



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

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

N° d'ordre :
N° de série :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : HYDRAULIQUE

Spécialité : RESSOURCE HYDRIQUE

Par : BELLEMHERBET AMIRA
KHOUYA RAHMA

Thème

**GESTION DE QUALITE ET ANALYSE HYDROGEOLOGIQUE
DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION
DETAGREMBEIT WILAYA DE TAMANRASSET
(EXTEREME SUD ALGERIEN)**

Soutenu publiquement le :24/06/2018

Devant le jury :

Salhi Imad	MAB	Univ. Ghardaïa	Président
Chabihi Lakhder	MAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
Amaier Rekkia	NAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
Boubelli Salim	MAA	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2017/2018

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier mon dieu de m'avoir donné le courage et la patience et la puissance pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie.

A mes très chers parents : ma mère MABROUKA et mon père ABD ELLKADER. .

A mes frères.

A ma très chère sœur.

A toute la famille BELLEMHERBET et LAOUR et ABOUTALEB et BOUCENA.

A mon binôme Rahma et sa famille. A mes amis de l'université et les promotions Hydraulique

2017/2018, surtout Saïda et Khadîdja.

A tous mes amis.

A tous ceux que j'aime.

AMIRA

Dédicace

Ce travail est pour satisfaire la sois de la femme qui me donne la grande pousse et m'encourager pour être un étoile dans le ciel quand j'étais une pierre sur le sol à ma mère que dieu le conserve.

A mon père après tout ces efforts qui a fait et qu'il les fasse toujours pour le bien de notre famille qui je lui souhaite une longue et joyeuse vie.

A mes frères et sœurs Iyad, Alaabbas, Abd Arahman, Asma, Selma, Dallal, Yamina, Aicha .

Pour tons ceux qui sont éloignés la vie Dieu à illuminé leurs tombes Atayeb Lahbib et Toukanbi Zahritou

A mon binôme Amira et sa famille.

Mes amis surtout :Saida, Hakima, Khadija, Arwa , Wafa, Sara, Tahra, Micha, Mabrouka, Zahrouna, Khoukha, Zahritou, Amouna, Lifa, F.Aicha,A.Aicha, I. Iala, Kh.Lala, Fatima, Hamouda, Ilyas et djamale kawla.

A tous ma famille et les Voisins et la famille :Ikoussani,zouaui, khebaui, Megamed, Bounaama,Toukanbi, Aguere ,Aoimere,Awhagaghene ,Fenoufnou,Ifarghasse, Dadawaali

A mes collègues de deuxième année master hydraulique Promotion 2018 et à toutes les personnes qui peut être, nous les avons oubliés qu'ils nous pardonnent

RAHMA

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions DIEU le tout puissant qui nous a donnés la force et le courage pour mener à bien ce travail.

Nos chaleureux remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou deloin à notre formation du primaire au supérieur.

Nous tenons à remercier monsieur **Mr. Boubelli Salim** pour leur assistance, leur disponibilité, leur patience et leurs précieux conseils.

Nous remercions aussi l'ensemble des enseignants de notre département, en particulier ceux de la spécialité **Hydraulique**.

Nos l'agréable tâche de témoigner nos grande reconnaissance aux différents services techniques auprès desquels nous bénéficié d'un aimable appui, notamment ceux qui m'ont facilité l'accès aux données de mesures et à la documentation, en particulier :

- La Direction de l'Hydraulique de Tamanrasset **AMIROUCHE KARIMA**.

-Station météorologique de Tamanrasset AERO **BAIKA SIDI**.

- Le directeur de laboratoire d'Algérienne des eaux (ADE) **ADJRAD MOHAMED**.

Aussi **Mr. Mouloud NAFIS** à Centre Universitaire -Tamanrasset.

Nos sincères remerciements s'adressent aux membres du jury qui ont accepté de lire et juger ce travail.

En définitive, nous remercions toute personne qui a participé de près ou de loin, de façon directe ou indirecte, à la réussite de ce travail pour lequel nous avons tant consacré en y mettant aussi tout notre coeur.

Sommaire

Sommaire

	Page
Dédicaces	I
Remerciements.....	II
Sommaire.....	III
Listes des tableaux.....	IV
Listes des figures.....	V
Listes des abréviations	VI
Introduction générale	01
<i>CHAPITRE I : GENERALITE</i>	
I. Cadre géographique de la région d'étude	02
I.1. La situation géographique.....	02
I.2. Relief.....	02
I.3. Végétation.....	03
I.4. Réseau hydrographique.....	04
II. Géologie de la région d'étude.....	04
II.1. Les formations paléo à mes protérozoïques.....	04
II.1.1. Série inférieure.....	04
II.1.2. Série supérieure.....	06
II.2. Formations néoprotérozoïques.....	08
II.2.1. Formations détritiques de Tazat.....	08
II.2.2. Formations volcano-sédimentaires.....	08
II.2.2.1. Série de plate forme.....	08
II.2.2.2. Série volcano-sédimentaire.....	08
II.2.2.3. Série molassique.....	09
II.3. Les formations magmatiques du Hoggar central.....	10
II.4. Les épanchements volcaniques du Hoggar central.....	10
II.5. LATAE	10

Sommaire

III. Tectonique et métamorphisme régional.....	11
III.1. L'événement Eburnéen.....	12
III.2. L'événement Panafricain.....	12
Conclusion.....	12

CHAPITRE II : HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction	14
I. Paramètres climatiques de la région	
I.1. La température.....	14
I.2. Les précipitation.....	15
I.3. Evaporation	16
I.4. Le Vent.....	17
II. Caractérisation du climat	18
II.1. Diagramme ombrothermique.....	18
II.2. Indice d'aridité de DERMARTONNE.....	19
III. Bilan hydrologique.....	20
III .1. Composants du bilan	20
III.2. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	20
Conclusion	22

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE

Introduction	24
I. Les principales ressources en eau de la région.....	24
II .Terrains aquifères	26
II.1. Les Alluvions.....	26
II.2. Socle altéré.....	27
III .La nappe d'inféro-flux de l'oued TAMANRASSET	29
III.1. Caractéristiques générales de la nappe.....	29
III.2. La morphologie de l'aquifère	29

Sommaire

III.3. Hydrodynamique de la nappe.....	29
III.4. Mode d'alimentation de la nappe	29
IV .La piézométrie	30
IV .1. Inventaire des points d'eau	30
IV.2. Interprétation de la carte piézométrique	31
Conclusion.....	33

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

Introduction	34
I.-Faciès chimiques	34
I.1.Le diagramme de Piper	34
I.2.Le diagramme de Schoeller- Berkaloff	35
II. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine	36
II.1.Les éléments mesurés in-situ.....	36
II. 1.1.La température	36
II. 1.2-La conductivité	37
II. 1.3.Le potentiel d'hydrogène PH	38
II.2- Les anions	39
II.2.1.Les sulfates	39
II. 2.2.les chlorures.....	39
II.2.3.les bicarbonates	40
II. 3.Les cations	41
II. 3.1-Le sodium Na^+	41
II. 3.2. le potassium K^+	42
II.3.3.le magnésium Mg^{+2}	43
II. 3.4- le calcium Ca^+	43
III. Qualité des eaux destinées à l'irrigation (AEI)	44

Sommaire

III.1. Les problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation	45
III.3.2. Les risques du Sodium Adsorption Ratio (SAR)	45
III.3.3. Relation entre le SAR et l'indice de salinité	47
III.3.3.1. Diagramme de Wilcox	48
III.3.4. Les risques de la salinité.....	49
III.3.5 Risques des bicarbonates	50
III.3.5.1 Carbonate de Sodium Résiduel (RSC)	50
III.3.6. Les risques des ions phytotoxiques	51
III.3.6.1. Les chlorures	52
III.3.6.2. Le sodium	52
IV. Qualité des eaux destinées à l'industrie (AEI)	53
IV. 1- Indicateurs calco-carboniques.....	53
IV. 1.1- L'indice de Ryznar (indice de stabilité).....	53
IV. 1.2- L'indice de Langelier (indice de saturation)	54
IV. 1.3- Indication du CCPP (calcium carbonate precipitation potential)	54
IV.2- Indicateurs de corrosivité.....	55
IV. 2.1- L'indice de Larson (indice de corrosivité).....	55
Conclusion générale	57
Référence	59
Résumé	60

Liste des figures

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Carte de situation géographique de la zone d'étude.	02
Figure I.2	Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Tamanrasset (Boulahbal 2012) modifiée.	03
Figure I.3	Hoggar central (Liégeois et al, 2003).	05
Figure I.4	Carte géologique simplifiée de la région de Tamanrasset (Réalisée à partir d'une image Google Earth 2010) (Hamdi. FZ, 2013).	06
Figure I.5	Les formations paléoprotérozoïques (série d'Arrechoum) du Hoggar central .	07
Figure I.6	Séries volcano-sédimentaires néoprotérozoïques du Hoggar central.	09
Figure I.7	Les granites néoprotérozoïques du Hoggar central.	11
Figure II.1	Températures moyennes mensuelle de la région de Tamanrasset (2007-2017).	15
Figure II.2	Précipitations mensuelles (minimales, maximales et moyennes) et précipitations moyennes annuelles période (2007-2017).	16
Figure II.3	L'évaporation dans la région de tamanrasset en mm (2007-2017).	17
Figure II.4	Vitesses moyennes du vent (m/s).	18
Figure II.5	Diagramme ombrothermique établi avec la moyenne des précipitations et des températures de la station de Tamanrasset (2007-2017).	19
Figure II.6	Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Tamanrasset (2007/2017).	22
Figure III.1	Les différentes formations aquifères de Hoggar (d'après le rapport ORGM n° 620) (modifiée).	25
Figure III.2	Coupe stratigraphique le long d'un profil en travers de la cuvette de l'oued (rapport hydrogéologique mission II, ENHYD).	26
Figure III.3	Coupe stratigraphique le long d'un profil en travers de la cuvette de l'oued (rapport hydrogéologique mission II, ENHYD).	27
Figure III.4	Carte structurale et hydrogéologique du Hoggar (D'après d'après le rapport ORGM).	28
Figure III.5	Carte d'inventaire des points d'eau de la région d'étude (Mars 2018).	31
Figure III.6	Carte piézométrique de la région d'étude.	32
Figure IV.1	Diagramme de Piper (Février 2018).	35
Figure IV.2	Diagramme de Schoeller- Berkaloff (Février 2018).	36
Figure IV.3	Qualité des eaux vis-à-vis la température (Février 2018).	38
Figure IV.4	Qualité des eaux vis-à-vis la conductivité (Février 2018).	39
Figure IV.5	Qualité de l'eau vis-à-vis la PH (Février 2018).	39
Figure IV.6	Qualité de l'eau vis-à-vis les sulfates (Février 2018).	40
Figure IV.7	Qualité de l'eau vis-à-vis les chlorures (Février 2018).	41
Figure IV.8	Qualité de l'eau vis-à-vis-les bicarbonates (Février 2018).	42
Figure IV.9	Qualité de l'eau vis-à-vis Le sodium (Février 2018).	43
FigureIV.10	Qualité de l'eau vis-à-vis le potassium (Février 2018).	43
FigureIV.11	Qualité de l'eau vis-à-vis le magnésium (Février 2018).	44
FigureIV.12	Qualité de l'eau vis-à-vis le calcium (Février 2018).	45
FigureIV.13	Risque du SAR eaux souterraines (février 2018).	48

Liste des figures

FigureIV.14	Diagramme de Wilcox (Février 2018).	50
FigureIV.15	Risque des bicarbonates eau souterraine (Février 2018)	51
FigureIV.16	Risque des Chlorures eaux souterraine (Février 2018)	53
FigureIV.17	Risque de sodium eaux souterraines (Février 2018).	53
FigureIV.18	L'indice de Ryznar (indice de stabilité) des eaux souterraines (Février 2018)	53
FigureIV.19	L'indice de Langelier (indice de saturation) des eaux souterraines (Février 2018)	55
FigureIV.20	l'indication de CCPP eaux souterraines (Février 2018).	56
FigureIV.21	L'indice de Larson (Février 2018)	56

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
tableau II.1	Stations pluviométriques.	14
tableau II.2	Température moyenne mensuelle période (2007-2017).	14
tableau II.3	précipitation en (mm), période (2007-2017)	15
tableau II.4	Evaporation moyenne mensuelle (2007-2017).	16
tableau II.5	Vitesses moyennes de vent de Tamanrasset pour la série de 11 ans (2007-2017).	18
tableau II.6	Moyenne des précipitations et des températures (2007-2017).	19
tableau II.7	Les résultats des calculs de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite.	21
tableau III.1	Mesures piézométriques de la région d'étude (Mars 2018).	30
Tableau IV.1	Normes européennes de potabilité des eaux CEE (1975).	37
Tableau IV.2	Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation	47
Tableau IV.3	SAR/Risque de salinité pour l'eau d'irrigation	48
Tableau IV.4	Risque des bicarbonates (HCO ₃) pour l'eau d'irrigation (meq/l).	51
Tableau IV.5	Les niveaux de toxicité pour des ions spécifiques (meq/l).	52
Tableau IV.6	Relation entre l'indice de stabilité et la tendance de l'eau	54
Tableau IV.7	Relation entre l'indice de corrosivité et la tendance de l'eau.	57

Liste d'abréviation

AEP : Alimentation en Eau Potable.

CCPP : Calcium Carbonate Précipitation Potentiel.

CE : conductivité électrique($\mu\text{S}/\text{cm}$).

CEE : communauté économique européenne.

DA: Déficit Agricole (mm).

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

I : Infiltration de l'eau dans le sol (mm).

Ic : Indice de corrosivité.

IL : Indic de Langelier.

IR : Indic de Ryznar.

NP : Niveau Piézométrique.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ORGM : Office National de Recherche Géologique et Minière

P : Précipitations (mm).

PH : potentielle hydrogène.

R : Ruissellement (mm).

RFU : Réserve Facilement Utilisable (mm).

RSC : Carbonat da Sodium Résiduel.

SAR : Sodium Absorption Ratio.

S-W : Sud –West.

T : température ($^{\circ}\text{C}$).

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale :

La wilaya de Tamanrasset est caractérisée par un climat hyperaride, avec une faible pluviométrie, des températures très élevées en été et une forte évaporation, la région est marquée par des pénuries en eau qui affectent l'alimentation en eau potable des agglomérations, notamment la ville de Tamanrasset. Actuellement, les ressources en eau dont dispose la ville de Tagermbeite sont fournies par quelques nappes d'inféro-flux situées dans les environs immédiats de la ville.

Selon L'OMS, La qualité de l'eau est un paramètre important qui touche à tous les aspects du bien-être des écosystèmes et de l'homme tels que la santé d'une communauté, les denrées alimentaires à produire, les activités économiques, la santé des écosystèmes et la biodiversité. En conséquence, la qualité de l'eau a également une influence sur la détermination des niveaux de pauvreté, de richesse et d'éducation de l'homme.

A la lumière de tous ces préambules, on est entraîné d'étudier la région de Tagermbeite, qui se trouve touchée par tous ces problèmes. Notre objectif essentiel est d'étudier la qualité des eaux des puits de Tagermbeite, et de faire un inventaire et la possibilité d'utiliser ces eaux pour l'alimentation en eau potable, en agriculture et en industrie et leurs conséquences sur l'environnement. Cette étude doit être sérieusement complétée par une étude hydro-climatologique, et hydrogéologique. Cette étude s'articule autour de quatre chapitres qui traitent respectivement :

1. Cadre géographique : est consacré à la description de la région de Tagermbeite (situation géographique, population, étude socio-économique, géologie ...).
2. Etude hydro climatologique : est consacré à la description climatique de la région d'étude.
3. Etude hydrogéologique : consacrée à toute estimation des réserves en eau de la région étudiée et les différents horizons aquifères dont les caractéristiques géométriques est indispensable pour situer l'importance de certaines nappes et les relations qu'elles peuvent avoir dans le contexte géologique général.
4. Hydrochimie et gestion qualitative des eaux : Etudiée pour déterminer la qualité des eaux souterraines selon leurs utilisations (eau destinée à la consommation humaine, eau destinée à l'irrigation et eau destinée à l'industrie) et conclusion générale .

CHAPITRE I : GENERALITE

I. Définition de la région d'étude :

I.1. La situation géographique :

La ville de Tamanrasset fait partie du massif de l'haggar, dans le sud du Sahara algérien à 2000 Km de la capitale, elle est scindée en sept daïras : Tamanrasset , In Guezzam , Tin Zaouatine, In Salah, Silet, In Ghar et Tazrouk et comprend 10 communes : Abalessa, Foggaret Ezzaouia, Idles, In Amguel, In Ghar, In Guezzam, In Salah , Tamanrasset, Tazrouk , Tin Zaouatine (Fig I.1).

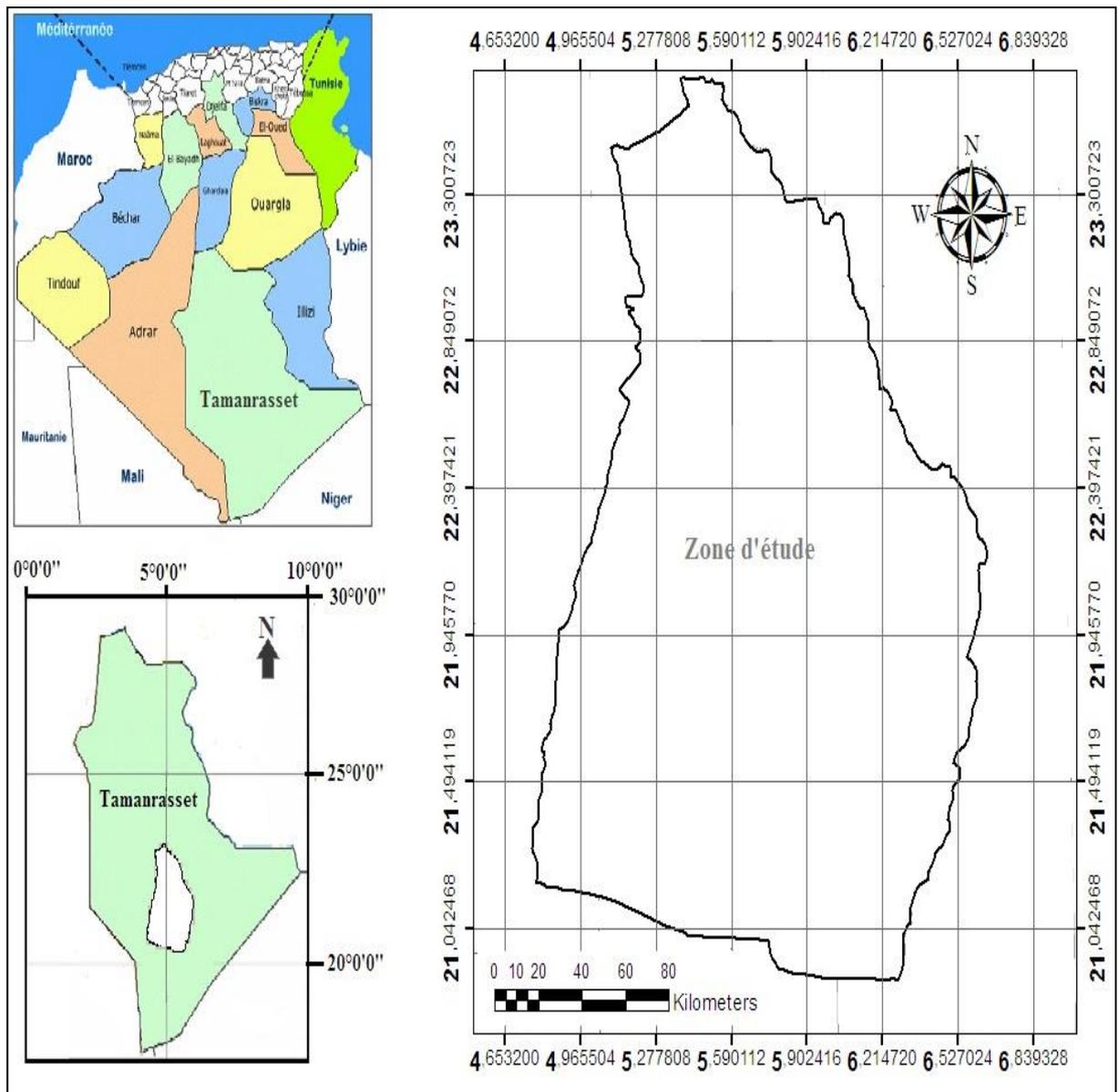


Figure I.1 : Carte de situation géographique de la zone d'étude.

I.2. Relief :

Au Hoggar, les hauts sommets atteignent presque à 3000 m tel que Tahat 2908 m, Ilamane 2789 m et Asskrem 2778 m. La région d'étude se situe à environ de 1400 m d'altitude. Ailleurs la topographie varie entre 500 m et 1800 m au dessus du niveau de la mer (Fig I.2).

