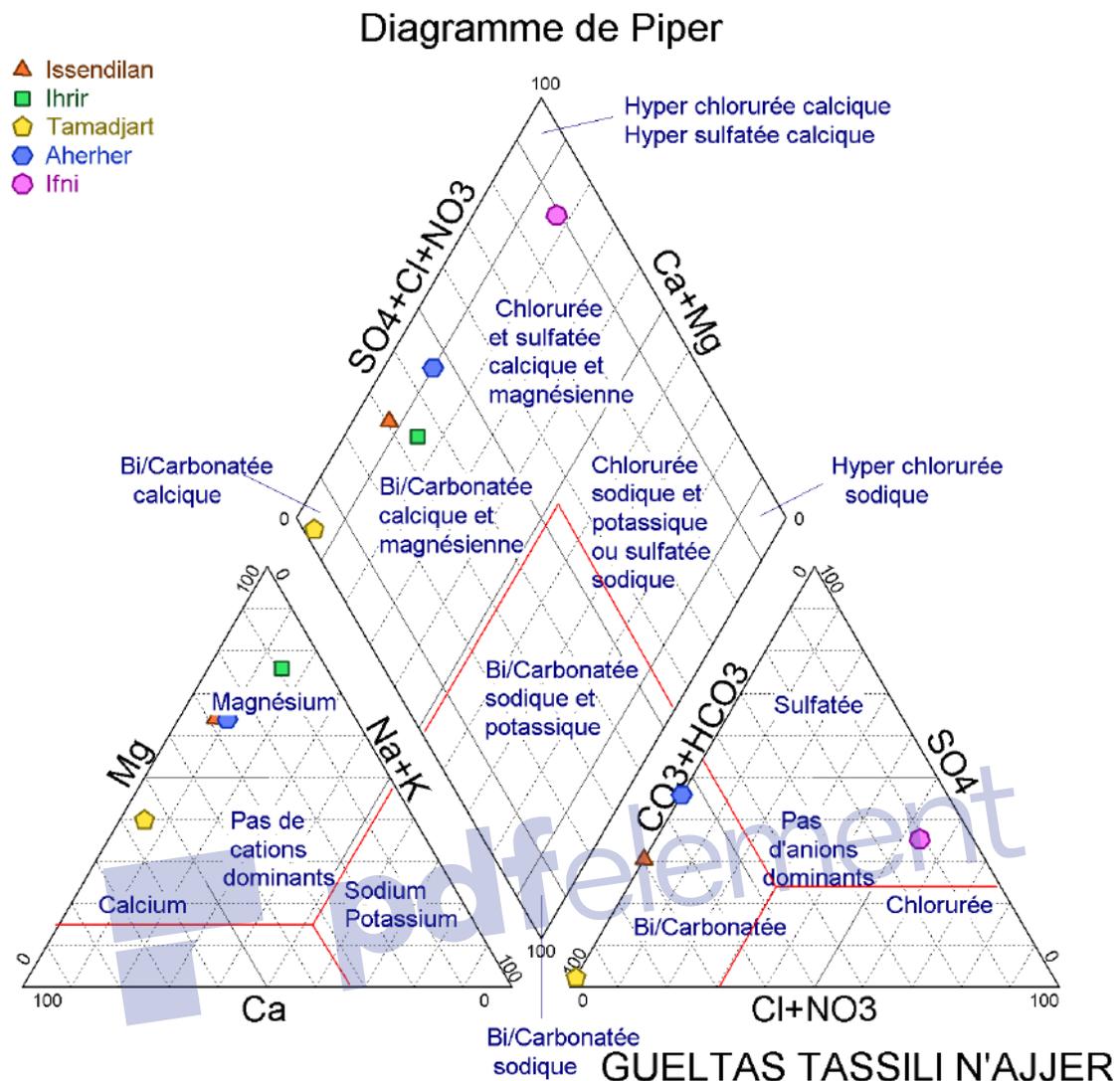
Le diagramme global met en relief deux faciès dominants, le faciès hyper chloruré calcique pour les eaux de Hassi efedil et sulfate calcique et magnésien pour les eaux de hassi inejdidhe101,102,tihoubar101 tihoubar (hamem)

### Diagramme de Piper



**Figure III.3.1: Classification de Oeud Semmen selon Piper**

On remarque à partir du diagramme de piper le faciès sulfaté calcique pour tout les puits (Hassi).pour les eaux de Oued semmen .

