

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -**  
**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE**  
**LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

*En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie*

Option : Hydrogéologie

**THEME**

**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET**  
**HYDROCHIMIQUE DE LA NAPPE INFEROFLUX**  
**DE L'OUDE IN AMGUEL (W.TAMANRASSET)**

*Soutenu publiquement par :*

**AGUERRE Mohamed**

*Le : 01 / 07 /2013*

**Devant le jury :**

<b>Président :</b>	M. ZEDDOURI A.	M. C. A Univ. Ouargla
<b>Promoteur:</b>	M. BELKSIER.M <sup>ED</sup> .Salah.	M. A. A Univ. Ouargla
<b>Examineur :</b>	M. BOUSELSAL B.	M. A. A Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2012/2013**



# Remerciements

*Je Tenon D'abord A Remercié Allah Le Tout Puissant Et Notre Créateur,  
Pour M'avoir Donné La Force D'accomplir Ce Travail.*

*Je Remercie Plus Particulièrement Notre Promoteur Monsieur :  
Mr. M. BELKSIER, M<sup>ED</sup> SALAH Qui Nous A Fait Profiter De ses Connaissances,  
De son Soutien Moral Et Qui N'a Pas Hésité Un Seul Instant  
A Nous Encourager, Merci Pour Tous ses Conseils Et Aide Précieuse.*

*Mes remerciements à Mr. ZEDDOURI A et Mr. BOUSELSAL B  
Pour avoir accepter et examiner et faire partie du jury.*

*Mes remerciements à Mme. HABES Samah. Mr. KECHICHED Rabah. Mr. MEDJANI Fathi  
. Mr. BOUSSANA Fatah.*

*Sans oublier toute l'équipe de la D.H.W de Tamanrasset et l'O.R.G.M Tamanrasset  
Et O.P.N.A et O.N.M Station Tamanrasset*

*Ainsi les professeurs du département de géologie qui nos ont enseignés  
Pendant deuxièmes années master hydrogéologie*

*Nous Tenons A Remercier Toute Personne Ayant Contribué De  
Près Ou De Loin A La Réalisation De Ce Mémoire.*

*AGUERRE Mohamed*



# Introduction général

Chapitre I :  
Cadre géographique et géologique

## Chapitre II :

Climatologie, hydrologie et Hydrogéologie

Chapitre III :  
Etude Hydrochimie

## Conclusion générale

## Références bibliographiques



## 1- SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIE GENERALE

### 1.1. Situation géographique

In Amguel est une commune de l'Algérie dans la wilaya de Tamanrasset. Elle est située à 130 kilomètres au Nord de Tamanrasset et 1870 km d'Alger. La superficie du Hoggar central avoisine 93 438 km<sup>2</sup>, et d'une altitude de plus de 1035 m, sa population est d'environ 25 000 habitants. Les coordonnées géographiques sont 5° 09' 53" de longitude Est et 23° 41' 37" de latitude Nord.

La commune d'In Amguel est limitée par :

- ✓ Nord par In-Salah,
- ✓ l'Ouest par Abalessa,
- ✓ à l'Est par Idèles et Tazrouk
- ✓ sud par Tamanrasset.

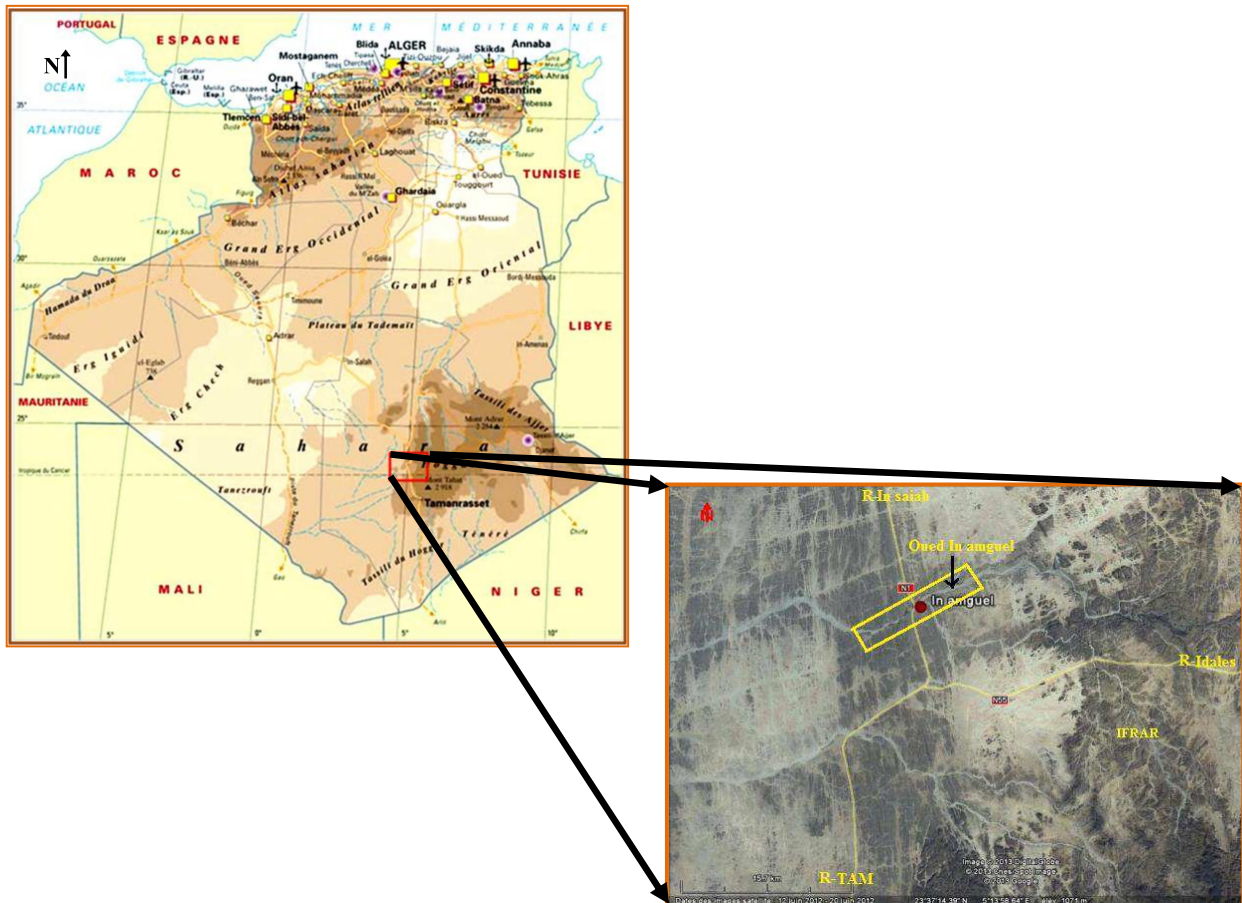


Fig. N°01 : Carte de localisation de secteur d'étude

## 1.2. Géomorphologie générale

L'observation montre que la géomorphologie de la région présente des caractères spécifiques similaires sur les centaines de kilomètres carrés.

Le massif de l'Atakor forme les points culminants d'où prend source la majorité du réseau hydrographique du Hoggar.

Les conditions hydro-climatiques dont dépend toute activité, contribuent au façonnage des formes structurales rencontrées dans l'oued in amguel et sa périphérie.

Les traits essentiels sont dominés par les reliefs volcaniques ou métamorphiques topographiquement élevés. Ceux - ci apparaissent sous forme de dômes, de cônes irréguliers à base élargie, falaises, et sont très souvent en continuité les uns avec les autres. Les pentes sont fortes, les piémonts treplats sont parsemés d'éboulis et d'arènes granitiques.

Des petits bassins naturels presque fermés se retrouvent çà et là. Les reliefs s'adoucissent au-delà des surcreusements de vallées, pour former des plateaux dont l'exploitation agricole dépend de l'état d'altération de la roche (formation des sols).

Dans ces sols rocheux, la végétation est rare, quelques plantes subsistent dans des dépressions où s'accroissent temporairement les eaux de pluies.

## 2. CADRE GEOLOGIQUE

### 2.1. Cadre géologique régional

Le Hoggar ou bouclier targui, correspond à un vaste bombement d'environ 700 km de diamètre, son altitude croit depuis la périphérie jusqu'au centre, où il atteint 1200 à 1500 m, (la topographie la plus élevée, la montagne Tahat 2918 m). De nombreuses études géologiques, que l'on peut subdiviser en trois étapes à partir desquelles résultent 03 théories.

#### 2.1.1. Première subdivision du Hoggar

Kilian (1931) puis Lelubre (1938-1948) qui propose la première subdivision du Hoggar en deux cycles séparés par une discordance importante, et à Lelubre 1952 a donné plus de détail sur le suggarien, on y distinguant la série d'aréchoum et la série de l'égéré (Mekssod) et aussi a fourni la première information sur les granites Taourirt et leur importance dans le domaine métallogénique dans lequel les deux cycles sont :

➤ **le Suggarien**

Est l'équivalent de l'orogénèse Eburnéenne (environ 2 milliards d'années), présent dans le Hoggar central, il est caractérisé par un métamorphisme de haut degré.

➤ **le Pharusien**

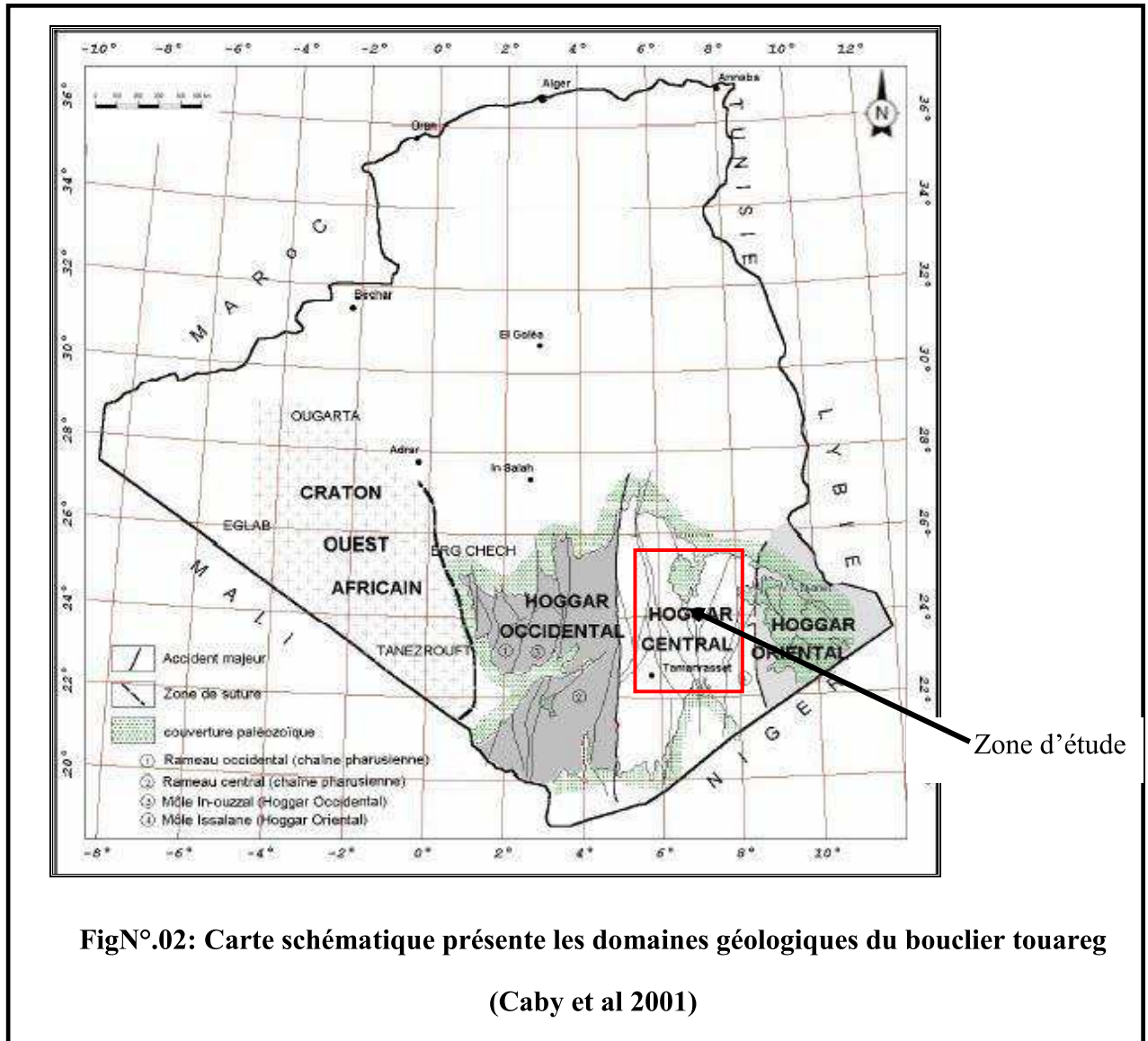
Est actuellement attribué au Panafrican (orogénèse à environ 600 million d'années), est marqué par un épimétamorphisme et affleure le plus souvent dans la partie occidentale du bouclier Targui.

Dépendant les premières données géochronologiques (Picciotto et al. 1965), ont infirmé cette hypothèse, car les âges obtenus sont en majorité situés entre 700 et 600 Ma et sont présentes dans les deux domaines (Hoggar central et occidental).

Depuis, différents événements, qui se rattachent aussi bien à l'Archéen (3.7-2.5 Ga) qu'à l'Eburnéen (2.1-1.8 Ga) et au Panafricain (0.85-0.55 Ga), ont été reconnus dans le Hoggar. Mais c'est essentiellement à cette dernière orogénèse qu'on doit la structuration actuelle du bouclier Touareg.

### 2.1.2. Les trois différents domaines du Hoggar

Le Hoggar est classiquement subdivisé en trois grands domaines différents séparés par des cisaillements régionaux (N-S) d'échelle continentale, les accidents 4°50' et 8°30', à jeux décrochant, qui lui confèrent un aspect morcelé. Ils le séparent en trois grands domaines (Bertrand et Caby, 1978) qui sont de l'Ouest vers l'Est, (**Fig.02**).



#### ➤ **Le Hoggar occidental, ou chaîne Pharusienne (panafricain)**

Il est constitué de matériel peu métamorphisé du protérozoïque supérieur (méta sédiments) et structure en host et grabens.

➤ **Le Hoggar central polycyclique**

Les formations donc il est composé, sont affectés par de événement tectono-Métamorphique d'âge divers. L'absence de datations absolus suffisante ne perme pas de défirrent avec précision leurs âges. Il a été défini deux ensembles ; le Pharusien surmonté par le Suggarien compose essentiellement de gneiss d'âpre (Kilian 1952).

➤ **le Hoggar oriental**

Ce compartiment délimité par un grand accident submérien 8°30 et la limite est de Djanet correspond à un bloc cratonisé 730 Ma (Caby et Andréopoulos, 1987). Ce socle est formé de roches métamorphiques (gneiss et sédiments anciens : métasédiments), de granites et de matériel volcanique.

Les trois principales unités géologiques (Bertrand et Caby, 1978, Caby et Andréopoulos, 1987, Black et al, 1994), ce sont d'ouest en est, le « terrane » d'Issalane, la chaine de Tiririne et le domaine de Tafassasset-Djanet.

➤ **Le terrane d'Issalane**

Le terrane d'Issalane est limité par les deux grands accidents cisailants submériens : le 7°30 et le 8°30 (Bertrand et al, 1978). Il est composé de roches métamorphiques de type amphibolite, gneiss, et granites.

➤ **La formation de Tiririne**

Est une unité géologique intermédiaire entre le domaine de Djanet-Tafassasset à l'est et le terrane d'Issalane à l'ouest. Elle contient à la base des argilites et roches limoneuses qui sont recouvertes de roches clastiques avec des conglomérats, arkoses, greywackes et de roches silteuses.

➤ **Le domaine de Djanet-Tafassasset**

Est un segment de la chaine panafricaine qui s'étend du NO au SE et dans le prolongement du fossé du Ténéré (Nord Niger). Ce socle comprend des séries métasédimentaires (micaschistes, quartzites, marbres, gneiss), des métavolcanites (métabasaltes, dacites, rhyolites) et un ensemble de roches plutoniques (granites, granodiorites, diorites et gabbros) (Caby et Andreopulous-Renaud, 1987).

Les formations les plus anciennes sont représentées par la série de Djanet. Elles sont semi-pélitiques à dominante de méta-pélites gris ou vert kaki. Ce sont des intercalations de schistes et de grès métamorphisés et de lentilles de quartzites très répandues. La série est déformée, plissée et affectée par une importante fracturation (Zekkiri-Nemmour et al, 2006).

Cette série sédimentaire détritique (grès, conglomérats) peu métamorphique du terrane de Djanet, qui fait l'objet actuellement de travaux est intrudée par le grand batholite de granites porphyroïdes de Djanet (daté à 571 Ma) et des filons de Tin Aamali (datés à 566 Ma) avec des plutons circulaires tels que celui de Tin Bedjane (568 Ma). Le granite de Djanet est constitué de minéraux ferromagnésiens (amphibole-biotite) et de mégacristaux de feldspath potassique et contient des enclaves (Fezaa et al. 2006).

A la limite ouest du Tafassasset (In Azaoua) et dans le Tafassasset, il y a des grès d'âge cambro-ordovicien. On y trouve de bas en haut la formation des n'Ajjar composés de grès fluviaux, celle de Tin Tahouite (facies marins littoraux constitués de grès fins micacés à fossiles de «bilobites») et enfin, la formation de Tamadjert avec des grès, argiles, silts et des structures qui témoignent d'un environnement glaciaire et périglaciaire.

Les granitoïdes de la région d'In Ezzane (Edembo) peu connus, sont actuellement étudiés par Cherfouh, les données géochronologiques obtenues en font des granites d'âge tardi-Panafrican.

### **2.1.3. Le Modèle des terranes**

Les travaux géologiques récents (Liegeois et al, 1994, Blak et al, 1994, Liegeois et al, 2000, Navez et al, 2000) visent sur le concept d'assemblage de terranes, ont montré que la structure de chacun de ses trois domaines représente un microcontinent, constitué de plusieurs terranes accolés ou sondés pendant l'orogénèse panafricaine (600 Ma). Le Bouclier Targui est présenté comme une juxtaposition de terrains ou de blocs d'orientation méridiennes.

Vingt trois terranes ont été définis caractérisés, par de complexes géologique et de association métrologique, les études de ces terranes ont parvis de cette en évidence trois grands blocs de lithologie et de structure différent

Les trois domaines classiques du Hoggar sont composés des blocs suivants :



- **Hoggar Occidental (d'est en ouest):** Iskel: (Isk); In Teideni:(It); Tin Zaoutène: (Za); Tirek: (Tir); Ahnet: (Ah); In-Ouzzal: (Ou); Unité granulite Iforas: (Ugè); Tassendjanet: (Tas); Kidal: (Ki); Tilemsi: (Ti); Timetrine: (Tim).
- **Hoggar Central (d'ouest en est):** Laouni: (La); Tefedest: (Te); Azrou-n-Fad: (Az); Egéré-Aleksod: (Eg-Al); Sérouenout: (Se);Tazat: (Ta); Tchilit: (Tch); Assodé-Issalane: (As-Is).
- **Hoggar Oriental (d'ouest en est):** Barghot: (Ba); Aouzegueur: (Ao); Edembo: (Ed); Djanet: (Dj). (Fig. N°03).

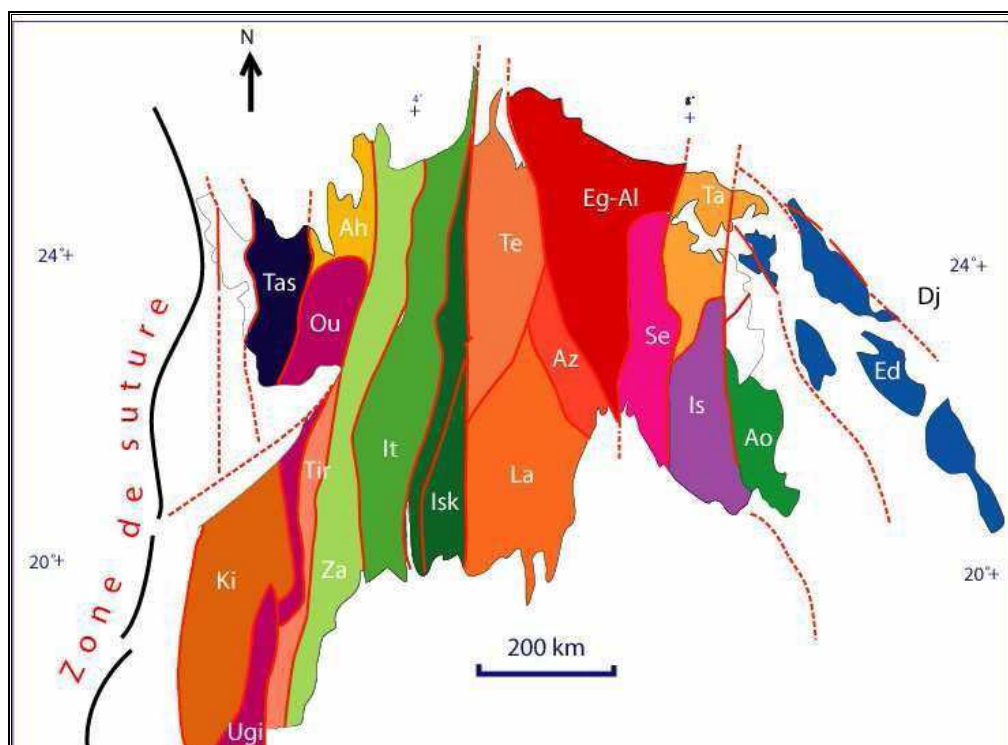


Fig. N° 03: Les différents terranes du Hoggar (R. Black et al. 1994).

#### 2.1.4. Extension du modèle de terranes

Le nouveau découpage basé sur le concept de « Terranes », terme anglais, connu par ailleurs, sera proposé par Liégeois et al. 2003 pour le Hoggar.

Les « Terranes » sont définis comme étant des blocs « exotiques » de croûte continentale (ou microplaque) pouvant s'être déplacées sur des distances pouvant atteindre plus de 100 km. Selon ce concept, le bouclier touareg serait un amalgame de « Terranes » et donc de blocs continentaux allochtones, orientés nord – sud, qui se seraient juxtaposés au cours de l'orogénèse panafricaine et dont la trace serait les grands accidents N-S.

Cette mise en place se serait réalisée à la faveur d'une tectonique compressive due à la convergence entre le craton ouest africain et le métacraton saharien. Ces « Terranes » sont composés de roches d'âge Archéen, Paléoprotérozoïque et Néoprotérozoïque. L'Archéen a été daté à 3.2 - 2 (Ga) milliards d'années par U-Pb, sur les roches métamorphiques de l'In Ouzzal, (Hoggar occidental, Ouzegane et al, 2003) et à 2.7, 2.2 et 1.9 milliard d'années dans les granites des Gour Oumellalen (Hoggar central, Peucat et al., 2003) (Fig.04).

