

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**  
**FACULTE DES HYDROCARBURES 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*

*Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers*

*Filière : Géologie*

*Spécialité : Hydrogéologie*

**Thème**

Etude de l'impact de lithologie sur la minéralisation des nappes  
inferoflux de la cuvette d'Adriane ' wilaya de Tamanrasset '

❖ **Présenté par :**

**Soutenu et Publiquement le :06/2021**

- **KHERFI ISLAM**
- **HEMTI AHMED NOUR EI ISLAM**
- **HAMOUDA OMAR NAZIM**

**Devant le jury :**

<b>Président : Mr Nazli Imad Eddine</b>	<b>Prof</b>	<b>Université d'Ouargla</b>
<b>Promoteur : Mr Satouh Adel</b>	<b>MCB</b>	<b>Université d'Ouargla</b>
<b>Co Promoteur : Mr Zaddouri Aziez</b>	<b>Prof</b>	<b>Université d'Ouargla</b>
<b>Examineur : Mr Houari Idir Menad</b>	<b>MCB</b>	<b>Université d'Ouargla</b>

## REMERCIEMENTS

Avant tout je remercie Fort Bien Dieu 'ALLAH' qui nous a donné l'opportunité  
d'apprendre la langue différente que la nôtre , qui nous a permis de rédiger ce  
mémoire .

Ce mémoire est une bonne occasion pour remercier Mes Promoteurs : MR SATOUH  
ADEL et ZEDDOURI AZIEZ.

Mes Remerciements a mon Président : NAZLI IMAD EDDINE et mon Examineur :  
HOUARI MENAD IDIR d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Sans oublier toute l'équipe du centre de recherches : OMAR GAJA, DAB, NACER  
GHILANI, professeur BENFARJALAH, BACHIR CHERRAHI

Ainsi que les professeurs du département de géologie qui nous ont enseignés  
pendant la deuxième année Master Hydrogéologie

## *DEDICACES*

*Je dédie cet ouvrage :*

*A mes chers parents source de vie, d'espoir et de motivation*

*A Ma très chère mère maman pour son amour et ses encouragements  
et sacrifices*

*A Mon très cher papa pour son soutien son affection et sa confiance  
accorde*

*A mes très chères sœurs : Darine , Jihene , Serine source de joie et de  
bonheur*

*A Mes beaux-frères Salah et Tifou source de respect et conseil*

*A Mes adorables neveux Safi et Mohamed source de gaité et sourire*

*A Ma famille maternelle (mes tentes et mes oncles, 'tente mina' et  
mes cousins : Anis, Abdou , Oussama , Mimine , Skander)*

*A Ma famille paternelle d'Algérie et de Tunisie*

*A tous mes amis, tout particulièrement : Raouf , Alaa , Oussama ,  
Houssine , Akram , Ramy , Midou , Haythem , Aymen .*

*A mes chers professeurs et camarades au long de mon parcours  
universitaire*

*A tous ceux que j'ai pu oublier*

*A vous chers lecteurs*

**HAMOUDA OMAR NAZIM**

## *DEDICACES*

*Je dédie ce modeste travail au :*

*A Ma défunt mère N.*

*En témoignage de ma gratitude pour l'amour les sacrifices que tu as  
consentis pour moi*

*A Mon cher père YUCEF*

*Source de l'inspiration que dieu tout puissant lui accorde grâce et  
miséricorde.*

*A ma belle-sœur HANIN*

*A mes beaux-frères (RAID, ZINO, Tajo, WAHAB)*

*A ma famille ma grand-mère mes paternelle et maternelle (la familles  
BEN AMARA)*

*A tous les miens et les proches et surtout Mes amis sincères*

**HEMTI AHMED NOUR EI ISLAM**

## *DEDICACES*

*A ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme  
il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta  
présence à mes cotes a toujours été ma source de force pour affronter  
les différents obstacles*

*A ma très Chère père*

*Tu as toujours été à mes cotes pour me soutenir et m'encourager.  
Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

*A mes très chers frères : AHMED SABER et YOUNES et IHAB AMIR  
et NOUFEL ABD MOUMEN*

*A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne  
une longue et joyeuse vie.*

*A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connus jusqu'à  
maintenant*

***KHERFI ISLAM***



## Sommaire

		Page
	INTRODUCTION GENERALE	1
	CHAPITRE I : GENERALITES	
<b>I.I</b>	Définitions	<b>4</b>
<b>I.1.1.</b>	Les aquifère de socle	<b>4</b>
<b>I.1.2.</b>	Les nappes inféroflux	<b>5</b>
<b>I.2.</b>	Influence de l'eau sur roche	<b>5</b>
<b>I.2.1.</b>	Les principales réactions d'altération	<b>5</b>
<b>1.2.1.1</b>	Minéraux formés	<b>7</b>
<b>I.1.2.2.</b>	Mobilité des ions	<b>8</b>
<b>I.2.1.3.</b>	Facteurs externes contrôlant l'hydrolyse	<b>10</b>
<b>I.2.1.4</b>	Solubilité de la silice	<b>11</b>
<b>I.3.</b>	Influence de composition du sol sur la minéralisation des eaux des nappes superficielles	<b>13</b>
<b>I.3.1.</b>	Définitions	<b>13</b>
<b>I.3.2.</b>	Les sols minéraux	<b>13</b>
<b>I.3.3.</b>	La capacité d'échange cationique d'un sol	<b>14</b>
	CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA REGION DE L'ETUDE	
<b>II.1.</b>	Contexte géographique de la zone d'étude	<b>16</b>
<b>II .2.</b>	Contexte géologique régional du Hoggar	<b>17</b>
<b>II.2.1</b>	Les trois différents domaines du Hoggar	<b>17</b>
<b>II.2.3.</b>	Modèle des terrains	<b>18</b>
<b>II.3.</b>	Le contexte géologique local	<b>19</b>
<b>II. 3.1.</b>	Les ensembles géologiques	<b>21</b>
<b>II. 3.1.1.</b>	Les formations métamorphiques	<b>21</b>
<b>II. 3.1.2.</b>	Les granites	<b>21</b>
<b>II 3.1.3.</b>	Les formations volcaniques	<b>22</b>
<b>II.3.1.4.</b>	Les alluvions de l'oued	<b>22</b>
<b>II.4.</b>	Contexte hydrologique	<b>23</b>
<b>II.4.1.</b>	Géomorphologie et hydrographie	<b>23</b>
<b>II.4.1.1.</b>	Morphologie de la cuvette de l'Adriane	<b>23</b>
<b>II.4.1.2</b>	Hydrographie	<b>24</b>
<b>II.4.1.3.</b>	Caractéristiques de forme	<b>25</b>
<b>II.4.1.4.</b>	Indice de forme	<b>26</b>
<b>II.5.</b>	Etude climatique	<b>26</b>
<b>II.5.1.</b>	Température	<b>26</b>
<b>II.5.2.</b>	Humidité	<b>27</b>
<b>I.5.3.</b>	Vent	<b>28</b>
<b>II.5.4.</b>	Précipitation	<b>29</b>
<b>II.5.5.</b>	Précipitations moyennes mensuelles	<b>29</b>
<b>II.6.</b>	Conclusion	<b>31</b>
	CHAPITRE III : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE	
<b>III.1.</b>	Introduction	<b>34</b>
<b>III.2.</b>	Les principales ressources en eau de la region	<b>34</b>

## Sommaire

<b>III.3.</b>	Etudes hydrogéologiques antérieures	<b>35</b>
<b>III.4.</b>	Délimitation de la zone d'étude	<b>36</b>
<b>III.5.</b>	Etude de la nappe d'inferoflux et de ses ressources	<b>38</b>
<b>III.5.1.</b>	Notion de nappe d'inféro-flux	<b>38</b>
<b>III.6.1.</b>	Caractéristiques générales de la nappe	<b>39</b>
<b>III.6.2.</b>	La morphologie de l'aquifère	<b>39</b>
<b>III.6.3.</b>	Alimentation de la nappe	<b>40</b>
<b>III.6.4.</b>	Écoulement de la nappe	<b>40</b>
<b>III.7.</b>	Conclusion	<b>42</b>
<b>CHAPITRE IV : ETUDE HYDROCHIMIQUE</b>		
<b>IV .1.</b>	Introduction	<b>44</b>
<b>IV.2.</b>	Les caractéristiques physico-chimiques	<b>45</b>
<b>IV.2.1.</b>	PH	<b>45</b>
<b>IV.2.2.</b>	Température	<b>46</b>
<b>IV.2.3.</b>	Conductivité	<b>46</b>
<b>IV.2.4.</b>	Le résidu sec	<b>47</b>
<b>IV.2.5.</b>	La balance ionique	<b>47</b>
<b>IV.3.</b>	Les caractéristiques chimiques	<b>48</b>
<b>IV.3.1.</b>	Les minéralisations globales des eaux de la nappe	<b>48</b>
<b>IV.3.2.</b>	Les ions dominants	<b>48</b>
<b>IV.3.3.</b>	Les anions	<b>48</b>
<b>IV.3.3.1.</b>	Les chlorures (Cl <sup>-</sup> )	<b>48</b>
<b>IV.3.3.2.</b>	Les bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<b>49</b>
<b>IV.3.3.3.</b>	Les sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	<b>50</b>
<b>IV.3.4.</b>	Les cations	<b>51</b>
<b>IV.3.4.1.</b>	Le calcium	<b>51</b>
<b>IV.3.4.2.</b>	Le sodium (Na <sup>+</sup> )	<b>52</b>
<b>IV.3.4.3.</b>	Le magnésium (Mg <sup>++</sup> )	<b>53</b>
<b>IV.4.</b>	Classification des eaux et représentation graphique	<b>55</b>
<b>IV.4.1.</b>	Classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff	<b>55</b>
<b>IV.4.2.</b>	Représentation des eaux selon le diagramme losangique de Piper	<b>56</b>
<b>IV.5.</b>	Conclusion	<b>57</b>
<b>CHAPITRE V : INFLUENCE DE LA COMPOSITION MINERALOGIQUE DES ALLUVIONS SUR LA MINERALISATION DE LA NAPPE INFEROFLUX</b>		
<b>V .1</b>	Introduction	<b>59</b>
<b>V.2.</b>	Extraction de la solution du sol	<b>59</b>
<b>V.2.1</b>	La conductivité électrique et le pH	<b>59</b>
<b>V.2.2</b>	Dosage des anions	<b>62</b>
<b>V.2.3</b>	Dosage des cations	<b>65</b>
<b>V.2.4.</b>	Résidu sec	<b>67</b>
<b>V.3</b>	Résultats et interprétations	<b>69</b>
<b>V.3.1</b>	Résultats interprétation des teneurs des cations	<b>69</b>
<b>V.3.2</b>	Résultats et interprétation des teneurs des Anions	<b>70</b>
<b>V.4.</b>	Conclusion	<b>72</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b>		