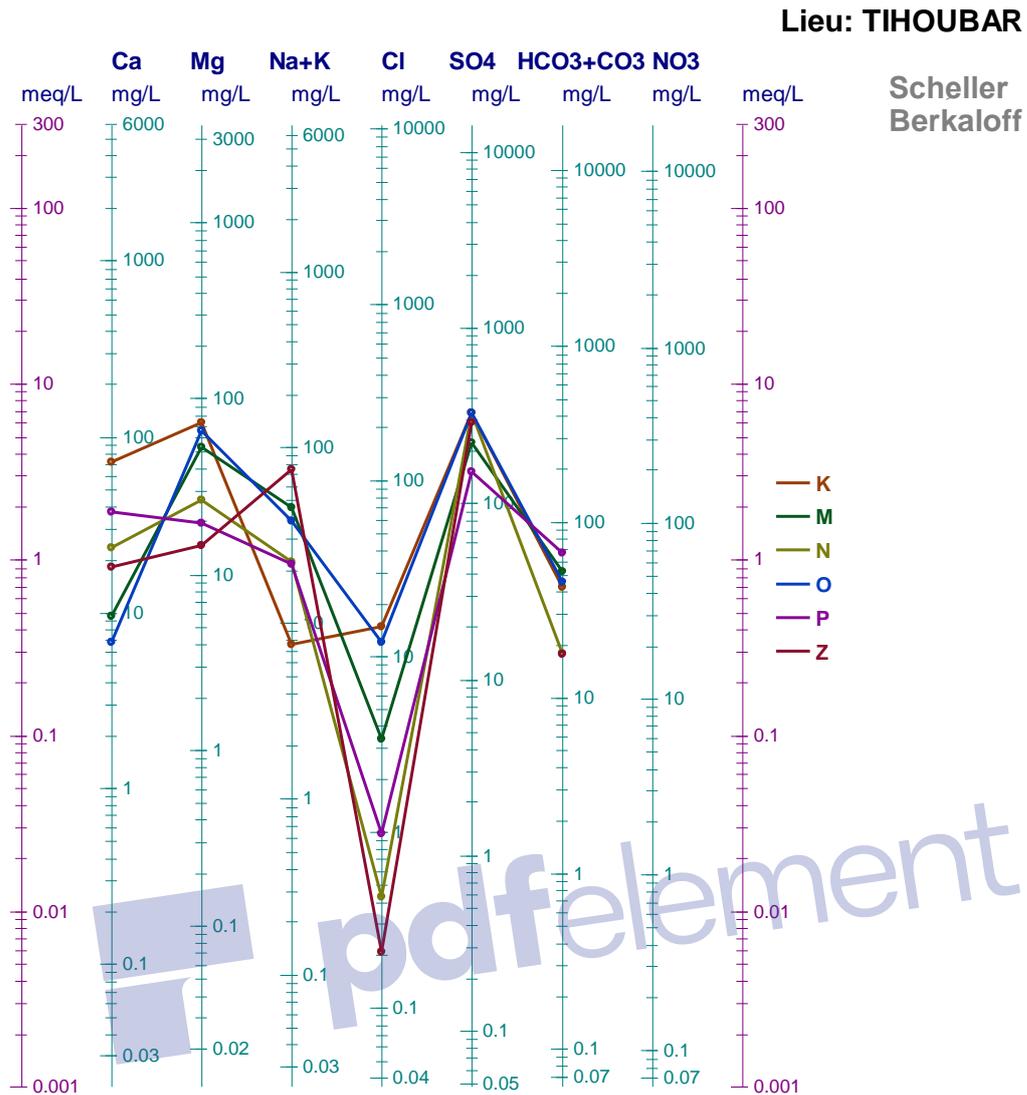


**Figure III.4 : classification des eaux des Gueltas du Tassili n'Ajjer selon Piper des**

### 8. Diagramme de schoëller-berkaloff