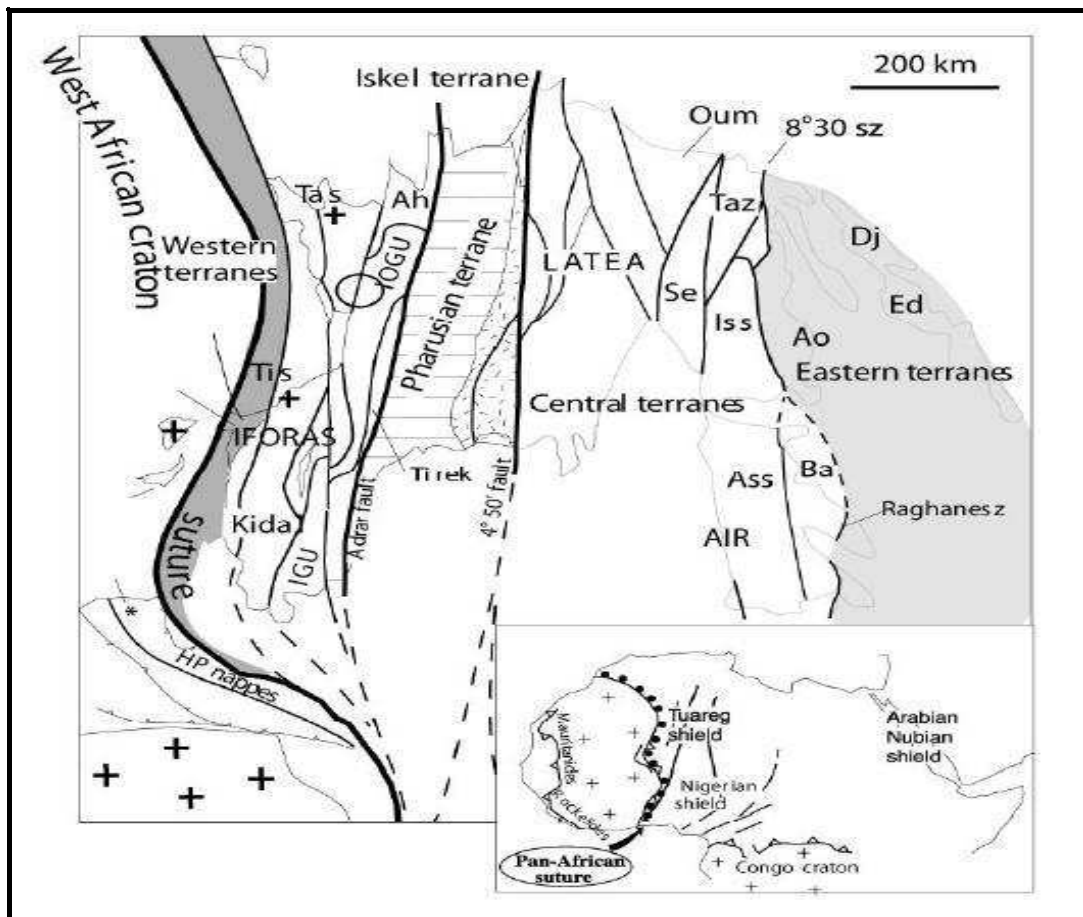


Fig.N°04: Les différents terranes du Hoggar (Liégeois et al.2003).

Le concept du modèle de terranes semble répondre aux problèmes posés dans diverses régions du bouclier Targui. Black et al (1994) interprète ce dernier comme étant un amalgame de blocs préalablement fragmentés puis assemblés de nouveau durant l'orogénèse panafricaine en plusieurs phases successives distinctes :

- La collision du bouclier Touareg a eu lieu tout d'abord à l'Est avec le craton Est Saharien (aux environ de 700 Ma).
- Puis à l'Ouest avec le craton Ouest Africain (600 Ma).



- Le stade tardif est marqué par des mouvements le long des méga-shear-zones essentiellement subméridiennes communes à tout le bouclier Targui.

## 2.2. Cadre géologique des sites :

### 2.2.1. Présentation des formations géologiques :

Les formations géologiques relevées le long d'oued IN AMGUEL sont de trois types :

- a) de larges affleurements rocheux métamorphiques sont observés aux deux rives de l'oued et rarement dans le lit.

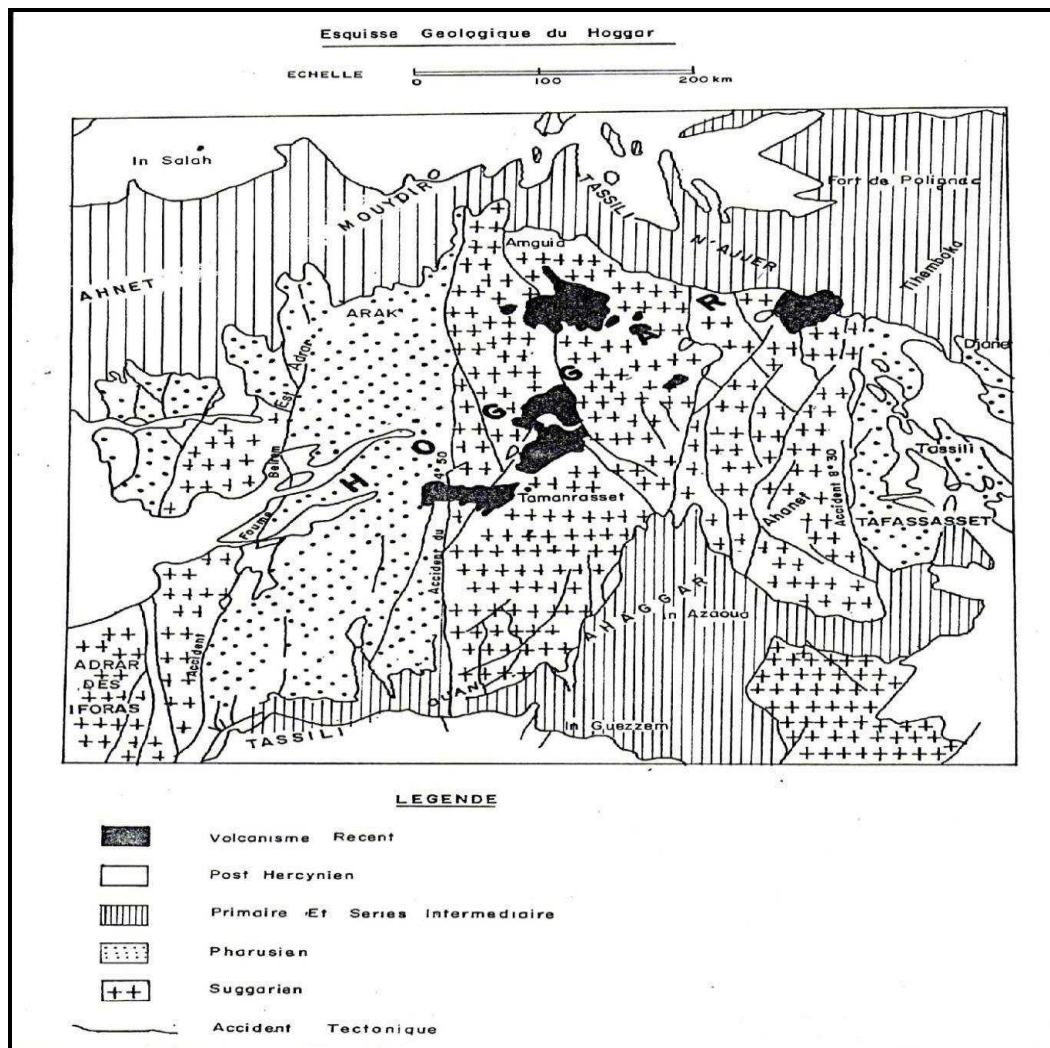


Fig. N° 05: Carte schématique des autres ensembles structuraux du Sahara, la région du Hoggar est marquée par une relative stabilité sismique. Une activité a toutefois été signalée entre 1957 et 1970 (A.GRANJEAN)

Ils constituent le socle et par continuité le substratum du cours d'eau.

b) d'importantes terrasses alluviales à base de limons occupent largement les bordures de l'oued.

c) Dans la partie centrale de l'oued un épais remplissage alluvionnaire (roches meubles ou faiblement consolidées) a été mis en évidence.

La coupe schématique ci-après montre le contexte géologique d'ensemble dans lequel s'inscrit l'oued In Amguel.

### **2.2.2. Géologie des sites :**

#### **a- Stratigraphie :**

Les affleurements rocheux, continus, qui délimitent de part et d'autre l'oued sont d'origine métamorphiques ou granitiques.

Ils plongent sous les dépôts de surface à une profondeur variable pour réapparaître en rive opposée.

Ils se présentent souvent sous un aspect bariolé. La composition est variable: phyllonites à schistosité verticale, gneiss, mylonites..;

Dans l'oued, quelques forages établis par ALGEO (compagne de 1979) permettent de situer en profondeur le substratum en certains points.

- L'actuel lit majeur de l'oued est latéralement délimité par les vestiges d'anciennes terrasses de puissance métrique et de largeur en bande de quelques dizaines à une centaines de mètres.

Leur biseautage vers l'amont les ramène au même niveau que le lit:

les rives deviennent alors rocheuses.

- les alluvions d'oued, sont plus grossières : galets, graviers, sables plus ou moins grossiers. Leur épaisseur est variable. Les sondages antérieurement réalisés l'estime à 40-50 m avec réduction aux droits de remontée du substratum (CF.log. sondage).

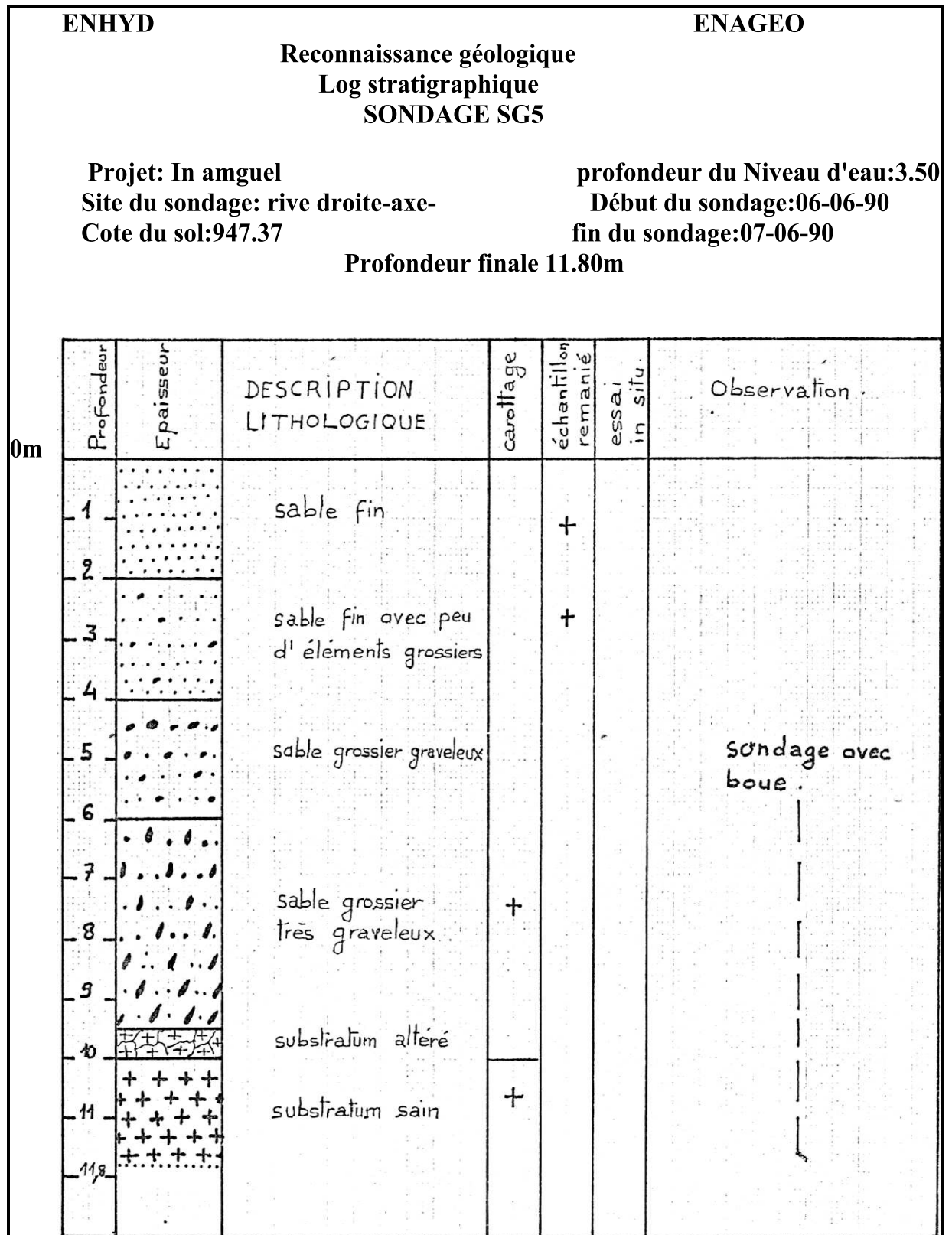
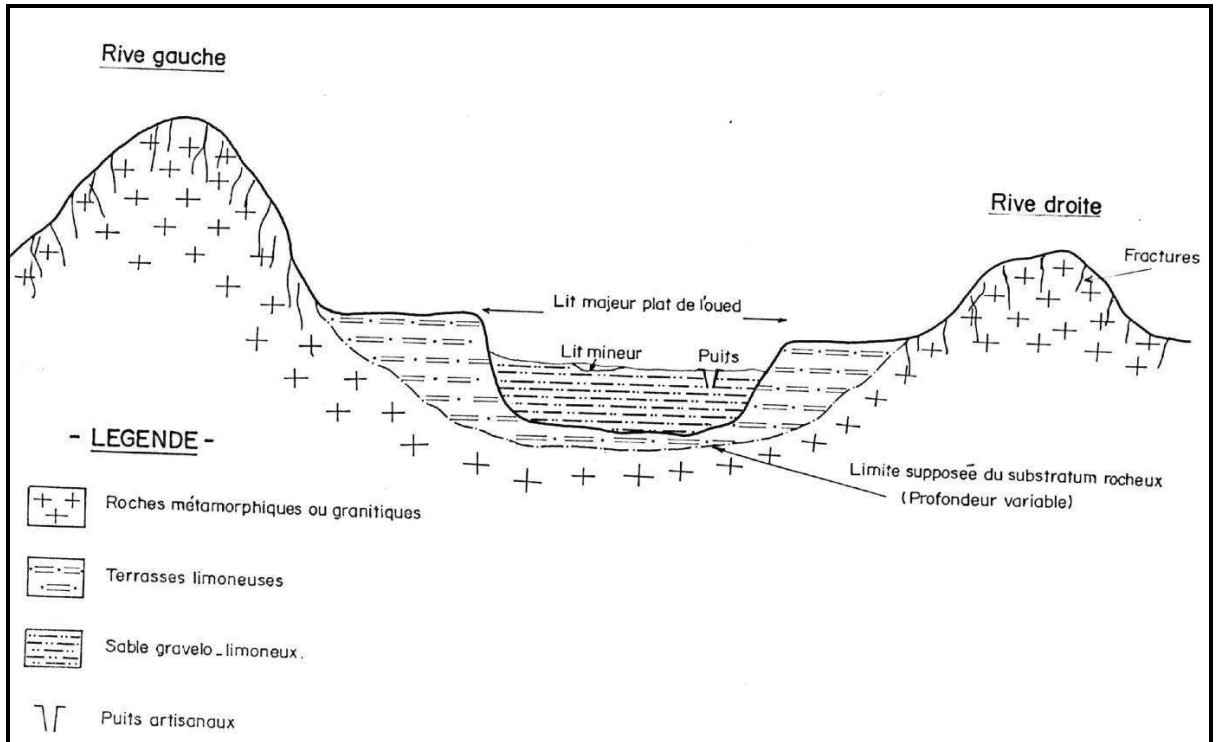


Fig. N°06:Log stratigraphique de sondage géologique SG5

**b- Tectonique:**

La vallée de l'oued suit apparemment la structure tectonique de la région.

L'orientation du cours d'eau est approximativement N 60° parallèlement à la facturation régionale : le système principal de fractures observées de direction N 60° à N 70°; soit presque Perpendiculaire à la direction générale de la série métamorphique.



**Fig. N°07 : la structure tectonique d'oued In Amguel.**

**3.Conclusion :**

La structure géologique d'ensemble est nettement redressée avec un fort pendage : celui - ci est presque vertical dans les parties inférieures de l'oued (Rive gauche) et reste fort dans les parties amont avec (60 à 70).

L'inclinaison des bancs est dirigée vers l'amont (Nord • Est). Comme discontinuité au sein des affleurements rocheux, des figures de fissures et de joints de stratification sont observées.

**1-But de l'étude hydro chimique :**

L'étude hydro chimique a pour but de :

- Déterminer les faciès chimiques des eaux.
- Déterminer l'origine des éléments majeurs présents dans l'eau.
- Avoir une idée sur l'aptitude de l'eau à l'irrigation.

**2-Analyses physico-chimiques :**

Les différentes analyses des paramètres physico chimiques des eaux de la nappe dans la région d'étude ont été effectuées au laboratoire de l'ANRH (Adrar).

**2.1. La Température :**

La température joue un rôle important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique. Elle permet d'avoir une idée sur la profondeur de circulation des eaux.

La température moyenne des eaux de la nappe phréatique est de l'ordre de 22°C, et celle de l'air est de 21, 76°C.

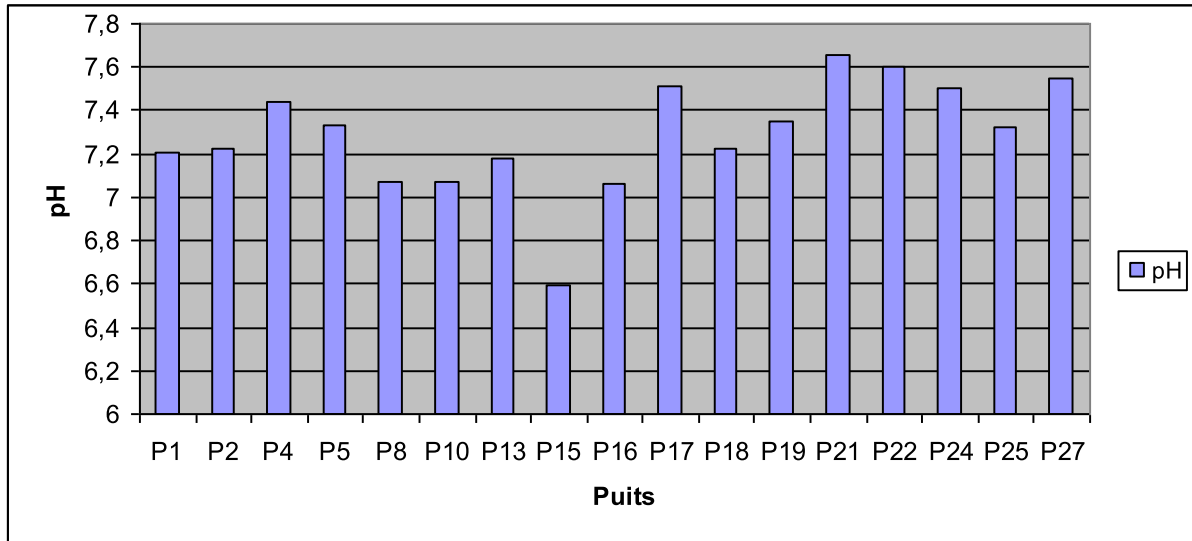
On constate que la température de l'eau est pratiquement la même que celle de l'air; Ce qui montre l'interaction complète entre la nappe et l'air.

**2.2. Le pH :**

Le pH est une mesure de la concentration en proton en solution.

**Tableau. N°09: Les pH de la nappe inféroflux.**

nom de puits	P1	P2	P4	P5	P8	P10	P13	P15	P16	P17	P18	P19	P21	P22	P24	P25	P27
pH	7,21	7,22	7,44	7,33	7,07	7,07	7,18	6,59	7,06	7,51	7,22	7,35	7,66	7,6	7,5	7,32	7,55



**Fig. N°18: Histogramme des pH de la nappe inféroflux.**

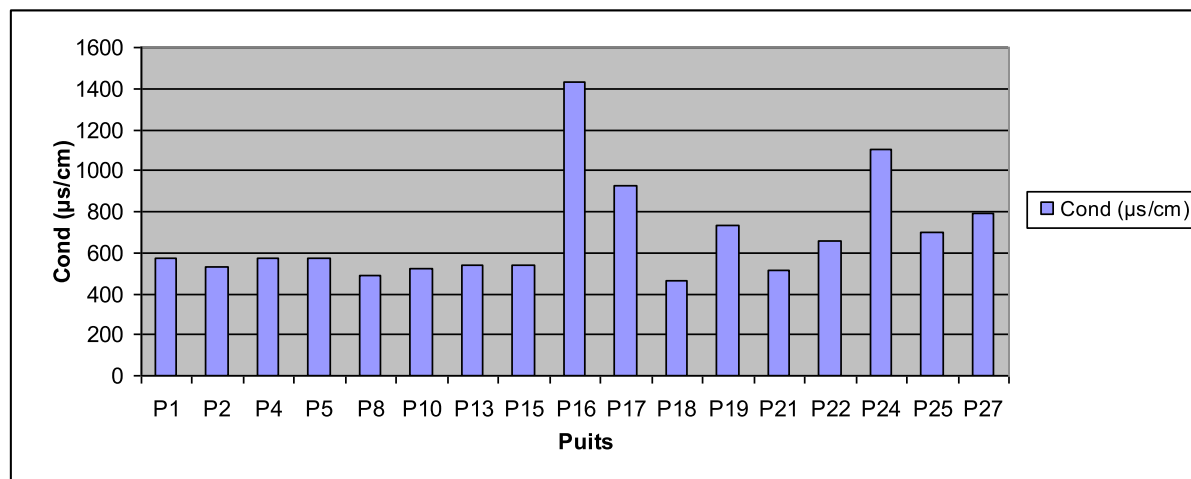
Les valeurs de pH sont très proches, entre 6 et 8 mais dans la plupart des puits de la nappe inféro-flux les eaux sont légèrement alcalines.

### 2.3. Conductivité électrique :

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines de la zone d'étude ont été mesurées sur terrain et sont exprimées en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Mars 2012).