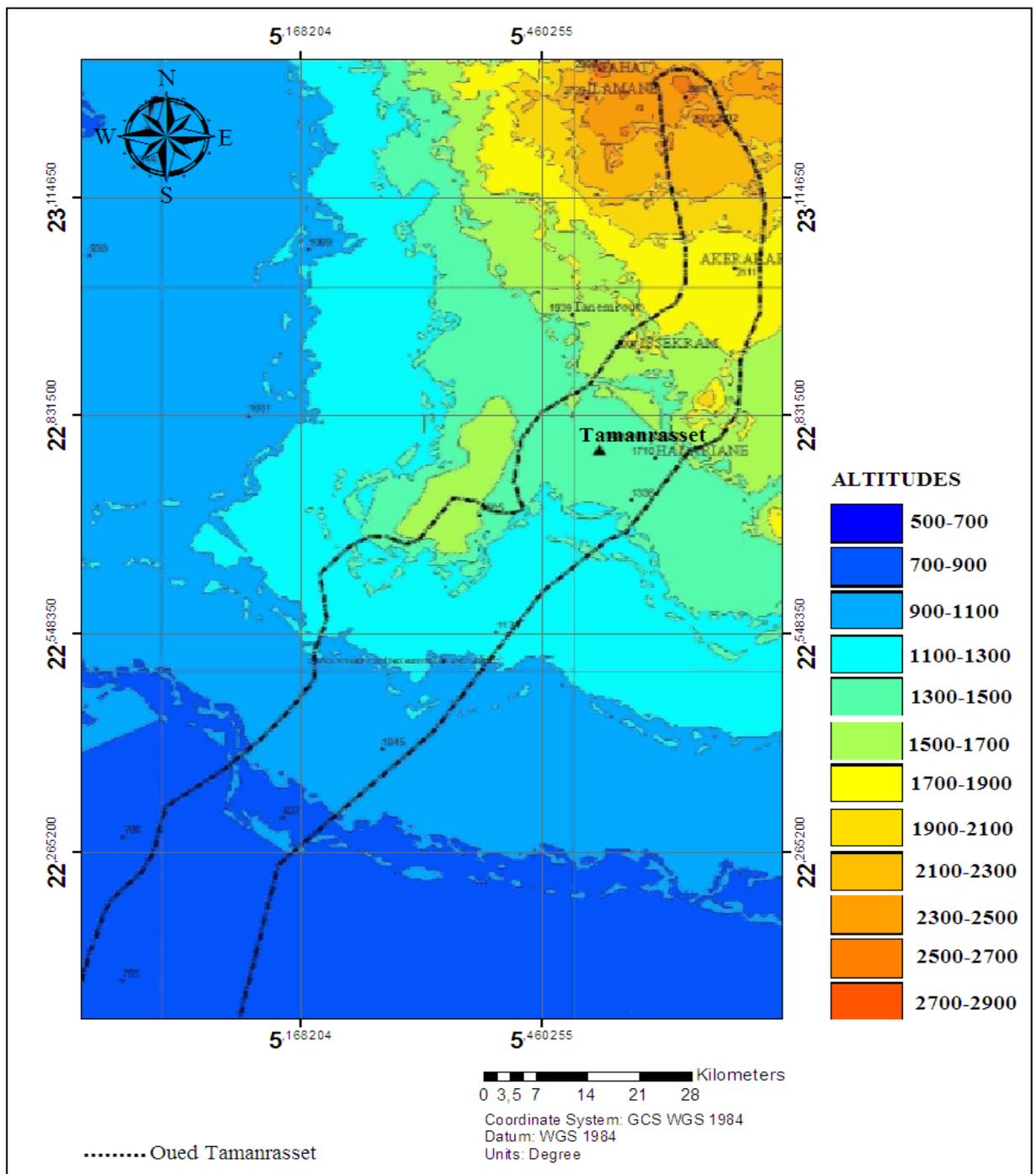


Figure I.2 : Carte hypsométrique du bassin versant d'oued Tamarasset (Boulaïbal 2012) modifiée.

I.3. Végétation :

Se sont surtout des arbustes, de plantes herbacées d'acacias, de coloquintes du désert et parfois de tamaris. Mais d'une manière générale la végétation, pratiquement absente, à l'exception aux et à proximité des grands oueds.

I.4. Réseau hydrographique :

Un réseau hydrographique avec une densité exceptionnelle. Le dénombrement de tous les oueds avec leurs affluents primaires ou secondaires est très difficile.

La plupart des ces oueds prennent naissance dans les parties les plus élevées de l'Atakor et divergent dans toutes les directions. Leur tracé débute dans les régions montagneuses, par un lit bien marqué et une pente forte, et finissent souvent par traverser dans leur cour aval les surfaces aplanies des regs où il devient difficilement identifiable.

Ce réseau hydrographique draine quatre principaux bassins situés sur le territoire du Tamanrasset : bassin de L'Igharghar, bassin du Mekerghane, bassin du Tanezrouft et le bassin de l'Azaouak (Boulahbal, 2012).

II. Géologie de la région d'étude :

La région d'étude fait partie du Hoggar central polycyclique qui est l'un des domaines du Bouclier Touareg (*Fig : I.3 & I.4*). Se sont surtout des formations Quaternaires et Magmatiques.

Du point de vue stratigraphique, le Hoggar central est composé des formations suivantes :

II.1. Les formations paléo à mes protérozoïque :

Les formations paléo à mes protérozoïque, subdivisées globalement en deux séries (*Fig I.5*)

II.1.1. Série inférieure :

Constituée essentiellement par des gneissique d'origine orthodirivé, et appelée Archchoum (Lelubre 1952).

Cette série est composée surtout de :

-Gneiss quartzo feldspathique à biotite et grenat ;

- Gneiss rubané à amphiboles ;
- Gneiss oillés avec de rares niveaux de marbres ;
- Leptynites ;
- Quartzites ;
- Amphibolites.

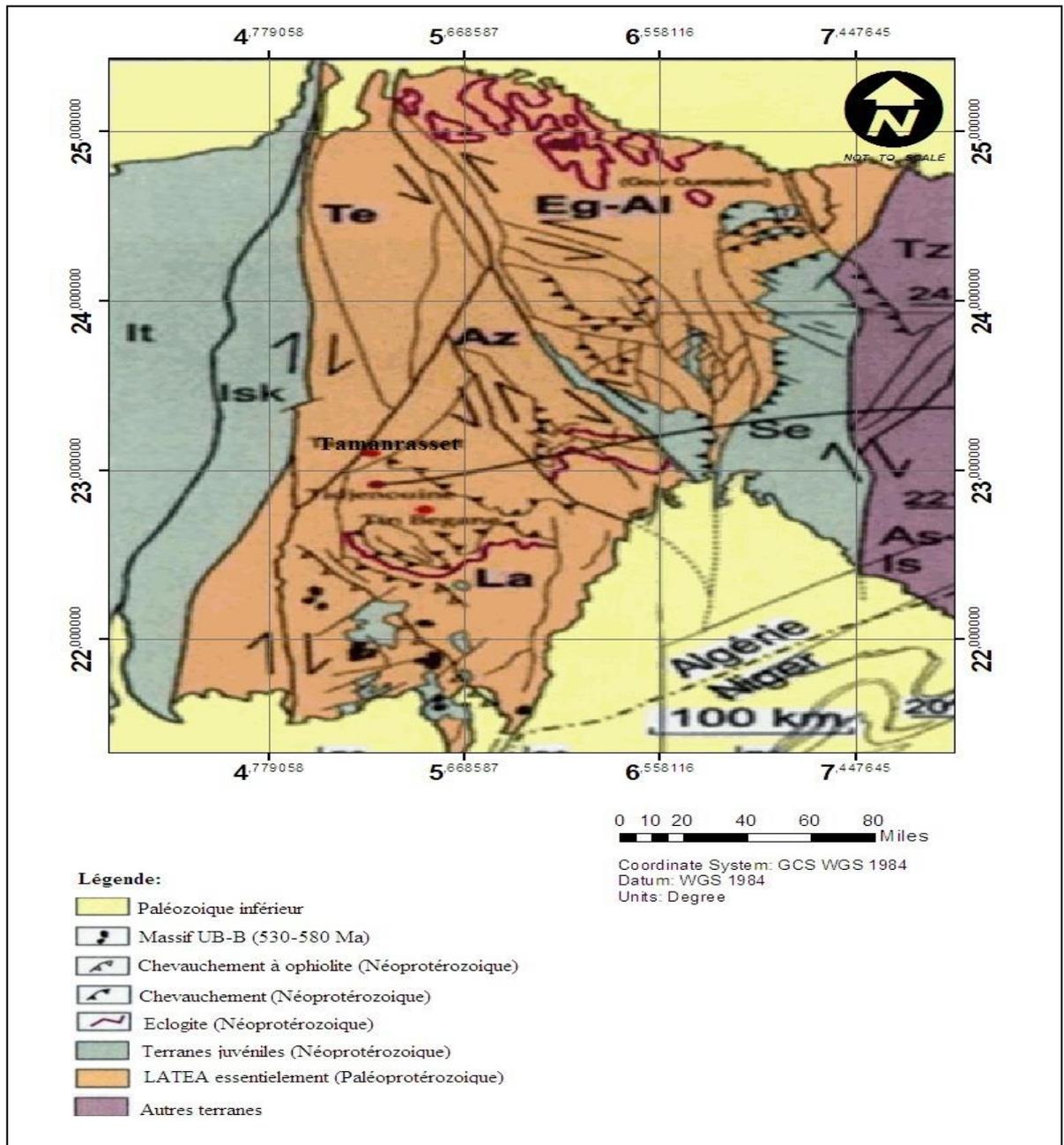


Figure I.3 : le Hoggar central (Liégeois et al, 2003)

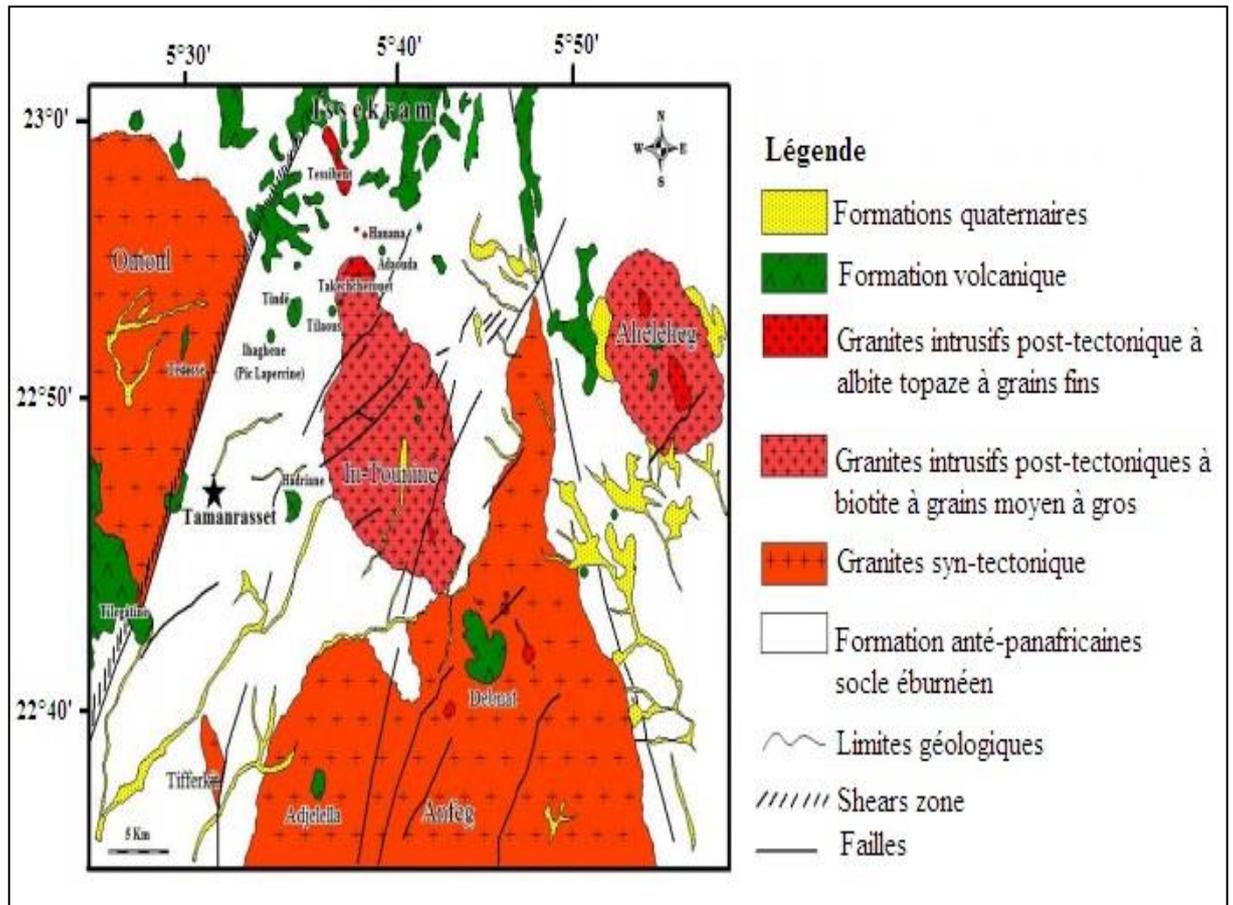


Figure I.4 : Carte géologique simplifiée de la région de Tamanrasset (Réalisée à partir d’une image Google Earth 2010) (Hamdi. FZ, 2013).

Dans ces formations on rencontre localement des reliques de Protolite d’âge archéen probable (dans Tafedest, Gouroumelalen et dans le domaine Issalane) (Boulahbal, 2012).

II.1.2. Série supérieure :

Selon les études de Lelubre (1952) et Bertrand (1974), cette série de nature supracrustale, elle est appelée Egeré-Aleksode. Elle est composée d’amphibolites parfois à grenat , de gneiss leucocrate à biotite, muscovites, et de gneiss mésocarte à amphibolites, pyroxènes et plagioclases , et de formation métasédimentaire de quartzites à magnétites, de marbre et de schistes alumineux .Elle renferme localement des lentilles tectoniques et des massifs lopolitiques de roche basique, ultrabasique et amphibolites associés.

II.2. Formations néoprotérozoïque :

Deux séries bien distinguées, les séries terrigènes et les séries volcano-sédimentaires. Le classement de ces deux séries est basé essentiellement à leur formation, leur degré de métamorphisme et leur niveau stratigraphique (*Fig I.6*).

II.2.1. Formations détritiques de Tazat :

Elle est de caractère fluvial deltaïque repose en discordance stratigraphique sur le socle, et est constituée d'une alternance de quartzites, de grés, de calcaires avec des niveaux de conglomérats (Blaise ; 1969, Bertrand et al ; 1968, Itskov et al ; 1988).

II.2.2. Formations volcano-sédimentaires :

Selon l'office national de la recherche géologique et minière (O.R.G.M), elles sont subdivisées en trois séries superposées et elles affleurent dans des bassins en graben, dans le domaine du Terrane de Serouanont et dans la région d'Aghafsa.

II.2.2.1. Série de plate forme :

Constituée par des micaschistes parfois à grenat. Elle est associée avec de niveaux de quartzites, de marbres, de pélites et de sillon et /ou de coulées de metabasalte. Cette série est recoupée par des corps des roches basiques – ultrabasiques qui affleurent sous forme d'écailles tectoniques (Blaise ; 1969, Bertrand et al ; 1968).

II.2.2.2. Série volcano-sédimentaire :

Elle repose en discordance sur la série de plate forme. Au "Serouanont" cette série est constituée d'une alternance de grés, de pélites et de greywacks avec des niveaux de schiste noir et de conglomérats (*Fig I.6*). Dans la région d'Aghafsa cette série est subdivisée en deux unités : Unité grésopélitique constituée d'une alternance de grès, de pélites et de marbres avec des sills et/ou des coulées de laves basaltiques et une unité volcanique constituée d'une alternance de roches volcaniques composées de basaltes, d'andésites et de rhyolites et de niveaux de conglomérats, de grès, de pélites et de graywackes (Blaise ; 1969, Bertrand et al ; 1968).

II.2.2.3. Série molassique :

Elle affleure en forme de lambeau kilométrique et repose en discordance stratigraphique et angulaire sur la série volcano- sédimentaire. Elle est essentiellement constituée de conglomérats polygéniques associe localement avec des niveaux de pélite violace, de marbre, de jaspe, de grés arkosique et de brèches volcanique. Ces formations ont subi trois phases de déformation panafricain : une phase tangentielle avec formation de plis isoclinaux, de schistosité passant localement à la foliation et par écaillage, et deux phases de décrochements ayant produit des accidents senestres (N150°-330°) engendrant des plis ouverts et des plis droits d'axe sub-verticaux, et des accidents subméridiens tardifs. (Itskov et al ; 1988).

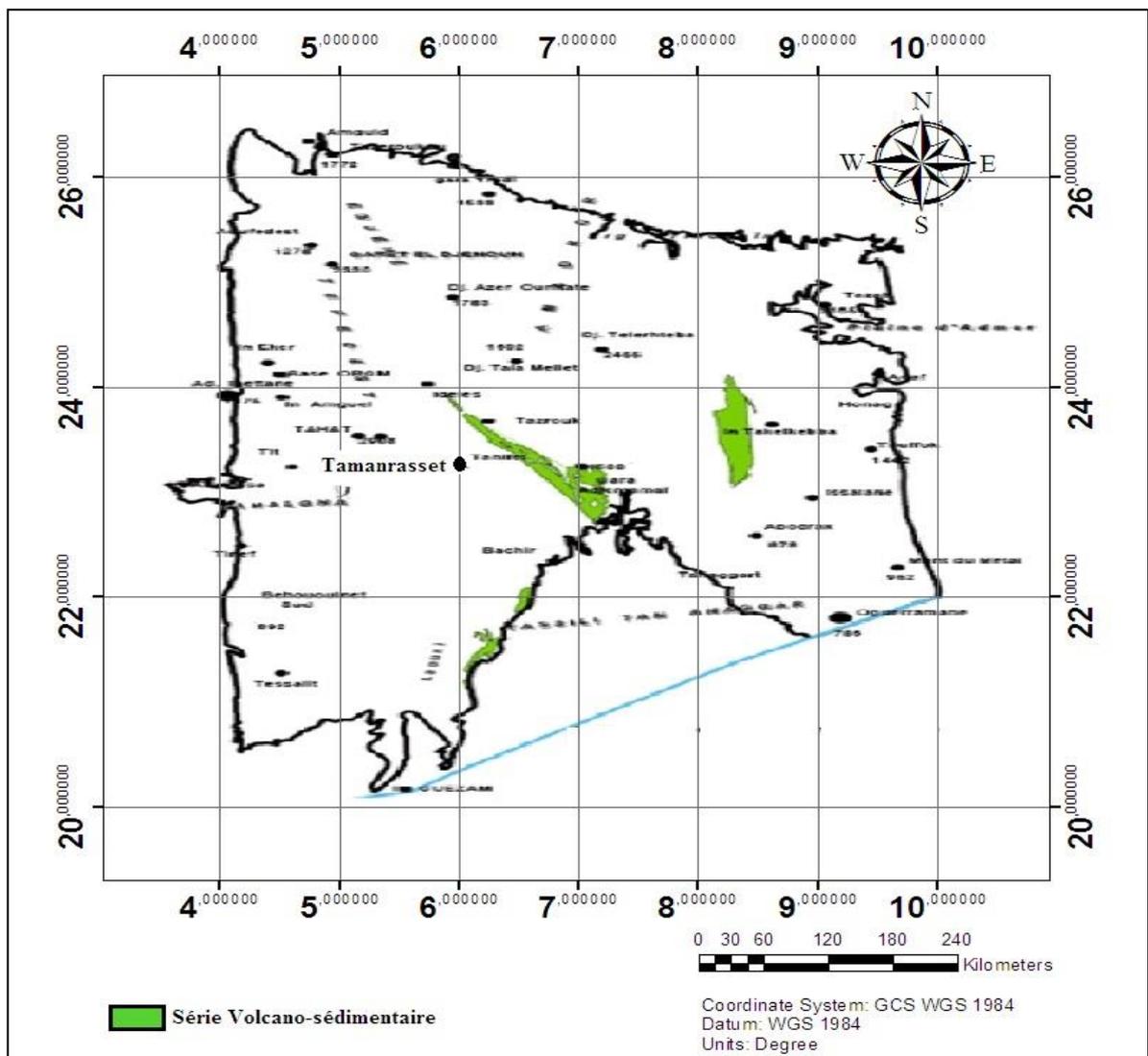


Figure I.6 : Séries volcano-sédimentaires néoprotérozoïques du Hoggar central(ORRGM) modifiée.

II.3. Les formations magmatiques du Hoggar central :

Ce domaine constitué par des formations recoupées par des complexes plutoniques pré-panafricain, syn-panafricain à tardi-panafricain (Meriem. D.E et Boufassa A, 2008). Les plus anciens sont les complexes plutoniques précoces de composition mafique et ultramafique. Les roches plutoniques panafricaines sont essentiellement des gros batholites composés de granodiorites, monzogranite à biotite rarement à amphibole et biotite de nature calco-alcaline riche en potassium (batholites HKCA) (*Fig I.7*). Ils occupent presque le tiers de la superficie du Hoggar central. Les complexes tardifs post tectonique, Taourirts ayant un âge de (514-615 Ma), se sont généralement de petit plutons circulaires à subcirculaires associés souvent aux zones de cisaillement tardi à post tectonique, ils sont composés de granite à biotite et de granite à amphibole sodique et de suite géochimique sub alcaline et alcaline à hyperalcaline (Vitel ; 1979, Viallette et Vitel ; 1979, Bertrand et al; 1986, Moulahoum; 1988).

II.4. Les épanchements volcaniques du Hoggar central :

Au Hoggar central, les roches volcaniques affleurent en plusieurs plateaux dont les principaux sont Tahalgha, Atakor, Manzaz, Taharaq, et l'Egéré. Ces districts volcaniques s'alignent suivant une direction NE-SW correspondant à un linéament tectonique (linéament de l'oued Amded). Les produit émis sont variés et vont des basaltes aux rhyolites ou aux phonolites (Vitel ; 1979, Viallette et Vitel ; 1979).