## Listes des Figures

Figures		Page
Fig. N° I.1	<i>Modèle conceptuel stratiforme des aquifères de socle (R, Wyns,2004)</i>	4
Fig. N° I.2	<i>Classification des ions par Goldschmidt</i>	9
Fig. N° I.3	<i>Stabilité du système Fe<sup>2+</sup> / Fe<sup>3+</sup> en fonction de l'Eh et du pH pour une solution diluée à température de 25°C et pression atmosphérique</i>	10
Fig. N° I.4	<i>Solubilité du Fe<sup>3+</sup> en fonction du pH de la solution</i>	11
Fig. N° I.5	<i>Solubilité de la silice.</i>	12
Fig. N° I.6	<i>Champ de stabilité de quelques minéraux</i>	12
Fig. N° II.1	<i>Carte géographique de la zone d'étude</i>	16
Fig. N° II.2	<i>Carte schématique des différents domaines du Hoggar (Caby et al ; 1981 modifiée).</i>	17
Fig. N° II.3	<i>Carte des différents terrains de Hoggar (d'après Liégeois et al., 2000))</i>	19
Fig. N° II.4	<i>Carte géologique de bassin versant oued de Tamanrasset</i>	20
Fig. N° II.5	<i>Carte géologique simplifiée de la région de Tamanrasset.</i>	21
Fig. N° II.6	<i>Carte montrant la position du séteur de l'étude du sous bassin del'Oued Tamanrasset</i>	25
Fig. N° II.7	<i>Fluctuation des températures moyennes mensuelle des stations de Tamanrasset et de l'assekrem</i>	27
Fig. N° II.8	<i>Valeurs de l'humidité relative mensuelle relevée à la station de Tamanrasset (1980-2015)</i>	28
Fig. N° II.9	<i>Vitesse mensuelle de vent</i>	29
Fig. N° II.10	<i>Précipitations moyennes mensuelles</i>	30
Fig. N° III.1	<i>Schéma structural et hydrogéologique de Hoggar (d'après BRGM)</i>	36
Fig. N° III.2	<i>Coupe géologique le long à travers de la cuvette de l'oued Tamanrasset</i>	38
Fig. N° IV.1	<i>Carte de l'évolution du PH de la zone de l'étude.</i>	44
Fig. N° IV.2	<i>Carte de l'évolution de conductivité de la zone de l'étude</i>	45
Fig. N° IV.3	<i>Carte de l'évolution du RS en mg/l de la zone de l'étude</i>	46
Fig. N° IV.4	<i>Carte de l'évolution du chlorure en meq/l de la zone de l'étude</i>	48
Fig. N° IV.5	<i>Carte de l'évolution de bicarbonate en meq/l de la zone de l'étude</i>	49
Fig. N° IV.6	<i>Carte de l'évolution du sulfate en meq/l du secteur de l'étude.</i>	50
Fig. N° IV.7	<i>Carte de l'évolution du calcium en meq/l de la zone de l'étude.</i>	51
Fig. N° IV.8	<i>Carte de l'évolution du sodium en meq/l de la zone de l'étude.</i>	52
Fig. N° IV.9	<i>Carte de l'évolution de magnésium en (meq/l) de la zone de l'étude.</i>	53
Fig. N° IV.10	<i>Représentation graphique selon sholler berkaloof de la zone de l'étude.</i>	54
Fig. N° IV.11	<i>Diagramme de piper de la zone de l'étude.</i>	55
Fig. N° V.1	<i>Photo montrant L'appareil utilisé dans les analyses PH des alluvions de l'oued Tamanrasset</i>	61
Fig. N° V.2	<i>Photo montrant le spectrophotomètre DR 2500 utilisé dans les analyses des sulfates des alluvions de l'oued Tamanrasset.</i>	62
Fig. N° V.3	<i>Photo montrant Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY)utilisé dans les analyses des cations des alluvions de l'oued Tamanrasset</i>	65
Fig. N° V.4	<i>Schéma montrant la fluctuation des teneurs des cations des alluvions des puit 3 et 29 de la nappe inféroflux de l'oued Tamanrasset.</i>	69
Fig. N° V.5	<i>Schéma montrant la fluctuation des teneurs des anions des alluvions des puit 3 et 29 de la nappe inféroflux de l'oued Tamanrasset.</i>	70

Liste des tableaux

<b>Tableau</b>		<b>Page</b>
	<b>CHAPITRE II</b>	
<b>Tableau N°.1</b>	<b>Températures moyennes mensuels de station de Tamanrasset et l'Assekrem</b>	26
<b>Tableau N°.2</b>	<b>Humidité relative moyenne (en%) de station de Tamanrasset et de l'assekrem</b>	27
<b>Tableau N°. 3</b>	<b>Vitesses Moyennes mensuelles des vents (en m/s) de station de Tamanrasset et de l'assekrem</b>	28
<b>Tableau N°.4</b>	<b>Précipitation moyennes mensuels de station de Tamanrasset et de l'assekrem</b>	29
	<b>CHAPITRE III</b>	
<b>Tableau N°. 1</b>	<b>Les principales ressources de Tamanrasset</b>	35
<b>Tableau N°. 2</b>	<b>Caractéristique de la nappe</b>	39

***INTRODUCTION  
GENERALE***

## Introduction générale

L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en CO<sub>2</sub> dissous. Au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent l'eau de la nappe qu'elle forme. Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction :

- \* de la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration ;
- \* du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol ;
- \* du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau.

Dans l'aquifère, il s'établit un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches : l'eau prend une minéralisation qui demeure stable dans le temps et sert à caractériser un faciès hydro chimique.

- \* Dans les terrains cristallins (granitiques), sableux et gréseux -c'est à dire riche en minéraux siliceux et silicatés - les eaux sont douces : elles sont peu minéralisées mais acides et agressives pour les conduites.

Le socle Précambrien du HOGGAR intensément fracturé, permet d'espérer grâce à

L'existence d'une porosité secondaire de fissures, la constitution de réservoir potentiel en ressources hydriques. Cette nappe dite du milieu fissuré est exploitée actuellement à partir de forages profonds au niveau de Oueds Tamanrasset.

De rares mais importantes crues parcourent partiellement les oueds et entretiennent là où la masse alluviale le permet de petites nappes dites inféroflux Les roches cristallophyliennes et magmatique constituant le socle se caractérisent par une très faible porosité à l'état sain et seul la fissuration (d'origine tectonique) et l'altération qu'elle facilite, leur confèrent une certaine porosité et perméabilité d'interstices et de fissures.

Les nappes inféroflux constituent la ressource principale du Hoggar. L'inféroflux est un écoulement souterrain des eaux dans les alluvions et la couche d'altération de la roche sous-jacente, qui aura été creusé par l'Oued. Les nappes d'inféroflux sont alimentées à la faveur des crues des différents oueds dont elles sont tributaires. Elles captent pour la plupart, les alluvions quaternaires des lits d'oueds, ainsi que la première tranche d'altération du socle précambrien sous-jacent. Les principales nappes du socle cristallin du hoggar sont : l'Oueds Tamanrasset -

Oueds In-amguel -Oueds Tit -Oueds Outoul -Oueds Abalessa -Oueds Tazrouk et le bassin Oueds Ideles.

**L'objectif** principal de cette étude est l'impact de la lithologie des roches cristallin et la chimie sur les minéralisations des eaux de la nappe aquifère inféroflux de la cuvette de Hadriane situé près de la ville de Tamanrasset.

Etude de l'interaction sol -eau et l'influence et les échanges ioniques entre le sol et les eaux de la nappe aquifère inferoflux de la cuvette d'Hadriane.

Cette étude s'articule autour des chapitres suivants :

- ✚ Introduction générale
- ✚ Généralités : présenté les aquifère du socle et l'influence de l'eau sur roche
- ✚ Présentation de la zone d'étude : est relatif à la connaissance générale des caractéristiques et contextes géologique régionale et locale, hydrologiques, climatologiques de la région d'étude
- ✚ Hydrogéologie : définir les principales ressources en eau et les différents caractères de la nappe inféro-flux
- ✚ Hydrochimie : basé sur l'analyse chimique réalise les échantillons d'eau prélevés sur le terrain en 2014
- ✚ Influence de la composition minéralogique des alluvions sur la minéralisation de la nappe inféro-flux : basé sur interaction du sol-eau (l'extraction du sol et l'extraction du pate) et matériels et méthodes
- ✚ Conclusion générale

***CHAPITRE I***  
***GENERALITES***

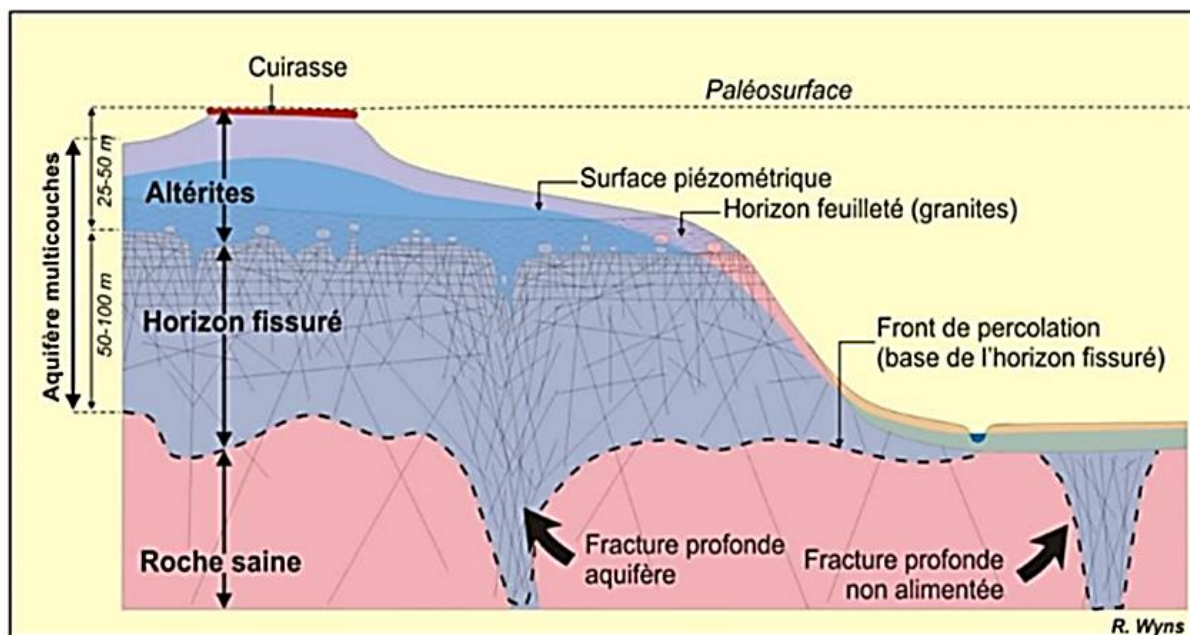


## I.1 Définitions

### I.1.1. Les aquifère de socle

Les aquifères de socle sont constitués de roches cristallines plutonique, comme le granite, et métamorphiques, comme les gneiss, les schistes, les micaschistes etc. Ces sont des roches qui se caractérisent principalement par une perméabilité de fissures et de fractures, et qui composent un aquifère discontinu, en raison de la variabilité spatiale de leurs propriétés hydrodynamiques.