**Tableau. N°10: Les conductivités de la nappe inféroflux.**

nom de puits	P1	P2	P4	P5	P8	P10	P13	P15	P16	P17	P18	P19	P21	P22	P24	P25	P27
Conductivité ms/cm	0,57	0,53	0,57	0,57	0,49	0,52	0,54	0,54	1,43	0,93	0,46	0,73	0,51	0,66	1,1	0,7	0,79



**Fig. N°19: Histogrammes des conductivités de la nappe inféroflux.**

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide. Sa variation est liée à la nature des sels dissous et de leur concentration.

Pour la nappe inféroflux de la région d'étude, la valeur de la conductivité varie entre 490 µS/cm et 1430 µS/cm.

#### 2.4. Dureté totale :

Elle traduit la somme des teneurs en calcium et magnésium. Exprimée en degré français (°F), elle est calculée par la formule suivante :

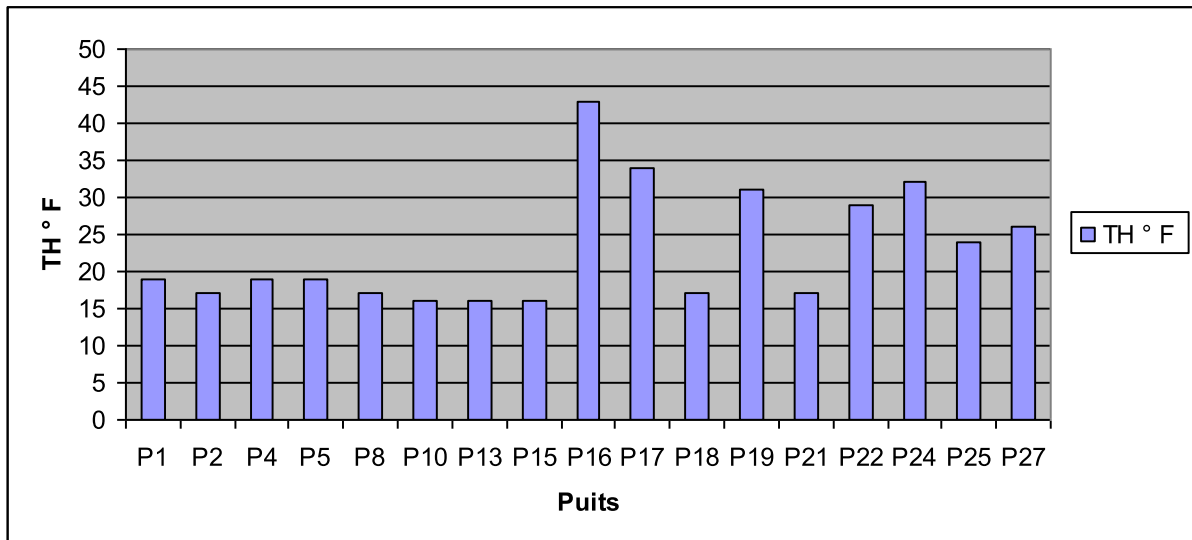
$$\text{DHT (°F)} = (r \text{ Ca}^{++} + r \text{ Mg}^{++}) \times 5$$

**Tableau. N°11: Classification des eaux souterraines selon la dureté totale.**

Dureté (°F)	0 – 3	3 - 15	15 – 30	> 30
Eau	Très douce	Douce	Dure	Très dure

Dans l'ensemble les eaux analysées présentent un Th entre 15 et 30°f.





**Fig. N°20: Histogrammes de la dureté totale de la nappe inféroflux.**

### 3. Faciès chimiques des eaux de la nappe

Cette classification permet la représentation des échantillons en fonction des pourcentages des quantités en réaction des cations et des anions dans chaque triangle du diagramme. Nous obtenons un point triple pour les cations et un autre pour les anions de chaque échantillon.

Le prolongement des points dans le losange détermine un point unique caractéristique du faciès chimique de l'eau, qui permet une approche globale de la composition chimique des eaux.

Le diagramme de Piper (fig.n° 21) montre que le faciès dominant c'est faciès bicarbonatés calciques pour la majorité des forages.



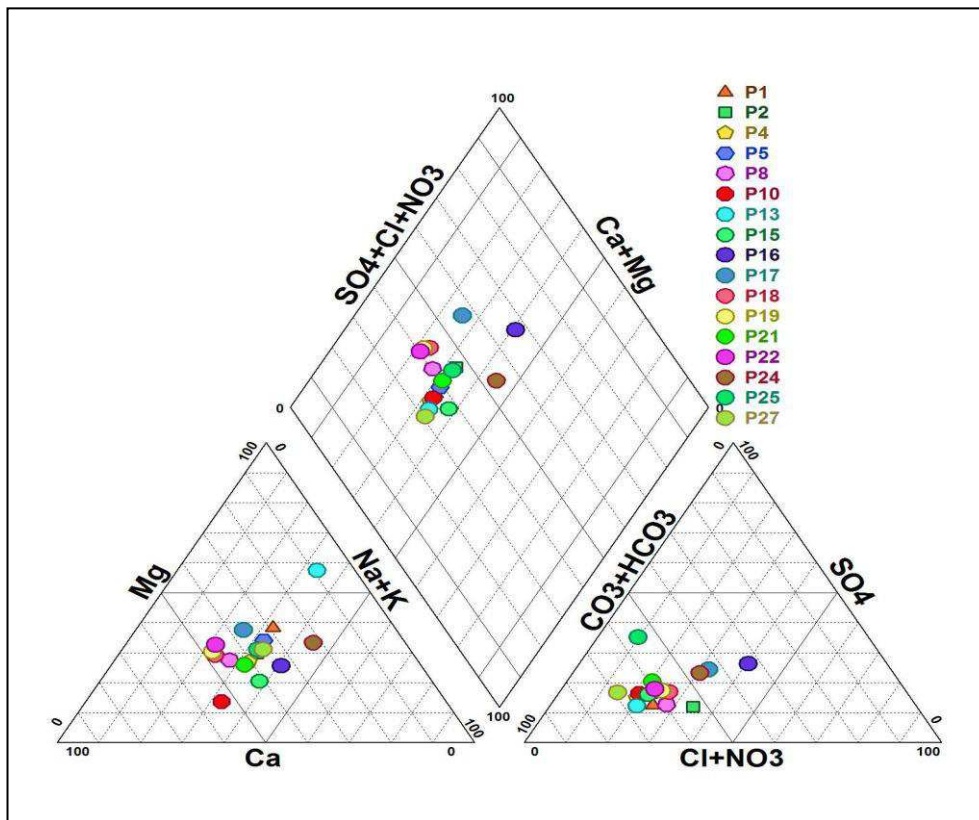


Fig. N°21 : le diagramme de Piper des eaux de la nappe inféroflux (Mars 2013).

#### 4. aptitude des eaux à l'irrigation :

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins fiables parmi lesquels :

- Le pourcentage en sodium (% Na).
- Sodium adsorption ratio (S.A.R).

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

Pour déterminer ce risque, Wilcox a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (SAR) et la minéralisation totale.

Donc le SAR, sera calculé par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Où les concentrations sont exprimées en méq/l.

Cette méthode se traduit sous forme d'un diagramme qui définit cinq classes d'eau suivante :

Tableau. N°12 : classification de Wilcox

Degré	Classe	Qualité	L'état d'utilisation
1	C1-S1	Excellente	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	C2-S1 C2-S2	Bonne	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	C3-S1 C3-S2 C2-S3	Admissible	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Médiocre	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Mauvaise	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

L'application de cette méthode aux eaux de la nappe positionnées sur le diagramme de Wilcox du fait de leurs conductivités non élevées les places dans la classe des eaux excellentes à bonne pour les eaux d'inféoflux.

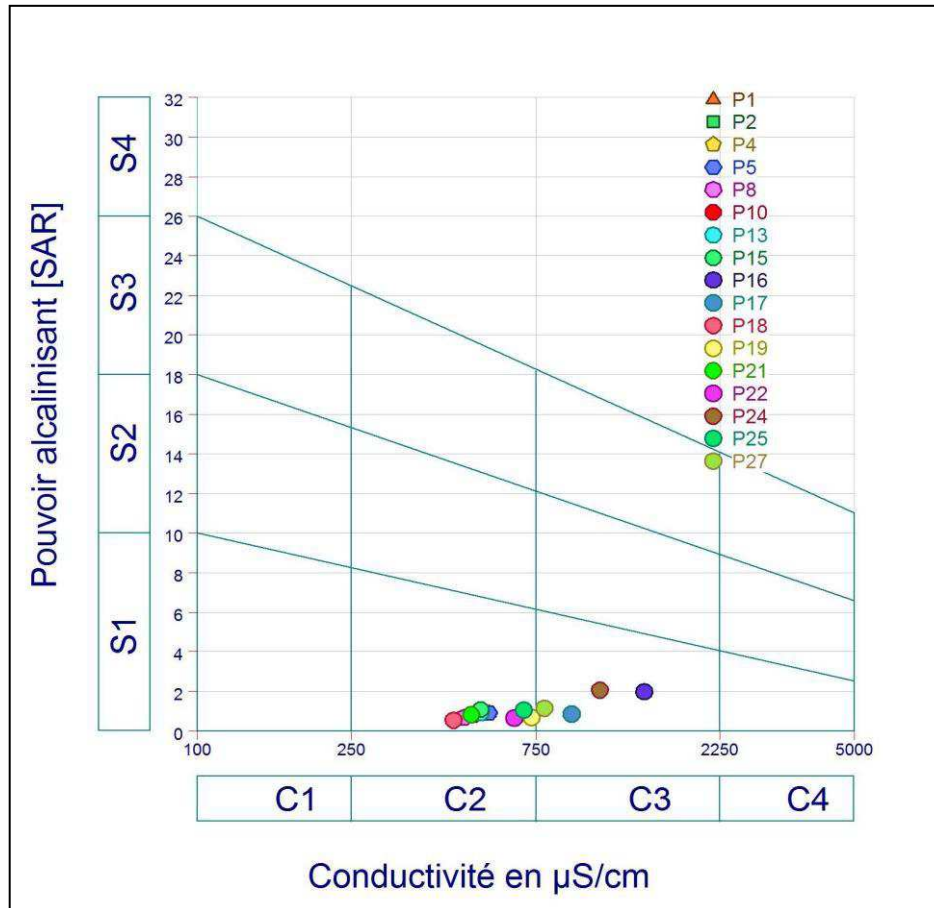


Fig. N°22: Diagramme de Wilcox (Mars 2013)

## 5. Les éléments majeurs :

### 5.1. Le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ):

Il provient de la dissolution de minéraux silicatés des roches ignées acides (magmatique).

Ses liaisons avec les dissous, donner le sodium et les bicarbonates, sont des plus aléatoires.

Sa teneur évolue de façon importante en fonction de la profondeur.

Les teneurs de  $\text{Ca}^{2+}$  de la nappe inféroflux sont comprises entre 9 mg/l comme valeur minimale, elles vont atteindre la valeur maximale 77 mg/l.

### 5.2. Le Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ) :

La distribution du Mg augmente également avec la minéralisation mais d'une façon plus diffuse. Ceci est probablement le fait d'une origine diverse de cet élément qui pourra être le résultat de l'hydrolyse de minéraux magnésiens tels que la biotite ou encore la hornblende, qui n'ont pas le même degré d'altérabilité.

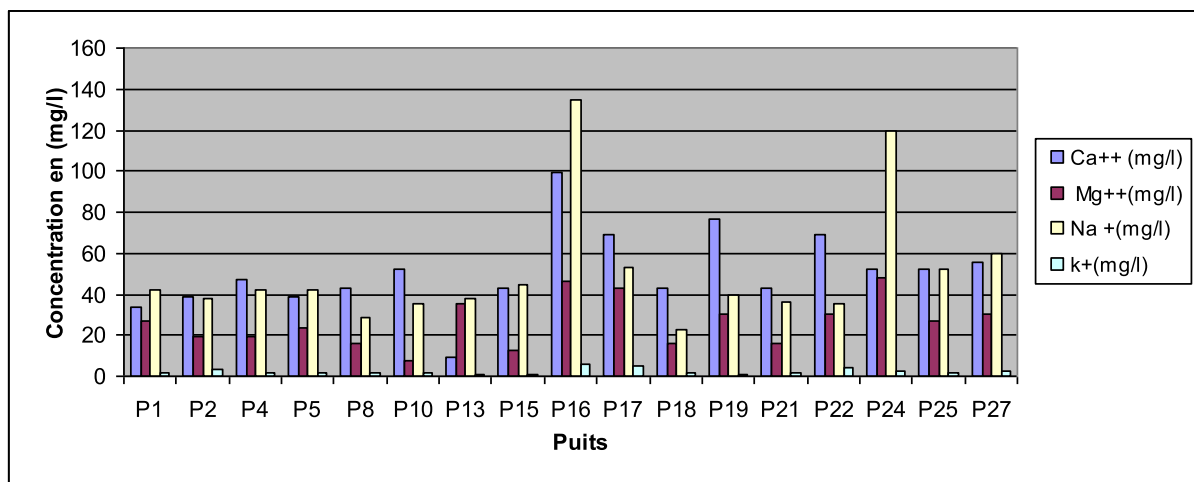
On constate que les valeurs des concentrations en  $\text{Mg}^{2+}$  sont proches au niveau des différents forages. La teneur maximale est de 8 mg/l, et la concentration minimale est de 48 mg/l.

### 5.3 . Le sodium et le potassium ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) :

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable.

L'ion sodium provient en partie des eaux partie de l'hydrolyse de silicates tels l'albite ( $\text{Na Al}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_5$ ) plagioclase essentiel entrant dans la composition des roches métamorphique .l'évolution de sa teneur varié à celle du calcium ,malgré pour ces deux ions une même origine .Mais les processus combinés de dissolution , précipitation agissant sélectivement selon le lieu et les conditions, altère quelque peu leur bonne relation .C'est avec les bicarbonates que ce cation présente la meilleure adéquation ,traduisant que la principal réaction d'hydrolyse est celle qui met en jeu des minéraux de type albite .

La teneur maximale de  $\text{Na}^+$  est 135 mg/l, et la concentration minimale est de 23 mg/l, et la teneur maximale de  $\text{K}^+$  est 6 mg/l, et la concentration minimale est de 1 mg/l.



**Fig. N°23: Histogrammes des cations de la nappe inféroflux.**

### 5.4. Les chlorures $\text{Cl}^-$ :

Les chlorures sont des éléments conservés en solution .Ils ne subissent aucune interaction physique ou chimique avec les autres phases solides ou gazeuse et ne sont pas dégradés en solution. C'est pourquoi ils servent de repère les autres éléments.

La teneur maximale de  $\text{Cl}^-$  est 200 mg/l, et la concentration minimale est de 20 mg/l.

### 5.5. Les sulfates ( $\text{SO}_4^-$ ) :

Les sulfates sont toujours présents en teneurs plus fortes que ne l'autorise une simple origine météorique. L'oxydation des pyrites des roches cristallines et les reliques de gypses d'anciens bassins peuvent représenter une source pour cet élément.

La teneur maximale de  $\text{SO}_4^-$  est 120 mg/l, et la concentration minimale est de 28 mg/l.

### 5.6. Les bicarbonates $\text{HCO}_3^-$ :

Comme le laissait prévoir les mesures d'alcalinité, les bicarbonates constituent la composante ionique prépondérante, comme l'indique par ailleurs avec la conductivité. Les bicarbonates représentent ainsi une part importante du résidu sec.

Les concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  sont faibles, elles sont comprises entre 149 mg/l et 305 mg/l

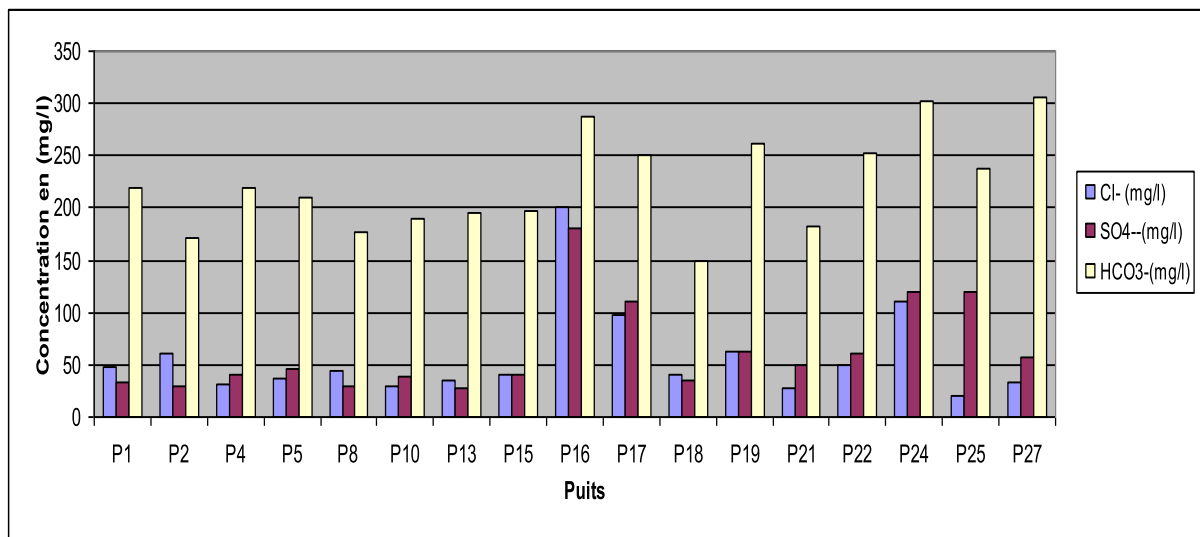
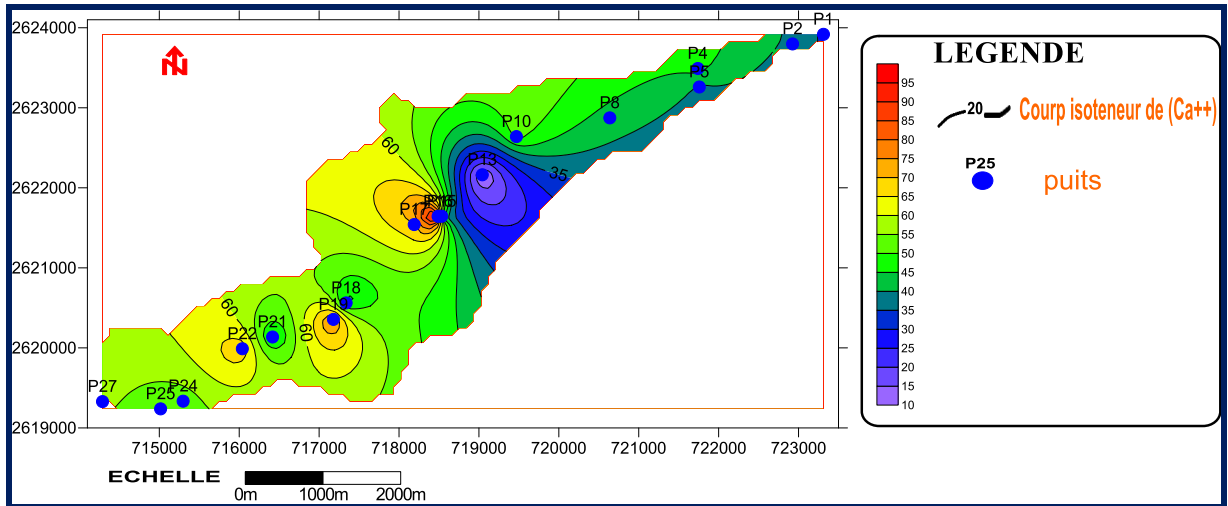


Fig. N°24: Histogrammes des anions de la nappe inféroflux

**6. Cartographie hydro chimique :**

**6.1. Carte de répartition de calcium  $\text{Ca}^{2+}$  :**

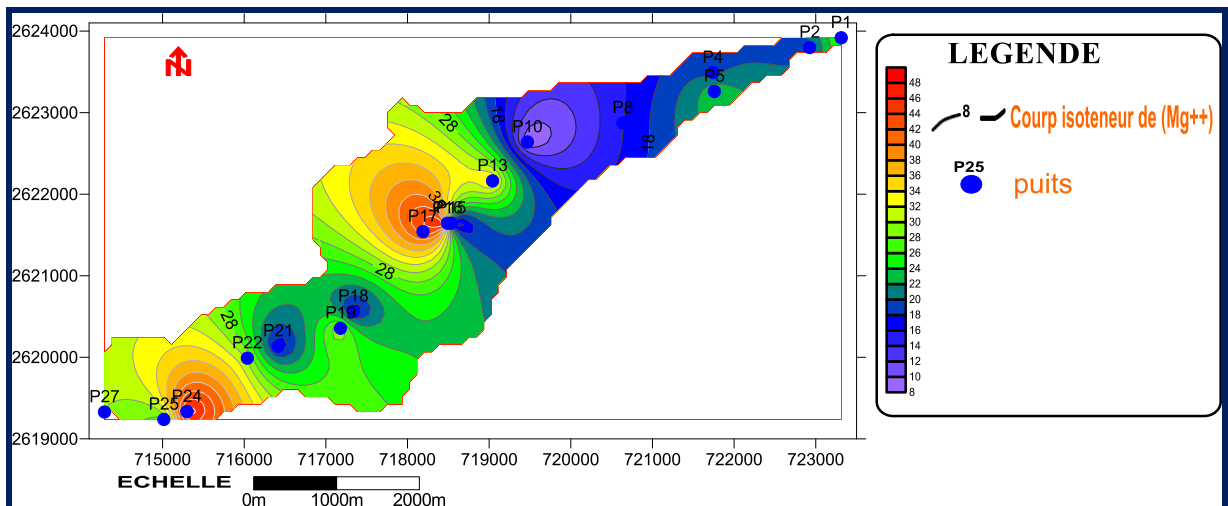
D'après la carte de la concentration du  $\text{Ca}^{2+}$ , dans la région d'étude les teneurs sont faibles, elles varient de 9 à 77 mg/l (fig.n°25).