II.5. LATAE :

Liégeois et al en 2005, montrent que les blocs de Laouni, Azrou N'Fad, Tefedest, Egéré-Aleksod et Assodé-Issalane, acronyme de LATEA, avaient en commun une même histoire géologique et géochronologique et de ce fait pouvaient constituer une ancienne marge sur laquelle ont été charriés les éclogites et roches associées (*Fig I.3*). Elle est limitée à l'Est par le bloc juvénile de Sérouénout et à l'Ouest par celui d'Iskel. La LATEA est faite d'un socle paléo protérozoïque (1.9 Ga - 2.1 Ga) (Bertrand et al ; 1986, Peucat et al ; 2003, Liégeois ; 2003) avec une lithologie archéenne (2.7 Ga) au Nord dans la région des Gour Oumellalen (Latouche et Vidal, 1974 ; Peucat et al, 2003 et Liégeois, 2003)

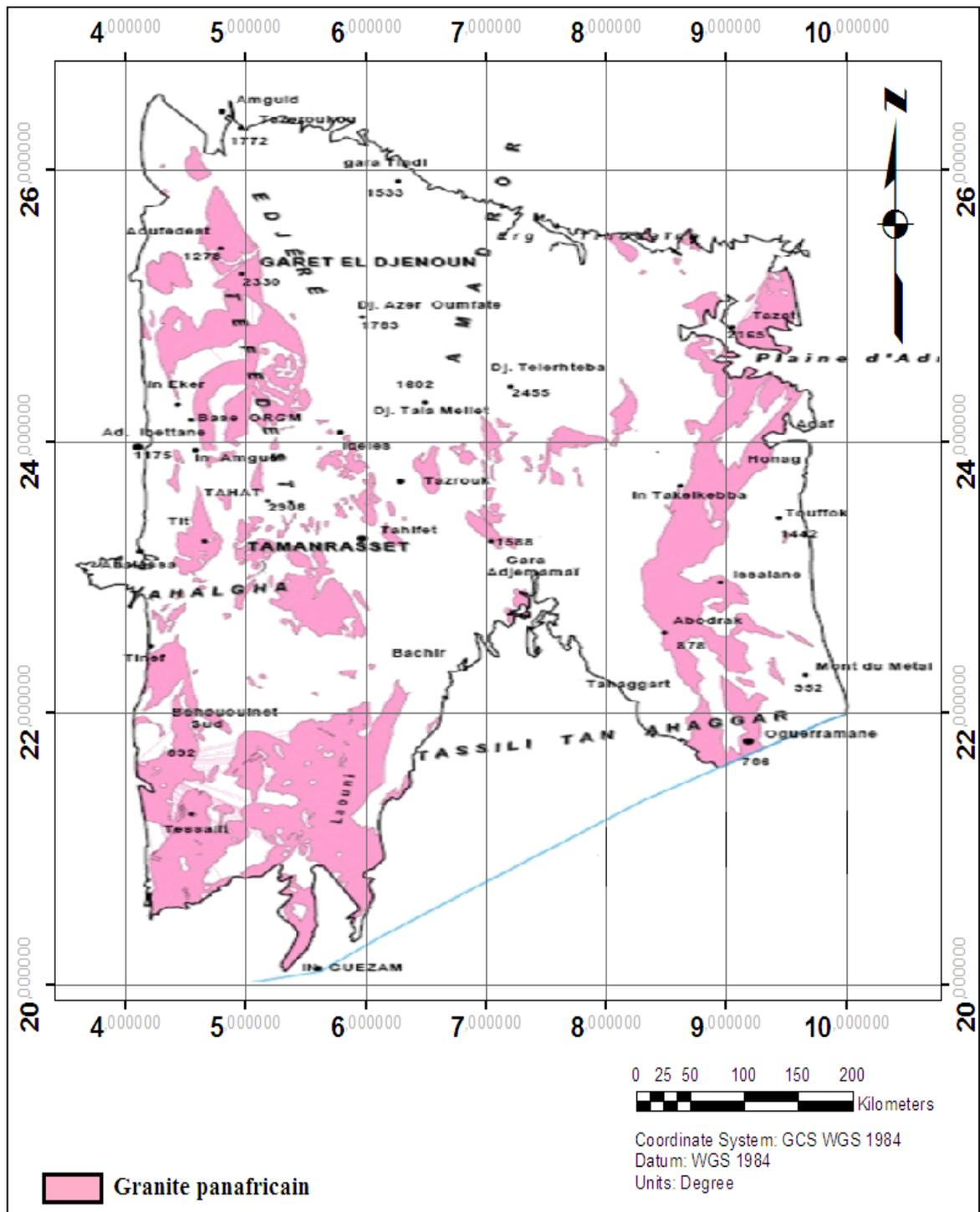


Figure I.7 : Les granites néoprotéroziques du Hoggar central

III. Tectonique et métamorphisme régional :

L'événement Eburnéen, l'événement Kibarien et l'événement Panafricain sont les trois événements tectoniques caractérisent le Hoggar central. Ces événements ont donné lieu aux déformations souples et cassantes accompagnées par un métamorphisme à différents degrés (Meriem. D.E et Boufassa. A, 2008).

III.1. L'événement Eburnéen :

L'évolution de cet événement est inconnu, seulement le résultat d'ensemble qui a été observé, comme s'il n'y avait eu qu'une phase majeure de plissement représentée par une vaste chaîne plissée orientée N.NW-S.SE qui s'étend sur l'Egère, le Tourha, l'Aleksod, la Tazoulet et l'Arefsa (chaîne Egere-Arefsa). Il existe de nombreuses variations dans le détail des plis (Lelubre M. 1952).

III.2. L'événement Panafricain :

Les formations métamorphiques et volcano -sédimentaires sont affectées au moins par deux phases tectoniques panafricaines (Meriem. D.E, Boufassa. A, 2008). Les structures panafricaines sont localisées dans d'étroits couloirs, et correspondent essentiellement à des plis Couchés d'axe NW-SE à E-W (plis de la phase majeure qui est responsable d'empilements et d'écaillages majeurs et profonds des nappes crustales vers le N-NE, et de la création des grandes zones de cisaillement).

Des plis déversés d'axe variant de NE-SW à NW-SE résultent de la phase panafricaine tardive. Elle est à l'origine des charriages secondaires locaux, de déformations des anciennes structures et de zones de cisaillement et elle a engendré des nouvelles structures et de nouvelles zones de cisaillement (Meriem. D.E, Boufassa. A, 2008).

Conclusion :

La géologie de la région est essentiellement composé de terrains métamorphiques d'âge archéen à paléo-protérozoïque, recoupés localement par des granitoïdes d'âge essentiellement panafricain. Dans ces terrains se développent localement des bassins en grabens comblés de roches volcano-sédimentaires d'âge néoprotérozoïque.

Le socle est d'âge panafricain (600 Ma) et associé à la chaîne Panafricaine. Celle-ci est interprétée comme une chaîne de collision entre un craton stable et rigide à l'ouest, le Craton Ouest Africain, et une zone mobile, véritable marge active à l'est. La suture entre ces deux blocs est représentée par un contact net entre les métasédiments du Craton Ouest Africain, d'âge Protérozoïque supérieur et les gneiss panafricains. Ceux-ci se sont formés à partir de roches plutovolcaniques et de socle remanié. Ces métasédiments reposent sur un socle éburnéen plus ancien (2 Ga). Cette suture, définie par gravimétrie, passerait sous l'axe du bassin de Reggane et à la limite N-W du bassin de Tindouf. Plus au sud, la présence de

matériel profond tel des basaltes, des gabbros, des harzburgites, etc., témoignerait de l'existence d'un domaine océanique anté-collision. Au Hoggar, la chaîne Panafricaine est affectée par d'importants accidents subméridiens, délimitant les domaines structuraux suivants

- à l'ouest la Chaîne Pharusienne est divisée en deux branches :

- La branche occidentale, socle éburnéen, est formée de divers granites injectant une série plus ancienne. Ce socle est surmonté de deux séries volcano-détritiques, la série verte et la série pourprée. Elles représentent la molasse de la chaîne.

- La branche orientale est un vaste fossé de grauwackes et de pélites, injecté d'andésites, où l'on observe un important développement de granites;

CHAPITRE II : HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction :

Le climat influence la répartition des ressources en eau d'une région à une autre. Ainsi, les niveaux de précipitation, extrêmement variables, se répercutent sur les flux d'écoulement des différents cours d'eau. Dans les régions sous climat méditerranéen, les périodes sèches entraînent une diminution du débit des rivières à cause du manque d'eau, ce faible débit correspond au débit de base ou étiage. Ces périodes sèches sont souvent interrompues par des épisodes pluvieux intenses provoquant de forts lessivages de surface et charriant de grandes quantités de particules (Serrat et al. 2001).

Le climat algérien est un climat de transition .Il varie du type méditerranéen dans le Nord au type désertique dans le Sahara. (Djabaili, 1984).

I. Paramètres climatiques de la région :

L'estimation des différents paramètres climatiques (température, pluie, évaporation, Humidité relative moyenne et la vitesse moyenne de vent) a été effectuée à la station météorologique de Tamanrasset, pour une période de 11 ans (2007/2017).

Tableau II.1 : Stations pluviométriques

Station	X	Y	Z (m)
Tamanrasset	22° 49' Nord	05° 27' Est	1372

Source : Station météorologique de Tamanrasset, 2017.

I.1. La température:**Tableau II.2 :** Température moyenne mensuelle période (2007-2017)

Mois T (°C)	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû
min	21.56	17.0	11.22	7.23	4.87	8.02	11.61	16.05	20.6	23.51	23.69	20.80
max	34.5	30.59	25.82	21.84	20.87	23.62	26.88	31.5	34.73	33.13	36.30	32.25
moyenne	28.03	23.79	18.52	14.54	12.87	15.82	19.24	23.77	27.66	28.32	29.99	26.53

Source : Station météorologique de Tamanrasset, 2017.

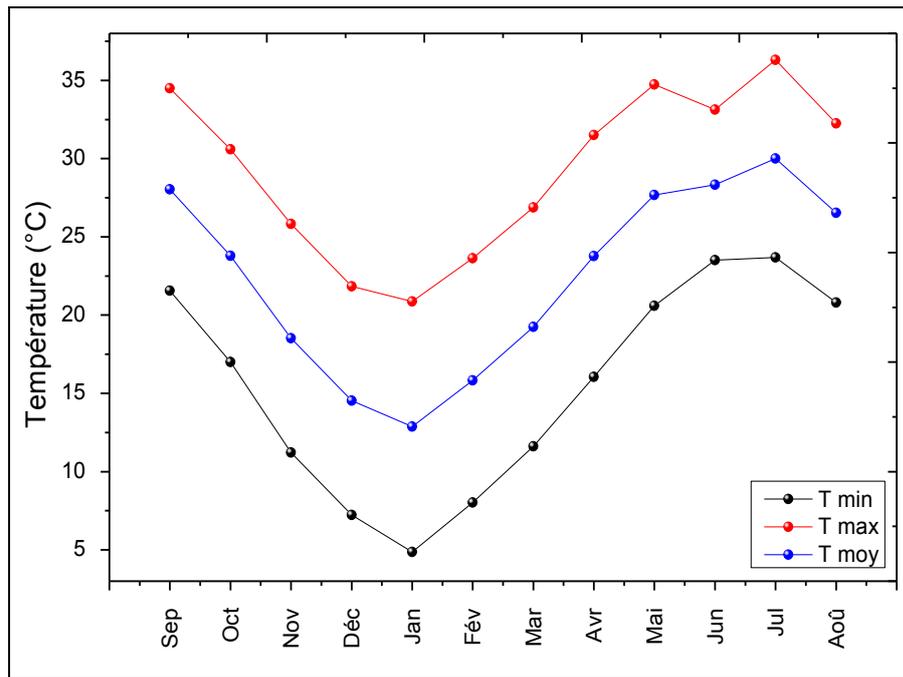


Figure II.1 : Températures moyennes, minimal et maximal mensuelle de la région de Tamanrasset (2007-2017)

La température augmente aux mois de Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre où la température moyenne varie entre 27.66°C et 29.99°C, puis elle diminue au mois de décembre , janvier et février avec une moyenne oscille entre 12.8°C et 15.82°C .

I.2. Les précipitations:

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle d'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux. En général, trois aspects sont discutés; Il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles (Chaoui.W, 2007).

Tableau II.3: précipitation en (mm), période (2007-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc.	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
P min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.5	/
P max	31.2	46.5	3.6	7.6	18	3.7	47.4	6	14.5	21.6	47.2	43.6	/
P moy	7.74	5.03	0.32	0.90	1.81	0.33	4.67	0.74	2.64	4.80	11.76	20.56	61.37

Source : Station météorologique de Tamanrasset, 2017.

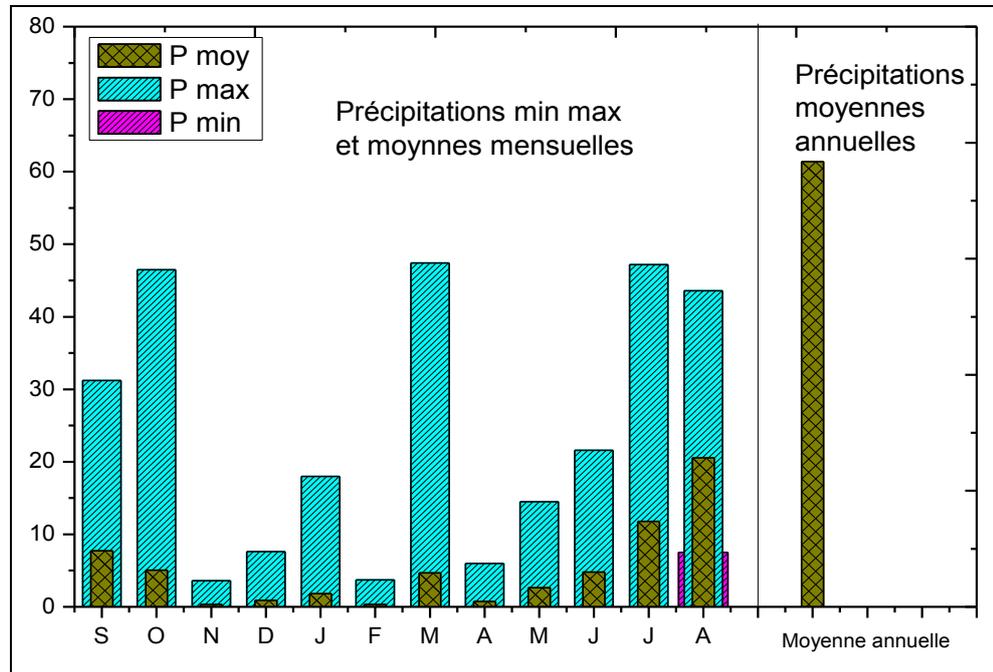


Figure II.2: Précipitations mensuelles (minimales, maximales et moyennes) et précipitations moyennes annuelles période (2007-2017).

La précipitation mensuelle maximale, présente annuellement le mois le plus arrosé. Le mois de Mars est le mois marqué par la plus grande valeur de précipitation, avec une valeur de l'ordre de 47.4 mm. Par contre le mois le plus sec correspond aux mois de Novembre et de Février, avec des valeurs de 3.6 mm et 3.7 mm respectivement.

Les précipitations mensuelles minimales, atteignant une valeur de 0 mm pour tous les mois à l'exception du mois d'Aout (7.5 mm).

La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 61.37 mm.

I.3. Evaporation :

La variation de la température et l'humidité influe directement sur l'évaporation.

Tableau II.4: Evaporation moyenne mensuelle (2007-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Evap moy	278.18	255.54	178.63	162.27	164.27	182.36	255.36	259.36	321.18	304.09	327.63	278.18

Source : Station météorologique de Tamanrasset, 2017.

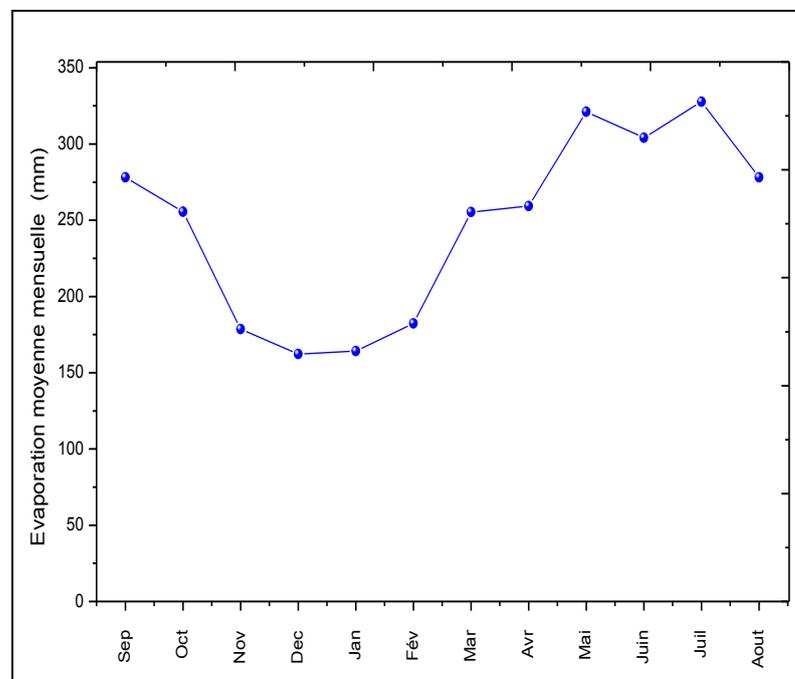


Figure II.3 : L'évaporation dans la région de tamanrasset en mm (2007-2017).

Les quantités d'évaporation montrent une irrégularité pluviométrique. L'évaporation moyenne mensuelle, atteinte une valeur maximale au mois de juillet (327.63 mm) et une valeur minimale au mois de décembre (162.27 mm).

I.4. Le Vent :

Le vent est l'un des facteurs les plus importants et caractéristiques du climat. Elle joue un rôle prépondérant dans le climat du HOGGAR.

Tableau II.5 : Vitesses moyennes de vent de Tamanrasset pour la série de 11 ans (2007-2017) en 1/10(m/s).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
V.m (m/s)	40.8	38.0	28.4	35.5	34.9	40	44.6	43.3	45.0	44.0	45.5	44.5

Source : Station météorologique de Tamanrasset, 2017.

Nous n'avons que les données de la moyenne mensuelle de la vitesse moyenne de la station de Tamanrasset pour la période (2007/2017). En hiver (Novembre), la fréquence de vitesse des vents atteint son minimum avec 2.84 m/s, tandis que le Maximum des vents est enregistré en mois de juillet avec une vitesse moyenne de 4,55 m/s.

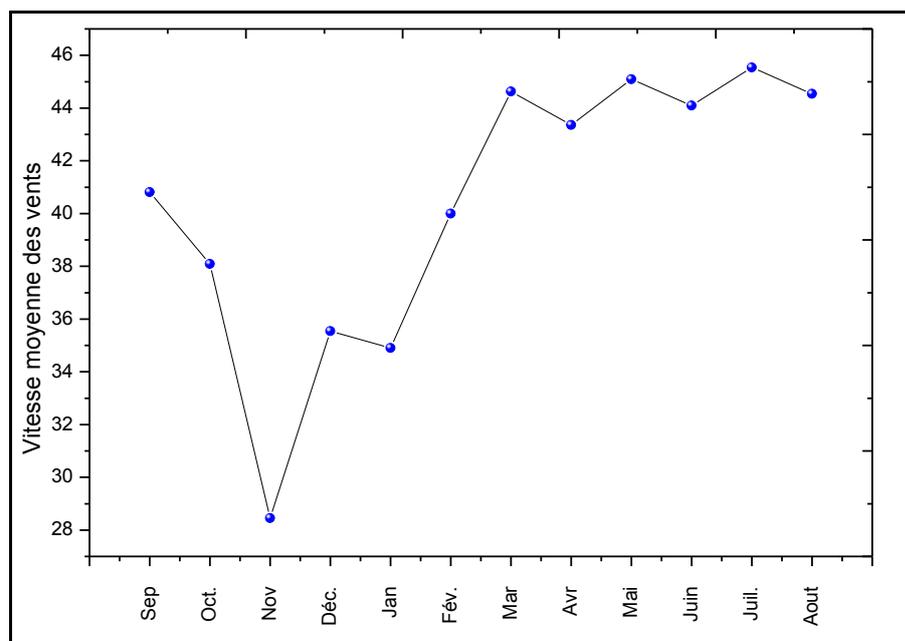


Figure II.4 : Vitesses moyennes du vent (m/s)

II. Caractérisation du climat :

II.1. Diagramme ombrothermique ($P = 2T$) :

L'indice Ombrothermique de Gaussen (1952) a franchi le temps à cause de sa simplicité et de son efficacité, pour Gaussen un mois est considéré comme sec si le quotient des précipitations mensuelles P exprimé en mm, par la température moyenne T exprimé en °C est inférieur à 2, et la représentation sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles avec en abscisse les mois permet d'obtenir le diagramme

Ombrothermique qui mettent immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses (GUYOT, 1997), et les échelles prises en ordonnées sont telles que 1° C correspond à 2 mm de précipitations, donc on a une période sèche chaque fois que la courbe des températures passe au-dessus la courbe des précipitations (GUYOT, 1997) ; cette période peut être facilement calculée (HUFTY, 2001).

Tableau II.6 : Moyenne des précipitations et des températures (2007-2017)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
T°C	28.03	23.79	18.52	14.54	12.87	15.82	19.24	23.77	27.66	28.32	29.99	26.53
P(mm)	7.74	5.03	0.32	0.90	1.81	0.33	4.67	0.74	2.64	4.80	11.76	20.56

Source : Station météorologique de Tamanrasset.

D’après le diagramme (Fig II.5), on déduit que la région de Tamanrasset est caractérisée par une saison sèche qui s’étale sur plusieurs mois consécutifs.