La variation de niveau de la nappe phréatique et la percolation d'eaux de pluie dans les anciennes fractures promeuvent la déstabilisation du réseau cristallin et une hydrolyse se met en place. Les minéraux gonflants (la biotite en particulier) s'étendent et engendrent une contrainte. Cette contrainte met en place un réseau de fissures qui décroît avec la profondeur donnant origine à un « horizon fissuré » de 50 à 100 m d'épaisseur, auquel l'aquifère du socle doit sa perméabilité (Lachassage, Wyns et al., 2001) (Figure 1).



**Fig. N°. I.1 Modèle conceptuel stratiforme des aquifères de socle (R, Wyns,2004)**

Au-dessus de cet horizon fissuré, une couche d'altération (altérite) s'impose. Toujours sous l'effet de circulation d'eau, cette portion de roche cristalline devient de plus en plus argileuse (saproлите). Peu perméable et avec une capacité de stockage significative (1% à plus de 15%), cette zone altérée peut atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur (Lachassage, Wyns et al., 2005).

Dès que ce niveau argileux (normalement riche en hydroxyde d'aluminium et de fer) se trouve au-dessus du niveau de la nappe, il subit une déshydratation et s'indure, donnant origine à une cuirasse d'épaisseur métrique. Cet horizon induré est souvent importé par les processus d'érosion.

### **I.1.2. Les nappes inféroflux**

La nappe de l'inféroflux C'est une nappe est constitués de terrain mixte formé par des alluvions est un substratum altéré issue de la roche fissurée et passe progressivement à la roche saine, cette nappe est alimentée par sa surface libre en période de crue. L'eau, agent d'altération des roches.

## **I.2. Influence de l'eau sur roche**

Au cours de l'altération, deux types de mécanismes entrent en jeu, dont le plus souvent les effets s'additionnent :

- Les processus physiques ou mécaniques avec désagrégation des roches et enlèvement des débris par un fluide, d'où la distinction entre les érosions éoliennes, fluviales, glaciaires, marines... Les actions purement mécaniques produisent des fragments qui sont à l'origine des roches détritiques.
- Les processus chimiques où l'eau joue un rôle prépondérant. Il s'agit d'altération et de dissolution par les eaux plus ou moins chargées en dioxyde de carbone. Cela donne des solutions de lessivage qui sont les sources de minéraux néoformés des roches d'origine chimique.

### **I.2.1. Les principales réactions d'altération**

L'altération chimique des roches se fait en présence d'eau ; elle a lieu essentiellement en climat humide. Les réactions sont des hydrolyses, accessoirement des oxydations, des hydratations, des décarbonatations pour les roches calcaires. Les éléments solubles sont lessivés. Les parties insolubles restent sur place, se recombinaient et forment des minéraux de néoformation, principalement des argiles. Les organismes peuvent intervenir à tous les stades de ce processus. Ils fournissent en particulier des matériaux minéraux ou organiques.

#### **a) Dissolution**

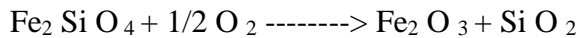
Ce processus physique simple intéresse les roches salines : sel gemme, potasse et gypse.

#### **b) Oxydation et réduction**



Les oxydations intéressent surtout le fer qui passe de l'état ferreux à l'état ferrique.

Olivine + oxygène -----> oxyde ferrique + silice



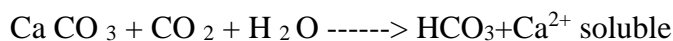
Les réductions sont plus rares ; elles interviennent dans les milieux hydromorphes et produisent en particulier le passage du fer ferrique au fer ferreux soluble.

### c) Hydratation

C'est une incorporation de molécules d'eau à certains minéraux peu hydratés contenus dans la roche comme les oxydes de fer; elle produit un gonflement du minéral et donc favorise la destruction de la roche.

### d) Décarbonatation

Elle produit la solubilisation des calcaires et des dolomies généralement sous l'action du CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau:

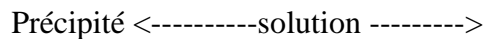
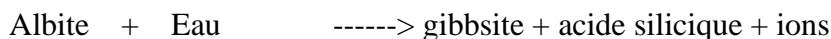
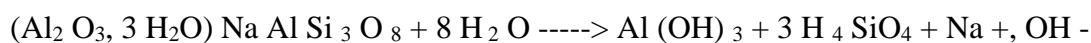


### e) Hydrolyse

Les hydrolyses, c'est à dire la destruction des minéraux par l'eau, sont les principales réactions d'altération.

\* L'hydrolyse est totale lorsque le minéral est détruit en plus petits composés possibles (hydroxydes, ions).

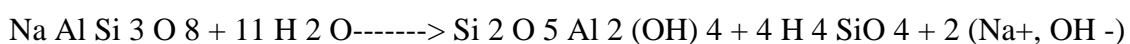
Cas d'un feldspath sodique, l'albite :



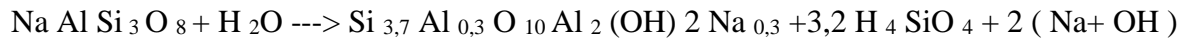
Les corps résultants peuvent ensuite réagir entre eux et donner des minéraux argileux.

\* L'hydrolyse est partielle lorsque la dégradation est incomplète et donne directement des composés silicatés (argiles). Ces composés diffèrent selon les conditions de milieu. L'hydrolyse partielle de l'albite donne soit de la kaolinite, soit des smectites.

### (1) Formation de kaolinite :



## (2) Formation de smectite



Cette 2ème réaction reste assez théorique car d'autres ions y participent, en particulier le Fer (Fe<sup>3+</sup>).

### 1.2.1.1. Minéraux formés :

Les nouveaux minéraux formés sont en général des phyllo silicates. Ces minéraux proviennent soit de la transformation d'un phyllo silicate préexistant, soit d'une néoformation à partir d'un silicate non en feuillet à la suite du réarrangement de la structure cristalline. Les réactions ont lieu surtout dans le sol. Les phyllo silicates formés sont des minéraux argileux de deux types :

\* type 1/1 : le feuillet comporte 1 couche à tétraèdres SiO<sub>4</sub> et 1 couche à octaèdres AlO<sub>6</sub>

\* type 2/1 : le feuillet comporte 3 couches, à savoir 1 couche octaédrique comprise entre 2 couches tétraédriques. Lorsque les nouveaux minéraux argileux sont formés à partir des micas (muscovites, biotites et chlorites), le réseau cristallin est plus ou moins conservé, on parle de transformation. Lorsqu'ils sont formés à partir de silicates qui ne sont pas en feuillets (feldspaths, amphiboles, olivine...), le réseau cristallin du minéral d'origine est complètement détruit, on parle de néoformation.

#### \* Muscovite

Elle est assez stable. Sa fragmentation donne des petites paillettes de même composition chimique appelées séricite. Son altération chimique se fait par perte progressive d'ion K<sup>+</sup>; elle donne de l'illite, puis des argiles de 2 types selon les conditions de drainage du milieu: la kaolinite en milieu lessivé, les smectites en milieu confiné. Les minéraux intermédiaires formés sont les vermiculites et les inter stratifiés. Corrélativement, la distance inter-réticulaire, qui sépare les feuillets d'argiles, augmente et passe de 10 Å (muscovite, illite) à 14 Å (smectite) ou 7 Å (kaolinite ; en fait on peut admettre que 2 feuillets de kaolinite sont obtenus à partir d'un d'illite, soit 2 x 7 = 14 Å également). Les ions K<sup>+</sup> assurent la cohésion des feuillets argileux. L'altération se manifeste par l'exfoliation des feuillets, bien visibles au microscope électronique, qui produit des particules de plus petites taille, quelques 0,1 microns, et augmente la surface de contact du minéral et la capacité d'échange des cations avec les solutions du milieu.

**\* Feldspaths**

Bien qu'ils s'agissent de tectosilicates, leur altération est comparable à celle de la muscovite .

**\* Biotite**

Sa résistance à l'altération dépend de la teneur de  $Fe^{++}$  dans le cristal ; son état d'altération est exprimé par la quantité de  $K^+$  extraite du réseau. La biotite peu oxydée (surtout à  $Fe^{++}$ ) est très altérable et se comportent comme les autres minéraux ferromagnésiens (pyroxènes...); elle donne en particulier des vermiculites et sméctites et de l'oxyde ferrique qui précipite. La biotite plus oxydée ( $Fe^{+++}$  surtout) est plus stable.

**\* Autres ferromagnésiens**

Leur altération est semblable à celle de la biotite peu oxydée ; ils donnent de la vermiculite, des sméctites, des chlorites ou des argiles magnésiennes si le milieu est très confiné.

**I.1.2.2. Mobilité des ions**

La mobilité d'un ion dépend de son rayon et de sa charge ionique.

**\* Rayon ionique :**

$Si^{4+}$  :  $r = 0,42 \text{ \AA}$

$Al^{3+}$  :  $r = 0,51 \text{ \AA}$

$O^{2-}$  :  $r = 1,4 \text{ \AA}$

La taille des ions détermine leur arrangement cristallin ; le nombre de coordination d'un ion par rapport à l'oxygène est le nombre d'ions oxygène qui peuvent se disposer autour de l'ion considéré :

- Silicium : nombre de coordination 4, l'arrangement est un tétraèdre ;
- Aluminium : nombre de coordination 6, l'arrangement est un octaèdre.

**\* Charge ionique :**

La charge  $Z$  d'un ion est égale à 1+, 2+, 3+...

**\* Potentiel ionique :**

C'est le rapport  $Z/r$ ; il détermine le comportement des ions. La classification établie par GOLDSCHMIDT distingue 3 groupes d'ions d'après la valeur du potentiel ionique :

- \*  $Z/r < \text{ou} = 3$  : les cations solubles, gros ions faiblement chargés ;
- \*  $3 < Z/r < 10$  : les hydrolysats, hydroxydes insolubles ;
- \*  $Z/r > 10$  : les oxydations solubles, anions complexes avec oxygène.

La répartition des charges électriques à la surface de l'ion explique son comportement vis-à-vis de l'eau.

\* oxydations solubles : leur potentiel ionique est grand, leur surface est fortement chargée. Ces ions dissocient les  $H^+$  des molécules d'eau et s'associent avec les  $O^{--}$ : les ions soufre donnent des ions sulfates  $(SO_4)^{2-}$ , les ions carbone des carbonates  $(CO_3)^{2-}$ , les ions phosphore des phosphates  $(PO_4)^{3-}$ ...

\* hydrolysats : la dissociation de l'eau est partielle en  $H^+$  et  $OH^-$ . Les cations s'unissent aux  $OH^-$  et forment des hydroxydes insolubles ( $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ...)

\* cations solubles : leur potentiel ionique et leur densité de charge de surface sont faibles. Ils n'ont pas d'action sur la molécule d'eau et restent dispersés.