**Fig. N°25 : Carte des teneurs en calcium ( $\text{Ca}^{+}$ ) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.2. Carte de répartition de Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ):**

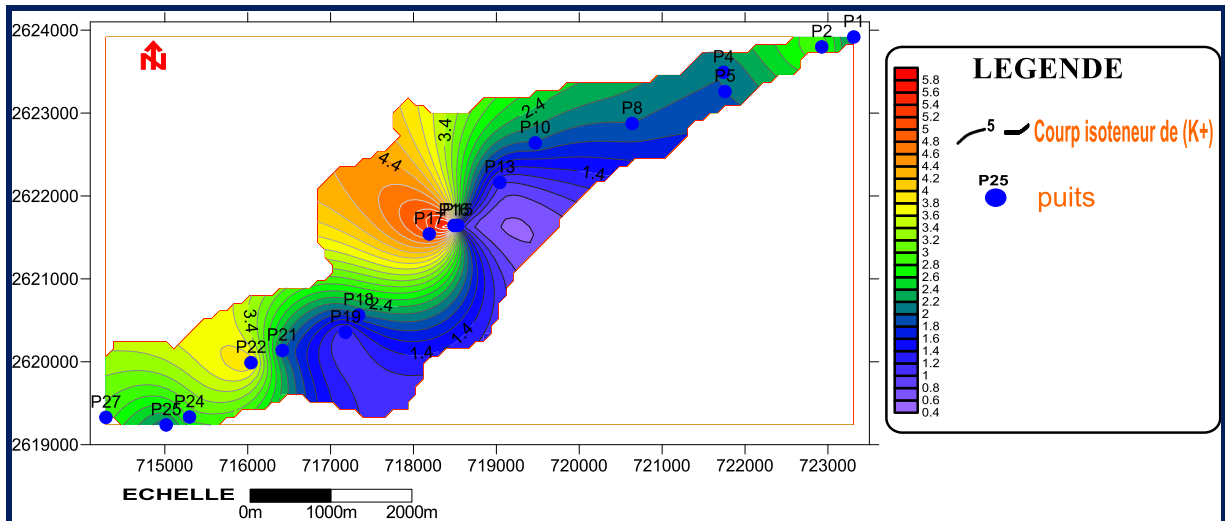
Les teneurs oscillent entre 8 et 48 mg/l (fig.n°26).



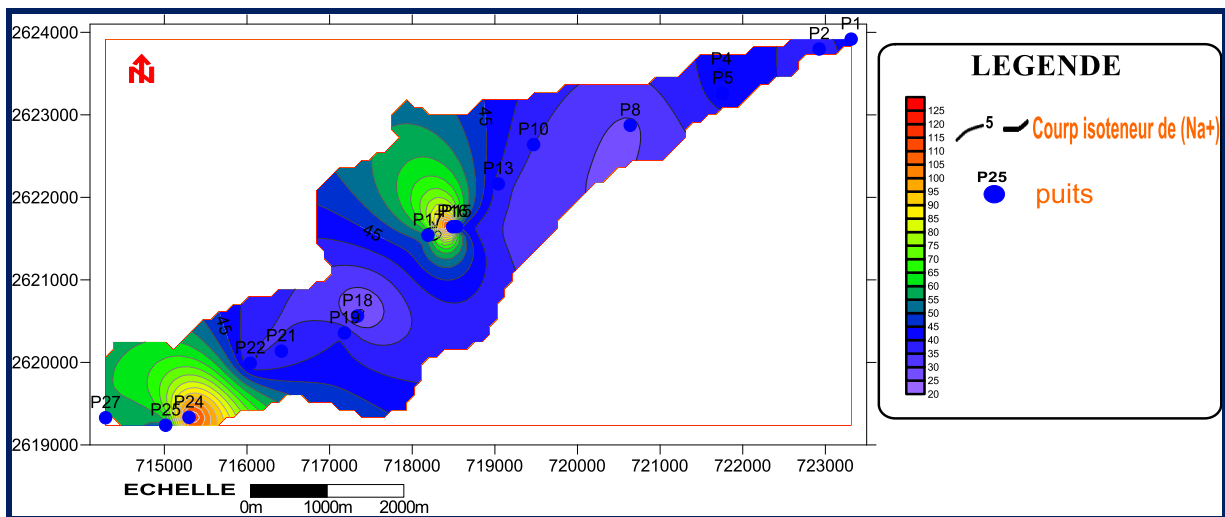
**Fig. N°26: Carte des teneurs en magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.3. Carte de répartition de Le sodium et le potassium (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) :**

D'après les cartes des valeurs de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> on remarque que les teneurs varient entre 23 et 135 mg/l pour le Na<sup>+</sup>, par contre les teneurs en K<sup>+</sup> mg/l sont très faibles inférieurs à 6 mg/l (fig.n°27).



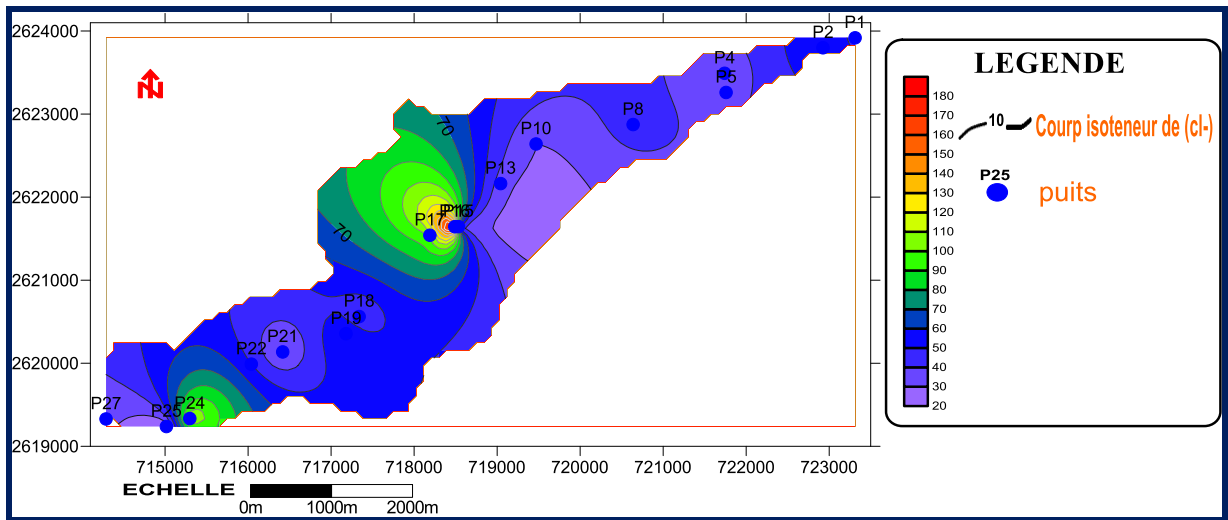
**Fig. N°27: Carte des teneurs en K<sup>+</sup> en (mg/l) de la nappe inféoflux**



**Fig. N°28: Carte des teneurs en Na<sup>+</sup> en (mg/l) de la nappe inféoflux**

**6.4. Carte de répartition de Chlorures (Cl<sup>-</sup>) :**

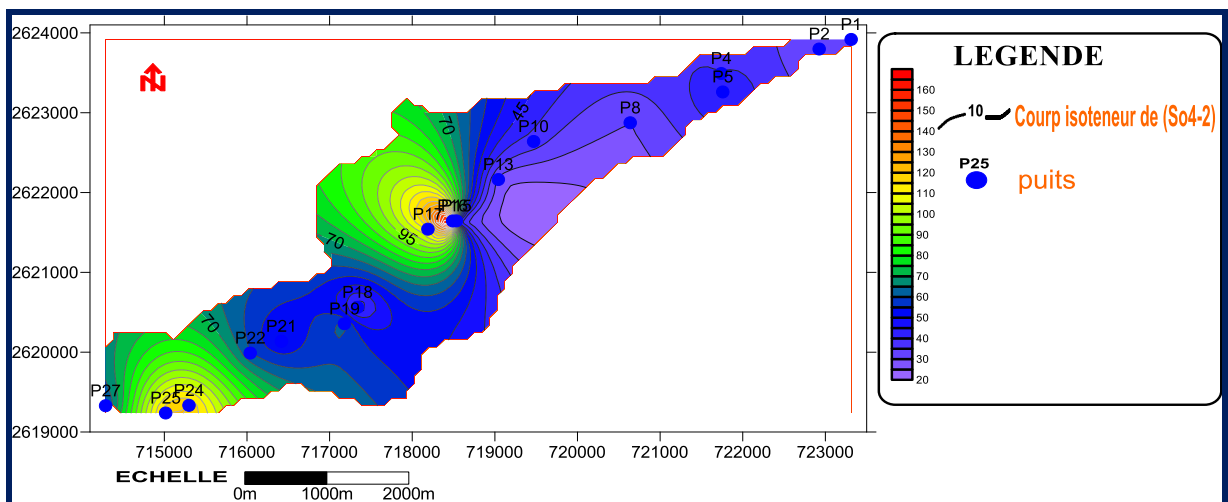
La région est caractérisée par des concentrations fortes entre 20 à 200 mg/l (fig.n°29).



**Fig. N°29 : Carte des teneurs en chleures (Cl<sup>-</sup>) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.5. Carte de répartition de Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :**

Les valeurs des Sulfates varient entre 28 à 120 mg/l. L'oxydation de la Pyrite et des autres sulfures métalliques (Fer, Nickel, Cuivre) répondus dans les roches. (fig.n°30).

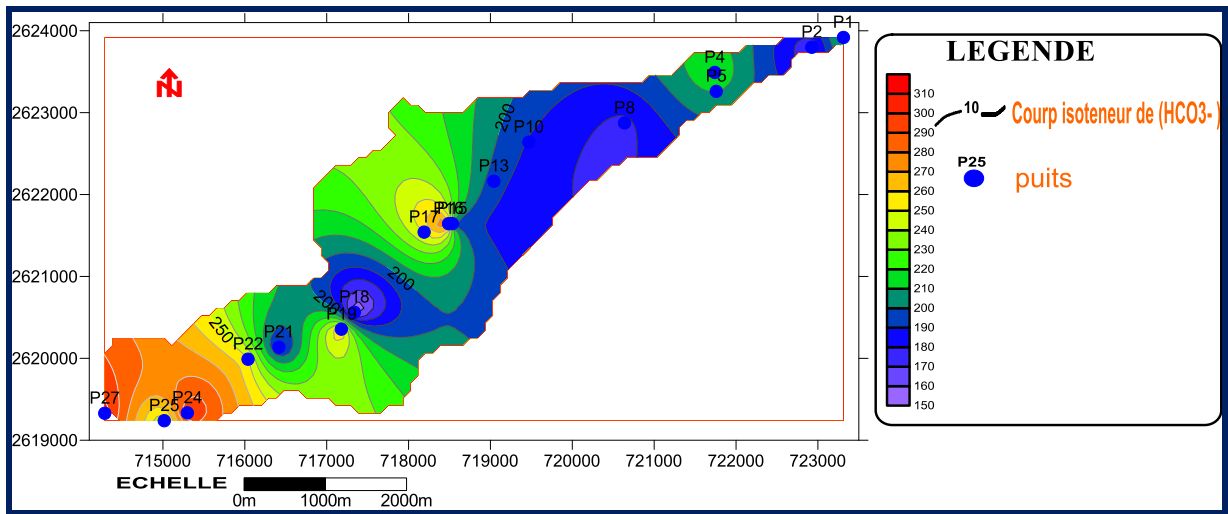


**Fig. N° 30: Carte des teneurs en sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) en (mg/l) de la nappe inféroflux**



**6.6. Carte de répartition de Les bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$  :**

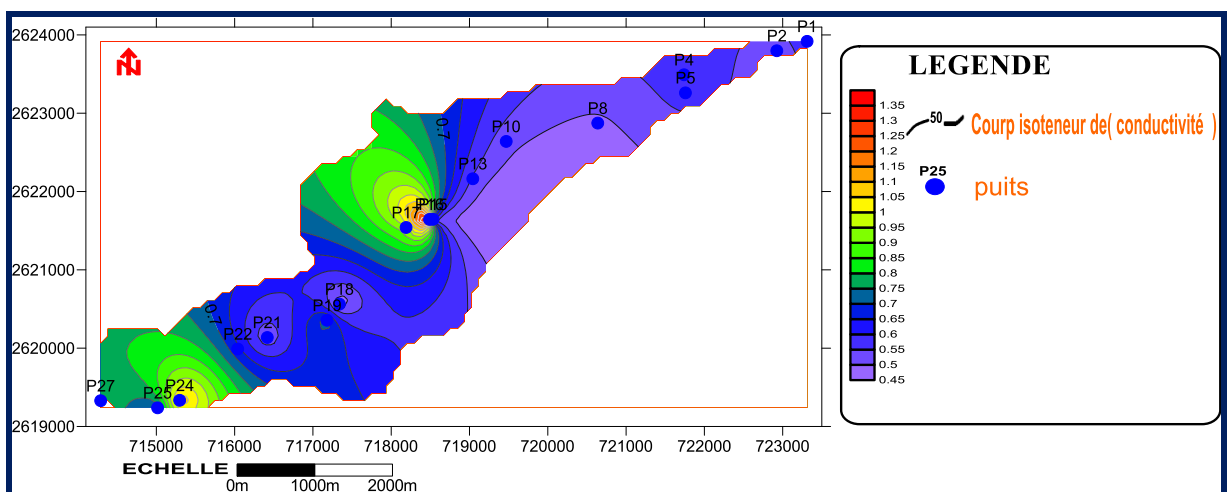
On remarquer des concentrations allant de 150 à 300 mg/l (fig.n°31).



**Fig.N° 31: Carte des teneurs en bicarbonates ( $\text{Hco}_3^-$ ) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.7. Carte de répartition de La conductivité électrique (CE) :**

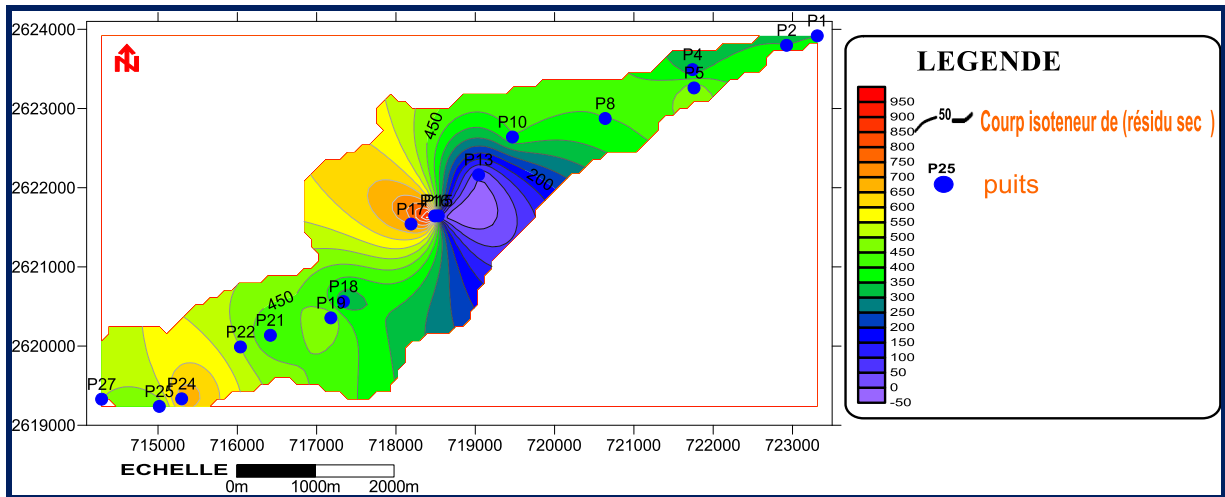
Elle est fonction de la nature et de la concentration des ions en solution. La variabilité de ce paramètre est un signe primordial donnant de précieux renseignements sur l'évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'eau, elle permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau, elle est en générale supérieure à 500  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  et inferieur à 1500 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ . (fig.n°32).



**Fig.N°32 : Carte des teneurs en conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ) de la nappe inféroflux**

**6.8. Carte de répartition de Le résidu sec :**

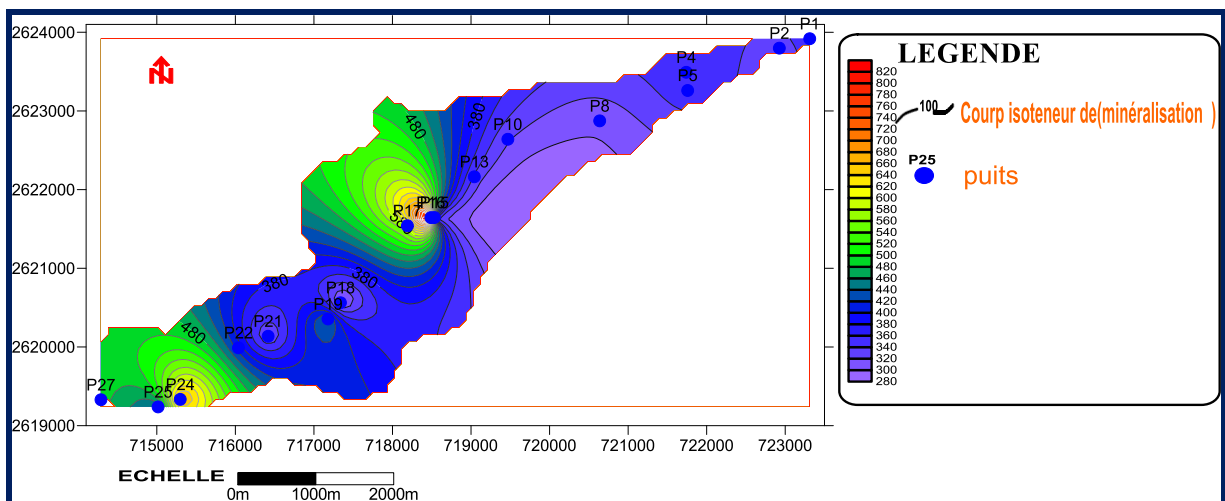
Le résidu sec correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau après évaporation à 110 °C. Elle donne une idée sur la minéralisation globale de l'eau. D'après la carte de variation du résidu sec on a de faibles valeurs inférieurs à 1g/l (fig.n°33).



**Fig.N° 33: Carte des teneurs en résidu sec (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6. 9. Carte de répartition de la minéralisation :**

D'après la carte de variation de la minéralisation les valeurs sont faibles, elles ne dépassent pas 100 mg/l. (fig.n°34).



**Fig. N° 34: Carte des teneurs en minéralisation (mg/l) de la nappe inféroflux**

### 6.10. Carte de répartition des nitrates $\text{NO}_3^-$ :

Les nitrates  $\text{NO}_3^-$  représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Dans le cas de la nappe inféroflux. Les teneurs maximales en nitrates sont observées aux puits P4 et P17 (15 mg/l).

La valeur guide étant de 50 mg/l, tous les échantillons ayant une concentration qui ne dépassent pas cette valeur indiquent l'absence de la pollution de l'eau (fig n°35).

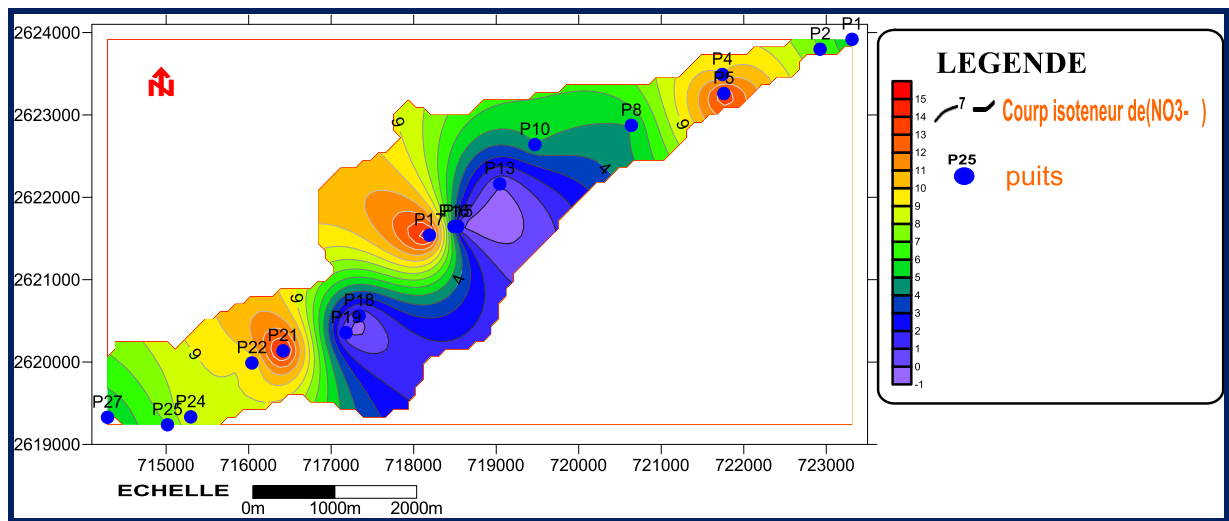


Fig. N°35 : Carte des teneurs en Nitrate (mg/l) de la nappe inféroflux

### 7. Conclusion :

Les eaux de la nappe inféroflux de la région d'étude sont caractérisées par des faibles valeurs de la conductivité électrique.

Du point de vue agricole, l'application de cette méthode aux eaux de la nappe positionnées sur le diagramme de Wilcox du fait de leurs conductivités non élevées les places dans la classe des eaux excellentes à bonne pour les eaux d'inféroflux.

Le diagramme de Piper montre que le facies dominant c'est faciès bicarbonatés calciques pour la majorité des puits.

## **1. Etude climatologique :**

### **1.1. Introduction:**

Le Climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère : l'humidité, la pluie, la température, le vent, etc. C'est l'élément naturel sur lequel l'homme n'a aucune influence directe à l'exception de cas particuliers. C'est un facteur déterminant pour le développement des plantes, la formation et l'évolution des sols. Ces principales composantes ont une influence importante sur l'érosion (Jacques Gréco, 1966).

La climatologie de la région du Hoggar se caractérise par un climat de type Saharien, auquel s'ajoutent des modifications dues à l'altitude et aux influences tropicales.

Le climat à Tamanrasset est Sec. L'hiver y est rigoureux, il gèle parfois et les températures abordent les 20°C. En été, par contre, les journées sont très chaudes, elles atteignent les 40°C.

La carte ci-dessous présente les différents sous-bassins versants du Sahara algérien, et les principales stations météorologiques.

L'objet de ce chapitre est l'étude des paramètres hydro climatologiques :

- mesurés depuis une vingtaine d'années à la station de Tamanrasset.
- représentative du climat régnant sur notre zone d'étude.

Nous analyserons successivement : les valeurs mensuelles et annuelles des précipitations, températures de l'air, humidité relative, vitesse de vent et l'évaporation mesurée au niveau de cette station.

L'étude climatique est très importante, elle nous permet de déterminer les caractéristiques du climat de notre région et mettre en évidence la contribution des différents facteurs à la variation des ressources en eau souterraines (Température, humidité, précipitation, le vent, l'évaporation et l'évapotranspiration).

Selon cette carte, basée sur le découpage hydrologique adopté par L'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), la zone étudiée appartient au sous-bassin versant, incluse dans le grand bassin saharien (fig.8).