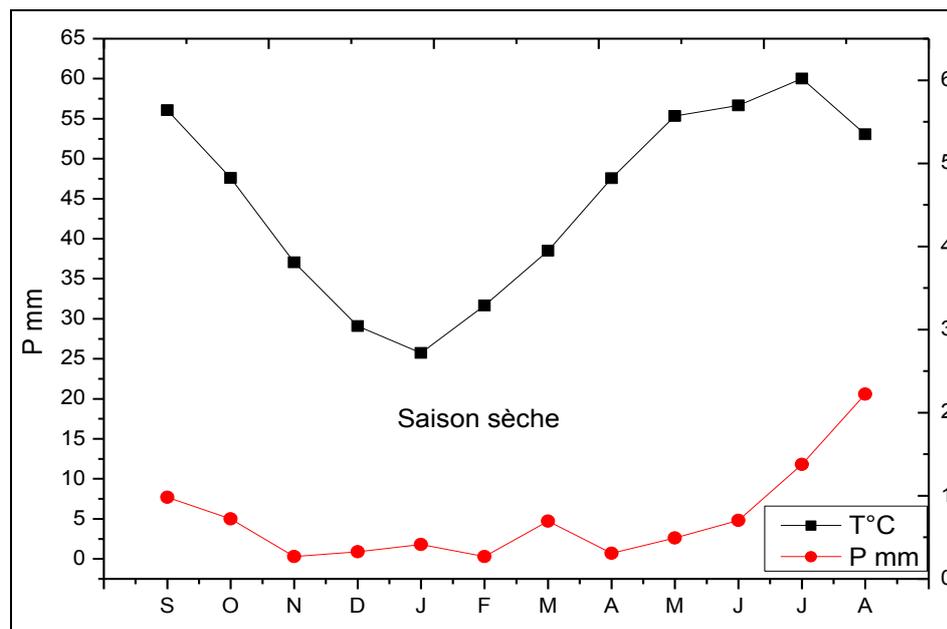


Figure II.5: Diagramme ombrothermique établi avec la moyenne des précipitations et des températures de la station de Tamanrasset (2007-2017).

II.2. Indice d’aridité de DERMARTONNE :

En se basant sur le régime des précipitations et des températures. DEMARTONNE en 1923 a défini un indice d’aridité (A).

$$A = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

P : Précipitation moyennes annuelles (mm).

T : Températures moyennes annuelles (°C).

Tel que :

$20 < A < 30$ climat tempéré

$10 < A < 20$ climat semi-aride

$7.5 < A < 10$ climat steppique

$5 < A < 7.5$ climat désertique

$A < 5$ climat hyper-aride

Pour le cas de Tamanrasset, la température et la précipitation moyenne annuelle sont Respectivement 22.4 °C et 61.64 mm, ce qui nous donne un indice d'aridité de DERMARTONNE de 1,9. Donc le climat de la Région de Tamanrasset est de type hyper-aride.

III. Bilan hydrologique:

III.1. Composants du bilan :

L'expression générale du bilan hydrique est :

$$P = ETR + R + I + W_a \quad (2)$$

Avec:

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

R : Ruissellement (mm).

I : l'infiltration (mm).

W_a : variation des réserves (négligeables).

III.2. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'ETP est la quantité d'eau qui peut passer dans l'atmosphère en fonction du seul état de celle-ci, en supposant que la quantité d'eau disponible ne soit pas un facteur limitant. (La quantité d'eau que l'on ajoute dans un vase de fleurs de façon à maintenir le niveau constant est une mesure de l'évapotranspiration potentielle en fonction de l'état de l'atmosphère dans le lieu où se trouve ce vase).

De nombreuses formules ont été établies pour calculer l’ETP à partir de quatre (4) éléments fondamentaux. Il s’agit de températures, du déficit de saturation, du vent, et de la radiation globale.

Parmi les dizaines de formules élaborées en ce sens, et pour une raison de disponibilité des données, nous avons retenu une seule méthode qui est celle de THORNTHWAITE.

$$ETP = 16(10T/I)^a \quad (3)$$

Où :

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm).

T : température moyenne du mois en (°C).

I = $\sum i$ et $i = (T/5)^{1.514}$, après calcul on trouve que I= 119.4

I : indice thermique annuelle.

i : indice thermique mensuelle.

a : l’exposant climatique ; après calcul a= 2.41.

$$a = (1,6 \times I/100) + 0.5$$

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction **k** qui dépend de la latitude de la région ; donc la formule de L’ETP devient :

$$ETP_c = 16(10T/I)^a K \quad (4)$$

Tableau II.7: Les résultats des calculs de l’ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite.

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	28.0315	13.6	1.03	128.9	7.7	-121.1	-0.9	0.0	0.0	7.7	121.1	0.0
O	23.795	10.6	0.97	81.8	5.0	-76.7	-0.9	0.0	0.0	5.0	76.7	0.0
N	18.527	7.3	0.86	39.7	0.3	-39.3	-1.0	0.0	0.0	0.3	39.3	0.0
D	14.5405	5.0	0.81	20.8	0.9	-19.9	-1.0	0.0	0.0	0.9	19.9	0.0
J	12.872	4.2	0.87	16.7	1.8	-14.9	-0.9	0.0	0.0	1.8	14.9	0.0
F	15.827	5.7	0.85	26.8	0.3	-26.5	-1.0	0.0	0.0	0.3	26.5	0.0
M	19.2495	7.7	1.03	52.1	4.7	-47.4	-0.9	0.0	0.0	4.7	47.4	0.0
A	23.777	10.6	1.10	92.6	0.7	-91.8	-1.0	0.0	0.0	0.7	91.8	0.0
M	27.668	13.3	1.21	146.7	2.6	-144.1	-1.0	0.0	0.0	2.6	144.1	0.0
J	28.327	13.8	1.22	156.6	4.8	-151.8	-1.0	0.0	0.0	4.8	151.8	0.0
J	29.9995	15.1	1.24	182.8	11.8	-171.0	-0.9	0.0	0.0	11.8	171.0	0.0
A	26.5315	12.5	1.16	127.1	20.6	-106.6	-0.8	0.0	0.0	20.6	106.6	0.0
Année	22.4	119.4		1072.4	61.4	-1011.1				61.4	1011.1	0.0

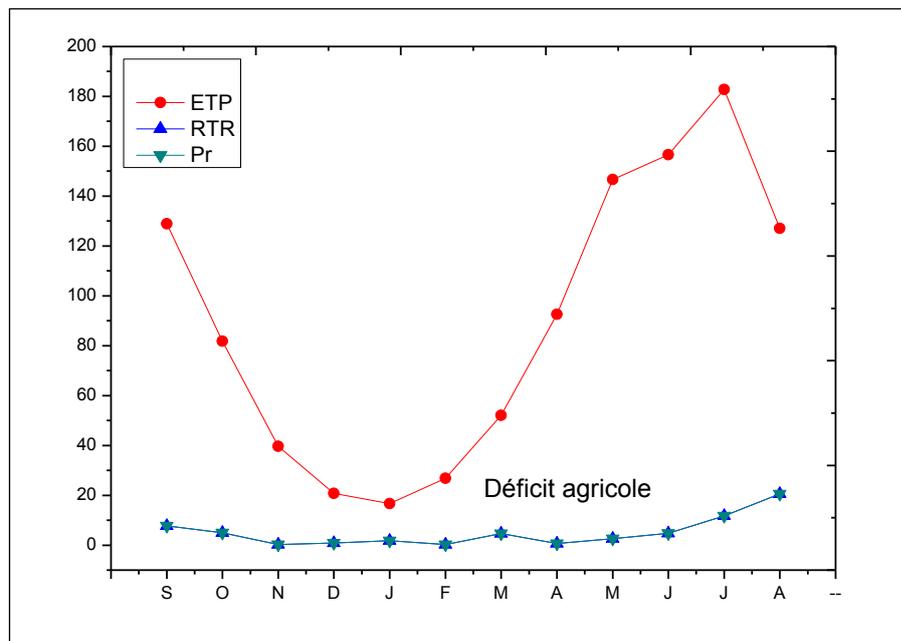


Figure II.6 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Tamanrasset (2007/2017).

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite pour la station de Tamanrasset a montré que l'ETP atteint le maximum au mois de juillet (182.8 mm) et son minimum au mois de janvier (16.7 mm).

La constitution de la RFU est nul dans toute l'année

Le bilan hydrique de la région de Tamanrasset est déficitaire (DA= 1011.1 mm) alors que l'excédent est nul.

L'AHGGAR, par sa situation au centre du SAHARA, subit un climat caractérisé par des grands écarts thermiques.

Cependant, grâce aux effets de l'altitude, la région de l'AHGGAR est connue par un climat relativement doux et arrosé.

La moyenne annuelle des précipitations à Tamanrasset est de 61.4 mm et celle des températures est de 22.4 °C.

Les diagrammes des précipitations, mettent en évidence, les pluies estivales. On note aussi la présence des pluies sporadiques d'hiver et de printemps.

Conclusion :

La zone d'étude, qui fait partie de la wilaya de Tamanrasset dans sa toute partie, appartient à la zone climatique Saharien qui est caractérisée par une température moyenne de l'ordre de 22 C° et une précipitation moyenne qui varie entre 20 à 50 mm.

Les températures et les précipitations décrivent une seul saison, une saison sèche au cours de l'année.

La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 61.4 mm, tandis que l'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 61.4 mm /an, soit 100 % de la totalité des précipitations.

Lorsque la recharge dépasse la RFU, on obtient un excès et l'eau va partir vers le ruissellement superficiel. Malheureusement ce n'est pas le cas pour la région étudiée, ceci induit un épuisement de la nappe (rechargement nul).

Le déficit agricole est estimé à 1011.1 mm / an. Donc la région d'étude se caractérise par un bilan déficitaire.

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE

Introduction :

L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface. L'étude hydrogéologique est consacrée à l'identification du système aquifère, sa géométrie, sa limite et son alimentation, et de définir l'ensemble du système d'écoulement souterrain par l'étude de la piézométrie.

I. Les principales ressources en eau de la région :

Selon l'ORGM (1969- 1987) les quatre grands ensembles aquifères par ordre d'importance sont comme suite : (*Fig III.1*) :

➤ L'ensemble aquifère des grès du continentale intercalaire du bassin de TANZROUFT : Un complexe aquifère dans lequel nous avons défini deux nappes :

-la nappe du niveau gréseux supérieur.

-la nappe du niveau gréseux inférieur.

➤ L'ensemble aquifère des grès du cambro-ordovicien des bassins de TIN SERIRINE et de TAFASSASSET, cet ensemble aquifère sont réponsus dans le Hoggar oriental.

➤ L'ensemble aquifère des alluvions anciennes de SILET : il est lie aux alluvions anciennes paléo oued SILET-ABALLESSA qui constituant une nappe aux réserves des eaux souterraines non négligeables.

➤ L'ensemble aquifère lie au socle altère et fracturé. Certains travaux ont été réalisés par Levassor en 1970. Ces études hydrogéologiques ont mis en évidence la continuité hydraulique de l'écoulement, la configuration et la nature des milieux aquifères, ainsi que l'état piézométrique général de la nappe. Elles présentent dans une large mesure le milieu physique, et l'état des ressources souterraines dans oued Tamanrasset (*Fig III.1 & III.4*). Les résultats suivants en découlent :

- Il existe une nappe souterraine libre dans un aquifère poreux à roches meubles très hétérogènes.
- L'épaisseur de la nappe représente la moitié de l'épaisseur de l'aquifère.

- Les profondeurs des niveaux d'eaux sont assez importantes comparativement aux cuvettes de in anguel et outoul.
- La surface libre de la nappe se situerait en grande partie à une profondeur comprise entre 10 et 15 mètres.
- La nappe s'écoule naturellement, sous un faible gradient. Le gradient moyen de la nappe est de $4.5 \cdot 10^{-3}$ et certaines zones au fort gradient ($i = 1.12 \cdot 10^{-2}$).

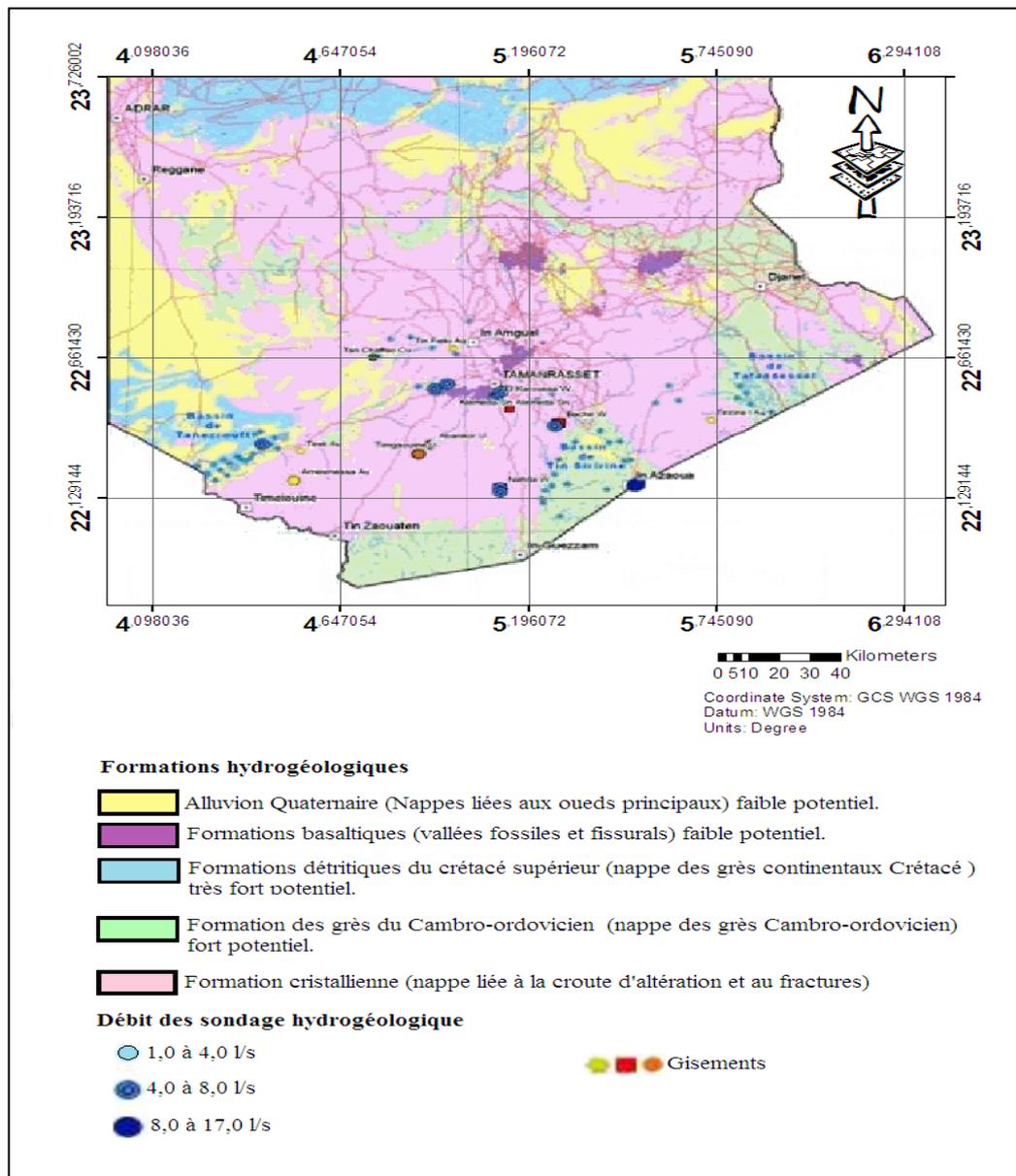


Figure III.1 : Les différentes formations aquifères de Hoggar (d'après le rapport ORGM n° 620) (modifiée).

II. Terrains aquifères :

II.1. Les Alluvions :

Constituées essentiellement par des fragments composés de granite, de quartz, des feldspaths et les paillettes de micas visibles, le gneiss produit une arène très voisine contenant une plus grande proportion d'élément fin (l'ORGM, 1969- 1987).

Les alluvions basaltiques sont mal classées avec des galets et sable moyen, ce matériaux se déposent selon deux modes principaux : Les plus grossiers sur de fortes épaisseurs dans les lits d'oueds où ils forment le siège d'inféro-flux importants. Les autres dans de larges baignoires, ou sur les plateaux bas (l'ORGM, 1969- 1987).

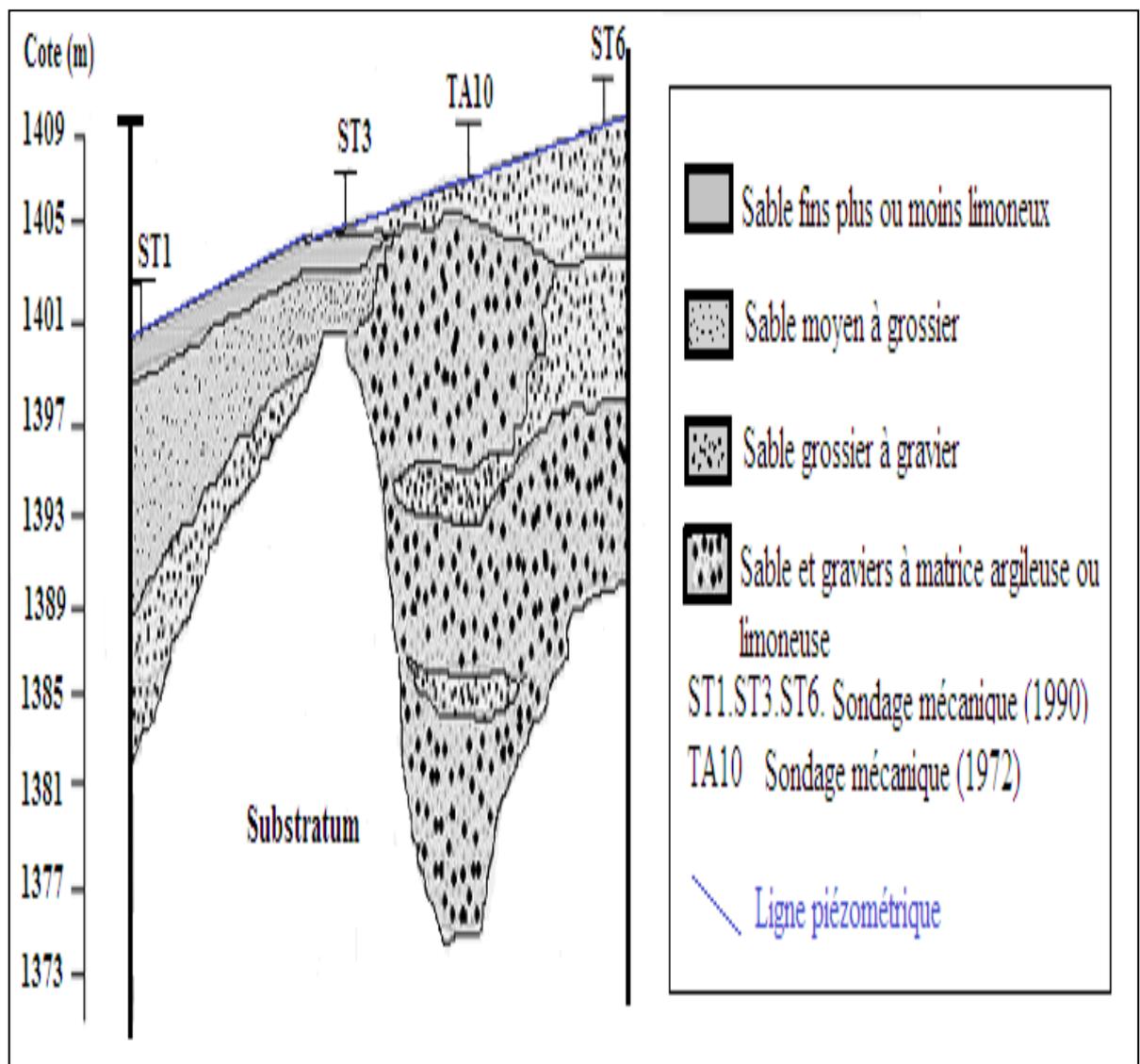


Figure III.2 : Coupe stratigraphique le long d'un profil en travers de la cuvette de l'oued (rapport hydrogéologique mission II, ENHYD)

II.2. Socle altéré :

L'altération transforme des gneiss et micaschistes antécambrien du substratum de la façon sui vante :

1ere phase : Altération argileuse des feldspaths .la roche résiduelle riche en argile est pratiquement peu perméable.

2ème phase : Formation des arènes plus ou mois argileuse suivant d'altération de la roche mère.

3ème phase : Elimination de touts les constituants minéraux plus ou mois solubles restent les grains de quartz qui donnent un sable

Socle sain : L'Oued du TAMANRASSET a creusé sont lit dans un substratum des roches cristallins et cristallophylliennes gneiss, micaschistes, et granites absolument imperméables. Les méthodes de prospection qui ont été employées (électrique et sismique) sont bien adaptées à la reconnaissance d'un substratum résistant.