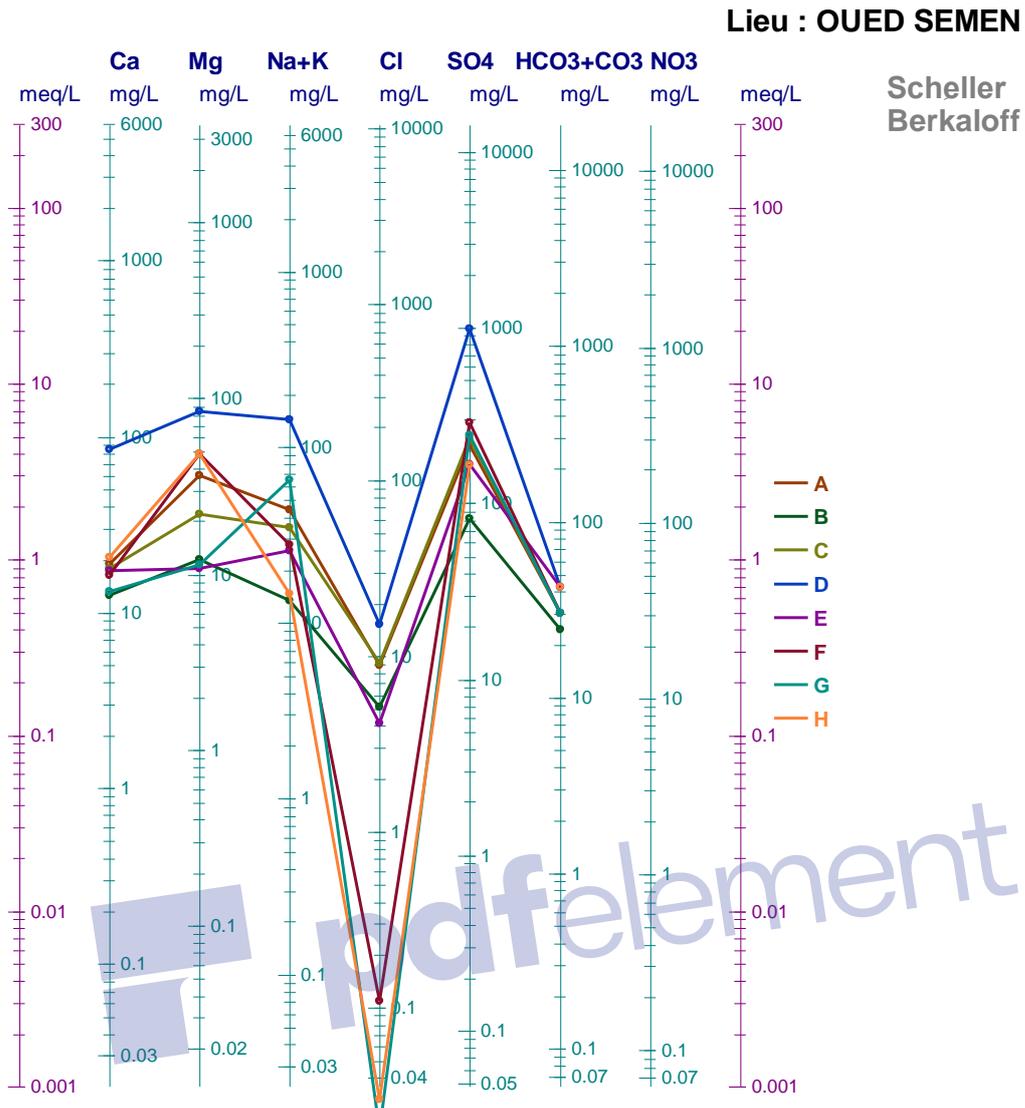
Le diagramme de Schoëller-berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralité variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles.