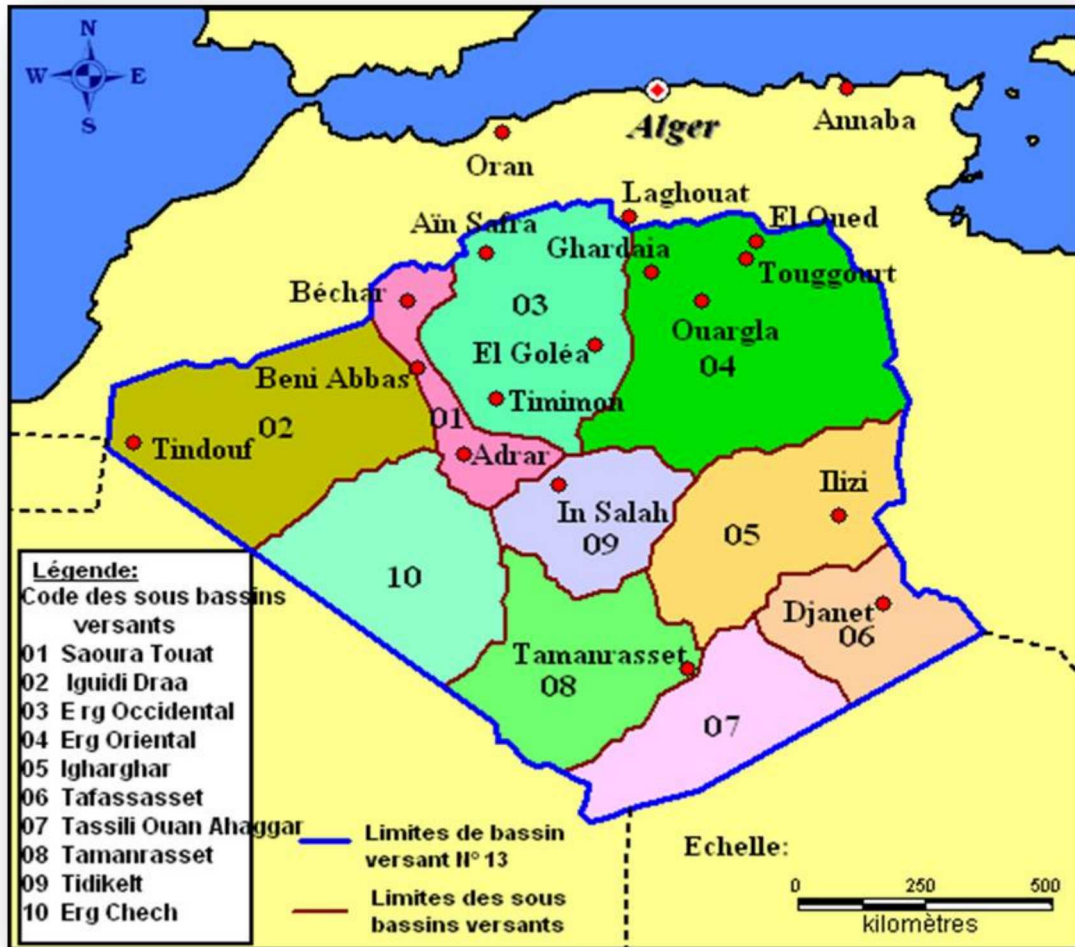


Fig. N°8: Carte des sous- bassins versants du Sahara algérien et des stations

Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse, No : 1/98 (Internet)

## 1.2. Caractéristiques climatiques :

Pour l'étude climatologique de Tamanrasset on a eu recours aux observations faites à la Station Météorologique de Tamanrasset (lieu le plus proche de la zone d'étude) (code : 130805).

Latitude : 22° 49' Nord, Longitude : 05° 27' Est, Altitude : 1372 mètres

Les données climatiques enregistrées à la station de Tamanrasset pour une Période de 50 Ans (1963 à 2012).

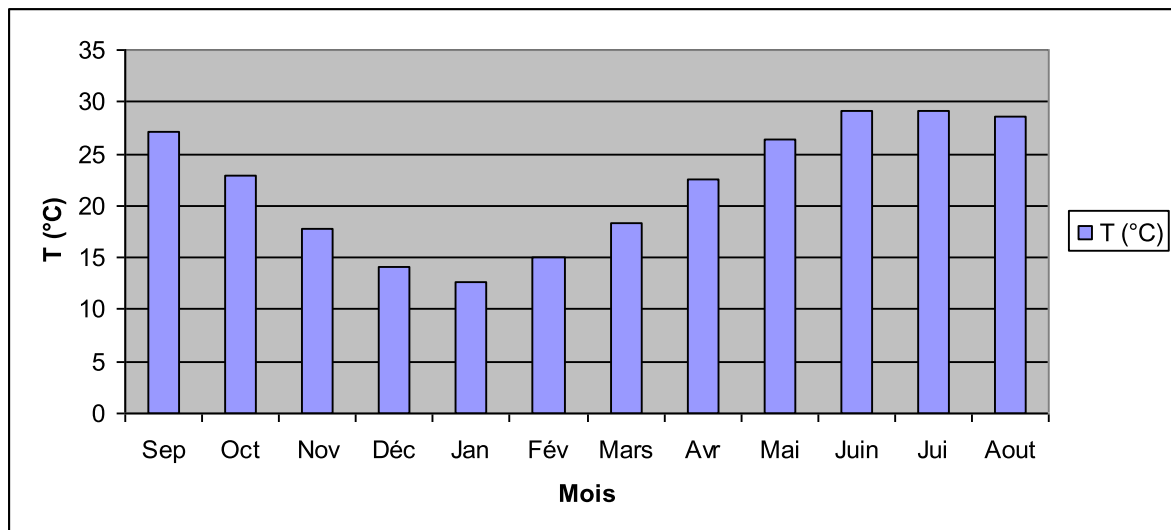
### ➤ Les Températures :

La Température est un facteur important, elle régit l'évaporation et influence ainsi la variation des réserves d'eau souterraine.

Les données de Température de notre secteur d'étude ont été recueillies au niveau de la station de Tamanrasset pour une Période (1963-2012). (Tableau 01).

**Tableau. N°01: Températures moyennes mensuelles à la station de Tamanrasset (1963-2012)**

MOIS	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août	MOY
T (°C)	27,1	22,9	17,7	14,1	12,7	15	18,4	22,6	26,4	29,1	29,1	28,5	22



**Fig. N°9: Variation des Températures moyennes mensuelles à la station de Tamanrasset (1963-2012)**

La période qui s'étale du mois de novembre au mois de mars correspond à la période relativement froide avec un minimum durant le mois de Janvier (12.7 c°), alors que la période chaude commence à partir du mois Avrillé jusqu'au mois de octobre avec un maximum marqué durant le mois de Juillet (29.1c°).

La moyenne annuelle est de l'ordre de l'ordre de 21.96 c°.

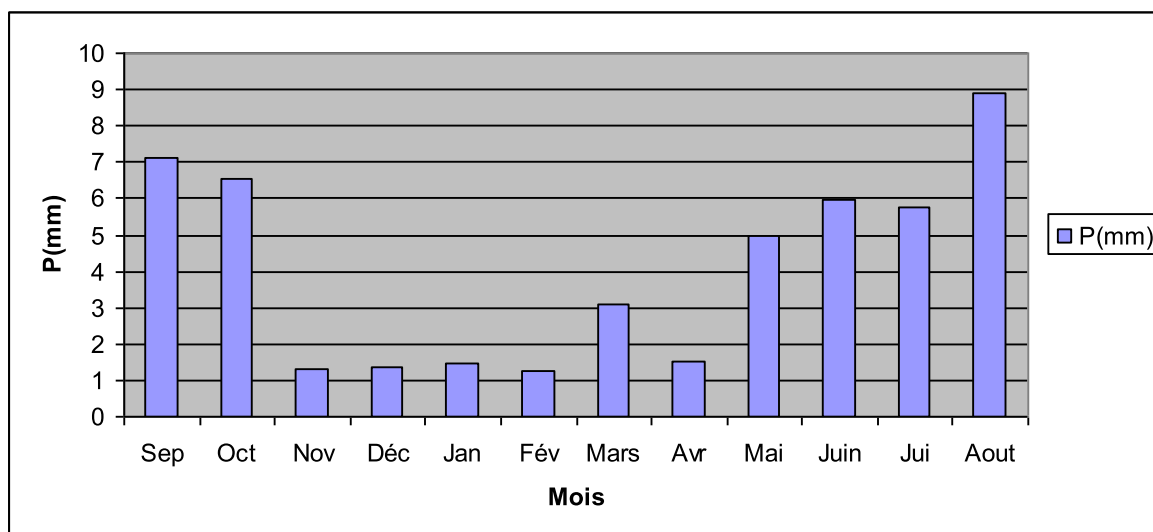
#### ➤ Les Précipitations :

La précipitation est la quantité d'eau météorique totale, liquide (Pluie, brouillard, rosée) ou solide (neige, grêle...) qui tombe sur une surface horizontale déterminée, appelée la section pluviométrique, en générale c'est la surface collectrice du pluviomètre. L'étude des précipitations est très importante, elle permet de déterminer la part d'eau qui parvient pour l'alimentation des ressources souterraines.

Pour notre étude, on dispose des données de précipitations de la station de Tamanrasset pour une période de 50 Ans. (Tableau 02).

**Tableau. N°02: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Tamanrasset  
(1963-2012)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
P(mm)	7,1	6,52	1,33	1,37	1,48	1,25	3,11	1,53	4,96	5,99	5,74	8,9



**Fig. N°10: Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tamanrasset  
(1963-2012)**

Les précipitations sont très faibles et irrégulières durant l'année et entre les années. La pluviométrie maximale est de l'ordre de 8.4 mm pendant le mois d'aout, et le minimum est de l'ordre de 1.25 mm observée pendant le mois de février, la moyenne annuelle est 4.10mm.

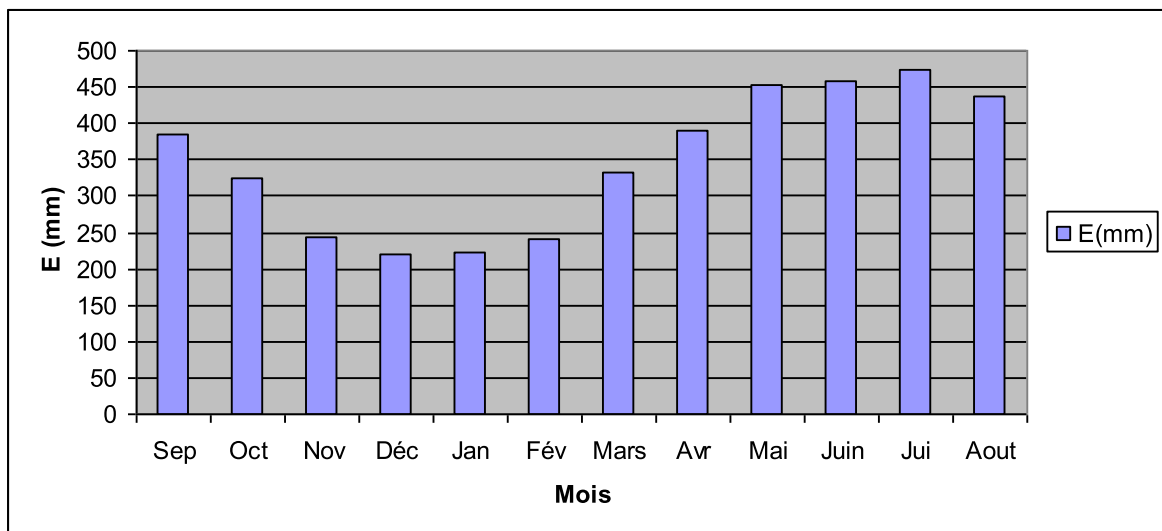
➤ **L'évaporation :**

L'action d'évaporation est très importante car ce phénomène physique s'effectue aux dépend de tous les états physique et tous les types d'eau que ce soit celle qui ruisselle à la surface du sol, neige ou glace par sublimation, surface d'eau liber, mer, lacs. L'eau du sol provenant soit de l'infiltration, soit des nappes aquifères

Les données de quantités des évaporations de la station de Tamanrasset. (Tableau 03).

**Tableau. N°03: L'évaporation moyennes mensuelles à la station de Tamanrasset  
(1963-2012)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
E(mm)	384,5	325,0	244,3	220,2	223,4	242,0	331,8	390,8	453,3	458,9	475,1	437,5



**Fig. N°11: Variation des évaporations moyennes mensuelles à la station de Tamanrasset (1963-2012)**

La région de Tamanrasset, le Tableau 03 montre que les quantités des évaporations moyennent un cumul annuel de 4186.8 mm. La valeur maximale est 291 mm durant le mois de Juin.

➤ **L'humidité relative de l'air :**

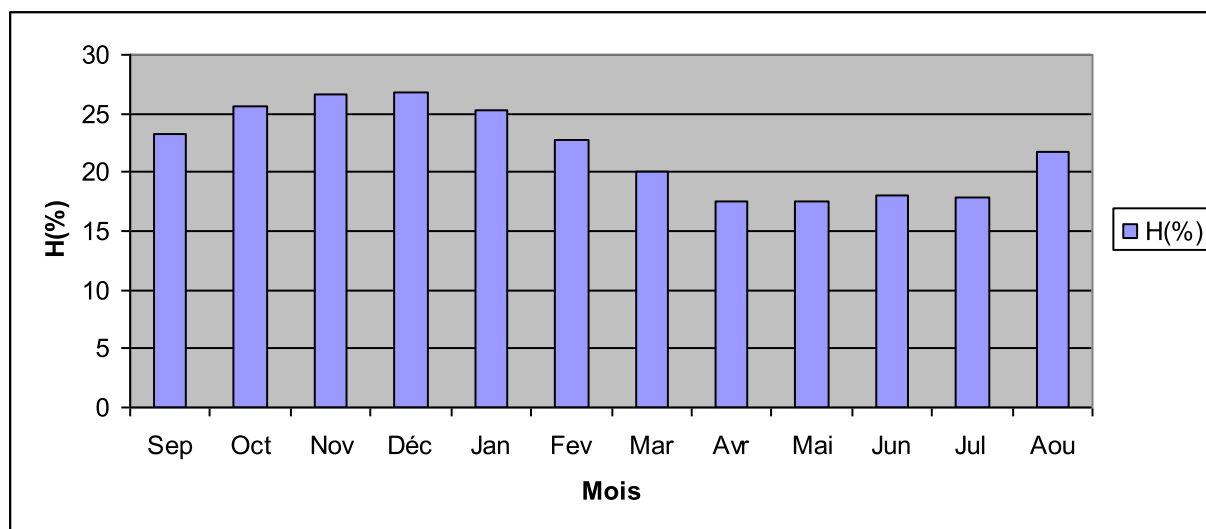
L'humidité est très importante car elle influe sur l'évaporation, Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air sont représentées sur le tableau N°.

**Tableau. N°04: L'humidité moyenne en (%) à la station de Tamanrasset (1963-2012)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
H(%)	23,3	25,6	26,7	26,8	25,3	22,7	20	17,5	17,6	18	17,9	21,8

On remarque un minimum enregistré pendant le mois d'Avril avec une valeur de l'ordre de 17,5% et un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 26,8%.





**Fig. N°12: Variation de L'humidité moyenne en (%) à la station de Tamarasset (1963-2012)**

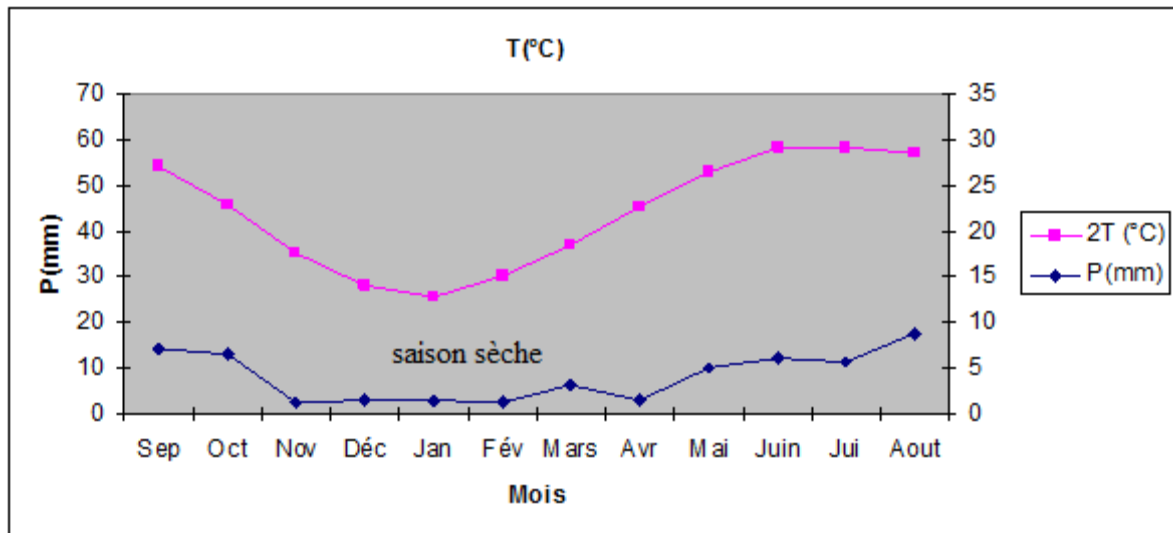
### 1.3. Régime climatique :

#### ➤ Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN :

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la température est double de la pluviosité.

**Tableau. N°04: Données de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
P(mm)	7,1	6,52	1,33	1,37	1,48	1,25	3,11	1,53	4,96	5,99	5,74	8,9
2T(c°)	54,2	45,8	35,4	28,2	25,4	30	36,8	45,2	52,8	58,2	58,2	57



**Fig. N°13: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN**

Dans le cas de notre région d'étude la courbe des pluies passe au-dessous de celle des températures. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse du mois de Juin à Septembre même en Janvier, le mois où les précipitations atteignent leur maximum.

➤ **Indice DE MARTONNE:**

Pour enrichir plus l'idée sur le climat d'une région, le géographe DE MARTONNE a proposé en 1923 un indice d'aridité vite devenue célèbre fondé sur le régime des précipitations et des températures selon la formule suivante:

$$I = P / (T + 10)$$

Avec :

- I : Indice d'aridité ;
- P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;
- T : Température moyenne annuelle (°C).

**Tableau. N°05: Classification DE MARTONNE**

Valeur de l'indice	Type de climat
$A < 5$	Hyper-aride
$5 < A < 7.5$	Désertique
$7.5 < A < 10$	Steppique
$10 < A < 20$	Semi-aride
$20 < A < 30$	Tempéré

Pour la station de Tamanrasset:

$P=4.10\text{mm}$  et  $T=21.96\text{c}^\circ$  , donc  $A= 0.12$

Ainsi, on obtient un indice d'aridité :  $A < 5$

Selon la classification de MARTONE, il s'agit d'un régime hyper-aride.

#### 1.4. Approche du bilan hydrique

L'établissement du bilan hydrique d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les différentes composantes suivantes :

Evapotranspiration réelle (ETR), Ruissellement (R) et l'infiltration dans le sous sol.

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation :  $P = \boxed{\text{ETR} + R + I}$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm),

R : ruissellement en (mm),

I : infiltration moyenne en (mm),

ETR : évapotranspiration réelle

En conséquence, en plus des précipitations et de l'écoulement qui sont mesurés aux stations climatologiques et hydrométriques, l'établissement du bilan hydrique nécessite aussi la connaissance du paramètre " évaporation", dont l'approche est plus complexe. Quant au dernier

membre de l'équation, l'infiltration efficace, difficile à estimer directement, il est déduit après la détermination des 3 autres.

Les précipitations et l'écoulement étant connus, nous donnons, ci- dessous, une approche de l'évapotranspiration potentielle et réelle, par méthodes empiriques.

#### **1.4.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle et réelle par la formule de Thornthwaite**

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

##### **➤ L'évapotranspiration potentielle (ETP)**

C.W Thornthwaite, en prenant en compte la température de l'air à proposé la formule suivante :

$$ETP = 16(10t/I)^a \cdot k$$

Avec :  $i = (t/5)^{1,514}$

$$a = 1,6 I/100 + 0,5$$

ETP : évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm)

I : indice thermique mensuel.

a : paramètre arbitraire lié à la température

I : somme des indices thermiques mensuels.

t : température moyenne mensuel (°C).

K : coefficient d'ajustement mensuel.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite sont présentés dans le tableau ci-après.

**Tableau. N°06 : bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Tamanrasset (1963-2012).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	total
<b>P (mm)</b>	7,1	6,52	1,33	1,37	1,48	1,25	3,11	1,53	4,96	5,99	5,74	8,9	49.3
<b>T (mm)</b>	27,1	22,9	17,7	14,1	12,7	15	18,4	22,6	26,4	29,1	29,1	28,5	-
<b>K</b>	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	-
<b>I</b>	12.9	10	6.8	4.8	4.1	5.3	7.2	9.8	12.74	14.4	14.4	13.9	116
<b>ETP(mm)</b>	121.6	77	37.2	20.5	17.2	24.9	48.8	84.7	134.3	170.4	173.2	154.2	1064.2
<b>RFU(mm)</b>	0	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	-
<b>ETR(mm)</b>	7,1	6,52	1,33	1,37	1,48	1,25	3,11	1,53	4,96	5,99	5,74	8,9	49.3
<b>EXC(mm)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>DA (mm)</b>	114.5	70.5	35.9	19.1	15.7	23.7	45.7	83.1	129.4	164.4	167.4	145.3	1014.9

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 et août (173.2 mm) et son minimum au mois de janvier (17.2mm).

Le bilan hydrique pour une période de 39 ans (1963-2012) dans la région de Tamanrasset est déficitaire (DA= 1014.9mm) alors que l'excédent est nul.

## **2. HYDROLOGIE SUPERFICIELLE**

### **2.1. Bassin Versant :**

Un Bassin Versant ou bassin hydrographique est une portion de territoire délimitée par des lignes de crête, dont les eaux alimentent un exutoire commun : cours d'eau ou lac. La ligne séparant deux bassins versants adjacents est une ligne de partage des eaux. Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal.

Chaque bassin versant se caractérise par différents paramètres géométriques (surface, pente), pédologiques (nature et capacité d'infiltration des sols), urbanistiques (présence de bâti) mais aussi biologiques (type et répartition de la couverture végétale).

L'exutoire d'un bassin est le point le plus en aval du réseau hydrographique par lequel passent toutes les eaux de ruissellement drainées par le bassin.

### **2.2. Hydrologie d'oued in amguel**

Le bassin versant de l'oued In amguel se situe en amont de la face Nord du massif volcanique de l'ATAKOR HOGGAR, couvrant une superficie d'environ 4600 km<sup>2</sup>.