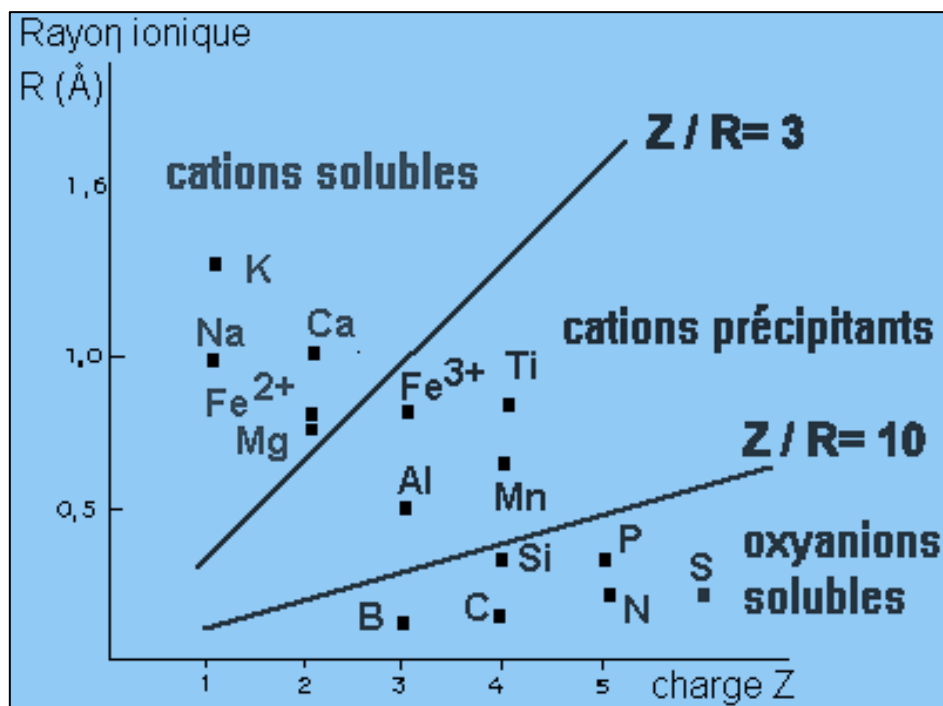


Fig. N°. I.2 : classification des ions par Goldschmidt.

La valeur du potentiel ionique permet donc d'expliquer l'association de certains métaux dans les minéralisations (par exemple la para genèse plomb-zinc), le lessivage des cations solubles et des oxydations comme le potassium, les sulfates, l'immobilité relative des hydrolysats comme l'Al (OH)<sub>3</sub> (gibbsite).

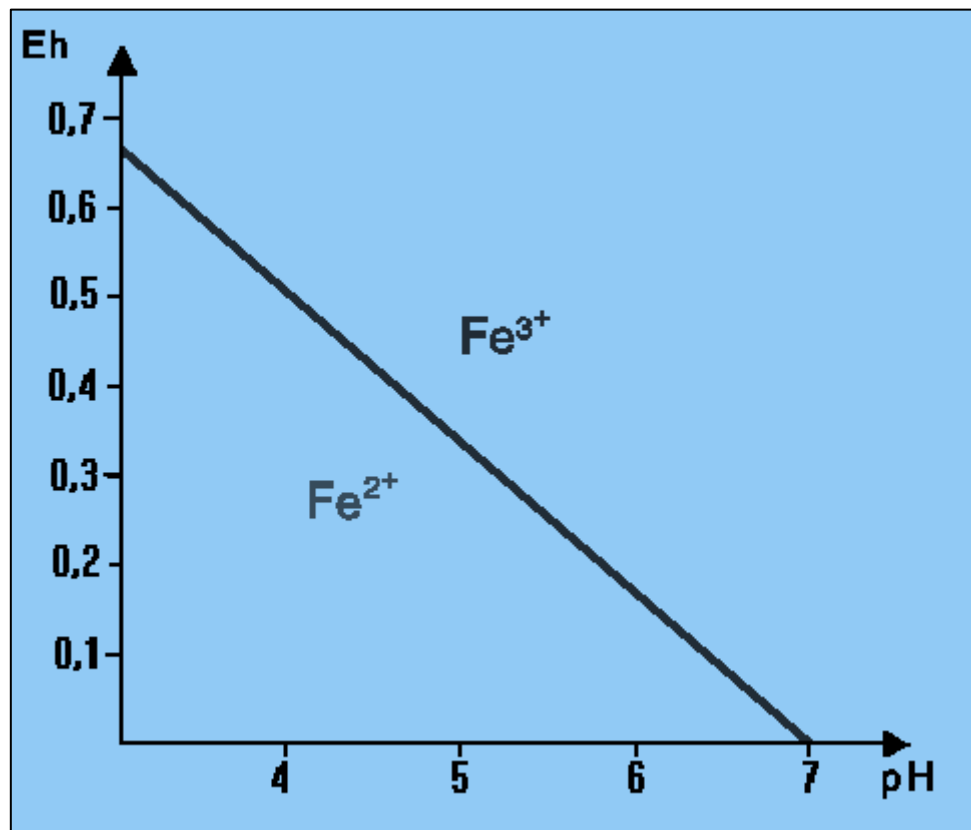
### 1.2.1.3. Facteurs externes contrôlant l'hydrolyse

Ce sont les facteurs physico-chimiques qui participent notamment à la définition du climat:

- \* la concentration en SiO<sub>2</sub> exprimée en concentration d'acide silicique H<sub>4</sub> SiO<sub>4</sub>,
- \* la concentration en cations basiques (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>),
- \* le pH déterminé en particulier par les acides organiques,
- \* la température dont l'augmentation régit la vitesse des réactions et la possibilité de dissolution des ions dans l'eau,
- \* la vitesse de circulation de l'eau dans le milieu (drainage) exprimant les conditions de confinement ou de lessivage.

### 5.4 Cas du Fer

La solubilité du Fe dépend de la stabilité du système Fe<sup>2+</sup> / Fe<sup>3+</sup>. De plus, l'hydroxyde ferrique, hydrolysant insoluble, peut être solubilisé par ionisation en pH acide.



*Fig. N°. 1.3 Stabilité du système Fe<sup>2+</sup> / Fe<sup>3+</sup> en fonction de l'Eh et du pH pour une solution diluée à température de 25°C et pression atmosphérique.*

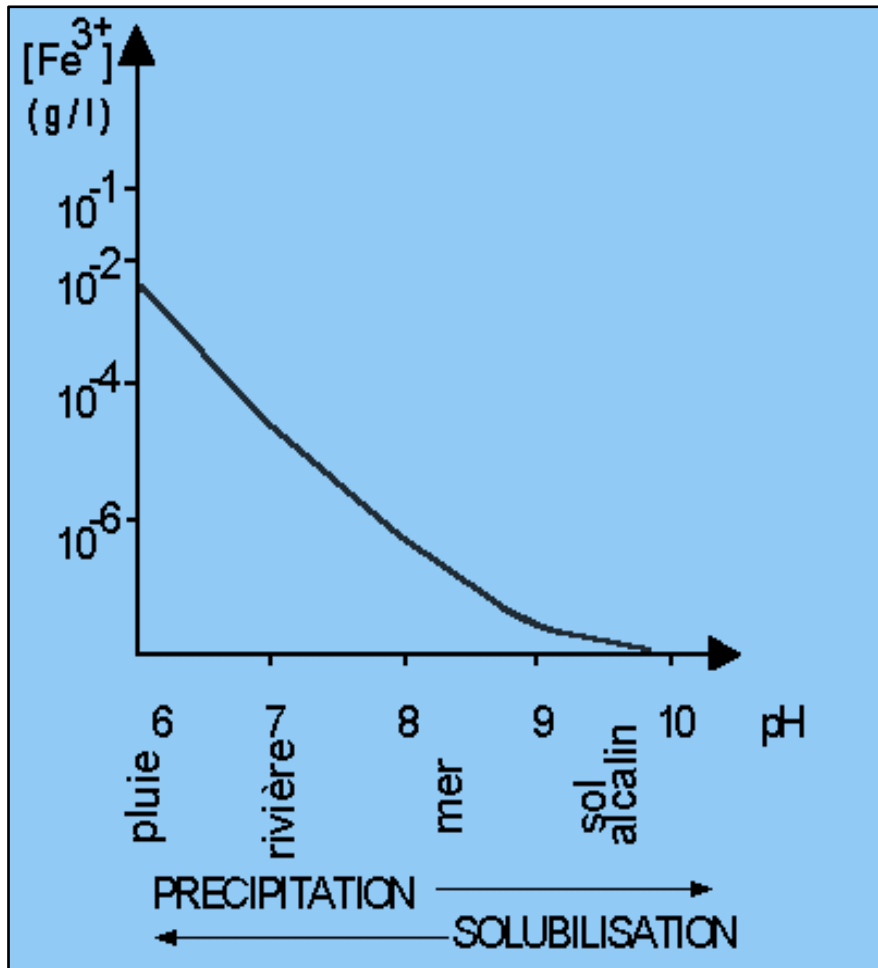


Fig. N°. I.4 : solubilité du Fe<sup>3+</sup> en fonction du pH de la solution.

Dans les conditions naturelles, l'état d'oxydation du fer dépend du pH: le fer ferreux est stable à pH acide, le fer ferrique à pH basique. Dans les milieux à l'abri de l'air (sol, fond de marécage...) le fer est à l'état ferreux ; il passe à l'état ferrique au cours de l'altération à l'air. Il est lessivé en partie par l'eau de pluie légèrement acide et transporté par les rivières. Arrivé dans l'eau de mer à pH basique, sa solubilité diminue fortement et il précipite.

#### I.2.1.4. Solubilité de la silice

Elle est principalement sous forme d'acide silicique H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>; l'eau de rivière en contient environ 13 mg/l. Le pH a peu d'action sur sa solubilité dans les conditions normales (la solubilité de la silice augmente au-delà de pH = 9). Il y a en fait relativement peu de silice transportée car les ions Al<sup>3+</sup> réagissent sur elle pour donner des amas colloïdaux silico-alumineux peu mobiles. La *figure 7* montre la solubilité du quartz en fonction du pH et de la température. L'axe des ordonnées indique la quantité de silice perdue par le cristal et passant en solution. Cette quantité est grossièrement multipliée par 10 entre 0 et 60°C ; l'action du pH ne se fait sentir qu'au-delà de pH = 9.