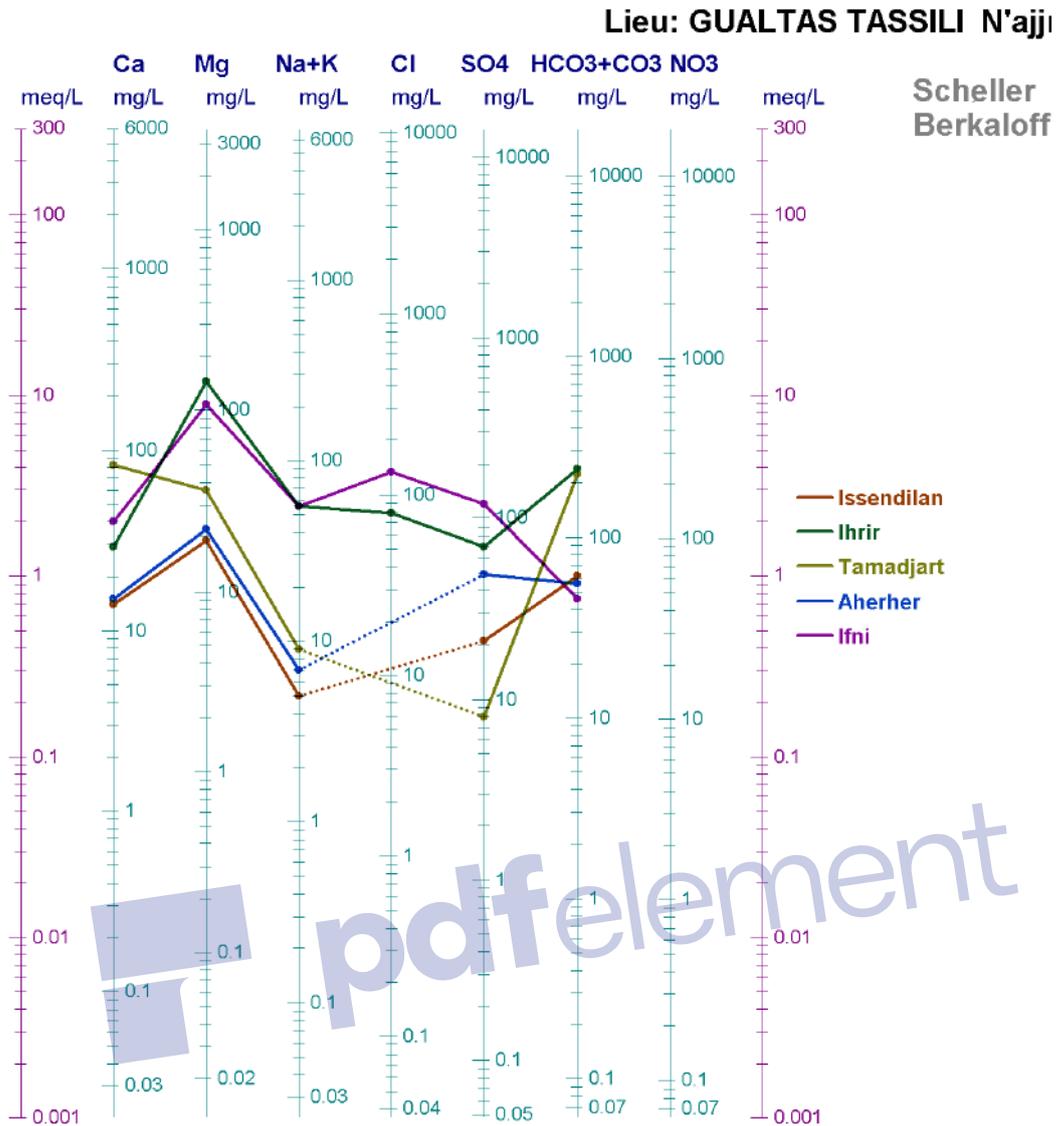
**Figure III.5 : Classification d'Oued Immihrou selon schoëller-berkaloff**

Le diagramme de la figure (III.5), confirme le faciès sulfaté calcique et magnésien qui est due à la dissolution combiné de la calcite, la dolomite et le gypse .



**Figure III.5.1: Classification d'Oued Semmen selon schoëller-berkaloff**

Le diagramme de la figure (III.5.1), confirme le faciès sulfaté et magnésien qui est liée à la nature lithologique des formations gypseuses et à la dissolution combiné de la calcite et la dolomite.



**Figure III.6 : Classification des Geltas de Tassili n’Ajjer selon schoëller-berkaloff**

### 9. Potabilité des eaux

La potabilité des eaux est liée aux normes établis par des organismes nationaux et/ou internationaux ; ces organismes fixent les concentrations des éléments chimiques selon des critères choisis conventionnellement. Dans notre région, les eaux sont potables (Tab. III.4).