Les principaux affluents de l'oued In amguel sont :

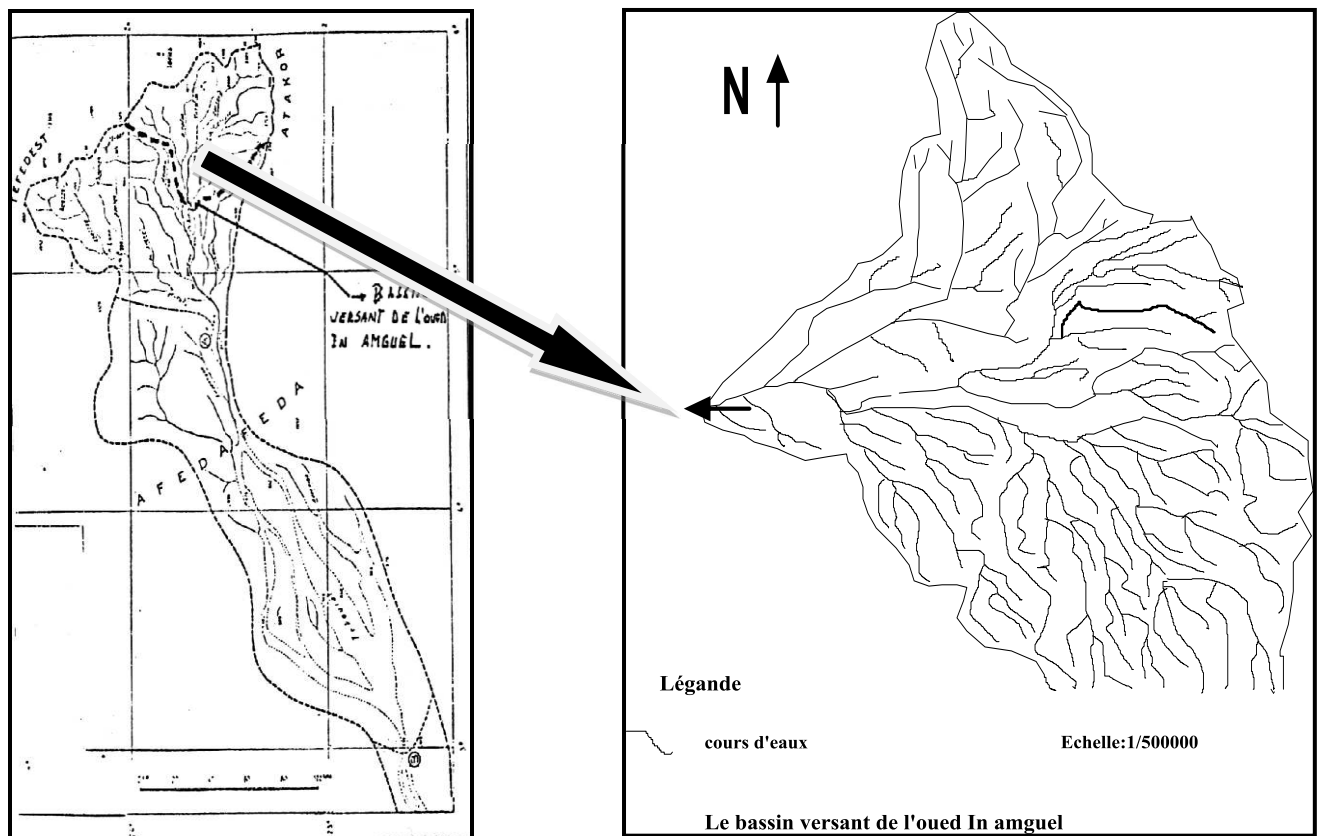
- ✓ Oued Issakarasséne
- ✓ Oued Hirafok
- ✓ Oued Ifrak
- ✓ Oued Zerzoua

L'écoulement superficiel de l'oued In amguel est presque nul pendant toute l'année sauf dans les cas où les quantités des précipitations tombées est suffisante pour produire un écoulement.

Le tableau ci-dessous résume les paramètres physicomorphométriques du bassin versant.

**Tableau. N°07: résumé les paramètres physicomorphométriques du bassin versant.**

Surface du bassin versant	4600 km <sup>2</sup>
Périmètre du bassin versant	640 km
Altitude maximale	2900 m
Altitude minimale	970 m
Altitude moyenne	1645
Pente globale moyenne	19%
Indice de compacité	2.82
Longueur de l'oued principal	100 km
Somme des longueurs des talwegs	1520
Densité de drainage	38%

**Fig. N°14-Le bassin versant de l'oued In amguel.**

### **3-Étude hydrogéologique :**

Certains travaux ont été réalisés par Levassor en 1970. Ces études reportent sur 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 la cuvette. 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 Amguel et Outoul.

#### **3.1-Définition hydrogéologique de la différents la nappe :**

##### **➤ La Nappe du Socle Cristallin:**

Sous l'effet de la tectonique ; le Socle cristallin présente un substratum semi-perméable de la nappe des inféro-flux. Son épaisseur peut varier de 5 à 10m.

Le problème d'identification des réserves emmagasinées réside dans l'étude des discontinuités telles les failles, les diaclases ouvertes et autres fissures non colmatées.

Dans ces aquifères, l'exploitation directe de la ressource reste cependant aléatoire.

En règle générale, ces aquifères sont en continuité hydraulique avec les nappes alluvionnaires par infiltration.

##### **➤ La Nappe d' Inféro-Flux :**

C'est une nappe de terrains mixtes (alluvions et socle altéré), à perméabilité d'interstices et peut-être de fissures. Elle est alimentée périodiquement par les surfaces libres d'eaux en période des crues d'Oueds, et limitée vers le bas par un substratum imperméable, constitué par le socle sain. L'écoulement est limité latéralement par le socle, qui constitue les parois de la cuvette. Les limites naturelles du réservoir sont les suivantes :

- ✓ Latéralement, l'aquifère est délimité par les rives gneissiques continues et étanches,
- ✓ En profondeur, le mur de l'aquifère est également Gneissique,
- ✓ A l'amont, le réservoir diminue progressivement d'épaisseur jusqu'à la limite des affleurements formant le relief.

Elles sont constituées dans les alluvions des principaux oueds essentiellement de sables fins, moyens et grossiers présentant ainsi un granoclassement hétérogène. L'épaisseur moyenne de ces alluvions est de 21m ; elle diminue d'amont en aval. Leur extension varie en fonction du modèle géomorphologique de la région. L'écoulement se fait en général d'amont en aval en fonction de la pente d'oued In amguel.



La réalimentation (recharge naturelle) s'effectue principalement à la faveur des infiltrations lors des passages de crues épisodiques, ou par drainage depuis l'amont ou latéralement des fissures des terrains encaissants.

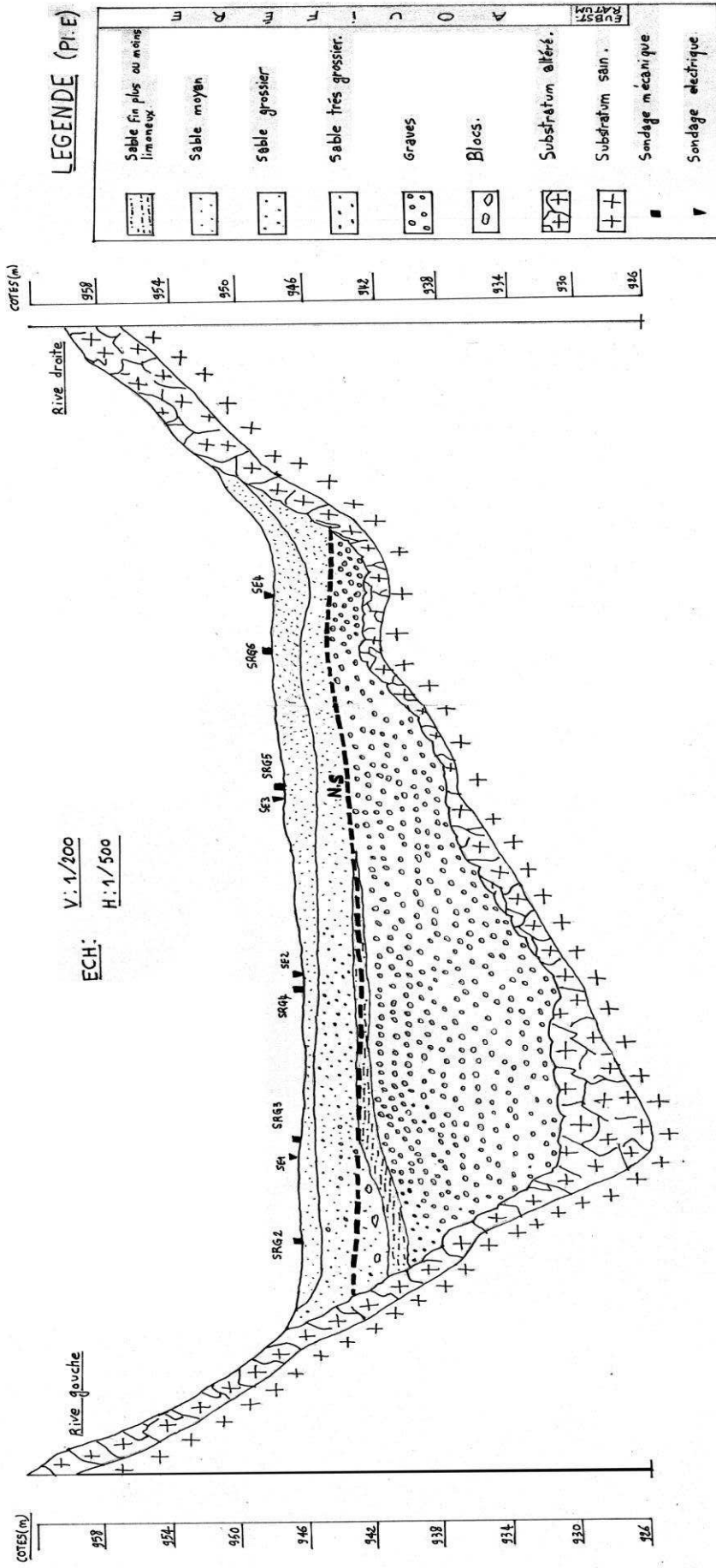




Fig. N°16 : Carte hydrogéologique du Hoggar et des Tassilis(ANRH)

3.2-la piézométrie :

Pour réaliser la carte on utilise les résultats de la campagne de Maras 2013.

En général le sens de l'écoulement est de NE-SW.

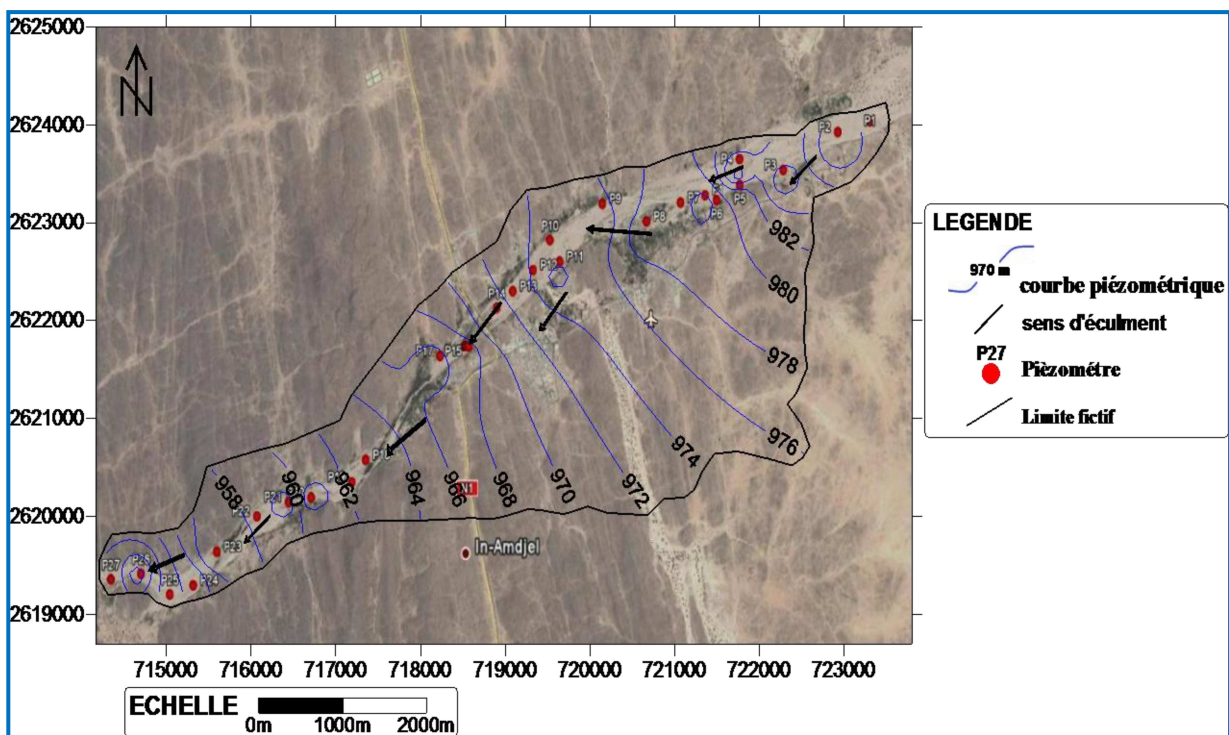


Fig. N°17: Carte piézométrique de l'inféroflux de l'oued In amguel (campagne mars 2013)

Interprétations de la carte piézométrique :

➤ Sens d'écoulement de la nappe

Les cartes piézométriques de l'inféoflux du Oued In amguel indiqué que le sens d'écoulement suit celui de l'oued c'à'd de l'amont vers l'aval, En général le sens de l'écoulement est de NE-SW.

### 3.3-les paramètres hydrodynamiques de la nappe

➤ **Gradient Hydraulique :**

Le relevé piézométrique du 19.12.1979 montre le calcul de gradient hydraulique entre deux points la différence d'altitude entre eux est 16 m et distance de l'un à l'autre de 8 Km sur confluent de l'Oued Tineleft à la RN1, un gradient de 2‰.

Les variations de niveau de la nappe constatées au cours temps entraînent une modification de moins de 10 % du gradient moyen qui est donc toujours à peu près égal à celui du substratum dans la zone étudiée.

➤ **Transmissivité, perméabilité et porosité :**

Lors des essais de pompage de février 1985 les niveaux ont été mesurés sur le piézomètre F36 à 16,25 m de FO et sur un puits situé à 30,5 m du F3.

Les points expérimentaux se superposent bien sur, la courbe théorique de Theis et conduisent aux valeurs suivantes :

$$\text{Transmissivité } T = 7,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$\text{Perméabilité } K = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\text{Porosité utile } W = 4,7\%$$

En prenant pour épaisseur de l'aquifère celle observée sur F3, car le puits est certainement incomplet, on trouve  $K = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ . Les rabattements observés sur les piézomètres correspondant à des rabattements théoriques de 0,24 m sur F0 et 0,41 m sur F3.

Or les rabattements réels sont de 7,52 m sur F0 et 1,05 m sur F3 : les pertes de charges dues à l'ouvrage représentent donc respectivement 97 % et 61 % des rabattements Le F3 est pourtant le Forage qui a donné les rabattements réel et spécifique les plus faibles des huit ouvrages. Les pertes de charges sont donc toujours, très importantes et une modification du débit même faible entraîne une variation notable du rabattement ; or lors des essais le débit à légèrement varié

.Notons que le fait que les forages ne soient pas crépines sur toute la hauteur de l'aquifère n'est sans doute pas étranger à l'importance des pertes de charges.

Ces facteurs font que l'interprétation des mesures de niveau sur les ouvrages en pompage est peu fiable. En principe les remontées ne devraient pas être perturbées mais les mesures effectuées ne sont pas souvent interprétables sans ambiguïtés. Cependant l'essai du F1 s'analyse assez bien et donne :

$$T = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ et } K = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

La perméabilité moyenne sur toute l'épaisseur de l'aquifère semble donc à peu près constante.

➤ **Coefficient d'emmagasinement.**

Le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère n'a été que ponctuellement évalué par essai de pompage sur le forage F0, situé à la limite amont de notre aire d'étude et sur le forage F3.

Les valeurs interprétées sont respectivement :

$$S = 4,7 \% \text{ et } S = 10,7 \%$$

Ces deux valeurs semblent peu représentatives de l'aquifère qui montrent dans toute la cuvette une granulométrie très favorable à la conservation est à la libération de l'eau : fortes proportions de graves, de sable grossier et très peu de fines. (Cf. rapport - géotechnique).

Par ailleurs les analyses montrent que la porosité totale (apparente) varie pour l'ensemble des échantillons de 28 à 45 %. Ce qui est important.

S'agissant d'une nappe libre, et en considérant les porosités efficaces les plus basses pour les faciès rencontrés la valeur de 15 % peut être adoptée avec sécurité comme coefficient d'emmagasinement moyen de l'aquifère

**4.Conclusion :**

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région est caractérisée par un climat hyper aride.

L'établissement du bilan hydrique et l'estimation de ses paramètres nous permettent de ressortir les résultats suivants:

Le bilan est déficitaire, l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année.

Les précipitations sont de l'ordre de 49.3 mm.

**1-But de l'étude hydro chimique :**

L'étude hydro chimique a pour but de :

- Déterminer les faciès chimiques des eaux.
- Déterminer l'origine des éléments majeurs présents dans l'eau.
- Avoir une idée sur l'aptitude de l'eau à l'irrigation.

**2-Analyses physico-chimiques :**

Les différentes analyses des paramètres physico chimiques des eaux de la nappe dans la région d'étude ont été effectuées au laboratoire de l'ANRH (Adrar).

**2.1. La Température :**

La température joue un rôle important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique. Elle permet d'avoir une idée sur la profondeur de circulation des eaux.

La température moyenne des eaux de la nappe phréatique est de l'ordre de 22°C, et celle de l'air est de 21, 76°C.

On constate que la température de l'eau est pratiquement de la même de l'air; Ce qui montre l'interaction complète entre la nappe et l'air.

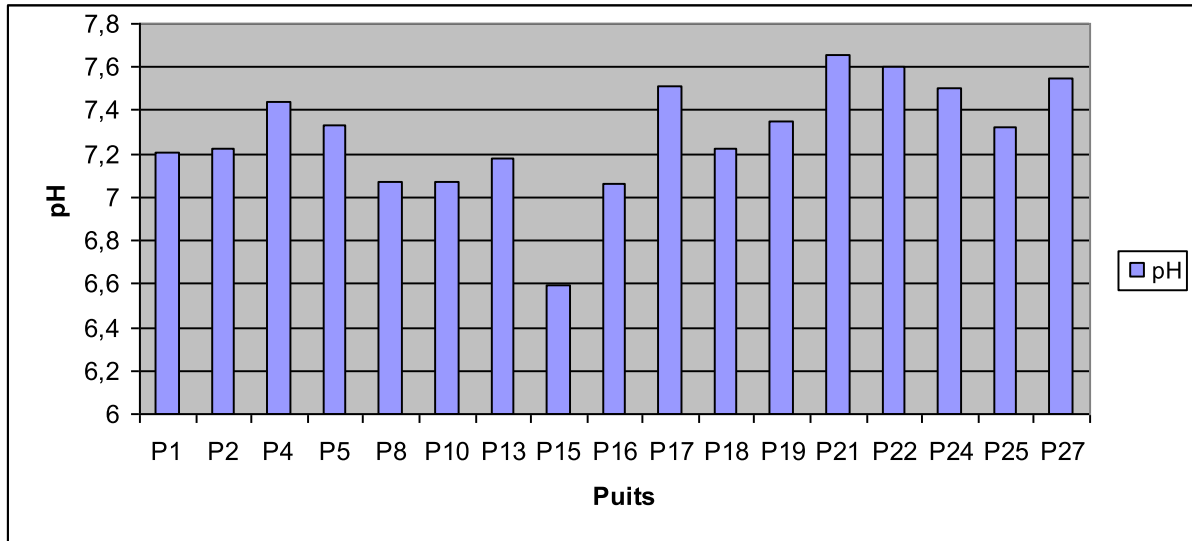
**2.2. Le pH :**

Le pH est une mesure de la concentration en proton en solution.

**Tableau. N°09: Les pH de la nappe inféroflux.**

nom de puits	P1	P2	P4	P5	P8	P10	P13	P15	P16	P17	P18	P19	P21	P22	P24	P25	P27
pH	7,21	7,22	7,44	7,33	7,07	7,07	7,18	6,59	7,06	7,51	7,22	7,35	7,66	7,6	7,5	7,32	7,55





**Fig. N°18: Histogramme des pH de la nappe inféroflux.**

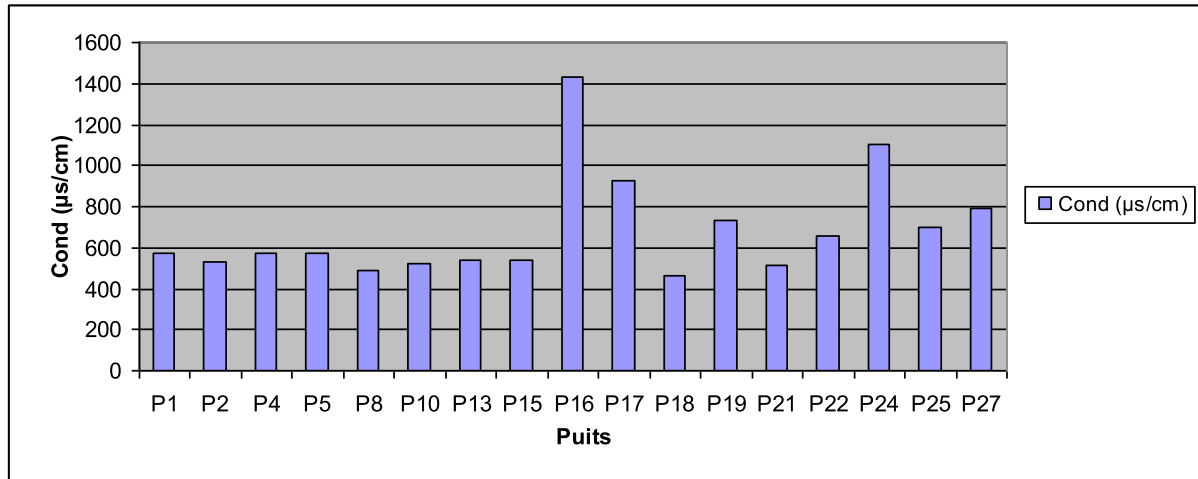
Les valeurs de pH sont très proches, entre 6 et 8 mais dans la plupart des puits de la nappe inféro-flux les eaux sont légèrement alcalines.

### 2.3. Conductivité électrique :

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines de la zone d'étude ont été mesurées sur terrain et sont exprimées en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Mars 2012).