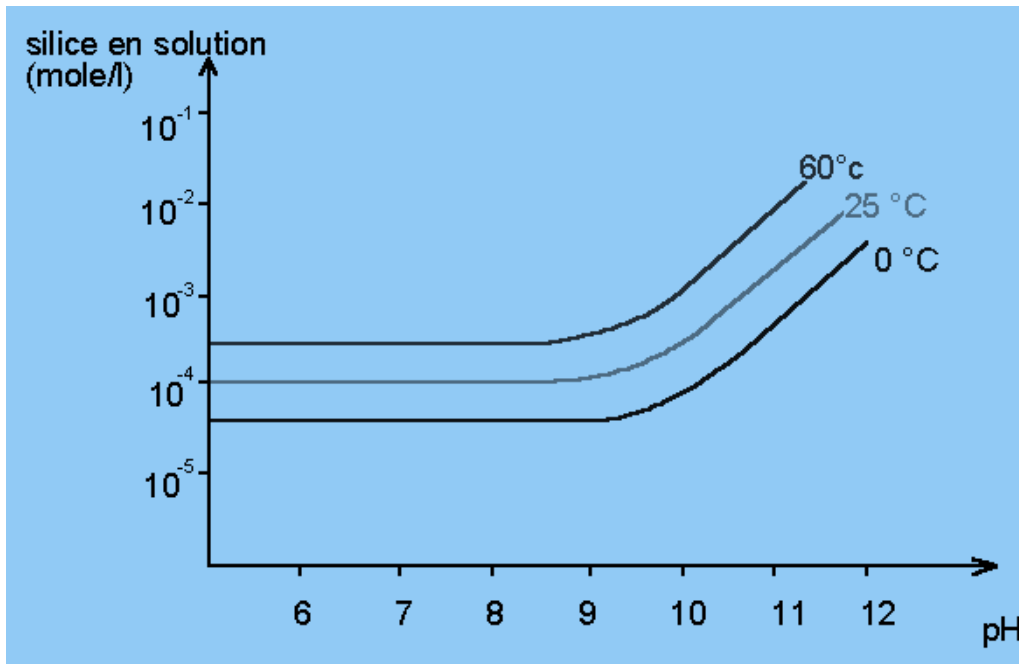


Fig. N°. 1.5: solubilité de la silice.

Les figures montrent les champs de stabilité de quelques minéraux, dans les conditions de surface ( $t = 25^{\circ}\text{C}$ , pression atmosphérique), en fonction de la concentration en silice et en cations. On voit que l'albite est stable pour des concentrations en  $\text{Na}^+$  et silice élevée; quand ces concentrations deviennent faibles, l'albite est totalement hydrolysée en gibbsite, hydroxyde d'aluminium de formule  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (ou  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ; pour des teneurs moyennes, elle est hydrolysée partiellement et se transforme en kaolinite ou en smectite sodique selon la teneur en ion  $\text{Na}^+$ . Le même schéma est observé pour l'anorthite (plagioclase calcique); le champ de stabilité de la smectite calcique est plus vaste; ce minéral sera plus commun dans les produits d'altération.

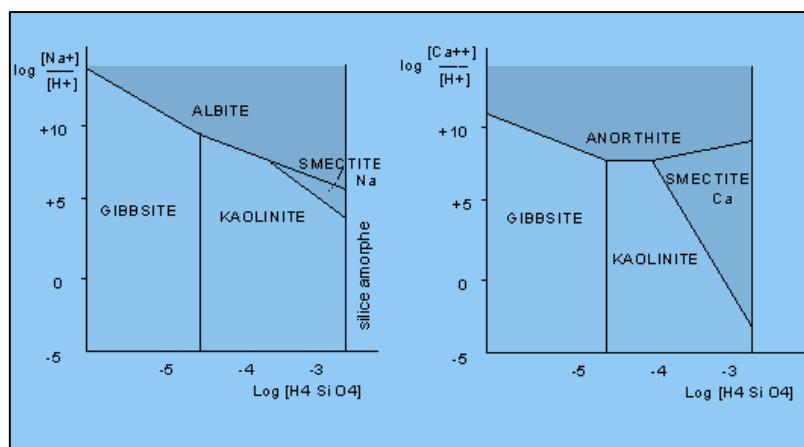


Fig. N°. 1.6: champ de stabilité de quelques minéraux

### **I.3. INFLUENCE DE COMPOSITION DU SOL SUR LA MINERALISATION DES EAUX DES NAPPES SUPERFICIELLES**

#### **I.3.1. Définitions**

Le sol est la couche la plus externe de la croûte terrestre résultant de l'interaction entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants de pédogenèse. Tous les sols qui prennent ou ont pris naissance à la surface de la lithosphère forment la pedosphere

Le sol est fait de :

- Particules organiques de matières végétales et animales en décomposition provenant d'organismes végétaux et animaux vivants.
- Particules minérales telles que du sable, de l'argile, des pierres ou du gravier, qui faisaient partie autrefois de roches plus grosses.

#### **I.3.2. Les sols minéraux**

Les sols minéraux proviennent d'une roche originelle appelé roche mère. Ils évoluent avec le temps, la roche mère se dégrade sous l'effet de différents phénomènes, physiques, chimiques et biologiques, dus à l'action du climat, du drainage, du lessivage, de l'érosion, de la végétation et des organismes vivants. C'est ce qu'on appelle altération.

#### **Il y a deux sortes de sols minéraux**

a) Le sol formé à partir d'un matériau d'origine qui se décompose sur place en petites particules par suite de l'altération. On les appelle sols résiduels. Il se trouve généralement dans les collines; ils s'étendent jusqu'au bas des versants, le long des bords des vallées. Il est rare que l'on trouve des sols résiduels sur de grandes étendues planes. Ils se situent le plus souvent dans des zones allant de la pente douce aux escarpements abrupts. La présence de roches entières ou de débris rocheux partiellement décomposés dans le sous-sol indique que le sol résiduel s'est formé sur place.

b) Le sol minéral se forme à partir de petites particules provenant de sols minéraux situés ailleurs, qui ont été transportés sur une certaine distance et qui se sont déposées. On les appelle sols sédimentaires. Les particules ont été transportées par l'eau, le sol provient d'alluvions, et le sol sédimentaire qui en résulte est un sol alluvial. Le sol peut être emporté par de l'eau en mouvement, comme la pluie, les rivières ou les marées. Le transport peut avoir eu lieu autrefois, ou être encore en cours. Les sols alluviaux présentent le plus grand



intérêt pour la pisciculture. On les trouve dans des zones appelées plaines de sédimentation, on le relief est généralement en pente douce ou presque plat. La composition d'un sol alluvial est souvent telle que la teneur en argile est suffisante pour retenir l'eau et permettre la construction des digues

### **I.3.3. La capacité d'échange cationique d'un sol**

Le complexe colloïdal ou complexe argilo-humique (CAH) est une association d'argile et d'humus (colloïdes du sol) chargés négativement, et d'ions minéraux chargés positivement (cations) liant l'humus et l'argile entre eux (ponts calcique ou ferrique). Il s'agit d'un complexe adsorbant qui a la propriété de retenir des cations présents dans la solution du sol ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $H^+$ ) par des interactions électrostatiques. Ces éléments chargés positivement peuvent alors attirer des anions ou groupements anioniques : les phosphates  $PO_4^{3-}$ . On parle d'adsorption (CEC ou T pour capacité totale) d'un sol est la quantité de cations que ce dernier peut retenir sur son complexe adsorbant à un pH donné.

La capacité d'échange cationique (CEC) correspond par conséquent au nombre de sites négatifs dans la matrice du sol. Chaque sol a une CEC bien précise qui correspond à la somme S des principaux cations : calcium, potassium, magnésium, sodium et ammonium nommée "somme des bases échangeables". Cette CEC est en quelque sorte le garde-manger du sol. Plus le sol est riche en argile et matière organique, plus sa CEC est importante.

***CHAPITRE II***  
***PRESENTATION DE LA REGION DE***  
***L'ETUDE***



## II.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE :

La wilaya de Tamanrasset, se situe dans l'extrême sud du pays, elle est frontalière avec deux pays voisins à savoir le Mali et le Niger et partageant les limites de wilayas avec : Adrar, Ghardaïa, Ouargla et Illizi. Elle est positionnée entre les parallèles longitudinales 4° et 7° et entre 22° et 24°, latitudinales. L'Oued Tamanrasset se trouve sur le territoire de la wilaya de Tamanrasset se situant à l'extrême Sud Est de l'Algérie, son bassin versant s'étend sur une superficie de 48.915 Km<sup>2</sup> et une population plusieurs que 108000 habitants (2020-2021), ce travail se limite dans ce travail qu'à une partie très infime constituant le tronçon aval et la moindre active de l'oued Tamanrasset et qui est situé près de la ville de Tamanrasset (1358 m) Djebel Hadriane.