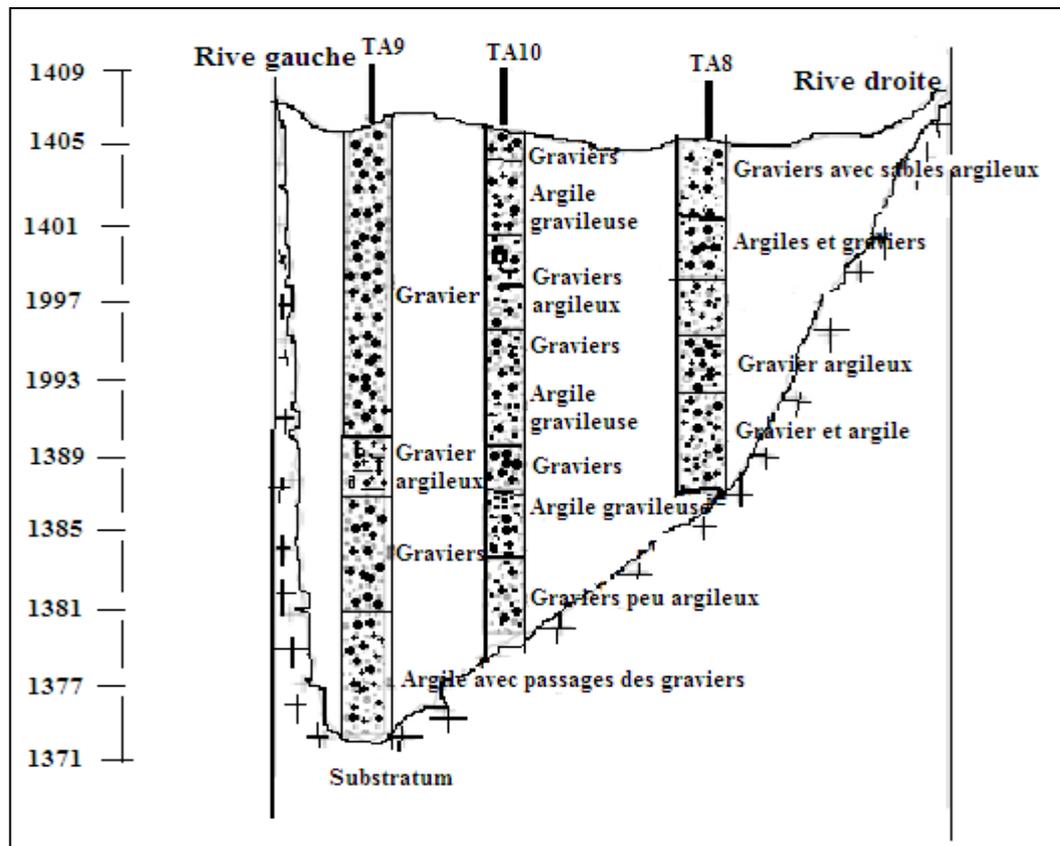


Figure III.3 : Coupe stratigraphique le long d'un profil en travers de la cuvette de l'oued (rapport hydrogéologique mission II, ENHYD).

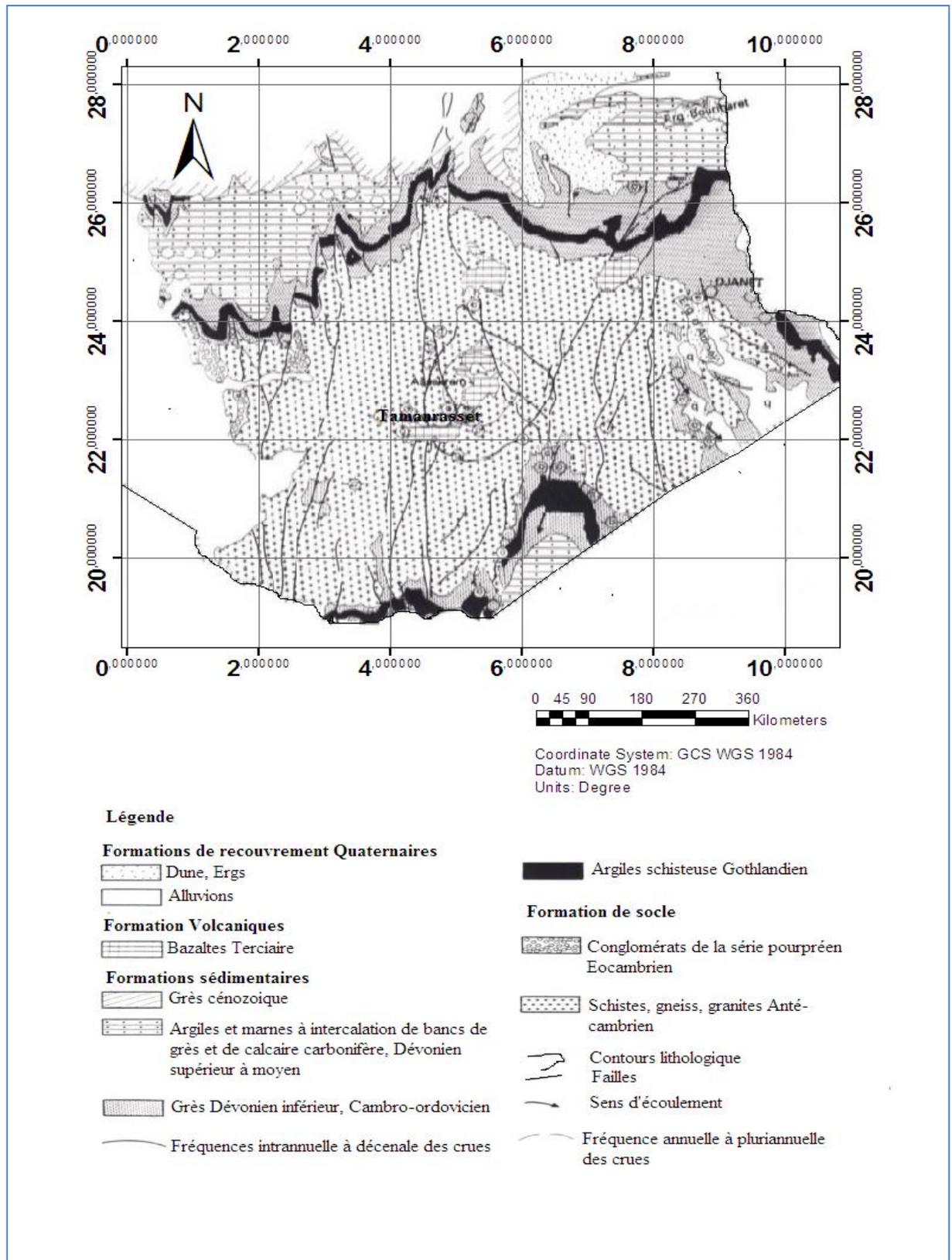


Figure III.4 : Carte structurale et hydrogéologique du Hoggar (D'après d'après le rapport ORGM)

IV. La nappe d'inféro-flux de l'oued TAMANRASSET :**IV.1. Caractéristiques générales de la nappe :**

Les nappes d'inféro-flux, constituent la ressource principale du HOGGAR. L'inféro-flux est un écoulement souterrain des eaux dans les alluvions et la couche d'altération de la roche sous-jacente, qui a été curé par l'oued. Cette nappe est libre alimentée par les crus. Son exploitation se fait actuellement par de puits artésiens et les forages (Hamdi FZ, 2013).

IV.2. La morphologie de l'aquifère :

Selon la Compagnie Générale des Géophysiques (C. G. G 1971/1972) la morphologie de la cuvette est favorable à la conservation et la circulation souterraine des eaux.

Il s'agit d'une gouttière topographique limité par un relief gneissique, comblée par d'alluvions provenant de la désagrégation des roches cristallines.

La zone d'étudiée à :

- Une longueur de 9000m,
- Une largeur moyenne de 300m.

Et l'épaisseur des alluvions atteint au maximum de 35,5 m et les épaisseurs les plus fréquentes sont voisine de 30 m .les épaisseurs minimales du réservoir meuble se situent à l'aplomb des remontées non affleurements du substratum. La cuvette réservoir étudiée commence au niveau de Pic TINDI, et se termine à quelques 4 km. À l'amont à de la ville Tamanrasset (au niveau de barrage souterrain)

IV.3. Hydrodynamique de la nappe :

Les essais de pompage réalisé au niveau des forages F1.F2 et les puits P2 en (1979) ont donnés : Une transmissivité égal à $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, un coefficient d'emmagasiné varie entre 3,14% et 6, % et un débit de la nappe d'inféro-flux égale à 15 l/s, donnée par la loi de DARCY en 1970 (Hamdi FZ, 2013).

IV.4. Mode d'alimentation de la nappe : La nappe est encaissée entre la bordure de roches métamorphiques formant le relief. De sorte que le réseau hydrographique achemine les eaux de précipitation en convergeant vers l'aquifère alluvionnaire et alimente donc la nappe.

Les eaux pluviales sont collectées dans l'aire de la cuvette ou s'établissent des crues. La réalimentation de la nappe s'effectue, soit par infiltration directe des pluies, soit par infiltration des eaux de crues qui s'étalent sur les alluvions. Les apports pluviométriques inter-annuels sont estimés à 29 millions de m³. L'infiltration directe des précipitations représente un volume d'environ 1.6 millions de m³. La topographie avoisinante à la cuvette est plutôt favorable au ruissellement vers les bordures du lit majeur (Hamdi FZ, 2013)..

La recharge est favorisée par une faible pente du lit de l'oued, la lithologie perméable des alluvions de surface, les dépressions de la cuvette (grande aire réceptrice, possibilité d'épandage des crues.....) et les longueurs des crues qui dépassent le site du barrage, couvrant ainsi toute la cuvette, sont fréquente (Hamdi FZ, 2013). .

IV. La piézométrie :

IV.1. Inventaire des points d'eau :

Les données recueillies par des mesures sur terrains pour l'année 2018, nous permet de concrétiser l'ensemble des points d'eau sur la carte d'inventaire.

A l'aide des mesures piézométriques réalisées au mois de Mars 2018, on a dressé la carte piézométrique (Fig.) pour bien discerner l'écoulement des eaux souterraines de la région d'étude.

Tableau III.1 : Mesures piézométriques de la région d'étude (Mars 2018)

Nom	Latitude	Longitude	Profondeur totale (m)	Niveau piézométrique (m)
F1	22°41'52"N	5°27'31.6"E	1292	5.6
F2	22°41'52.8"N	5°27'32.4"E	1294	2.70
F3	22°41'37.4"N	5°27'20.4"E	1298	1
F4	22°41'28.2"N	5°27'13.3"E	1287	2.60
F5	22°41'26.3"N	5°27'11.8"E	1281	2.15
F6	22°41'21"N	5°27'8.6"E	1289	0.8
F7	22°41'14.5"N	5°27'3.8"E	1290	0.3
F8	22°41'7.8"N	5°26'45.7"E	1242	1.20
F9	22°40'58.8"N	5°26'47.9"E	1283	3.80
F10	22°40'20.3"N	5°26'15.7"E	1268	0
F11	22°40'13.1"N	5°26'17.4"E	1268	2
F12	22°40'30.4"N	5°26'13.2"E	1288	1.60
F13	22°40'40.8"N	5°26'21.5"E	1276	0
F14	22°40'41.7"N	5°26'22.5"E	1288	0

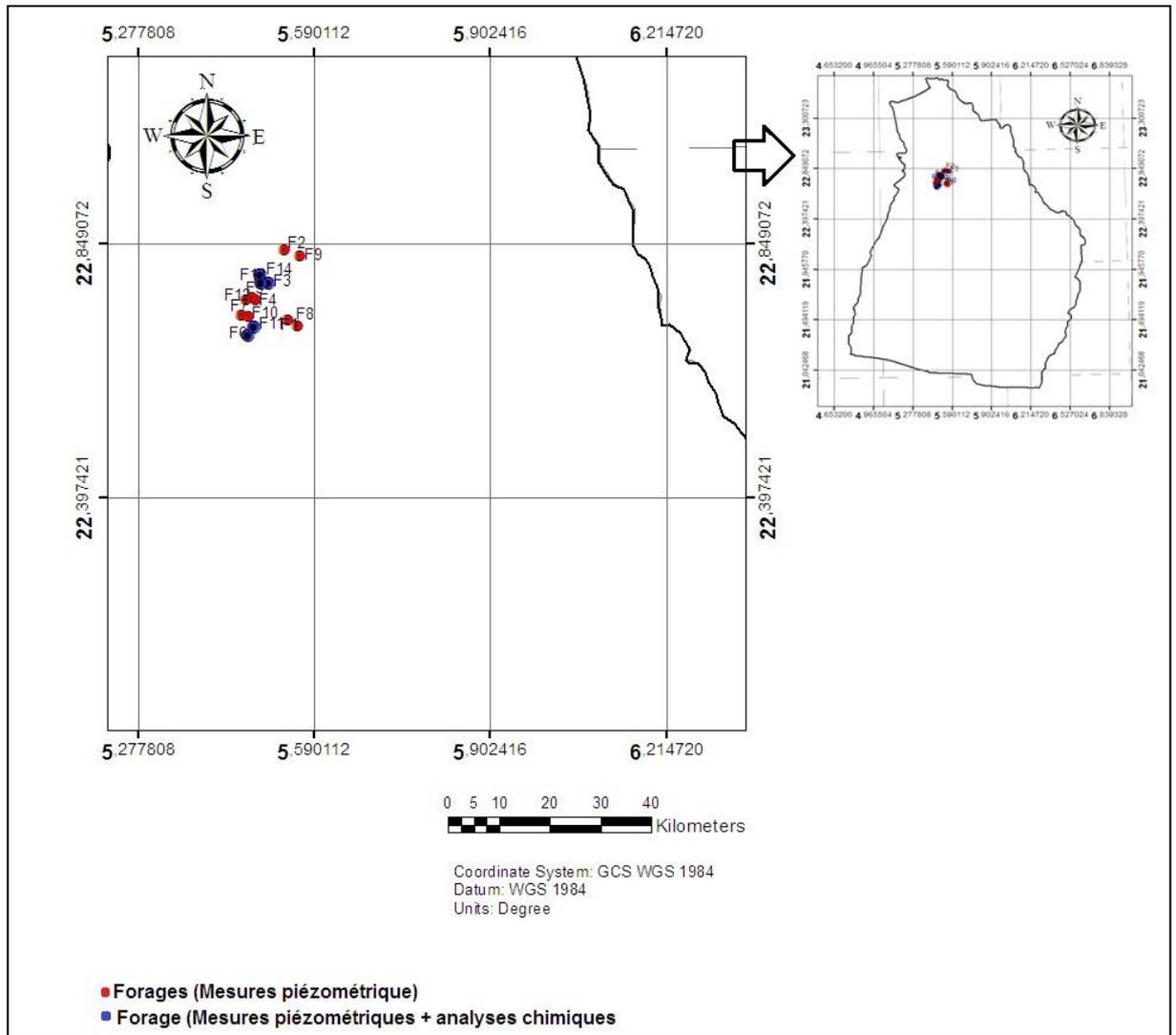


Figure III.5 : Carte d’inventaire des points d’eau de la région d’étude (Mars 2018).

IV.2. Interprétation de la carte piézométrique :

A La région d’étude, la direction de l’écoulement est divers ; Nord-sud, Nord-est, Nord-ouest, Sud-nord, Sud-est et Sud-ouest. Les courbes isopièzes sont espacées, ceci traduit un gradient hydraulique faible à moyen, d’où une perméabilité très élevée. Tandis qu’au centre, les courbes isopièzes sont serrées, surtout au niveau des forages F2, F9 et F10, ce qui indique un gradient hydraulique moyen, et donc une perméabilité faible.

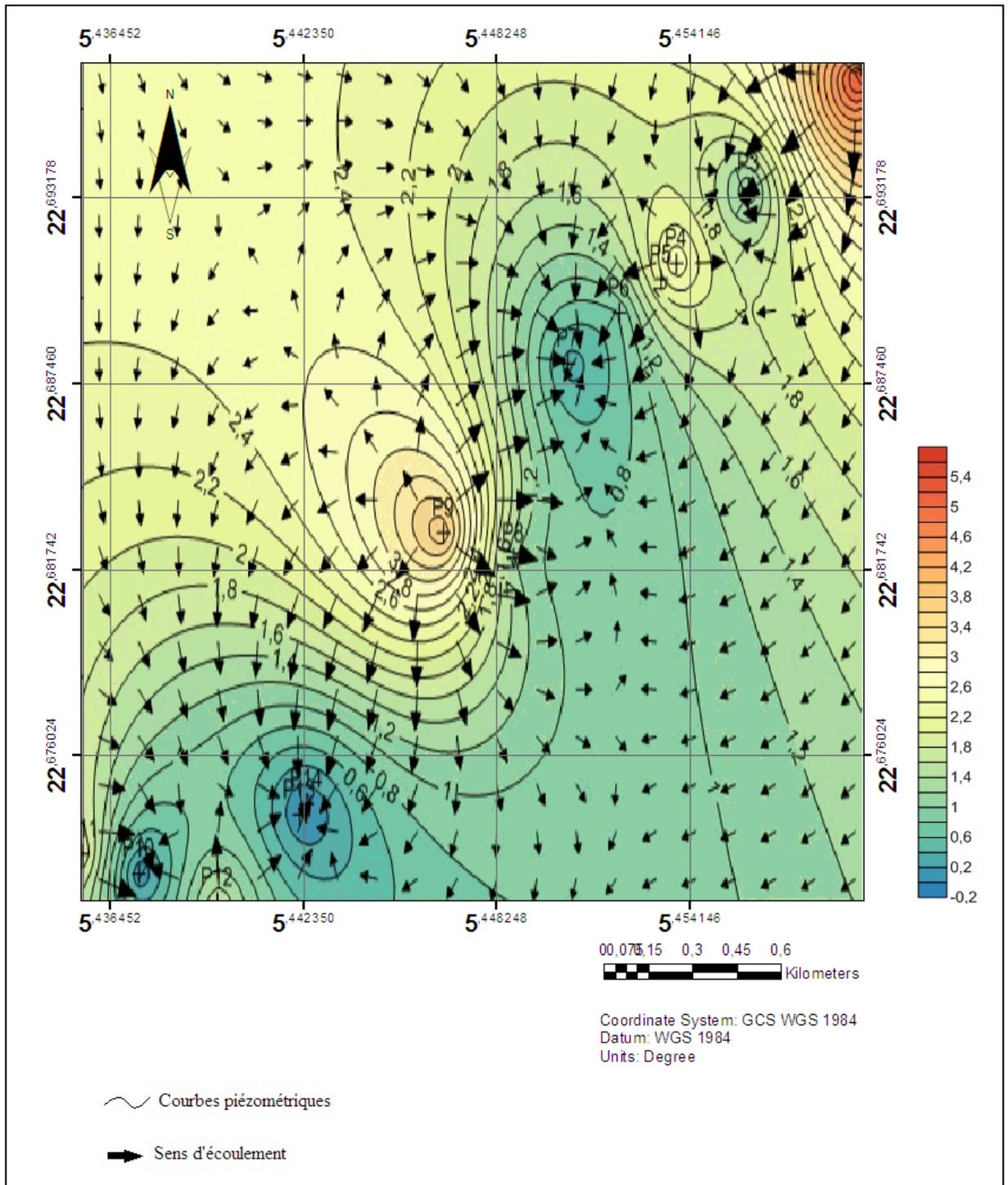


Figure III.6: Carte piézométrique de la région d'étude

Conclusion :

Quatre grands ensembles aquifères présents à la région d'étude :

➤ L'ensemble aquifère des grès du continentale intercalaire du bassin de TANZROUFT : Un complexe aquifère dans lequel nous avons défini deux nappes :

-la nappe du niveau gréseux supérieur.

-la nappe du niveau gréseux inférieur.

➤ L'ensemble aquifère des grès du cambro-ordovicien des bassins de TIN SERIRINE et de TAFFASSASSET, cet ensemble aquifère sont réponsus dans le Hoggar oriental.

➤ L'ensemble aquifère des alluvions anciennes de SILET : il est lie aux alluvions anciennes paléo oued SILET-ABALLESSA qui constituant une nappe aux réserves des eaux souterraines non négligeables.

➤ L'ensemble aquifère lie au socle altère et fracturé. Certains travaux ont été réalisés par Levassor en 1970.

La direction de l'écoulement est divers ; Nord-sud, Nord-est, Nord-ouest, Sud-nord, Sud-est et Sud-ouest. Les courbes isopièzes sont espacées, ceci traduit un gradient hydraulique faible à moyen, d'où une perméabilité très élevée. Tandis qu'au centre, les courbes isopièzes sont serrées, surtout au niveau des forages F2, F9 et F10, ce qui indique un gradient hydraulique moyen, et donc une perméabilité faible.

La réalimentation de la nappe s'effectue, soit par infiltration directe des pluies, soit par infiltration des eaux de crues qui s'étalent sur les alluvions. Les apports pluviométriques inter-annuels sont estimés à 29 millions de m³

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

Introduction :

La qualité de l'eau est déterminée par l'utilisation finale qui en est souhaitée. En conséquence, l'eau destinée aux loisirs, à la pêche, à la boisson et à l'habitat des organismes aquatiques exige des niveaux de pureté plus élevés tandis que pour celle consacrée à la production d'énergie hydraulique les normes de qualité sont beaucoup moins importantes. C'est la raison pour laquelle la qualité de l'eau est définie largement comme les « caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau nécessaires pour les utilisations qui en sont souhaitées » (UN/ECE 1995).

I. Faciès chimiques :

L'interprétation des résultats des analyses des eaux de surface et souterraine du bassin versant d'oued Saf-saf a pour but de déterminer les faciès chimiques et d'effectuer une comparaison spatio-temporelle.