Tableau III.4 : Normes de potabilité des eaux

Paramètres	Unité	result	Algérie	OMS	CEE
Ca	(mg/l)	28,97	/	100	100
Mg	(mg/l)	45,23	200	250	50
Na	(mg/l)	28,8	150	200	150
K	(mg/l)	8,77	12	-	12
Cl	(mg/l)	15,14	200	250	200
SO4	(mg/l)	226,39	250	400	250
Conductivité	( $\mu$ S/cm)	626,6	/	/	/
pH	/	8,16	6.5 à 9	6.5 à 8.5	/



## CONCLUSION GENERAL

L'objectif de cette étude hydro chimique est la connaissance des origines et l'évolution des éléments chimiques des eaux alluvionnaires des Oueds Immihrou, Oued Semmen et les Gueltas.

L'évaluation de la qualité physicochimique des eaux de surface de la région du Tassili n'Ajjer (sud-est Algérien) ; l'explication des phénomènes à l'origine de la minéralisation de ces eaux, (dix-neuf échantillons d'eaux ont été pris dans différents endroits pour évaluer la qualité physicochimique de ces eaux)

Les résultats sont traités à l'aide de méthodes hydro chimiques (diagramme de Piper) pour l'étude de la typologie des eaux et des techniques d'analyse statistique . L'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN) et l'analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) sont utilisées pour mettre en évidence respectivement les phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux et les liens entre ces eaux.

Les eaux étudiées sont variables ( $6,5 < \text{pH} < 9,5$ ) et normalement minéralisées.

Les teneurs des paramètres chimiques sont conformes aux normes OMS ; excepté le potassium dans les puits de Hassi Inejdidhe et forage Tihoubar (33,62 mg/L ; 54,90 mg/L)

Les eaux sont dans la majorité sulfaté-calcique pour les puits de Oued Semmen et bicarbonaté calcique et magnésien pour les eaux des Gueltas (concernant les eaux des Gueltas, le faciès chimique est chloruré (à Ifni) ; et bicarbonaté calcique et magnésien (à Issendilen, Aharhar, Ihrir et Tamadjert)

Trois phénomènes sont à l'origine de la minéralisation des eaux : les apports des activités anthropogéniques, le pluviollessivage des sols et le contact eau-roche (principal mécanisme de production d'ions).

Cette étude révèle que les eaux de surface de la région de tassili n'Ajjer sont en générale potable et conforme aux normes OMS ; excepté les gueltas temporaires non renouvelables régulièrement, qui seront polluées par plusieurs agents (les oiseaux ...etc.....)

## Références bibliographiques

- [1] **DPSB ILLIZI, 2010** : rapport administratif.
- [2] **Document B /SH/SINOPEC, Avril 2008**: Etude d'impact sur l'environnement du projet De développement du champ pétrolier du bassin d'Illizi.
- [3] **l'UICN Union internationale pour la conservation de la nature**
- [4] [5] [6] **OPNT ILLIZI Office du Parc National du Tassili**
- [7] **L'Ajjer Sahara central de Jean Dubief 1999**
- [8] **station météorique Djanet**
- [9] , [10] **La station météorique d'Illizi**
- [11] **SRE D'aira D'Illizi**
- [12] **La station météorique d'Illizi et Djanet**
- [13] **Askri H. et al, 2003** : Géologie de l'Algérie (Schlumberger Sonatrach).
- [14] **Castany G.1982** : Principe et méthode de l'hydrogéologie. Edition Dunod, Université Bordas, Paris.
- [15] **Hassani. M. I. 2008** : Hydrogéologie Algérienne (cours).
- [16] **Mayer de Stadelhofen. C. 1991** : Application de la géophysique aux recherches d'eau. Lavoisier, Paris, France.182p, 123 fig.
- [17] **Arrar I. septembre1998** : Rapport de fin de sondage, puits d'eau Tifarnine (Sonatrach /Repsol).
- [18] **UNESCO 1972** : Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional.
- [19] **M.Boulehia, juin1995** : Etude géologique et distribution des propriétés du réservoir Ordovicien supérieur dans le champ de TFT bassin d'Illizi .Mémoire d'ingénieur en Exploration option géologie, IAP, Boumerdes.
- [20] **Desbrand R. 1962**: Interprétation la diagraphie, Paris, France.
- [21] **Laouici S. 2010** : Note relative aux propriétés physicochimiques des eaux Dévoniennes dans le bassin d'Illizi. (ANRH Ouargla)
- [22] **Mahidi M.2001** : Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologique du bassin de chott El Gharbi. Mémoire d'ingénieur d'état, science de la terre .Oran. 110 p.
- [23] **ERM 2010** : Projet D'exploration Illizi.
- [24] **Groupement Sonatrach / Sinopec** : Etude D'impact Sur L'environnement In Amenas
- [26] **Bri 99** : Etude De Plan Directeur General De Développement Des Régions Saharienne
- [27] **Structure Géologique et perspectives en pétrole et en gaz du Sahara algérienne**
- [28] **DRE ILLIZI**
- [29] **ANRH OUARGLA**