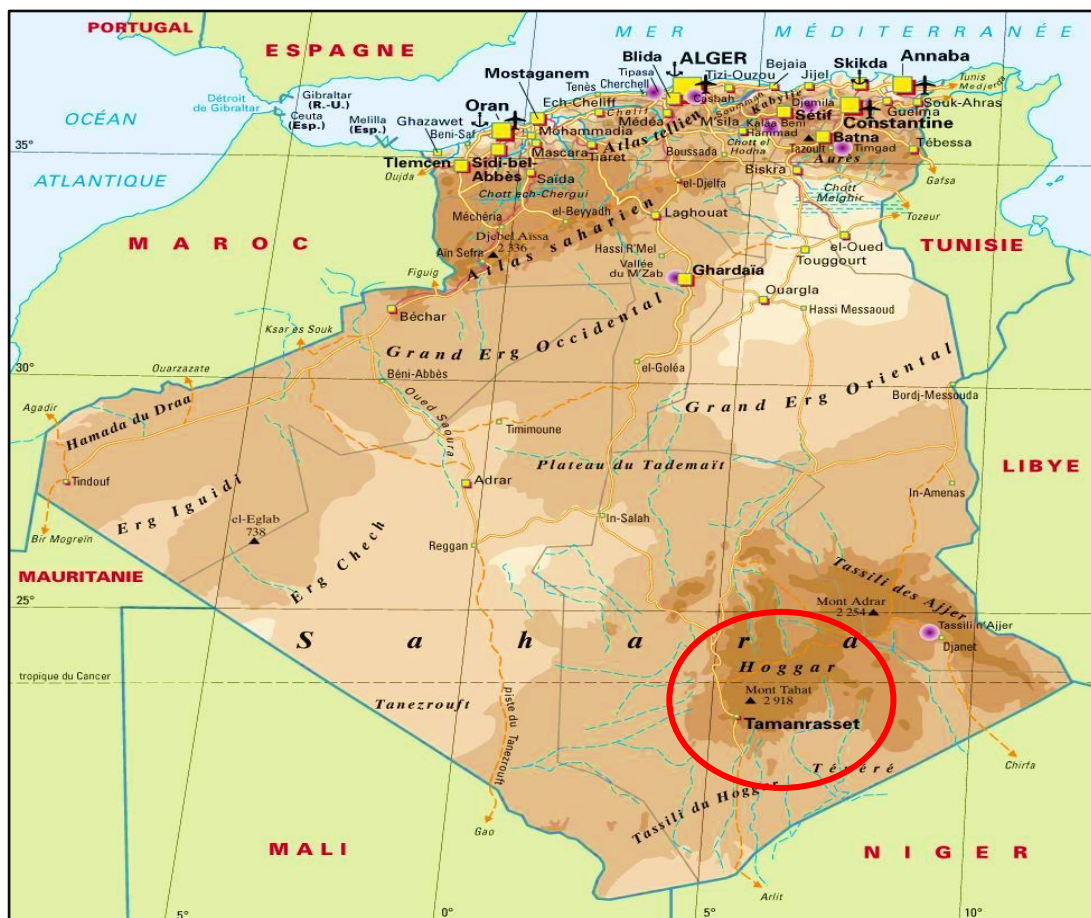


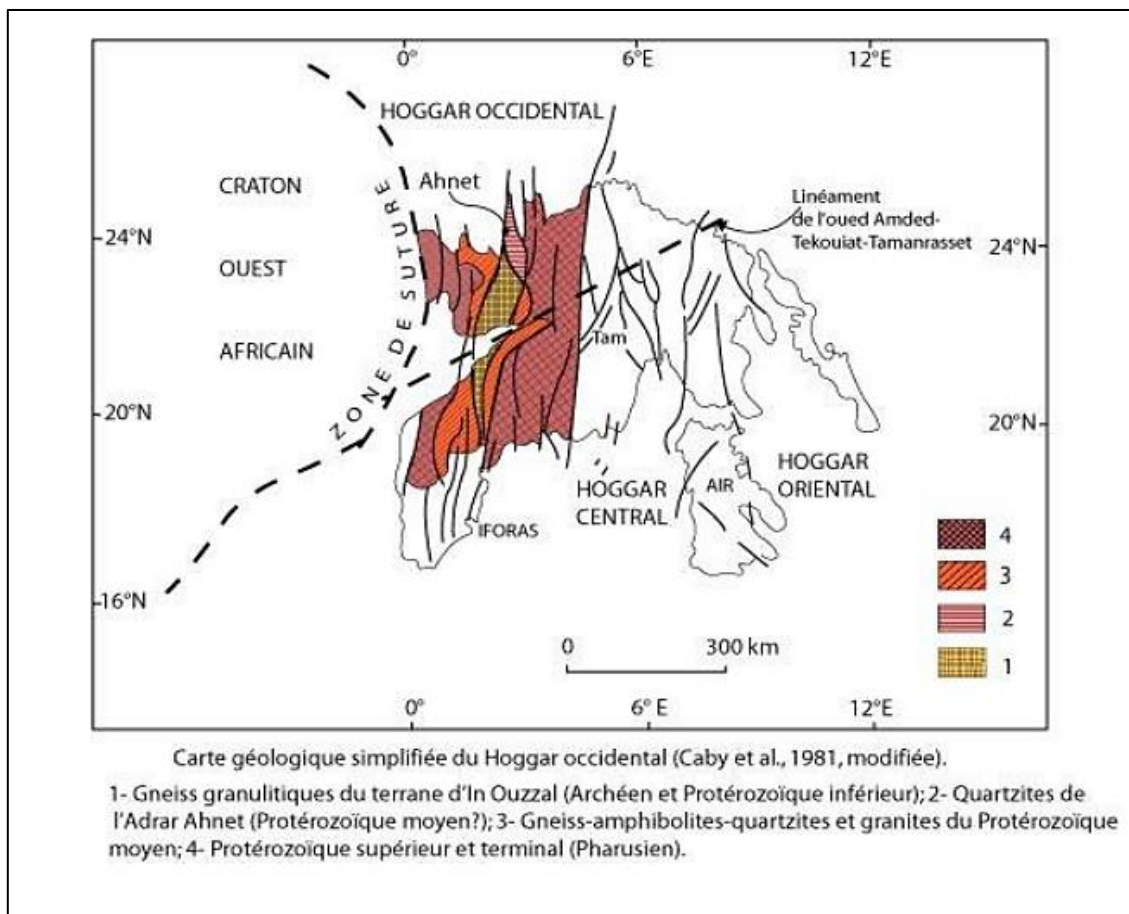
Fig. N°. II.1: Carte géographique de la zone d'étude(Aouras.org)

## II.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL DU HOGGAR :

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, sa topographie est la plus élevée, la montagne Tahat (2918 m). De nombreuses études géologiques que l'on peut subdiviser en deux étapes à partir desquelles résultent 02 théories

### II.2.1 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 830, à joux 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. N°. II.2 : Carte schématique des différents domaines du Hoggar (Caby et al ; 1981 modifiée).**

### **A. Le Hoggar occidental, ou chaîne Pharisienne (panafricaine)**

Constitué de matériel peu métamorphisé du protérozoïque supérieur (méta sédiments), d'une structure en host et grabens.

### **B. Le Hoggar central polycyclique**

Ses formations sont affectées par des événements tectono-métamorphiques d'Age divers. L'absence de datations absolues suffisantes ne permet pas de déterminer avec précision leurs âges. Il a été défini deux ensembles, le Pharusien surmonté par le Suggarien composé essentiellement de gneiss d'après (Kilian 1952).

### **C. Le Hoggar oriental**

Ce compartiment délimité par un grand accident subméridien 8°30'. Sa limite Est (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.

## **II.2.3. 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 soudés pendant l'orogénèse panafricaine (600 Ma). Le Bouclier Targui est présenté comme une juxtaposition de terrains ou de blocs d'orientation méridiennes.

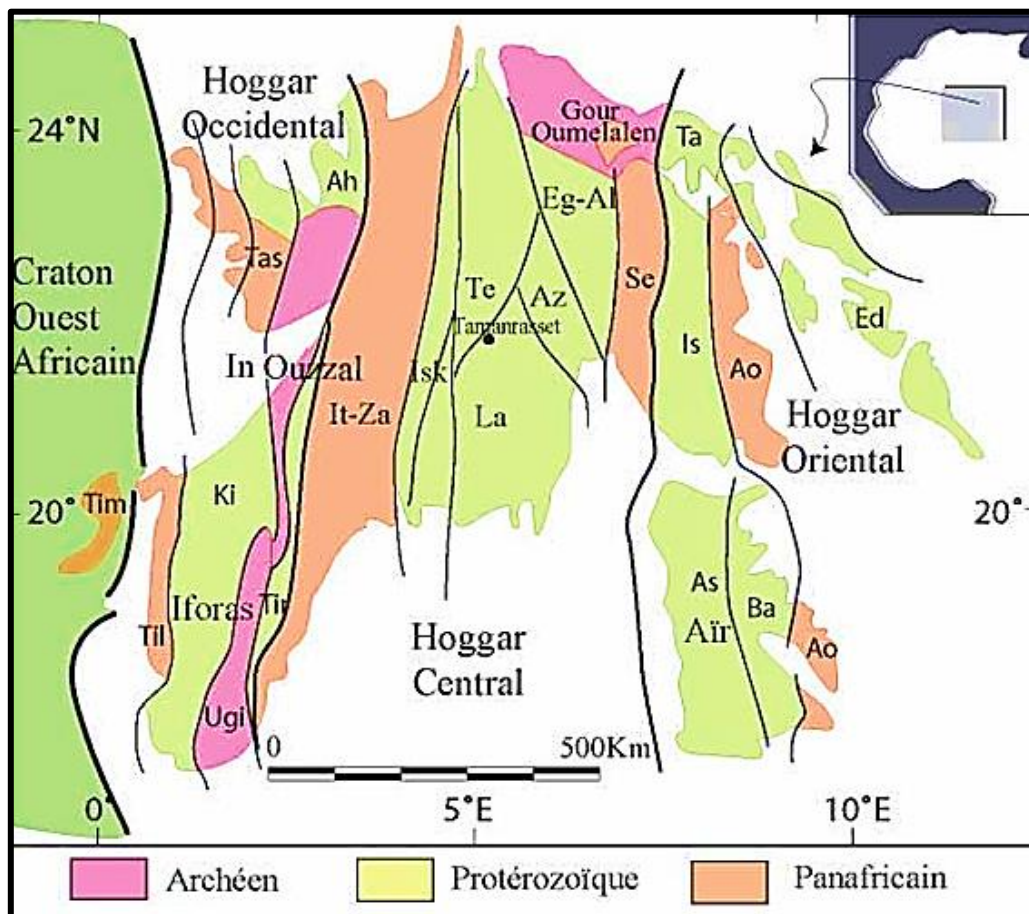
Vingt-trois terranes ont été définies caractérisées, par de complexes géologiques et d'association métrologique, les études de ces terranes ont permis de mettre en évidence trois grands blocs de lithologie et de structure différents.

Les trois domaines classiques du Hoggar sont composés des blocs suivants

- Hoggar Occidental (d'est en ouest): Iskel: (Isk). In Teiden (It), Tin Zaoutène: (Za), Tirek: (Tir), Ahnet: (Ah); In-Ouzzal: (Ou); Unité granulite Iforas: (Ugé), 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-AD), Sérouenout: (Se); Tazat: (Ta), Tchilit (Tch), Assode-Issalane.(As-is).

Hoggar Oriental (d'ouest en est): Barghot: (Ba); Aouzegueur: (Ao), Edembo: (Ed). Djanet : (Dj).



*Fig. N°. II.3 : carte des différentes terrains de Hoggar (d'après Liégeois et al., 2000)*

### II.3. Le contexte géologique local

Le secteur d'étude appartient à L'AHAGGAR central polycyclique montagneux. Limité à l'Ouest par l'accident du 4°50 ce dernier souligne une large bande mylonitique subméridienne.

L'AHAGGAR central polycyclique est caractérisé par une évolution polycyclique depuis l'éburnéen jusqu'au panafricain.

Il comprend des formations très métamorphisées du précambrien, à savoir des granitoïdes suggérant de différents âges des formations volcaniques, de la fin cénozoïque et début quaternaire, ainsi que des dépôts quaternaires.