I.1. Le diagramme de Piper :

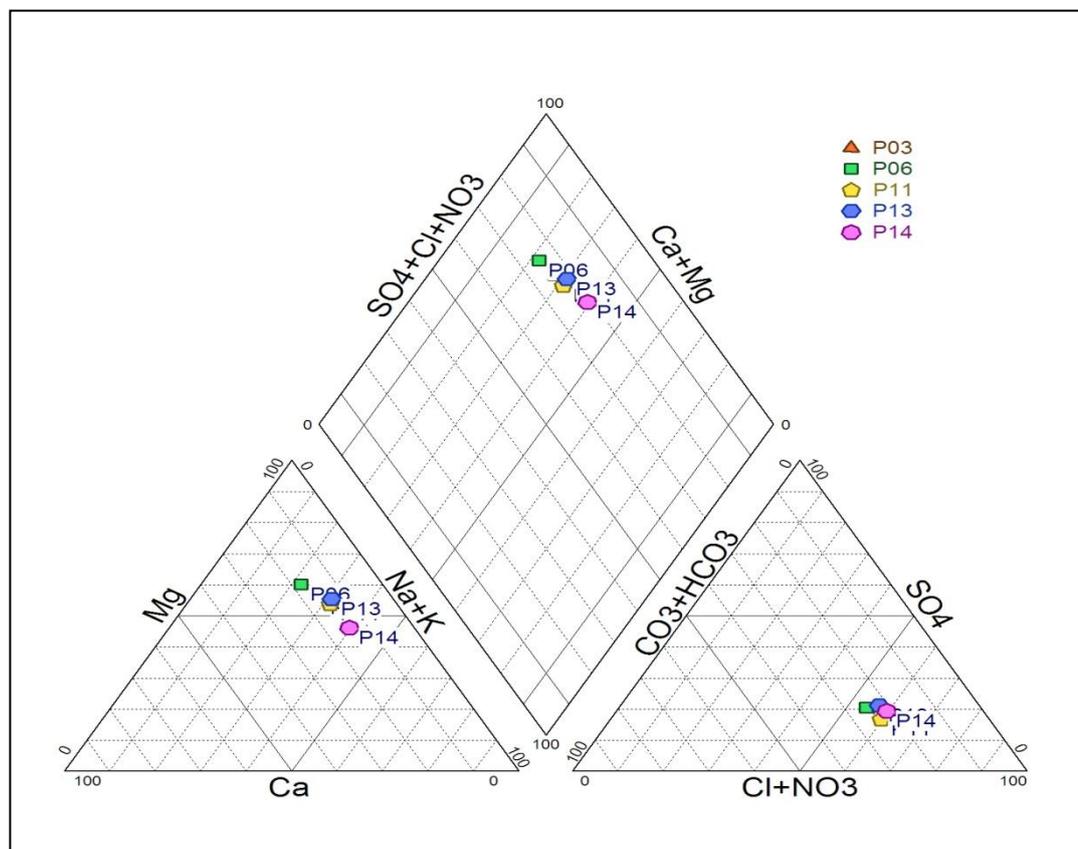


Figure IV.1 : Diagramme de Piper (Février 2018).

Dans ce diagramme on reporte directement les résultats des analyses chimiques en mg/l.

D’après le diagramme de Piper, on remarque que le faciès chimique dominant est le Chloruré- magnésique avec le pourcentage de 100%.

I. 2.Le diagramme de Schoeller- Berkaloff :

La représentation graphique des données physico-chimiques sur le diagramme de Piper montre un seul faciès chimiques **Chloruré- magnésique** (Figure IV.2), ce qui résume la dominance de deux éléments chimiques, soit pour les anions, soit pour les cations.



Figure IV.2 : Diagramme de Schoeller- Berkaloff (Février 2018).

II. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine :

II.1. Les éléments mesurés in-situ :

La température, le pH, l'oxygène dissous et la conductivité, sont des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de la qualité chimique des eaux.

Tableau IV.1 : Normes européennes de potabilité des eaux CEE (1975)

Variable	Niveau guide	Concentration maximale admissible	Concentration minimale requise
pH	6.5-8.5	9.5	6.0
Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	400	1250	
Résidu sec mg/l		1500	
Dureté totale (degrés français)	35		10
Calcium mg/l	100		10
Magnésium mg/l	30	50	5
Sodium mg/l	<20	100	
Potassium mg/l	<10	12	
Aluminium mg/l		0.05	
Alcalinité mg/l CO_3H	30		
Sulfates mg/l SO_4	5	250	
Chlorures mg/l Cl	5	200	
Nitrates mg/l NO_3		50	
Nitrites mg/l NO_2		0.1	
Ammoniaque mg/l NH_4	0.05	0.5	
Oxygène dissous	5		
DBO5 mg/l		50 % teneur initiale O_2	
Phosphore $\mu\text{g}/\text{l}$	300	2000	

II.1.1. La température :

La température joue un rôle très important dans la mobilité des sels et des gaz. Donc Pour évaluer la qualité des eaux de la nappe de Tagrimbaite, nous avons dressé des courbes d'évolution dans l'espace de certains paramètres (*Figure IV.3*) et nous avons tracé la limite de potabilité

L'évolution dans l'espace de la température des eaux de souterraines destinées à l'alimentation en eau potables (*Figure IV.3*) montre que les eaux ne dépassent pas les normes de potabilité via la température.

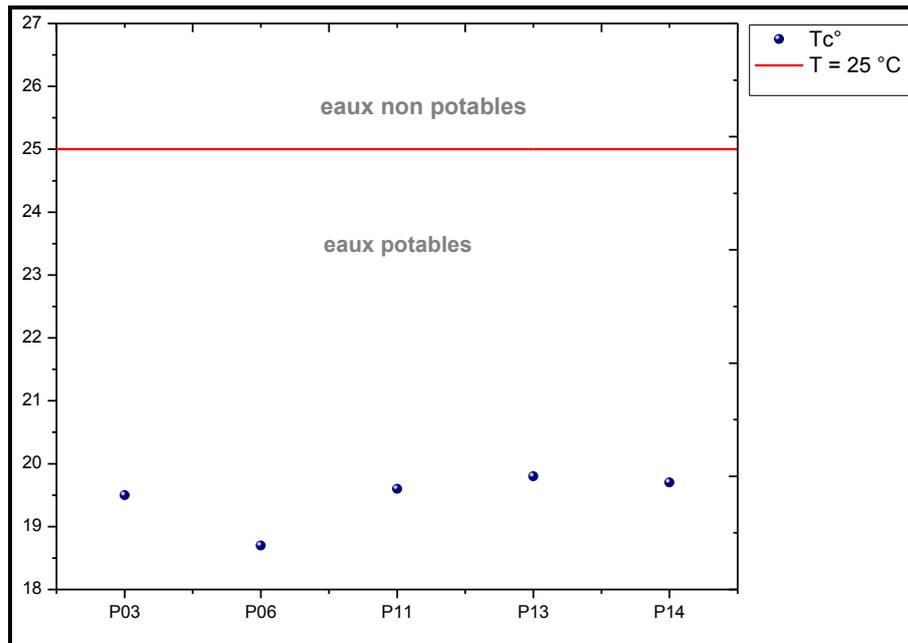


Figure IV.3 : Qualité des eaux vis-à-vis la température (Février 2018)

II. 1.2. La conductivité :

Elle est mesurée avec un conductimètre électrique qui donne directement la conductivité de l'échantillon en ms/cm et la température de celui-ci

La mesure de la conductivité nous a permis de :

- Déterminer rapidement la minéralisation globale de l'eau en mg/l.
- Dosage des paramètres chimiques des eaux.
- Application des méthodes chimiques d'analyses.

Les eaux souterraines (*Figure IV.4*) montrent une évolution dans l'espace et dans le temps non conforme aux normes de potabilité via la conductivité. L'évolution dans l'espace des eaux souterraines (*Figure IV.4*) montre des valeurs qui dépassent les 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ admissible par le comité européen.

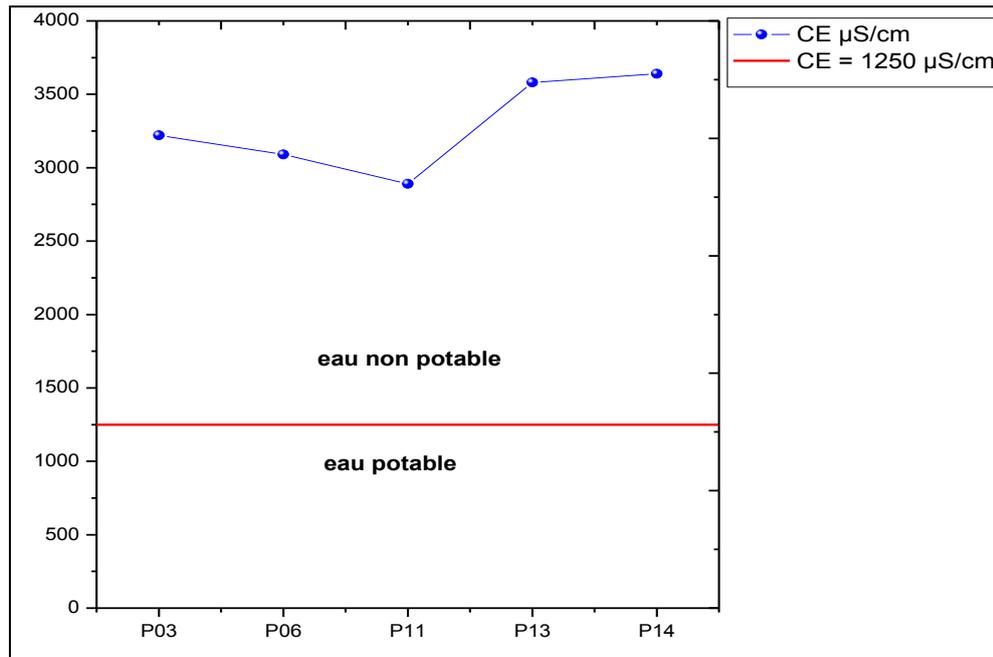


Figure IV.4 : Qualité des eaux vis-à-vis la conductivité (Février 2018).

II. 1.3. Le potentiel d'hydrogène PH :

Le PH est déterminé grâce à un PH – mètre qui mesure l'activité des ions H⁺ contenus dans une eau et $1 < PH < 14$: $PH = -\log [H^+]$

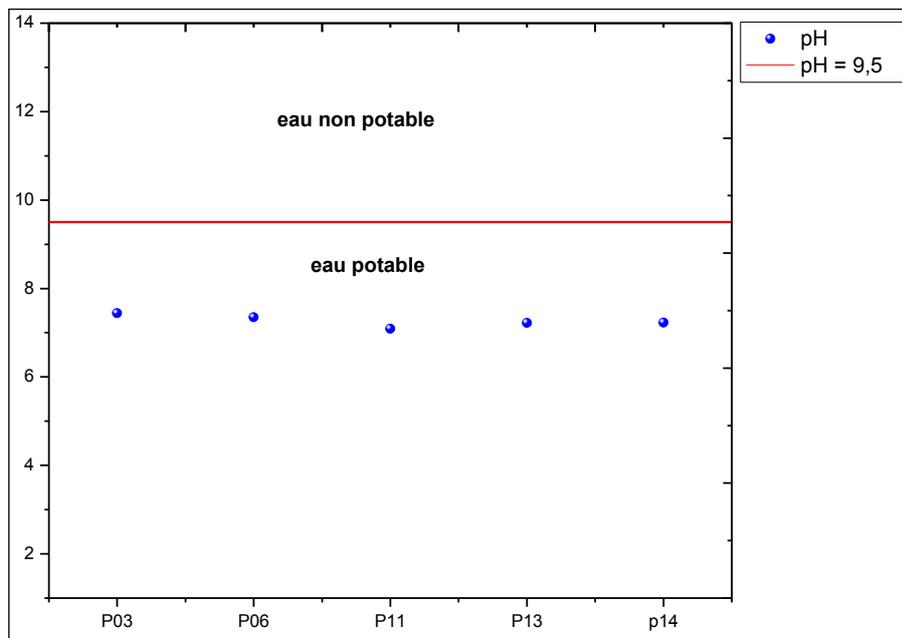


Figure IV.5 : Qualité de l'eau vis-à-vis la PH (Février 2018)

L'évolution dans l'espace du pH des eaux souterraines (*Figure IV.5*) montre une potabilité vis-à-vis le pH pour tous les points d'observation sans exception.

II.2. Les anions :

Les sulfates, les chlorures, et les bicarbonates, sont des paramètres utiles, en combinaison avec les cations, pour la détermination de la salinité dans l'eau.

II.2. 1. Les sulfates :

Les sulfates sont dosés par colorimétrie, en présence de chlorure de baryum, de bichromate de potassium, d'ammoniac et d'acide perchlorique, qui développent une coloration jaune.

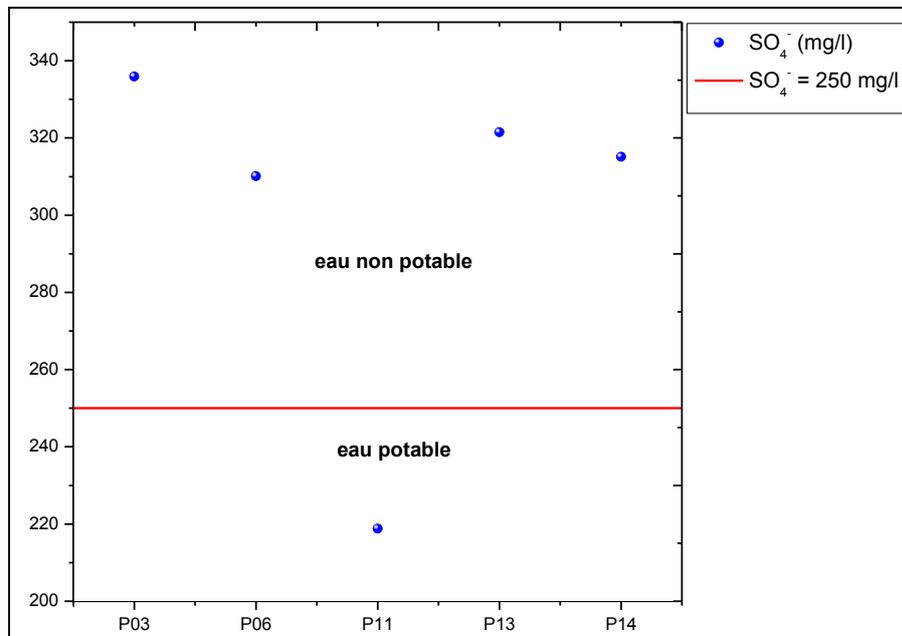


Figure IV.6 : Qualité de l'eau vis-à-vis les sulfates (Février 2018).

L'évolution des sulfates dans l'espace des eaux souterraines (*Figure IV.6*) montre le non potabilité de ces eaux via les sulfates à l'exception du puits (P11), qui possède une concentration en sulfates inférieure aux normes admissibles.

II.2.2. Les chlorures :

Très répandus dans l'eau naturelle en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des formations salifères, la sylvite (KCl) et l'halite (NaCl).

Les ions Cl^- sont dosés en milieu neutre par précipitation avec une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur. La fin du dosage est indiquée par l'apparition d'une teinte rouge due à la formation d'un précipité de chromate d'argent.

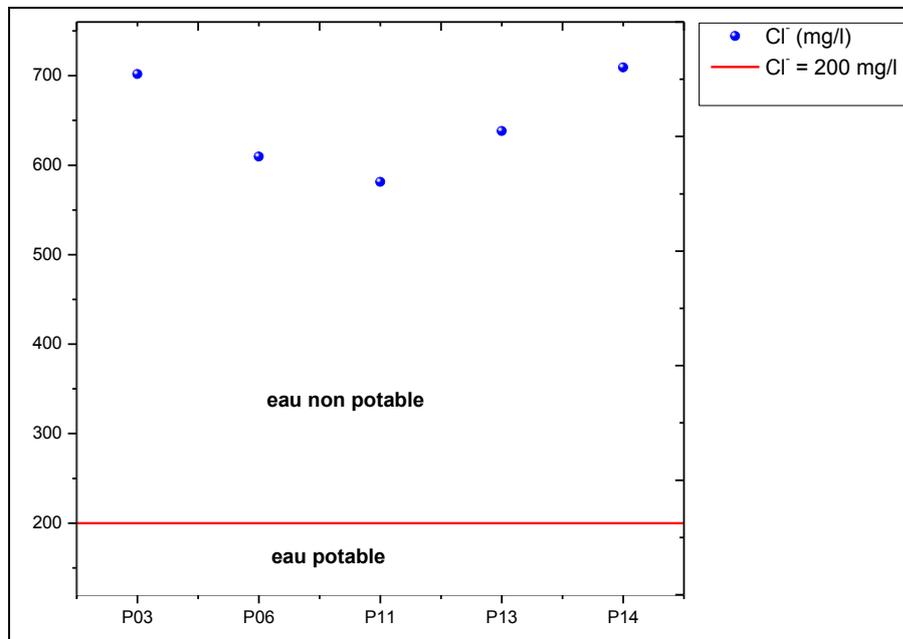


Figure IV.7 : Qualité de l'eau vis-à-vis les chlorures (Février 2018).

La période hivernale des hautes eaux (Février 2018) montre que tous les eaux analysées (*Figure IV.7*), ne sont pas dans les normes européennes de potabilité des eaux CEE (1975), ce qui a rendu ces eaux non potables vis-à-vis les chlorures.

II.2. 3. Les bicarbonates :

Appelé hydrogénocarbonate, il s'agit de sel de l'ion bicarbonate. Lorsqu'ils sont en contact d'acide (H^+), les bicarbonates se transforment en dioxyde de carbone gazeux (CO_2).

L'évolution dans l'espace et dans le temps pour les eaux souterraines (*Figure IV.8*) indique le non potabilité des eaux de surface en bicarbonates. Ces eaux dépassant largement les normes de potabilité 30 mg/l.

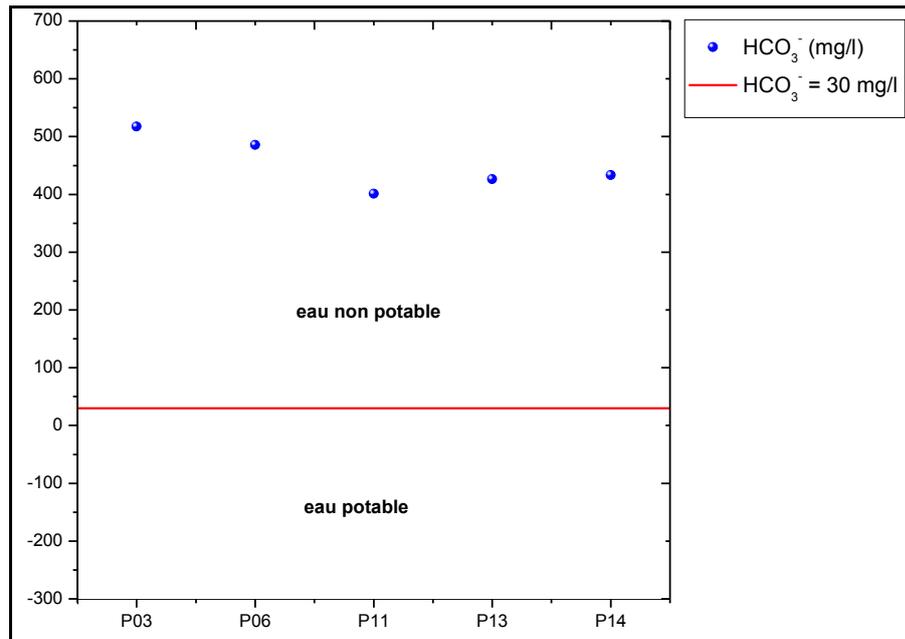


Figure IV.8 : Qualité de l'eau vis-à-vis-les bicarbonates (Février 2018).

II. 3.Les cations :

II. 3.1.Le sodium Na^+ :

Les analyses sont effectuées en utilisant la méthode spectrophotométrie à flamme aux longueurs d'ondes adéquates.

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères très solubles telles que l'halite (NaCl), Mirabilite $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ et Thenardite (NaSO_4)

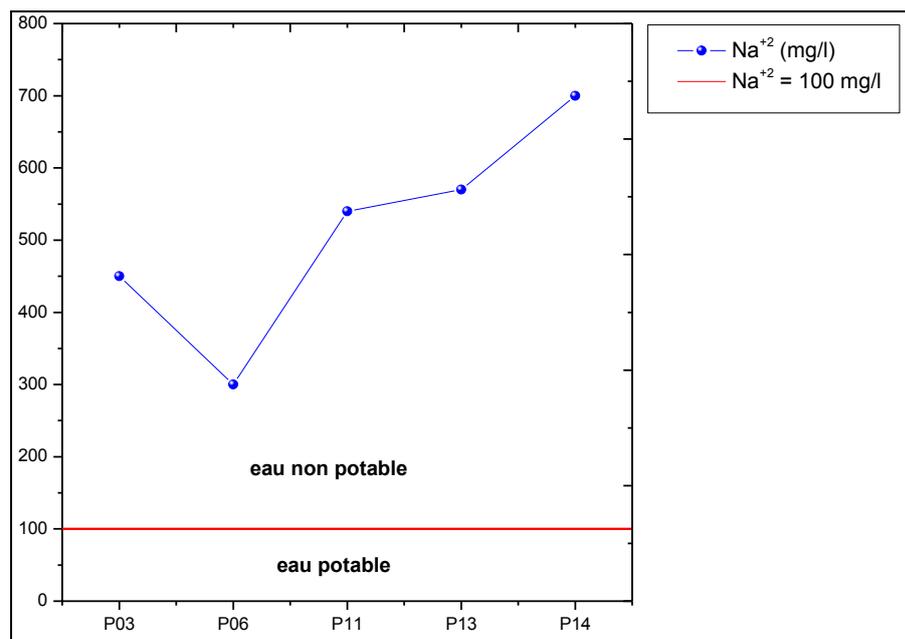


Figure IV.9 : Qualité de l'eau vis-à-vis Le sodium (Février 2018).

Les eaux souterraines (*Figure IV.9*) montrent des concentrations qui dépassent les normes admissibles et qui conduisent ces eaux vers le non potabilité vis-à-vis le sodium

II. 3.2. Le potassium K^+ :

Les analyses sont effectuées en utilisant la méthode spectrophotométrie à flamme aux longueurs d'ondes adéquates.