**Tableau. N°10: Les conductivités de la nappe inféroflux.**

nom de puits	P1	P2	P4	P5	P8	P10	P13	P15	P16	P17	P18	P19	P21	P22	P24	P25	P27
Conductivité ms/cm	0,57	0,53	0,57	0,57	0,49	0,52	0,54	0,54	1,43	0,93	0,46	0,73	0,51	0,66	1,1	0,7	0,79



**Fig. N°19: Histogrammes des conductivités de la nappe inféroflux.**

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide. Sa variation est liée à la nature des sels dissous et de leur concentration.

Pour la nappe inféroflux de la région d'étude, la valeur de la conductivité varie entre 490 µS/cm et 1430 µS/cm.

#### 2.4. Dureté totale :

Elle traduit la somme des teneurs en calcium et magnésium. Exprimée en degré français (°F), elle est calculée par la formule suivante :

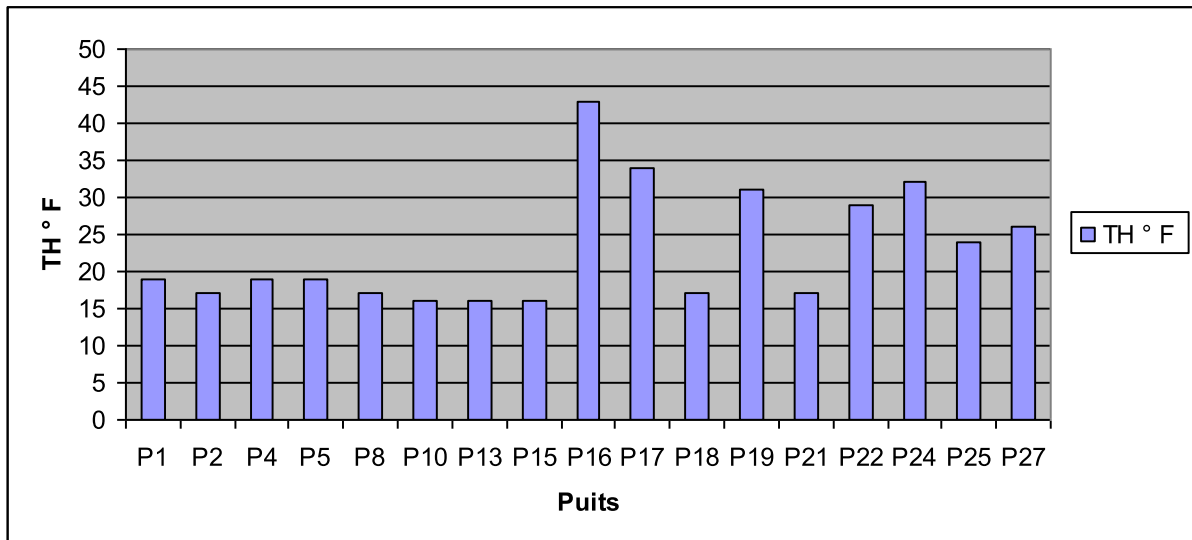
$$\text{DHT (°F)} = (r \text{ Ca}^{++} + r \text{ Mg}^{++}) \times 5$$

**Tableau. N°11: Classification des eaux souterraines selon la dureté totale.**

Dureté (°F)	0 – 3	3 - 15	15 – 30	> 30
Eau	Très douce	Douce	Dure	Très dure

Dans l'ensemble les eaux analysées présentent un Th entre 15 et 30°f.





**Fig. N°20: Histogrammes de la dureté totale de la nappe inféroflux.**

### 3. Faciès chimiques des eaux de la nappe

Cette classification permet la représentation des échantillons en fonction des pourcentages des quantités en réaction des cations et des anions dans chaque triangle du diagramme. Nous obtenons un point triple pour les cations et un autre pour les anions de chaque échantillon.

Le prolongement des points dans le losange détermine un point unique caractéristique du faciès chimique de l'eau, qui permet une approche globale de la composition chimique des eaux.

Le diagramme de Piper (fig.n° 21) montre que le faciès dominant c'est faciès bicarbonatés calciques pour la majorité des forages.

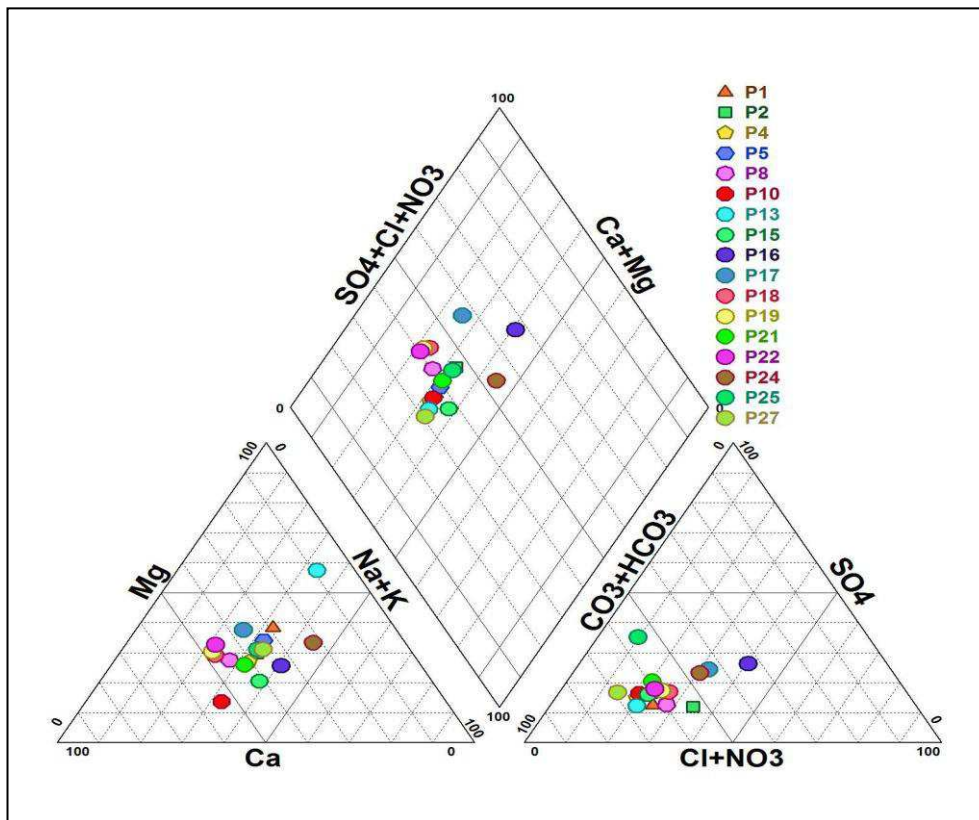


Fig. N°21 : le diagramme de Piper des eaux de la nappe inféroflux (Mars 2013).

#### 4. aptitude des eaux à l'irrigation :

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins fiables parmi lesquels :

- Le pourcentage en sodium (% Na).
- Sodium adsorption ratio (S.A.R).

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

Pour déterminer ce risque, Wilcox a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (SAR) et la minéralisation totale.

Donc le SAR, sera calculé par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Où les concentrations sont exprimées en méq/l.

Cette méthode se traduit sous forme d'un diagramme qui définit cinq classes d'eau suivante :

Tableau. N°12 : classification de Wilcox

Degré	Classe	Qualité	L'état d'utilisation
1	C1-S1	Excellente	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	C2-S1 C2-S2	Bonne	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	C3-S1 C3-S2 C2-S3	Admissible	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Médiocre	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Mauvaise	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

L'application de cette méthode aux eaux de la nappe positionnées sur le diagramme de Wilcox du fait de leurs conductivités non élevées les places dans la classe des eaux excellentes à bonne pour les eaux d'inféoflux.

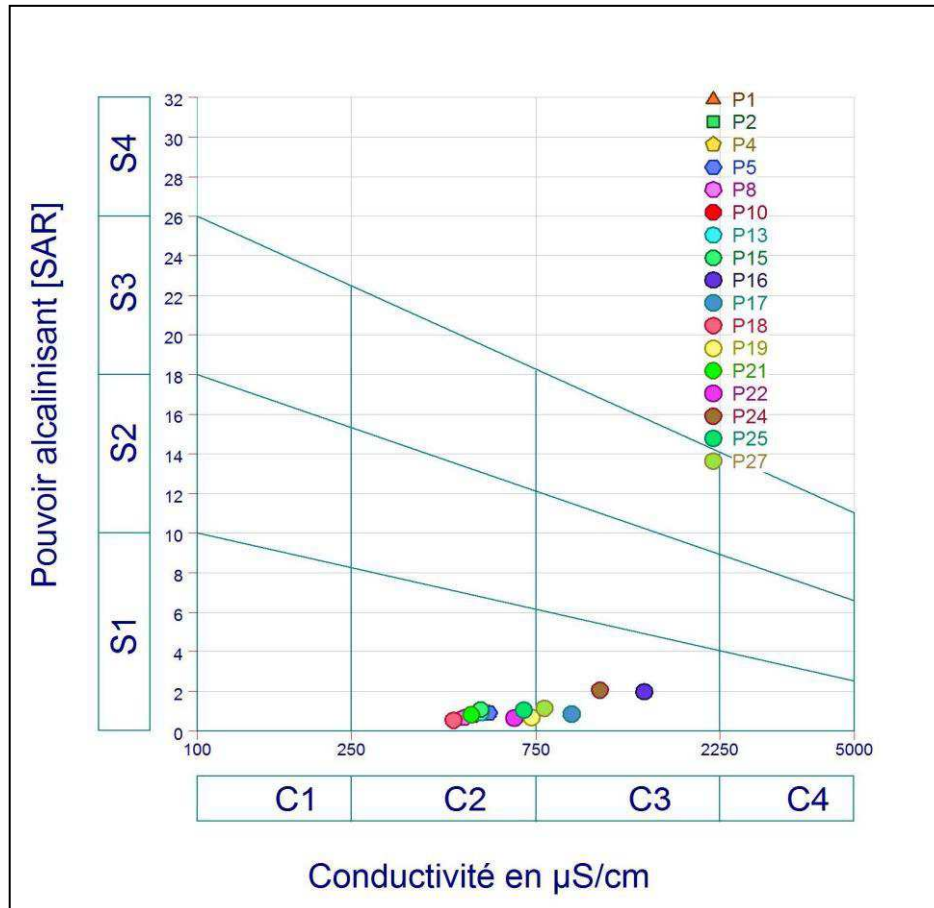


Fig. N°22: Diagramme de Wilcox (Mars 2013)

## 5. Les éléments majeurs :

### 5.1. Le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ):

Il provient de la dissolution de minéraux silicatés des roches ignées acides (magmatique).

Ses liaisons avec les dissous, donner le sodium et les bicarbonates, sont des plus aléatoires.

Sa teneur évolue de façon importante en fonction de la profondeur.

Les teneurs de  $\text{Ca}^{2+}$  de la nappe inféroflux sont comprises entre 9 mg/l comme valeur minimale, elles vont atteindre la valeur maximale 77 mg/l.

### 5.2. Le Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ) :

La distribution du Mg augmente également avec la minéralisation mais d'une façon plus diffuse. Ceci est probablement le fait d'une origine diverse de cet élément qui pourra être le résultat de l'hydrolyse de minéraux magnésiens tels que la biotite ou encore la hornblende, qui n'ont pas le même degré d'altérabilité.

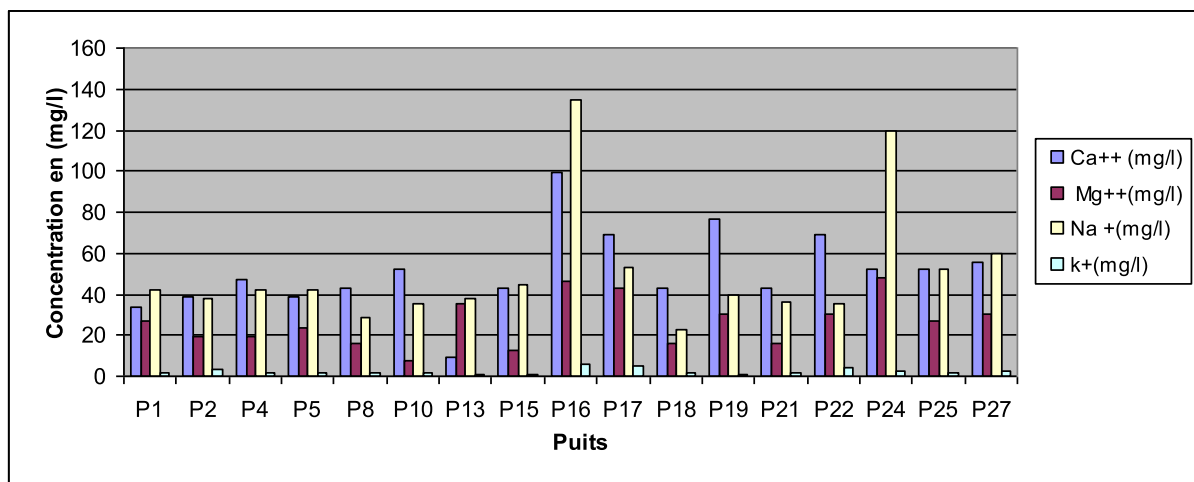
On constate que les valeurs des concentrations en  $\text{Mg}^{2+}$  sont proches au niveau des différents forages. La teneur maximale est de 8 mg/l, et la concentration minimale est de 48 mg/l.

### 5.3 . Le sodium et le potassium ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) :

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable.

L'ion sodium provient en partie des eaux partie de l'hydrolyse de silicates tels l'albite ( $\text{NaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ) plagioclase essentiel entrant dans la composition des roches métamorphique .l'évolution de sa teneur varié à celle du calcium ,malgré pour ces deux ions une même origine .Mais les processus combinés de dissolution , précipitation agissant sélectivement selon le lieu et les conditions, altère quelque peu leur bonne relation .C'est avec les bicarbonates que ce cation présente la meilleure adéquation ,traduisant que la principal réaction d'hydrolyse est celle qui met en jeu des minéraux de type albite .

La teneur maximale de  $\text{Na}^+$  est 135 mg/l, et la concentration minimale est de 23 mg/l, et la teneur maximale de  $\text{K}^+$  est 6 mg/l, et la concentration minimale est de 1 mg/l.



**Fig. N°23: Histogrammes des cations de la nappe inféroflux.**

### 5.4. Les chlorures $\text{Cl}^-$ :

Les chlorures sont des éléments conservés en solution .Ils ne subissent aucune interaction physique ou chimique avec les autres phases solides ou gazeuse et ne sont pas dégradés en solution. C'est pourquoi ils servent de repère les autres éléments.

La teneur maximale de  $\text{Cl}^-$  est 200 mg/l, et la concentration minimale est de 20 mg/l.

### 5.5. Les sulfates ( $\text{SO}_4^-$ ) :

Les sulfates sont toujours présents en teneurs plus fortes que ne l'autorise une simple origine météorique. L'oxydation des pyrites des roches cristallines et les reliques de gypses d'anciens bassins peuvent représenter une source pour cet élément.

La teneur maximale de  $\text{SO}_4^-$  est 120 mg/l, et la concentration minimale est de 28 mg/l.

### 5.6. Les bicarbonates $\text{HCO}_3^-$ :

Comme le laissait prévoir les mesures d'alcalinité, les bicarbonates constituent la composante ionique prépondérante, comme l'indique par ailleurs avec la conductivité. Les bicarbonates représentent ainsi une part importante du résidu sec.

Les concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  sont faibles, elles sont comprises entre 149 mg/l et 305 mg/l

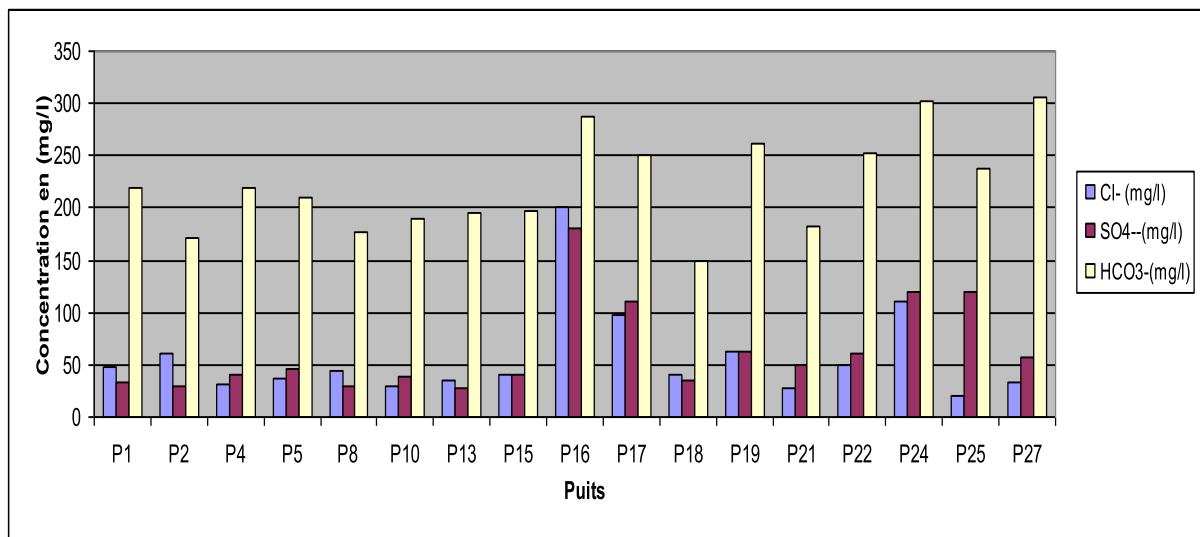
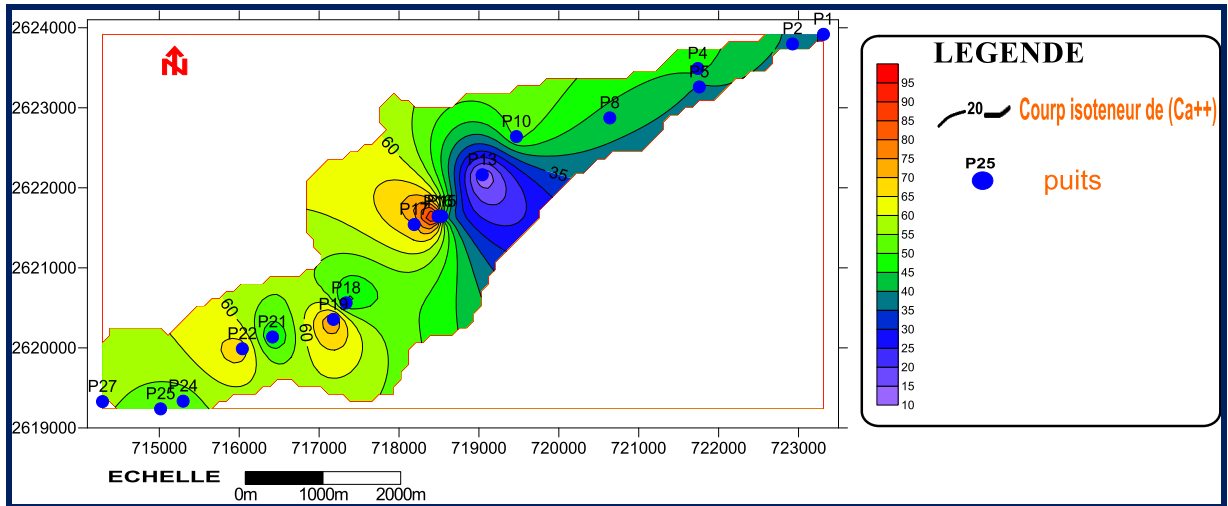


Fig. N°24: Histogrammes des anions de la nappe inféroflux

**6. Cartographie hydro chimique :**

**6.1. Carte de répartition de calcium  $Ca^{2+}$  :**

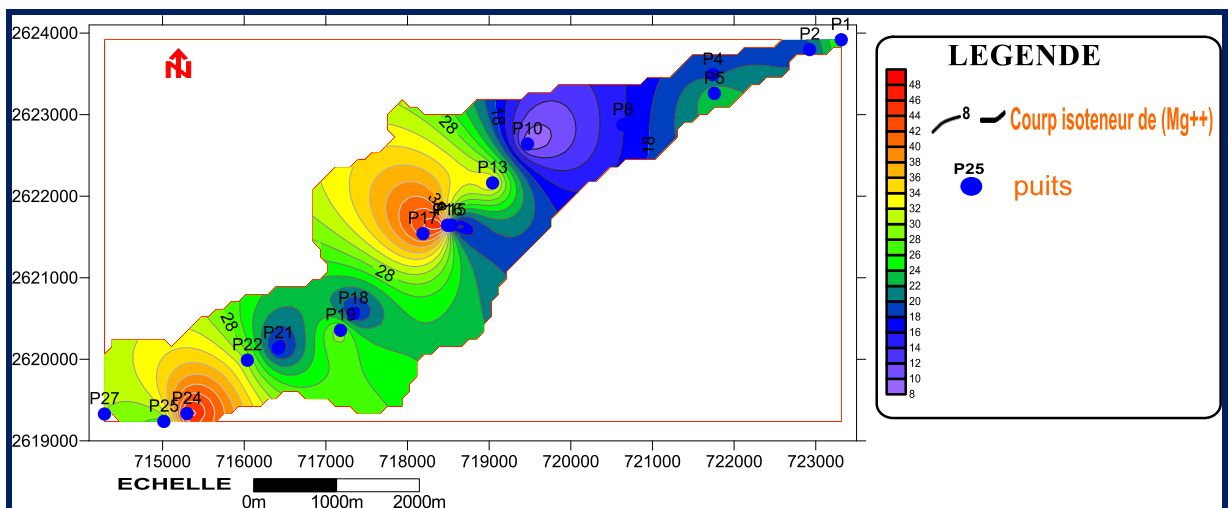
D'après la carte de la concentration du  $Ca^{2+}$ , dans la région d'étude les teneurs sont faibles, elles varient de 9 à 77 mg/l (fig.n°25).