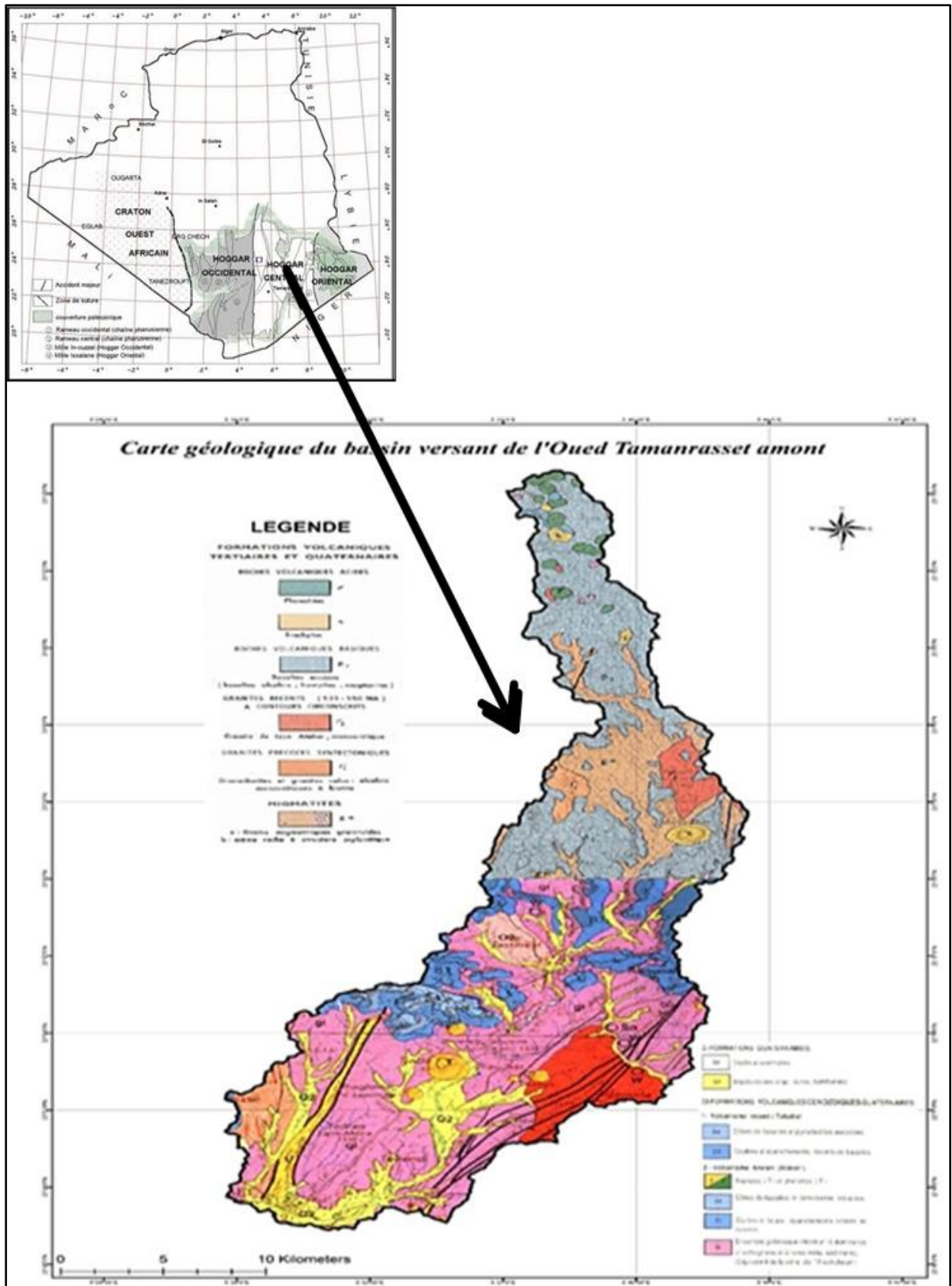


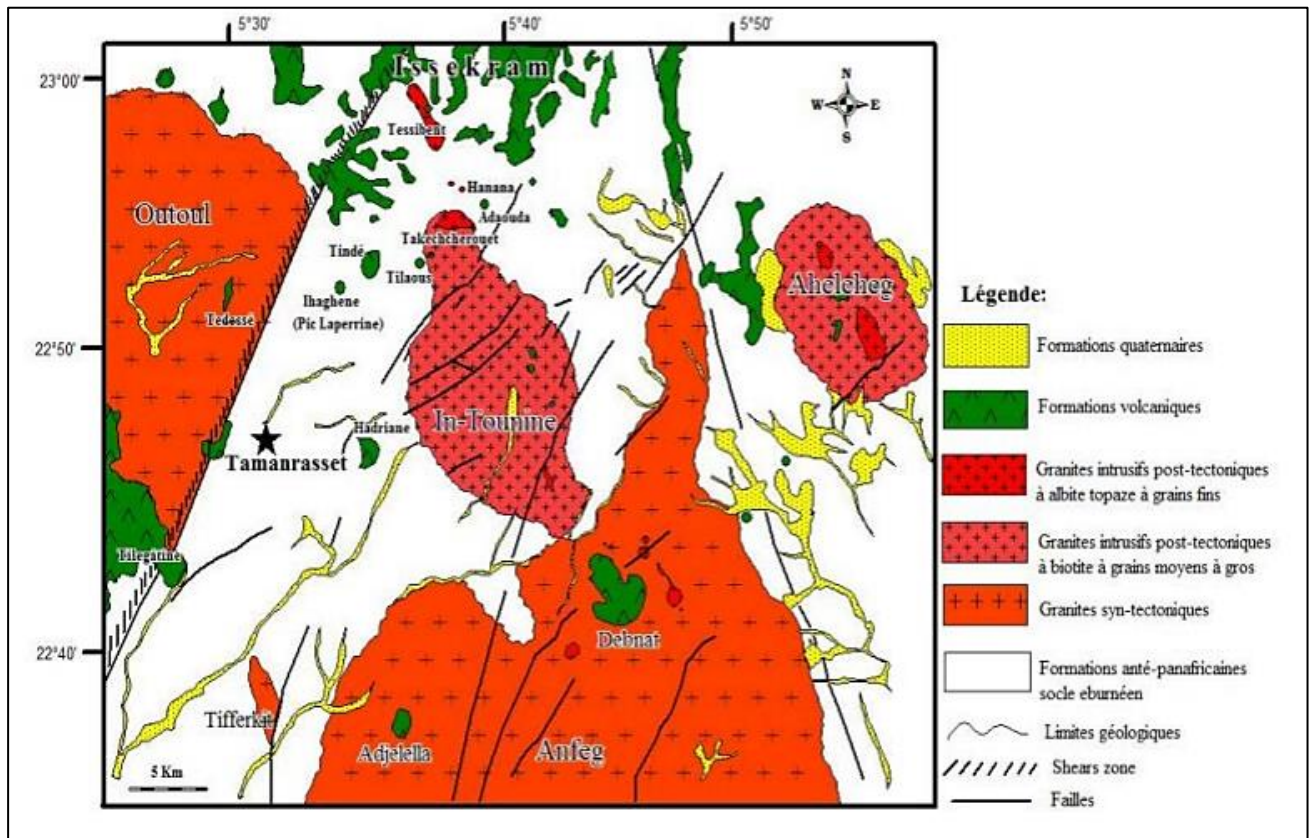
Fig. N°. II.4: Carte géologique de bassin versant oued de Tamanrasset

### I. 3.1. Les ensembles géologiques :

#### I. 3.1.1. Les formations métamorphiques :

Elles sont représentées par deux séries (L-LATOUCHE 1978) appartenant à l'ensemble du suggérez :

- Une série inférieure de l'Arrechoum.
- Une série supérieure de l'Aleksod.



*Fig. N°. II.5 : Carte géologique simplifiée de la région de Tamanrasset.*

#### I. 3.1.2. Les granites

La chaîne suggarienne est recoupée par des venues granitiques Les plus anciens granites sont liés aux grandes zones des migmatites. Et sont syntectoniques (650.600Ma), (granites d'Aguenar): les autres sont moins importants, mais plus intrusifs et sont représentés par les granites dits TAOURIRT.



**I 3.1.3. Les formations volcaniques**

L'observation de la carte géologique, la présence de deux centres volcaniques bien individualisés, d'une part des épanchements basaltiques qui couvrent la moitié supérieure du bassin versant de l'oued Outoul formant les zones de reliefs (plateau d'Assekrem), d'autre part ils occupent les parties avales du bassin versant, où ils sont rattachés au centre volcanique de la TAHALGHA SATAFET.

On observe, en outre des épandements basaltiques isolés, dont les coulées coiffent par endroit les arènes granitiques et les alluvions d'oued. Notre zone d'étude étant traversée par une bande mylonitique (faille 4°50), le volcanisme y est représenté par des basaltes alcalins, trachytes et phonolites (M.GIROD 1971), caractéristique des zones de distension (J.FABRE 1976).

**I.3.1.4. Les alluvions de l'oued :**

D'une manière générale, les alluvions d'oueds sont assez développées dans les parties moyennes des bassins versant comme c'est le cas à Tamanrasset.

Le fond des oueds est recouvert par un matériel détritique mal calibré, qu'est remanié et bouleversé d'une manière chaotique à chaque crue.

Le profil géologique type, dans une vallée alluviale de l'AHGGAR, montre habituellement, de haut en bas :

**A-** des alluvions sableuses 10 à 20 m qui surmontent.

**B-** une couche d'altération du socle 10 à 30 m, cette dernière repose sur ;

**C-** un socle fissuré, qui passe progressivement.

**D-** le socle sain.

## **II.4. Contexte hydrologique :**

Les oueds de la région du Hoggar présentent généralement dans leur partie amont, une zone montagneuse de forte pente et des lits relativement bien encaissés. Dans la partie basse, occupée par des regs.

La pente de l'oued est estimée entre 4% et 5%, les bordures du lit mineur forment une (terrasse) sablo- limoneuse élevée de 0,5 à 1m sur laquelle est installée la plus grande partie des exploitations agricoles.

Le Hoggar se situe dans la zone tropicale qui se caractérise par des hautes pressions atmosphériques et une faible pluviosité

Les précipitations dans cette zone ont généralement lieu en été et sont liées aux avancées extrêmes de la « mousson » provenant du sud, c'est-à-dire du Golf Guinée d'autres pluies moins importantes ont lieu en hiver et au printemps et proviennent du nord.

### **II.4.1. Géomorphologie et hydrographie :**

En prenant les « Tassilis internes » comme repères. on constate une dissymétrie dans le relief du Hoggar. Les Tassilis sont partout très bas vers ouest et le sud-est (moins de 500 m d'altitude) alors qu'ils deviennent très élevés vers le nord et le nord-est (plus de 1900 m).

Le relief du socle cristallin se relève régulièrement lorsqu'on se dirige de l'ouest et du sud-ouest vers le centre du massif (l'Atakor). Au nord et à l'est, le Hoggar reste montagneux et ne descend au-dessous de 1000 m que dans les vallées des grands oueds. Le sommet de l'Atakor dépasse 2800m.

Les points qui culminent au niveau du Hoggar sont généralement constitués de roches résistantes (quartzites) ou par des édifices volcaniques.