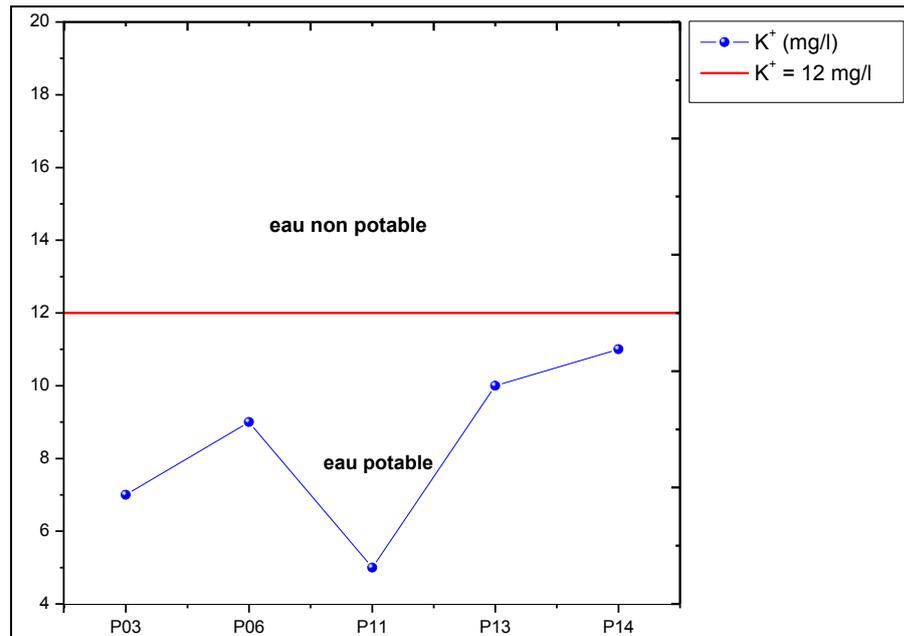


Figure IV.10 : Qualité de l'eau vis-à-vis le potassium (Février 2018).

Les eaux de surface et souterraines étudiées montrent des concentrations faibles en potassium (K^+), inférieure à 12 mg/l. alors l'évolution dans l'espace du potassium pour les eaux souterraines (*Figure IV.10*) montre une potabilité.

II. 3.3. Le magnésium Mg^{+2} :

Le Magnésium est un élément de la dureté, et Le magnésium est un élément très abondant, Il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ($KMgCl_3, 6H_2O$), la kiesérite ($MgSO_4, H_2O$), et carbonatés, la dolomie $[(Ca, Mg) CO_3]$

La valeur de Mg^{++} est très élevée dans tous les puits. Les eaux souterraines (*Figure IV.11*) montrent le non potabilité via le magnésium.

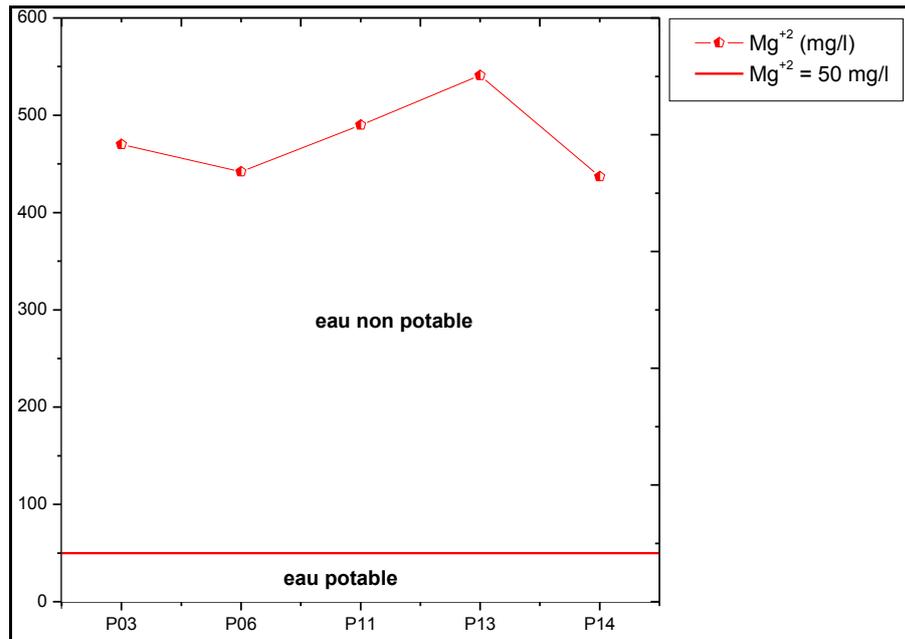


Figure IV.11 : Qualité de l’eau vis-à-vis le magnésium (Février 2018).

II. 3.4. Le calcium Ca⁺:

Le calcium qui est un élément de la dureté est généralement l’élément dominant des eaux potables et La présence des ions Ca⁺ dans l’eau indique, soit dolomie [(Ca, Mg) CO₃] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO₃), gypse [CaSO₄, 2(H₂O)] et anhydrite (CaSO₄).

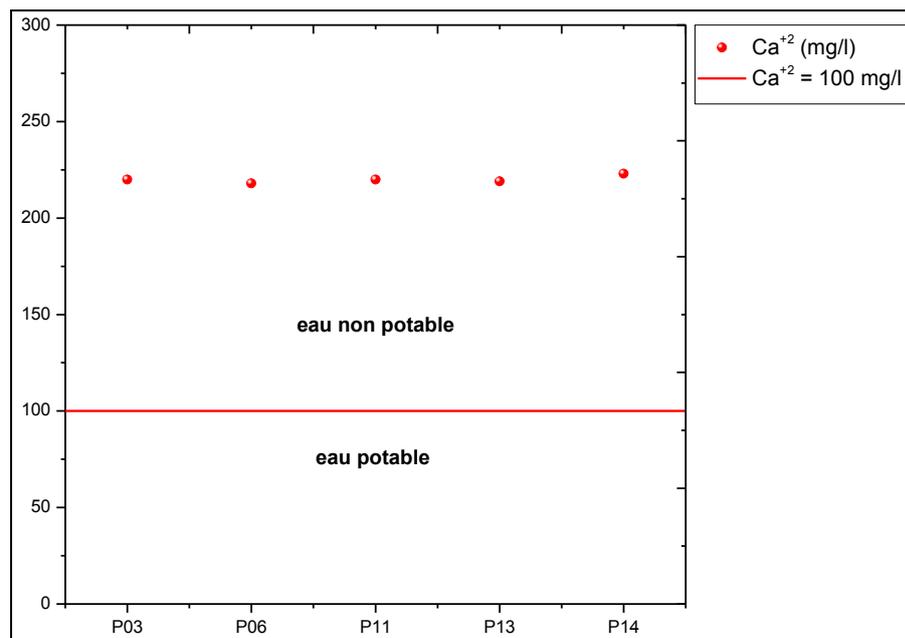


Figure IV.12 : Qualité de l’eau vis-à-vis le calcium (Février 2018).

Nous observons que tous les eaux des puits (*Figure IV.12*), ne sont pas conformes aux normes européennes de potabilité des eaux CEE (1975). L'évolution dans l'espace des eaux souterraines (*Figure IV.12*) montrent que la totalité des eaux sont non potables vis-à-vis le Calcium.

III. Qualité des eaux destinées à l'irrigation (AEI) :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure et la perméabilité de sol joue rôle très important pour la classification des eaux destinées à l'irrigation et on à autre facteur comme :

- Risque de Salinité
- Risque de Sodium (Degré d'Adsorption du Sodium ou SAR), Carbonate et bicarbonates
- Autres traces d'éléments- pH ,Anions toxiques, Aliments et Chlore libre.

III. 1. Les problèmes liés à la qualité des eaux d'irrigation :

L'irrigation non contrôlée engendre des dégradations importantes de la qualité des sols. En effet, aussi bien la quantité d'eau disponible que sa qualité affecte fondamentalement le sol et les cultures qui y sont cultivées. La présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporateur de l'air dans les zones irriguées conduisent souvent à la salinisation des sols irrigués et particulièrement en zones arides et semi-arides (Lahlou et *al*, 2002).

III.1.1. Les risques du Sodium Adsorption Ratio (SAR) :

Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calcium et les magnésium adsorbés (échange de bases) sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol (c.-à-d. si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et a une structure perméable et granulaire) (Djidel. M, 2008).

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure, par conséquent l'asphyxie des plantes.

Ce problème est également relié à plusieurs facteurs tels que le taux de salinité (voir ci-dessous) et le type de sol. Par exemple les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux sols argileux quand ils sont irrigués avec de l'eau à haut SAR. L'eau destinée à l'irrigation doit répondre à certaines exigences de sa qualité. Dans ce sens, on utilise le SAR et la minéralisation.

L'indice utilisé est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium (Djidel. M, 2008).

Tableau IV.2:Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation .

	SAR	Notes
Nul	<3.0	Pas de restriction sur l'utilisation de l'eau
Légère à modéré	3.0 à 9.0	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer s'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
Elevé	> 9.0	Domage sévère.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]}{2}}} \quad (5)$$

Avec :

Na⁺ : Sodium (meq/l).

Ca⁺²: Calcium (meq/l).

Mg²⁺: Magnesium (meq/l).

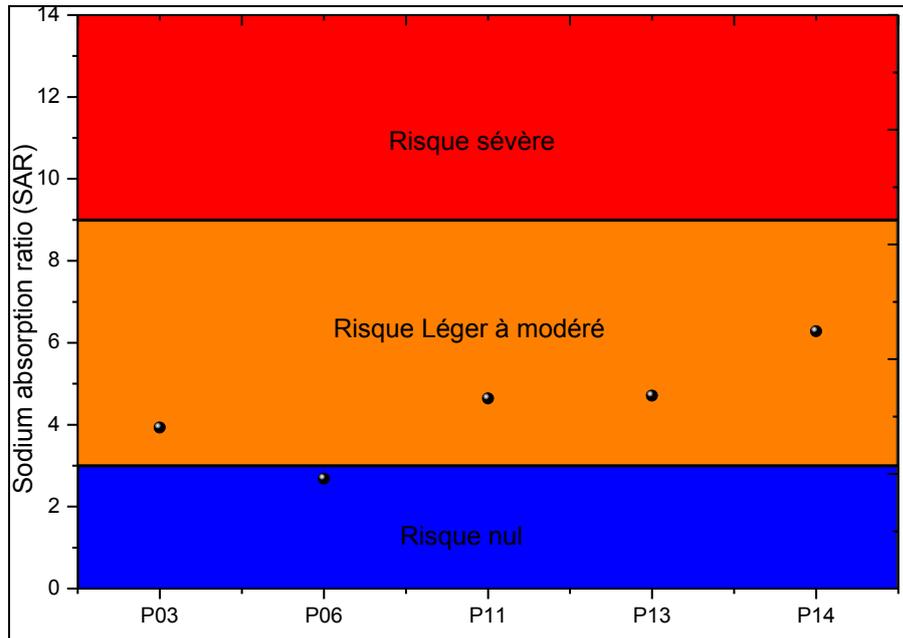


Figure IV.13 : Risque du SAR eaux souterraines (février 2018).

Les eaux souterraines montrent un risque léger à modéré du SAR pour l’irrigation dans tous les points, sauf pour P06 qui montrent un risque nul du SAR pour l’irrigation.

III.1.2. Relation entre le SAR et l’indice de salinité :

Le SAR et la salinité (CE) sont utilisés en combinaison pour évaluer certains problèmes potentiels comme le problème d’infiltration.

Tableau 1: SAR/Risque de salinité pour l’eau d’irrigation

SAR de: Risques	0-3	3-6	6-12	12-20	20-40
	et CE (dS/m) de :				
Nul	>0.7	>1.2	>1.9	>2.9	>5.0
Léger	0.7	1.2	1.9	2.9	5.0
Modéré	0.2	0.3	0.5	1.3	2.9
Sévère	<0.2	<0.3	<0.5	<1.3	<2.9

III.1.3. Diagramme de Wilcox :

Les classes, qui sont issues de la projection des classes de la CE en abscisses et les classes du SAR en ordonnées, permettent de déterminer la qualité de l'eau. Plusieurs auteurs ont interprété les classes issues du diagramme de Riverside.

Selon Durant (1982), ces classes sont qualifiées de la façon suivante :

C1S1 : Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.

C1S2, C2S1 : Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles

C1S3, C2S2 et C3S1 : Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

C1S4, C2S3, C3S2 et C4S1 : Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.

C2S4, C4S2 et C3S3 : Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.

C3S4, C4S3 : Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.

C4S4, C5S3 et C5S4 : Eau déconseillée pour l'irrigation.

La composition chimique des eaux souterraines pour la période d'observation montre qu'elles ont un faciès dominant Chloruré-magnésique. Sur le diagramme de Wilcox (*Figure IV.14*), le classement de ces eaux montre une eau de classe **C4S2** résume une eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse **C4S1** qui résume une eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.

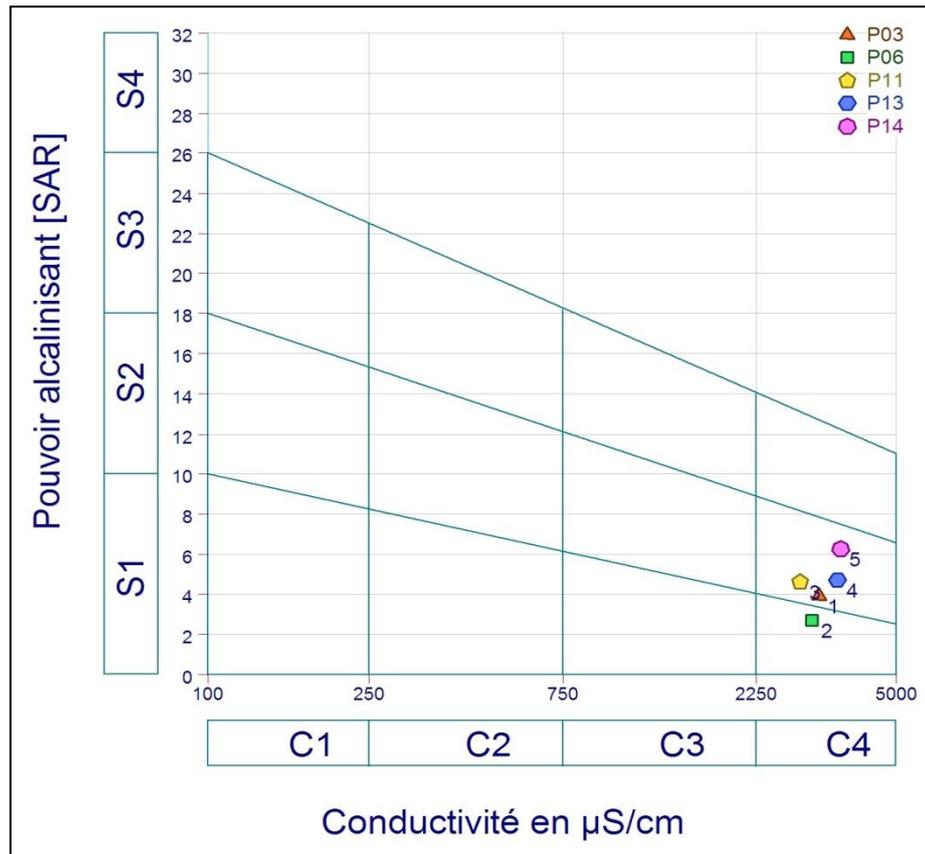


Figure IV.14 : Diagramme de Wilcox (Février 2018).

III.1.4. Les risques de la salinité

La salinisation est l'accumulation des sels dans les sols. Elle a pour principales conséquences une augmentation de la pression osmotique, une toxicité pour les végétaux due à l'accumulation de certains ions, dont Na^+ , et une dégradation du sol. C'est une cause de dégradation de l'agriculture et de la biodiversité (Halse, SA et al. 2003).

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs:

- La tolérance en sel de la récolte
- Les caractéristiques du sol sous l'irrigation
- Les conditions climatiques. La qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.
- Les procédures de gestion des sols de l'eau.

En général, l'eau réutilisée pour l'irrigation doit avoir un degré faible ou moyen de salinité. (i.e. conductivité électrique de 0.6 à 1.7 dS/m).

III.1.5. Risques des bicarbonates :

Selon Lenntech (Une forte teneur en carbonate (CO₃) et en bicarbonate (HCO₃⁻) augmente la valeur du S.A.R (environ >3-4 meq/L ou >180-240 mg/L).

III.1.5.1. Carbonate de Sodium Résiduel (RSC) :

Le RSC se calcule grâce à l'équation suivante:

$$RSC = (CO_3^- + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{+2}) \quad (6)$$

C'est un autre moyen de calculer la teneur en sodium grâce au Mg et au Ca. Cette valeur peu apparaître dans certains rapport d'analyse d'eau.

Si le RSC < 1.25, l'eau peut être utilisée pour l'irrigation.

Si le RSC > 1.25 l'eau n'est pas appropriée à l'irrigation.

Tableau IV.4: Risque des bicarbonates (HCO₃) pour l'eau d'irrigation (meq/l).

	Nul	Léger à modéré	Sévère
(Meq/l)	<1.5	1.5-7.5	>7.5
RSC	<1.25	1.25 à 2.5	>2.5

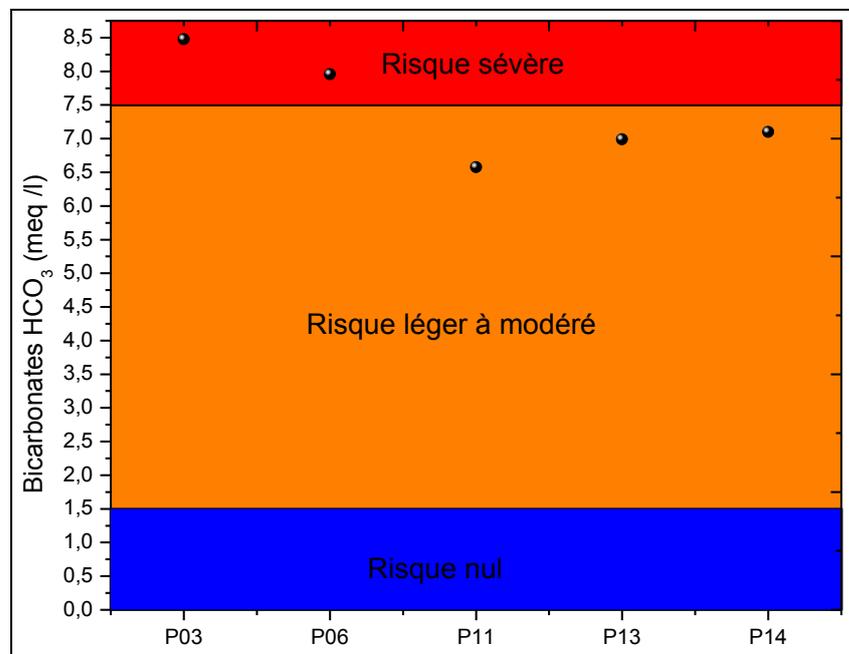


Figure IV.15: Risque des bicarbonates eau souterraine (Février 2018)

Les eaux souterraines (*Figure IV.15*), présentent un risque en bicarbonates léger à modéré pour les puits (P11, P13 et P14) et un risque sévère pour les puits (P03 et P06). Ceci dû à la richesse de ces eaux en bicarbonates.

III.1.6. Les risque des ions phytotoxiques :

Les ions toxiques les plus communs dans les eaux d'égouts sont :

- Chlorure (Cl^-)
- Sodium (Na^+)

Le sodium et le chlorure sont habituellement absorbés par les racines. Lorsque l'absorption se fait par les feuilles le taux d'accumulation est plus grand. L'absorption directe se produit habituellement dans des systèmes d'irrigation par arrosage dans des conditions de faible humidité et de hautes températures. La convenance de concentration de ces anions dépend du type de récolte, de l'état de croissance, de la concentration en ions, du climat et de l'état des sols.

Selon (Robert Morris et Dr. Dale Devitt, 2002) les niveaux de toxicité pour des ions spécifiques sont résumés au tableau suivant :

Tableau IV.5 : Les niveaux de toxicité pour des ions spécifiques (meq/l).

	Bore	Chlore	Sodium
Nul	< 1	1-3	> 3
Léger à modéré	< 4	4-10	> 10
sévère	< 3	3-9	> 9

III.1.6.1. Les chlorures :

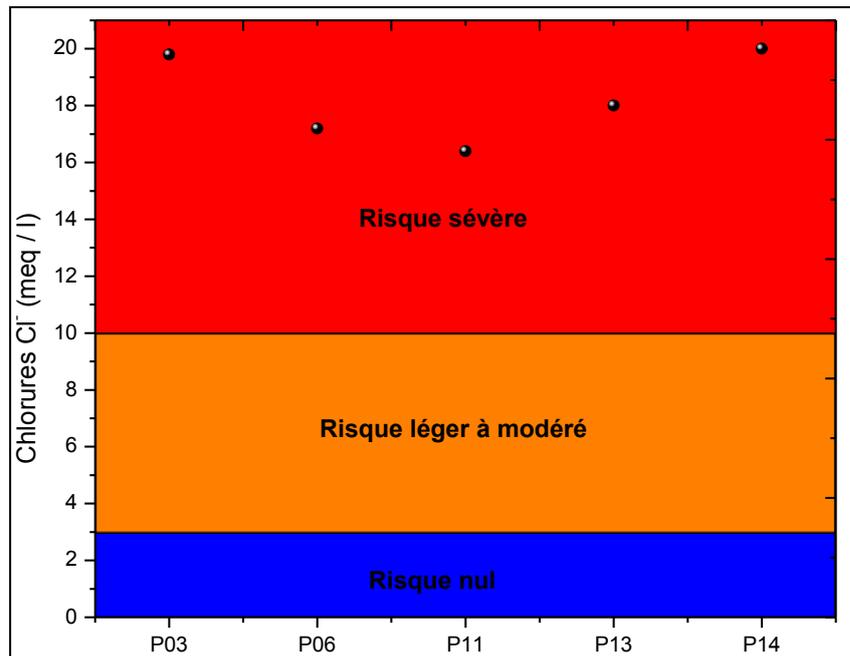


Figure IV.16 : Risque des Chlorures eaux souterraine (Février 2018)

Les eaux souterraines (Figure IV.16) montrent un risque sévère en chlorures (Cl⁻) vis-à-vis les plantes pour tous les échantillons analysé surtout les puits P03 et P14.