**Fig. N°25 : Carte des teneurs en calcium ( $Ca^{+}$ ) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.2. Carte de répartition de Magnésium ( $Mg^{2+}$ ):**

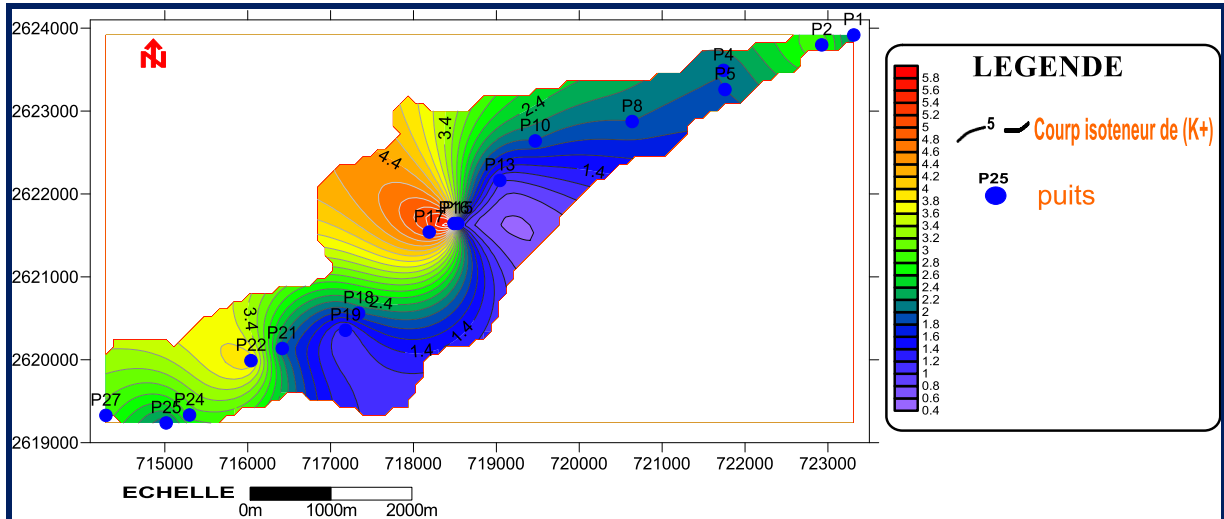
Les teneurs oscillent entre 8 et 48 mg/l (fig.n°26).



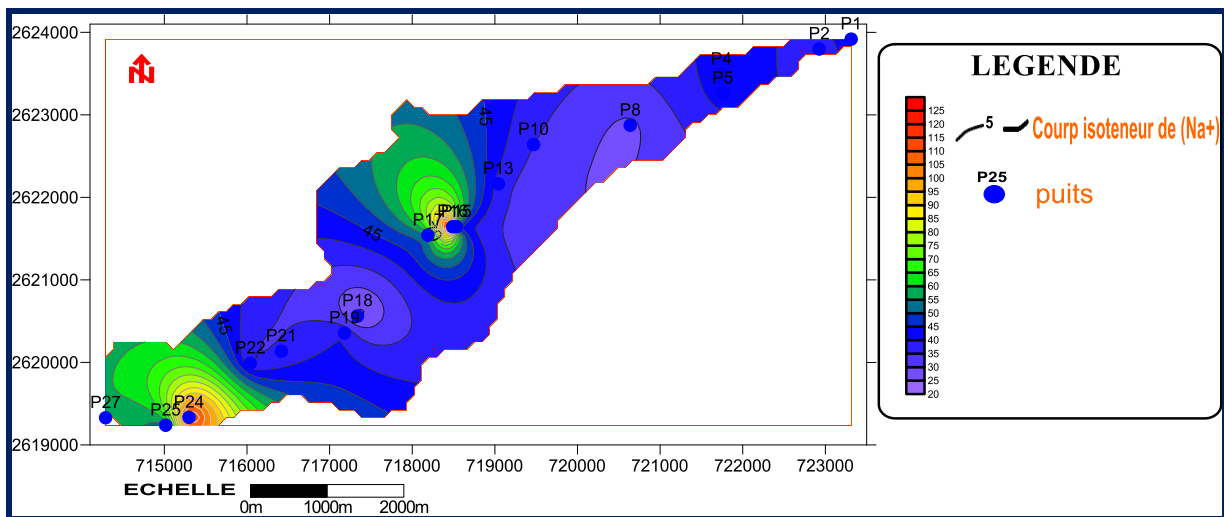
**Fig. N°26: Carte des teneurs en magnésium ( $Mg^{2+}$ ) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.3. Carte de répartition de Le sodium et le potassium (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) :**

D'après les cartes des valeurs de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> on remarque que les teneurs varient entre 23 et 135 mg/l pour le Na<sup>+</sup>, par contre les teneurs en K<sup>+</sup> mg/l sont très faibles inférieurs à 6 mg/l (fig.n°27).



**Fig. N°27: Carte des teneurs en K<sup>+</sup> en (mg/l) de la nappe inféoflux**

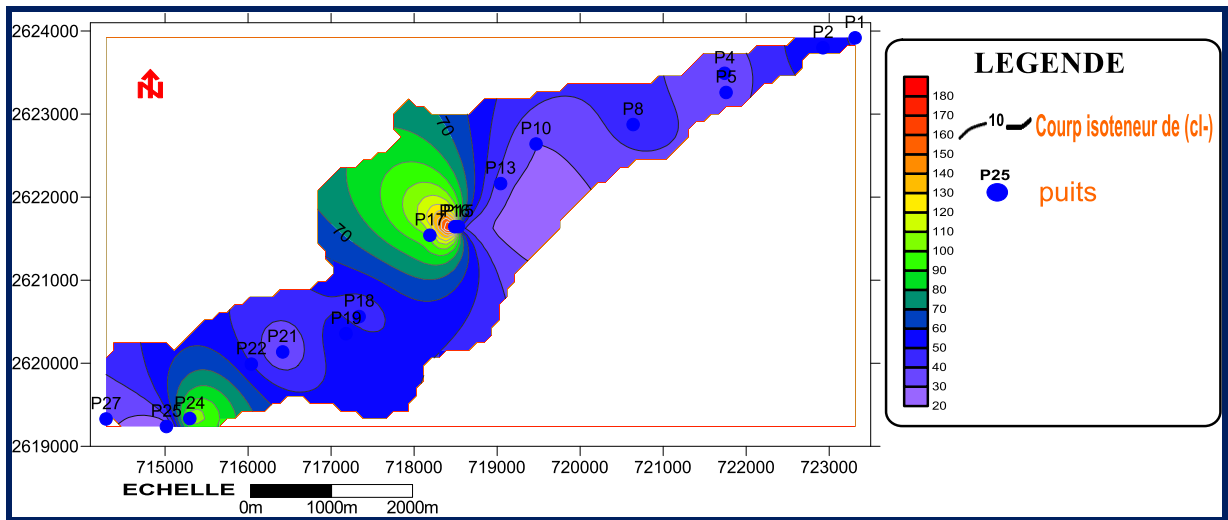


**Fig. N°28: Carte des teneurs en Na<sup>+</sup> en (mg/l) de la nappe inféoflux**



**6.4. Carte de répartition de Chlorures (Cl) :**

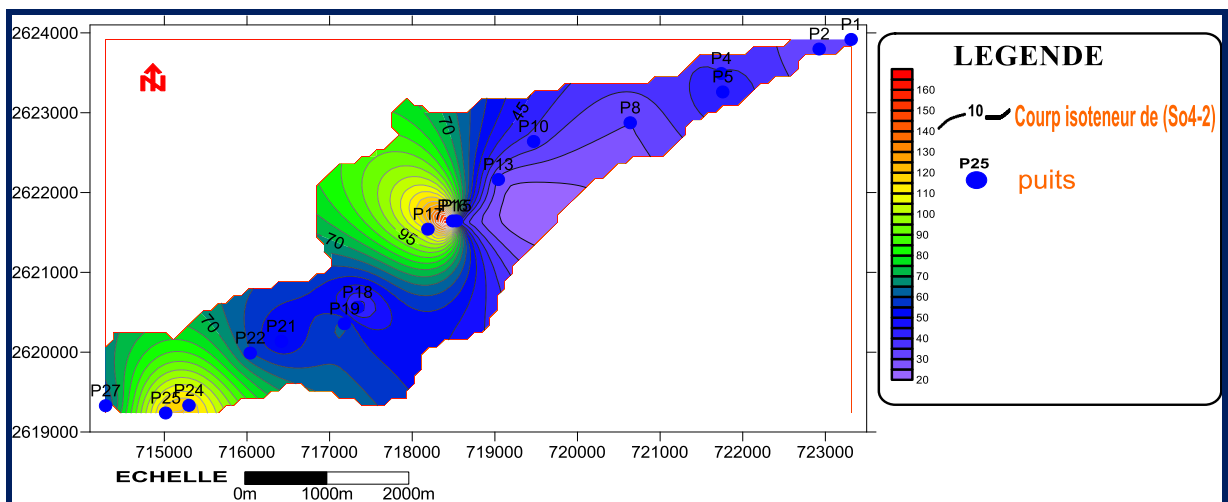
La région est caractérisée par des concentrations fortes entre 20 à 200 mg/l (fig.n°29).



**Fig. N°29 : Carte des teneurs en chleures (Cl) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.5. Carte de répartition de Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :**

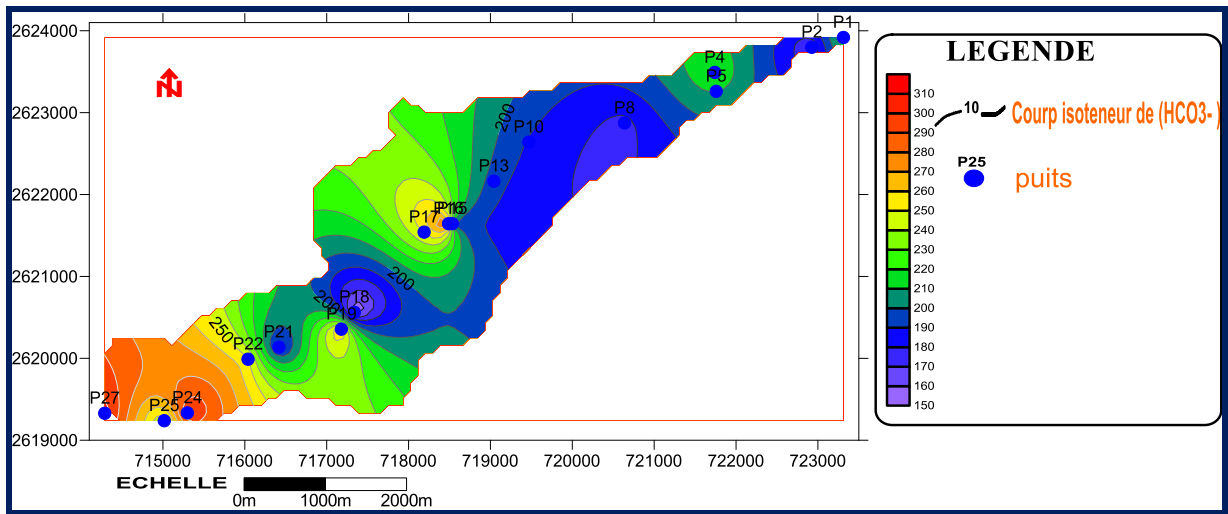
Les valeurs des Sulfates varient entre 28 à 120 mg/l. L'oxydation de la Pyrite et des autres sulfures métalliques (Fer, Nickel, Cuivre) répondus dans les roches. (fig.n°30).



**Fig. N° 30: Carte des teneurs en sulfates (So<sub>4</sub><sup>-2</sup>) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.6. Carte de répartition de Les bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$  :**

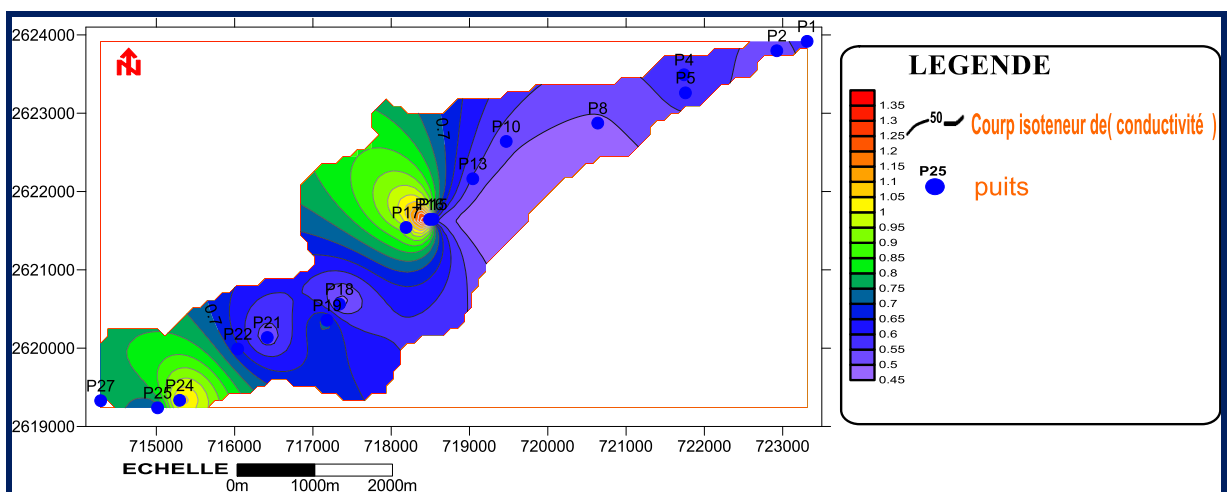
On remarquer des concentrations allant de 150 à 300 mg/l (fig.n°31).



**Fig.N° 31: Carte des teneurs en bicarbonates ( $\text{Hco}_3^-$ ) en (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6.7. Carte de répartition de La conductivité électrique (CE) :**

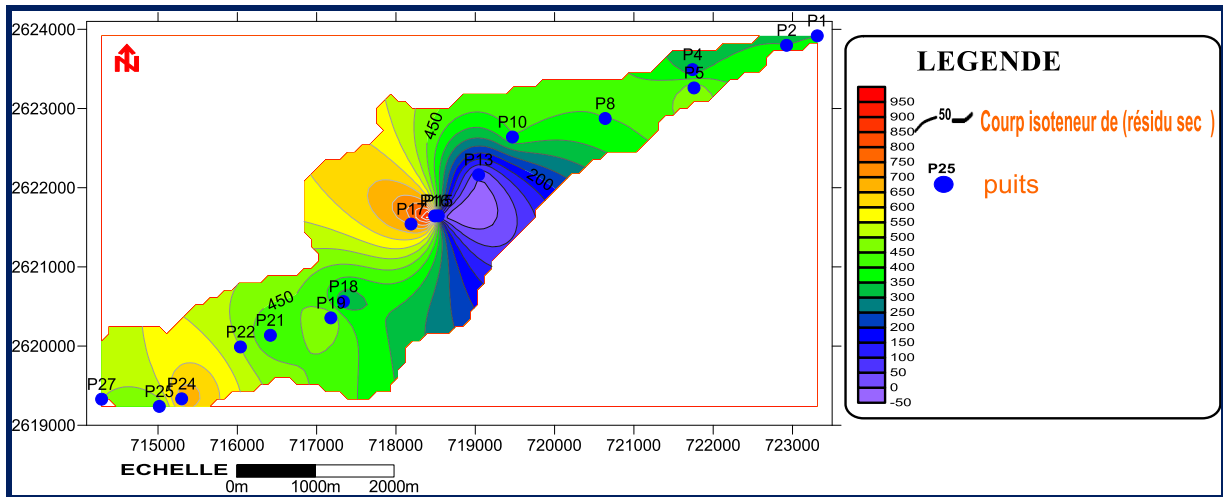
Elle est fonction de la nature et de la concentration des ions en solution. La variabilité de ce paramètre est un signe primordial donnant de précieux renseignements sur l'évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'eau, elle permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau, elle est en générale supérieure à 500  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  et inferieur à 1500 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ . (fig.n°32).



**Fig.N°32 : Carte des teneurs en conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{Cm}$ ) de la nappe inféroflux**

**6.8. Carte de répartition de Le résidu sec :**

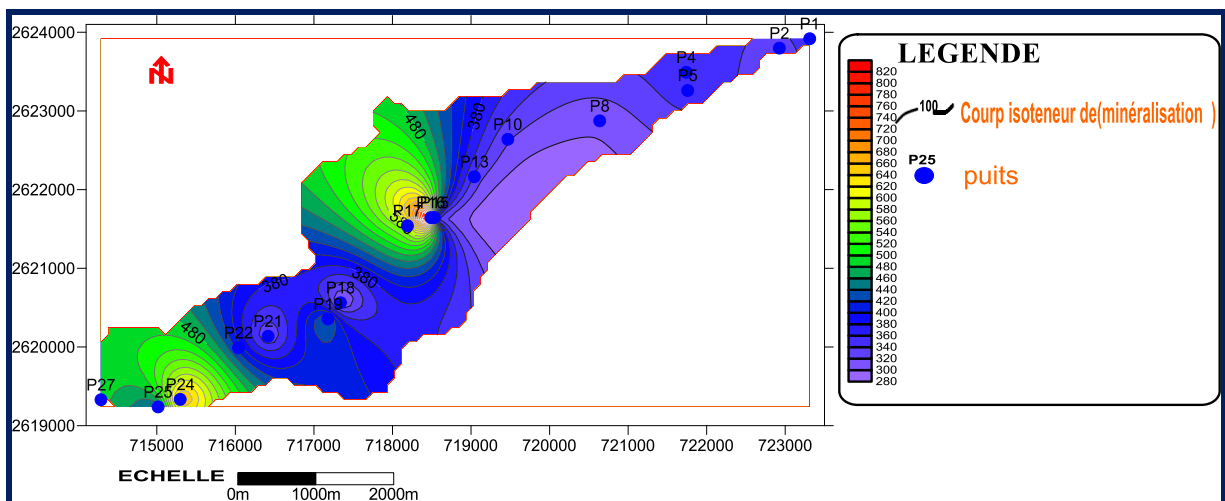
Le résidu sec correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau après évaporation à 110 °C. Elle donne une idée sur la minéralisation globale de l'eau. D'après la carte de variation du résidu sec on a de faibles valeurs inférieurs à 1g/l (fig.n°33).



**Fig.N° 33: Carte des teneurs en résidu sec (mg/l) de la nappe inféroflux**

**6. 9. Carte de répartition de la minéralisation :**

D'après la carte de variation de la minéralisation les valeurs sont faibles, elles ne dépassent pas 100 mg/l. (fig.n°34).



**Fig. N° 34: Carte des teneurs en minéralisation (mg/l) de la nappe inféroflux**

### 6.10. Carte de répartition des nitrates $\text{NO}_3^-$ :

Les nitrates  $\text{NO}_3^-$  représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Dans le cas de la nappe inféroflux. Les teneurs maximales en nitrates sont observées aux puits P4 et P17 (15 mg/l).

La valeur guide étant de 50 mg/l, tous les échantillons ayant une concentration qui ne dépassent pas cette valeur indiquent l'absence de la pollution de l'eau (fig n°35).

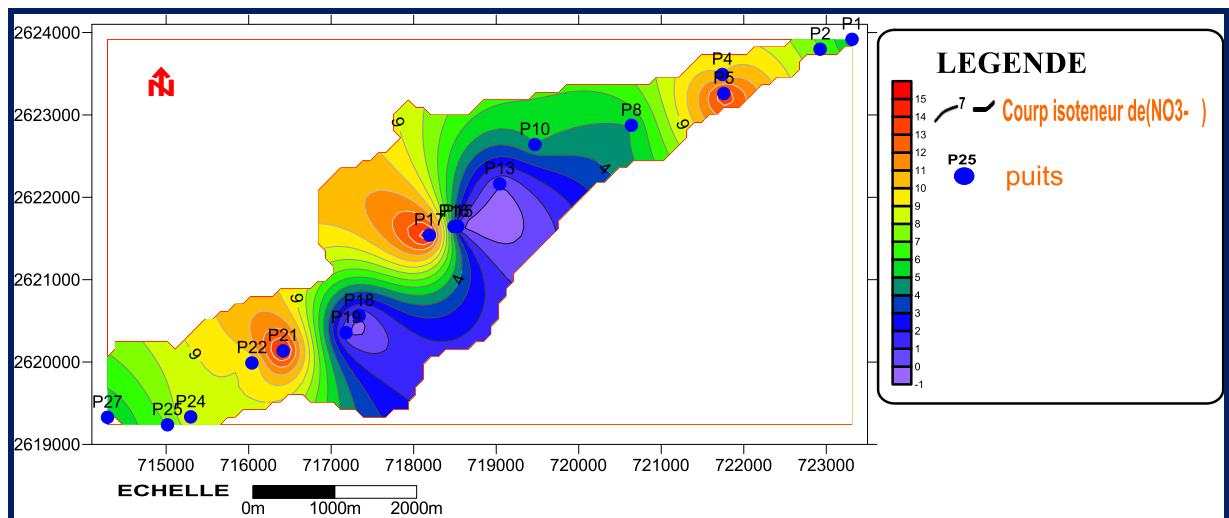


Fig. N°35 : Carte des teneurs en Nitrate (mg/l) de la nappe inféroflux

### 7. Conclusion :

Les eaux de la nappe inféroflux de la région d'étude sont caractérisées par des faibles valeurs de la conductivité électrique.

Du point de vue agricole, l'application de cette méthode aux eaux de la nappe positionnées sur le diagramme de Wilcox du fait de leurs conductivités non élevées les places dans la classe des eaux excellentes à bonne pour les eaux d'inféroflux.

Le diagramme de Piper montre que le facies dominant c'est faciès bicarbonatés calciques pour la majorité des puits.

### **Résumé :**

In Amguel est une commune de l'Algérie dans la wilaya de Tamanrasset. Elle est située à 130 kilomètres au Nord de Tamanrasset et 1870 km d'Alger.

Du point de vue Hydrochimique, dans la majeure partie de Nappe de l'inféro-flux, les eaux sont Bicarbonaté Calcique.

Les Eaux de cette nappe sont caractérisées par des faibles valeurs de conductivités électriques et aussi peu minéralisées donc les eaux de cette nappe sont de bonne qualité pour l'alimentation en eau potable.

Le Diagramme de Wilcox montre que les eaux de cette nappe sont excellentes à Bonnes pour l'irrigation.

**Mots Clés : Minéralisées - Wilcox- Inféro-flux- Conductivité électrique.**

### **Abstract :**

In Amguel is a common Algeria in the wilaya of Tamanrasset. It is located a130 km north of Tamanrasset and 1870 km from Algiers.

The Hydrochemical point of view, in most of the inféro-flux water, the water is Calcium Bicarbonate.

The waters of this aquifer are characterized by low values of electrical conductivity and can also mineralized.

The diagram Wilcox because of their non-conductivity high places in the class of excellent to good water to waters inféroflux.

**Keywords: Mineralized - Wilcox – Inféroflux - Electrical conductivity.**

### **ملخص:**

عين أمقل هي بلدية في الجزائر تقع في ولاية تمنراست. على بعد 130 كلم شمال تمنراست و 1870 كلم من الجزائر العاصمة.

من الجهة الهيدروكيميائية معظم مياه الجيب المائي تتكون من بركبونات الكالسيوم وتتميز بقيم منخفضة بالنسبة للناقلية الكهربائية وكذلك بقلة التمعدن وبالتالي فهي مياه جيدة للشرب.

الرسم التخطيطي **Wilcox** يبين انه مياه هذا الجيب ممتازة وجيدة من اجل السقي.

**الكلمات المفتاحية : التمعدن - Wilcox – الجيب المائي - الناقلية الكهربائية.**