## ملخص

تهدف هذه الدراسة الهيدرو كيميائية الى التعرف على تطور العناصر الكيميائية لمياه مكنم الأودية الخاصة بواد امهروا و واد سامن و كذا القلثة المتواجدة بمنطقة طاسيلي ناجر.

تم معالجة النتائج الهيدرو كيميائية بواسطة (مخطط بيبر pipe) بالنسبة لدراسة تصنيف المياه و تقنيات التحليل الاحصائية وتحليل المعايير للمركبات الاساسية (ACPA) و التحليل التصاعدي و التصنيف المتدرج (CHA) استعملت على الترتيب لا يراز الظواهر التي هي مصدر تمعدن المياه و كذا العلاقة بين هذه المياه.

هذه الدراسة كشفت على أن المياه السطحية لمنطقة طاسيلي ناجر على العموم مياه شروب و مطابقة للمعايير المنظمة العالمية للصحة باستثناء مياه القلثة المؤقتة و الغير المتجددة بانتظام فهي معرضة للتلوث جراء عدة عوامل منها (الطيور، الحشرات، الزواحف، النباتات اليابسة و فضلات الحيوانات... الخ...)

**الكلمات المفتاحية:** مكنم المياه شبه السطحية, واد امهروا, واد سامن, مياه القلثة, منطقة طاسيلي ناجر

## RESUME

L'objectif de cette étude hydro chimique est la connaissance des origines et l'évolution des éléments chimiques des eaux alluvionnaires des Oueds Immihrou, Oued Semmen et les Gueltas de tassili n'Ajjer.

Les résultats sont traités à l'aide de méthodes hydro chimiques (diagramme de Piper) pour l'étude de la typologie des eaux et des techniques d'analyse statistique. L'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN) et l'analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) sont utilisées pour mettre en évidence respectivement les phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux et les liens entre ces eaux.

Cette étude révèle que les eaux de surface de la région de tassili n'Ajjer sont en générale potable et conforme aux normes OMS ; excepté les gueltas temporaires non renouvelables régulièrement, qui seront polluées par plusieurs agents (les oiseaux ...etc.....)

**Mots-clés:** les eaux de la nappe alluvionnaire, immihrou, oued semmen, et les Gueltas, Tassili n'Ajjer

## ABSTRACT

The objectif of This hydro chemical study is the knowledge of the origins and the evolution of chemical elements of the alluvionnaires waters of oued immihrou oued semmen and lakes (gueltas) existing in the Tassili n'Ajjer.

Results are treated via hydro chemical methods (Piper's diagram) for study of the water typology and statistical analysis technics. The analyses in normalized principle components (ANPC) and analysis and

Hierarchical ascending calcification (HAC)Is used to visualize the origin of the waters mineralization phenomena and the links between those waters.

This study reveals that superficial waters of Tassili n'Ajjer are generally drinkable and conform to the WHO norms (word health organization) in exception temporary lakes are non-renewable regularly these will be polluted By many agents (birds.....etc. )

**Key word:** water of nape alluvionnaire, Immihrou, oued semmen, and water of the Gueltas of Tassili n'Ajjer.