III.1.6.2. Le sodium :

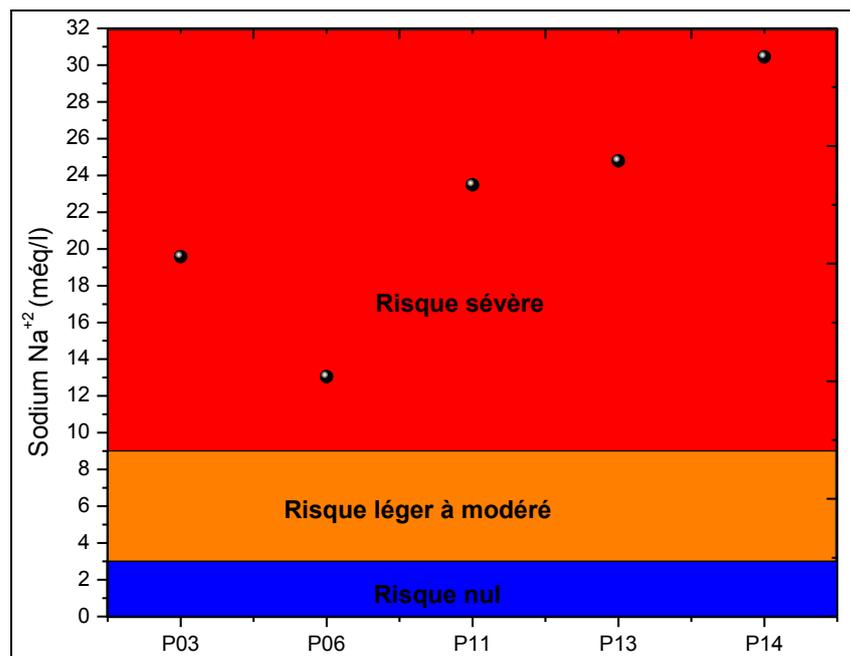


Figure IV.17 : Risque de sodium eaux souterraines (Février 2018).

Ainsi dans la même période février 2018 les plantes et le sol sont très affectées par les eaux chargées en sodium (*Figure IV.17*) et le graphique montre bien que le risque du sodium dépasse bien les 10 méq.l⁻¹ dans l'ensemble des points observés.

IV. Qualité des eaux destinées à l'industrie (AEI) :

IV. 1. Indicateurs calco-carboniques

IV.1.1. L'indice de Ryznar (indicede stabilité)

Cet indice est défini de la façon suivante :

$$IR = 2PH_s - PH \quad (7)$$

Où pH_s = pH théorique de saturation,

pH = pH mesuré à 25°C.

Tableau IV.6: Relation entre l'indice de stabilité et la tendance de l'eau.

I_R	Tendance
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Équilibre
7 à 7,5	Légère corrosivité
7,5 à 8,5	Corrosivité notable
> 8,5	Corrosivité importante

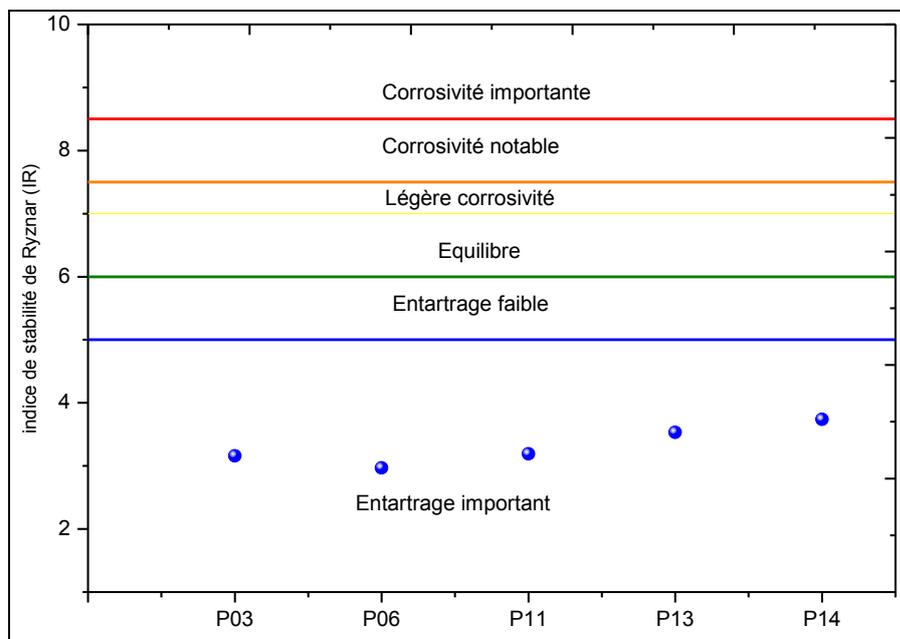


Figure IV.18 : L'indice de Ryznar (indicede stabilité) des eaux souterraines (Février 2018)

Pour les eaux souterraines de Tagrembeite (*Figure IV.18*) on remarque un entartrage important pour tous les puits analysés.

IV. 1.2. L'indice de Langelier (indice de saturation) :

Cet indice est défini de la façon suivante :

$$IL = PH - PHs \quad (8)$$

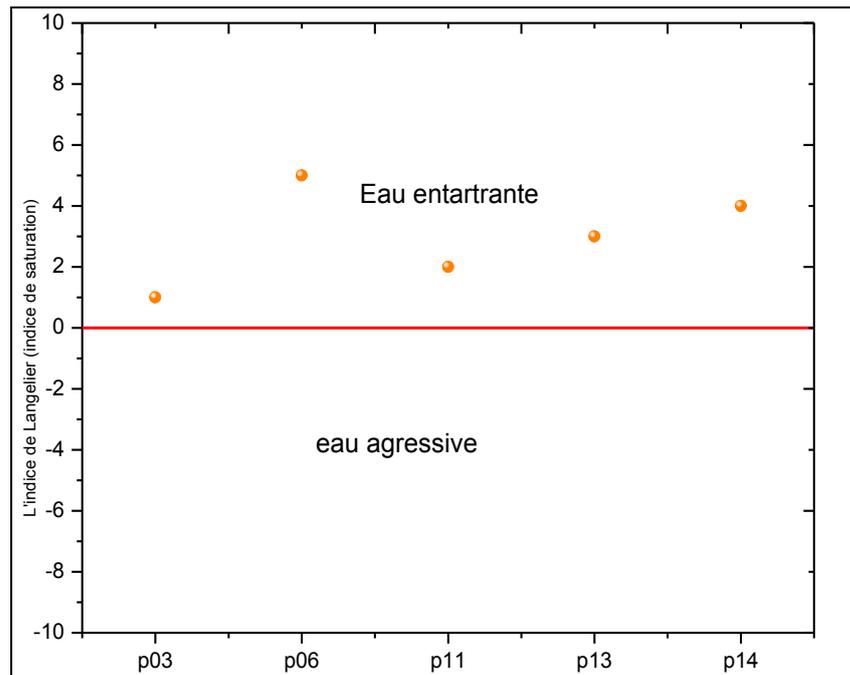


Figure IV.19 : L'indice de Langelier (indice de saturation) des eaux souterraines (Février 2018)

Toutes les eaux des puits de la région de Tagrembeite de la période de février 2018 (*Figure IV.19*), sont entartrantes.

IV. 1.3. Indication du CCPP (calcium carbonate precipitation potential) :

Le calcul du CCPP sera calculé comme suit, pour une eau considérée de paramètres calco-carboniques déterminés, en particulier, TAC de l'eau donnée = TAC₁ et TAC de l'eau à l'équilibre = TAC_{eq}, avec les TAC en °F.

$$CCPP \text{ (mg CaCO}_3\text{/L)} = 10[TAC_1 - TAC_{eq}] \quad (9)$$

On va donc par calcul itératif procéder :

- pour une eau agressive : neutralisation de cette eau avec du CaCO₃ jusqu'à l'équilibre de saturation (pH = pH_s) et donc obtenir l'alcalinité (le TAC) à l'équilibre (indice de saturation, IS= -0.1<=IS<=0.1).
- pour une eau entartrante : réduction itérative du TAC de cette eau (valeur de décrémente =0.1) jusqu'à obtention de l'équilibre de saturation (pH = pH_s) et donc obtenir l'alcalinité (le TAC) à l'équilibre (IS= -0.1<=IS<=0.1).

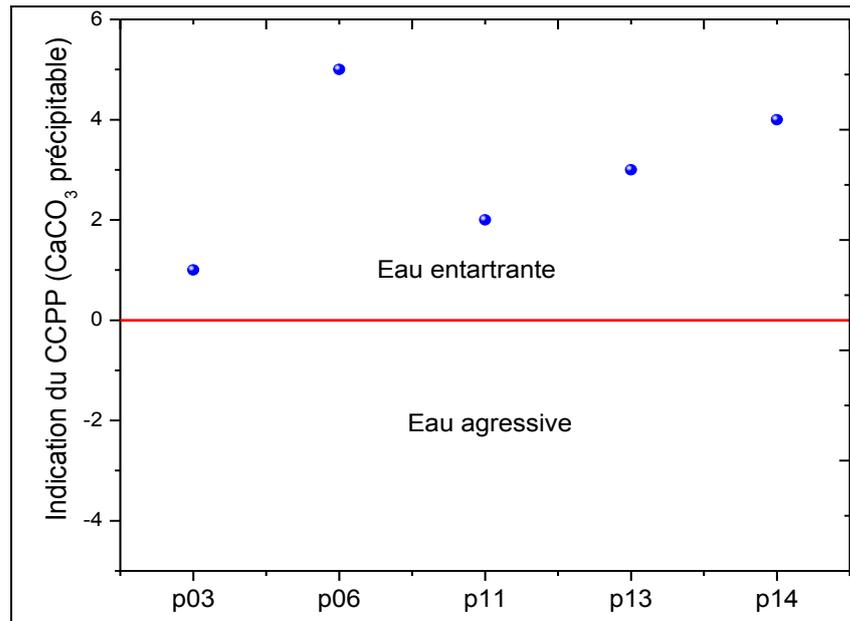


Figure IV.20 : l'indication de CCPP eaux souterraines (Février 2018).

L'indication de CCPP des eaux de surface (*Figure IV.20*) montre une eau entartrante pour l'ensemble des eaux analysées

IV. 2. Indicateurs de corrosivité

IV. 2.1. L'indice de Larson (indice de corrosivité)

Cet indice est défini de la façon suivante :

$$I_c = ([Cl^-] + 2 \times [SO_4^{2-}]) / [HCO_3^-] \quad (10)$$

Les concentrations sont exprimées en mol/l

Cette formule empirique est basée sur de nombreuses expérimentations effectuées par les américains Larson et Skold, qui ont estimé que cet indice ne devrait pas dépasser 0,2 ou 0,3.

Tableau IV.7 : Relation entre l'indice de corrosivité et la tendance de l'eau.

I_c	Tendance
< 0,2	Pas de tendance à la corrosion
0,2 à 0,4	Faible tendance
0,4 à 0,5	Légère tendance
0,5 à 1	Tendance moyenne
> 1	Nette tendance à la corrosion

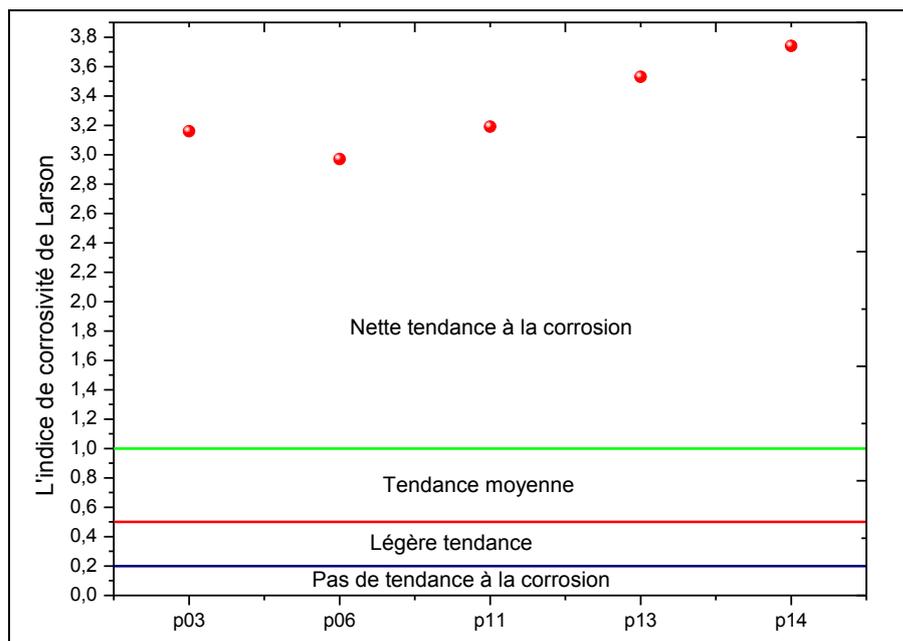


Figure IV.21 : L'indice de Larson (indice de corrosivité) eaux souterraines (Février 2018)

Toutes les eaux des puits de la région d'étude dans la période de février 2018 (Figure IV.21.), sont Nette tendance à la corrosion

CONCLUSION

Les eaux de la nappe souterraine de l'oued de Tagrembeit montrent qu'elles sont non potable pour la consommation humaine avec un risque sévère pour le sol et les plantes. Les indices calco-carboniques montrent que ces eaux sont entartrantes (risques de bouchage de canalisation). Les indices de corrosivité montrent une nette tendance à la corrosion vis-à-vis les métaux (destruction des équipements hydrauliques). On conclue alors, que quel que soit la destination prévue des eaux de la nappe souterraine de l'oued de tagrembeit, les eaux demandent un traitement (station de traitement) avant usage.

Conclusion générale

Conclusion général

Conclusion général :

La ville de Tamanrasset fait partie du massif de l'haggar, dans le sud du Sahara algérien à 2000 Km de la capitale.

La région d'étude fait partie du Hoggar central polycyclique qui est l'un des domaines du Bouclier Touareg. Se sont surtout des formations Quaternaires et Magmatiques.

La zone d'étude, qui fait partie de la wilaya de Tamanrasset dans sa toute partie, appartient à la zone climatique Saharien qui est caractérisée par une température moyenne de l'ordre de 22 C° et une précipitation moyenne qui varie entre 20 à 50 mm.

Les températures et les précipitations décrivent une seule saison, une saison sèche au cours de l'année.

La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 61.4 mm, tandis que l'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 61.4 mm /an, soit 100 % de la totalité des précipitations.

Lorsque la recharge dépasse la RFU, on obtient un excès et l'eau va partir vers le ruissellement superficiel. Malheureusement ce n'est pas le cas pour la région étudiée, ceci induit un épuisement de la nappe (rechargement nul).

Le déficit agricole est estimé à 1011.1 mm / an. Donc la région d'étude se caractérise par un bilan déficitaire.

Quatre grands ensembles aquifères présents à la région d'étude :

➤ L'ensemble aquifère des grès du continentale intercalaire du bassin de TANZROUFT : Un complexe aquifère dans lequel nous avons défini deux nappes :

-la nappe du niveau gréseux supérieur.

-la nappe du niveau gréseux inférieur.

➤ L'ensemble aquifère des grès du cambro-ordovicien des bassins de TIN SERIRINE et de TAFFASSASSET, cet ensemble aquifère sont réponsus dans le Hoggar oriental.

➤ L'ensemble aquifère des alluvions anciennes de SILET : il est lie aux alluvions anciennes paléo oued SILET-ABALLESSA qui constituant une nappe aux réserves des eaux souterraines non négligeables.

Conclusion général

➤ L'ensemble aquifère lie au socle altère et fracturé. Certains travaux ont été réalisés par Levassor en 1970.

L'analyse physico-chimique des eaux analysées, montre que le faciès chimique dominant est Chloruré- magnésique avec le pourcentage de 100%.

Les eaux de la nappe souterraine de l'oued de Tagrembeit montrent qu'elles sont non potable pour la consommation humaine avec un risque sévère pour le sol et les plantes. Les indices calco-carboniques montrent que ces eaux sont entartrantes (risques de bouchage de canalisation). Les indices de corrosivité montrent une nette tendance à la corrosion vis-à-vis les métaux (destruction des équipements hydrauliques). On conclue alors, que quelque soit la destination prévue des eaux de la nappe souterraine da l'oued de tagrembeit , les eaux demandent un traitement (station de traitement) avant usage.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Bertrand.J.M.L.(1974) : Evolution polycyclique des gneiss Précambriens de l'Aleksod (Hoggar, Sahara Algérien)

Boulahbal., (2012). Etude des écoulements souterrains dans les gneiss schisteux fissurés du Précambrien de la région de Tamanrasset. P5

Chaoui.W., (2007). Étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf (Nord-Est Algérien).

C.G.G (Compagnie Générale des Géophysiques) : Travaux Hydrogéologiques par prospection électrique et sismique de l'inféroflux de l'Oued Tamanrasset, D.H.W Tamanrasset.Direction de l'hydraulique de Tamanrasset : étude de trois barrages inféroflux a traverse la wilaya site N°1 oued Tamanrasset.

DJEBAILI S., (1984). Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. ed. OPU, Alger. p 159

Djidel, M., (2008).Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'ouargla (Sahara septentrional, Algérie). p182

E.N-HYD (Entreprise Nationale des Etudes Hydraulique) : Modèle de simulation hydrogéologique de la nappe de Tamanrasset (la nappe d'Adrienne).

GUYOT., (1997).Climatologie de l'environnement de la plante aux écosystèmes, éditionMasson, Paris. 505p.

Halse SA, Ruprecht JK & Pinder AM., (2003) Salinisation and prospects for biodiversity in rivers and wetlands of south-west Western Australia. Australian Journal of Botany, 51(6), 673-688.

Hamdi.FZ., (2013).Etude daménagement d'oued tamanrasset. P4.

HUFTY A., (2001).Introduction à la climatologie, presse de l'université de Laval, Canada,p 533.

Lahlou M., Badraoui M., Soudi B. Goumari A. et Tessier D., (2002). Modélisation del'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. Actes de l'atelier du PCSI, 28-29 mai 2002, Montpellier, France. CEMAGREF, CIRAD, IRD.

Références bibliographiques

Lelubre. M., (1952) : l'antécambrien de l'Ahaggar (Sahara central). Monographies régionales. 1ere Série : Algérie –N° 6.

Liegeois. J.P, Latouche. L, Boughrara. M, Navez. J, Guiraud. M., (2003): The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuareg shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during The Pan-African orogeny. *Journal of African Earth Sciences* 37 161–190.

Meriem .D.E, Boufassa. A : le Hoggar, office national de la recherche géologique et minière (O.R.G.M), (bureau de prospective des ressources minérales (B.P.R.M)).

OR.GM, (1973-1975) : Rapport sur les résultats des travaux de recherche et de prospection hydrogéologiques exécutent dans la région de Tamanrasset .

Robert Morris and Dr. Dale Devitt.,(2002). Sampling and interpretation of landscape irrigation water. University of Nevada..

Serrat, P., Ludwig, W., Navarro, B., Blazi, J.L., (2001). Variabilité spatio- temporelle des flux de matières en suspension d'un fleuve côtier méditerranéen : la Têt (France) C. R. Académie des sciences Paris, Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences 333, 389-397.

Résumé :

Les paramètres des eaux est diverse, elle peut être physique, chimique et microbiologique avec l'introduction de germes pathogènes.

Afin d'évaluer cette qualité à la région de Tagrembeit et ses conséquences sur l'environnement, un suivi de la qualité est effectué durant la période de Février 2018 pour les eaux souterraines. Les résultats obtenues sont représentés en graphiques spatio-temporelles, qui expliquent la qualité de ces eaux vis-à-vis l'utilisation en eau potable, en irrigation et en industrie.

Cette pollution, laisse penser que la plupart des eaux analysées ne sont pas potables pour la consommation humaine, elle présente un risque léger à modéré pour l'irrigation pour certains puits et sévère pour autres, et une eau entartrantes (risques de bouchage de canalisation) pour l'industrie et les machines utilisés.

Mots clés : Tagrembeit, Qualité, eau potable, irrigation, industrie.

Summary:

The parameter of water is diverse; it can be physical, chemical and microbiological with the introduction of pathogenic germs.

In order to evaluate this quality in the Tagrembeit region and its consequences on the environment, quality monitoring is carried out during the period of February 2018 for groundwater. The results obtained are represented in spatio-temporal graphs, which explain the quality of these waters vis-à-vis the use of drinking water, irrigation and industry.

This pollution, suggests that most of the waters analyzed are not drinkable for human consumption, it presents a slight to moderate risk for irrigation for some wells and severe for others, and scaling water (risk of blockage of pipeline) for the industry and machinery used.

Key words: Tagrembeit, Quality, drinking water, irrigation, industry.

ملخص:

نوعية المياه متنوعة ، يمكن أن تكون فيزيائية وكيميائية وميكروبيولوجية مع إدخال الجراثيم المسببة للأمراض. من أجل تقييم هذه الجودة في منطقة تاغريمبيت وعواقبها على البيئة ، قمنا بمراقبة الجودة خلال فترة فبراير 2018 للمياه الجوفية .

يتم تمثيل النتائج التي تم الحصول عليها في الرسوم البيانية المكانية والزمانية ، والتي تشرح هذه المياه المستخدمة كمياه للشرب والري والصناعة.

تشير التحاليل إلى أن معظم المياه ملوثة وغير صالحة للشرب وللاستهلاك البشري، ولكنها تمثل خطراً طفيفاً إلى معتدل بالنسبة للري لبعض الآبار وحادة بالنسبة للآخرين، والمياه المتدرجة (خطر على الأنابيب) للصناعة والآلات المستخدمة.

الكلمات المفتاحية: تاغريمبيت , جودة , مياه الشرب , ري , صناعة.