#### **II.4.1.1. Morphologie de la cuvette de l'Adriane :**

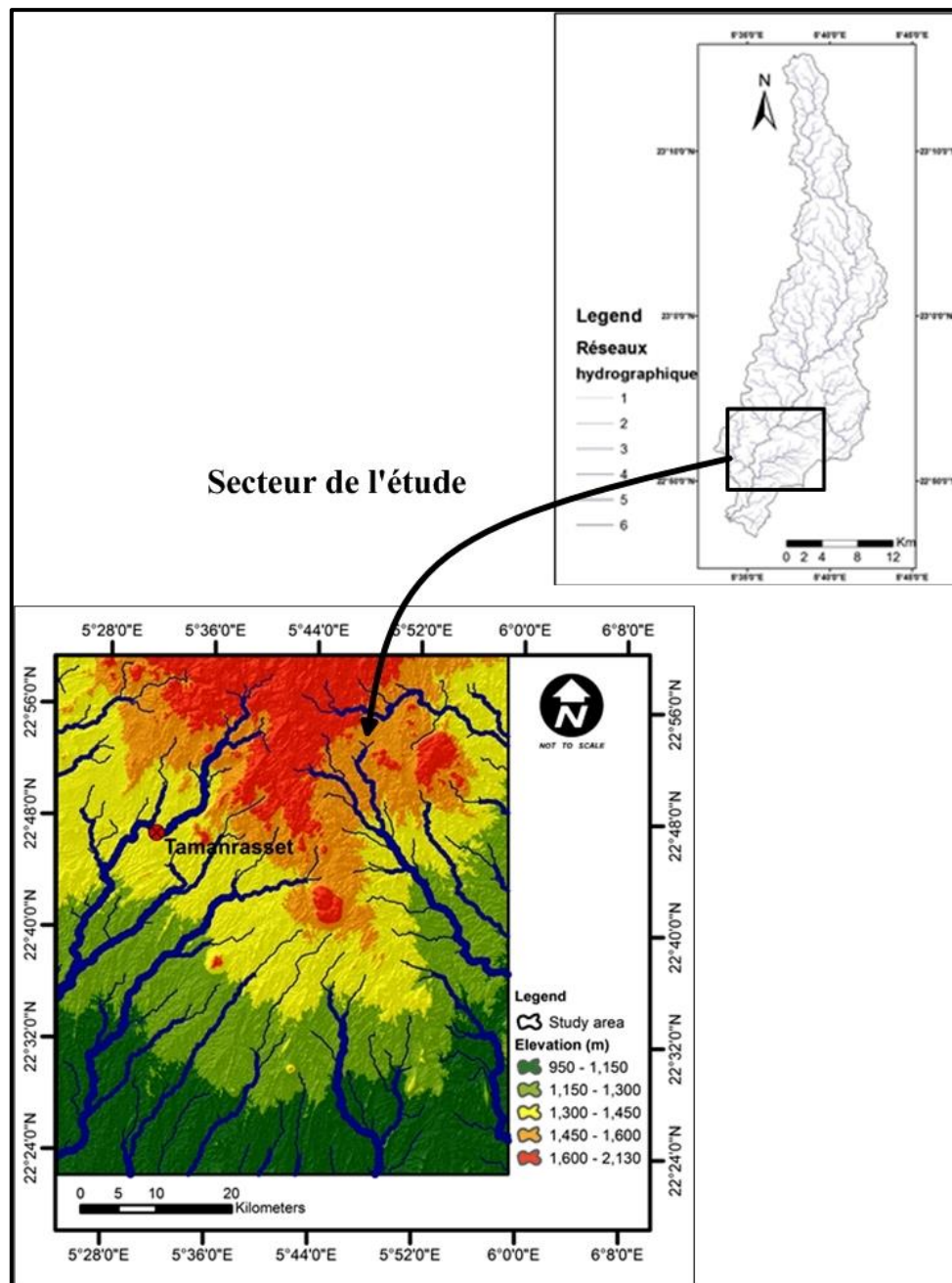
Les oueds de la région du Hoggar se présentent généralement dans leur partie amont. Une zone montagneuse, de fortes pentes et des lits relativement bien encaissés. Dans les parties basses, occupées par des regs, leurs cours deviennent difficilement identifiables. Les pentes, dans l'ensemble du massif de l'Atakor, sont relativement douces. On notera l'importance particulière de surfaces quasi-tabulaires liées aux épanchements d'origine volcanique. La cuvette de l'Adriane est située au Nord-Nord-Est de la ville de Tamanrasset, elle correspond à un élargissement de l'oued rempli d'alluvions et encaissé par des bordures gneissiques.

D'un point de vue géomorphologique. Elle se distingue nettement des reliefs environnants puisqu'elle est entièrement plane. La pente moyenne du lit de l'oued est faible, d'environ 0.5 %.

Les bordures du lit mineur forment une « terrasse » sablo-limoneuse élevée de 0,5 à 1 m, sur laquelle est installée la plus grande partie des jardins.

#### **II.4.1.2. Hydrographie**

Le système hydrographique de la zone d'étude se matérialise par une succession d'oueds. D'orientation nord-sud. Drainant le flanc sud du massif de l'Atakor, et disparaissant sur le pourtour du massif de l'Ahaggar, après un parcours de plusieurs centaines de kilomètres. Les bassins versants présentent généralement des formes longitudinales. Oued Tamanrasset occupe le versant sud-ouest du Hoggar. Il fait partie du grand bassin versant du Sahara occidental qui couvre 2 400 000 Km<sup>2</sup> de superficie totale.



*Fig. N°. II.6: Carte montrant la position du séteur de l'étude du sous bassin del'Oued Tamanrasset*

#### II.4.1.3. Caractéristiques de forme :

Comme signalé plus haut, c'est essentiellement dans le massif volcanique de l'Atakor, au niveau des reliefs de l'Assekrem, que prennent naissance les crues importantes du bassin versant de l'Oued Tamanrasset. La portion amont de bassin prise en compte dans notre étude s'étend du 22° 46' au 23° 16' de latitude Nord et du 5° 33' au 5° 43' de longitude Est. La limite sud est située à près de 2 km à l'aval. La zone concernée occupe une superficie de 422 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 141 km.

Le cours d'eau principal de l'oued traverse la ville de Tamanrasset suivant une direction générale Nord-est – Sud-ouest.

<b>Superficie A (Km2)</b>	<b>422 km<sup>2</sup></b>
<b>Périmètre P (Km)</b>	<b>141 km</b>

#### II.4.1.4. Indice de forme :

La forme du bassin est déterminée par l'indice de compacité de graveleuse  $K_g$ . Il est exprimé par le rapport du périmètre (**P**) du bassin à celui d'un cercle de même superficie (**A**). Elle se présente sous une forme allongée avec un coefficient de Graveleuse de 1.92.

$$KG = \frac{0.28 \times P}{\sqrt{A}}$$

**KG** : Indice de compacité graveleuse.

**P** : périmètre.

**A** : superficie.

#### II.5. Etude climatique :

Pour identifier le régime climatique de la région de Tamanrasset, nous nous sommes basées sur les données climatiques, de deux stations météorologiques O.N.M de la région, situées dans le bassin versant de l'Oued Tamanrasset : la station de Tamanrasset et la station de l'Assekrem.

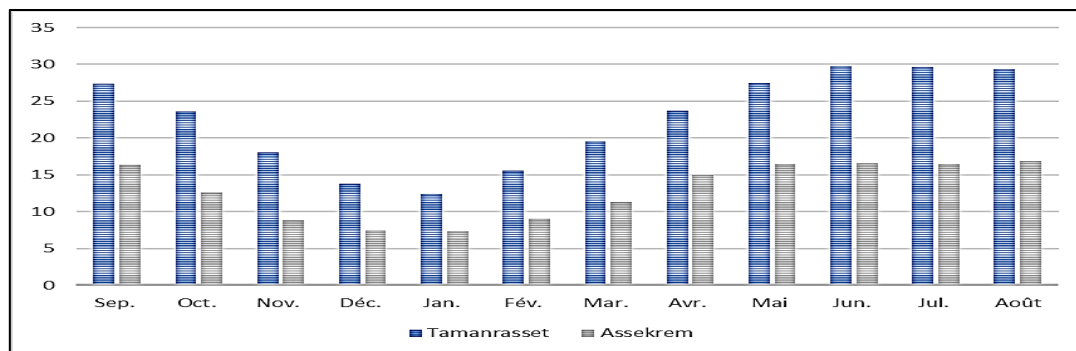
##### II.5. 1. Température :

La température de l'air est un paramètre ayant une grande influence sur le bilan hydrologique. Elle conditionne l'évaporation et. Les températures moyennes mensuelles observées au niveau des deux stations concernées sont portées dans le tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1 : températures moyennes mensuels de station de Tamanrasset et de l'assekrem**

Station	Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun.	Jul.	Août
<b>T (°C)</b>	Tamanrasset	27.4	23.6	18	13.8	12.4	15.6	19.5	23.7	27.5	29.7	29.6	29.3
	Assekrem	16.4	12.6	8.8	7.4	7.3	9	11.3	15	16.5	16.6	16.5	16.9

La station de l'Assekrem, située à 2710 m d'altitude alors que la station de Tamanrasset n'est qu'à 1372 m, présente une température moyenne annuelle assez faible, égale 12.9°C, comparativement à celle Tamanrasset égale à 22.5°C, soit un différentiel de 9.6°C. Le graphe représentatif des températures moyennes montrent que tous les maximums sont observés en saison estivale (juin à août) alors que les minimums apparaissent au mois de janvier avec une valeur de 12.4°C pour la station de Tamanrasset et 7.3°C pour la station de l'Assekrem.



**Fig. N°. II.7: fluctuation des températures moyennes mensuelle des stations de Tamanrasset et de l'assekrem**

### II.5.2. Humidité :

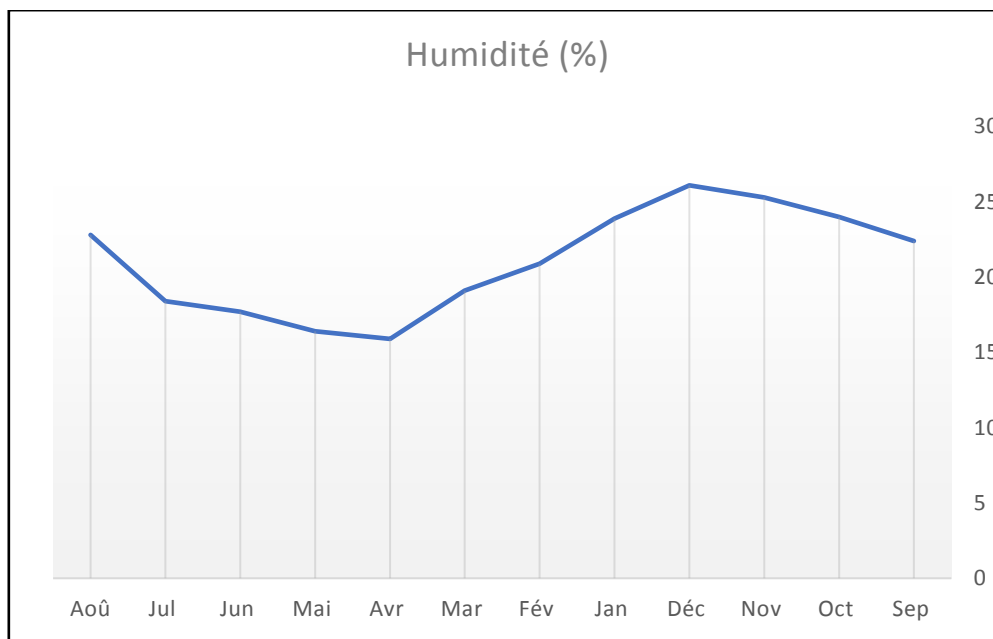
L'humidité de l'air s'exprime par le degré hygrométrique ou humidité relative et la tension de vapeur d'eau qui y est contenue.

Les valeurs des moyennes mensuelles de l'humidité observée à la station de Tamanrasset au cours de la période 1980/2015, figurent dans le tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 2 : Humidité relative moyenne (en%)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
<b>Humidité (%)</b>	22.4	24.0	25.3	26.1	23.9	20.9	19.1	15.9	16.4	17.7	18.4	22.8

D'après le tableau et la figure, on observe qu'au cours de l'année, l'humidité atmosphérique passe par un maximum au mois de décembre et un minimum en avril.



**Fig. N°. II.8 : Valeurs de l'humidité relative mensuelle relevée à la station de Tamanrasset (1980-2015)**

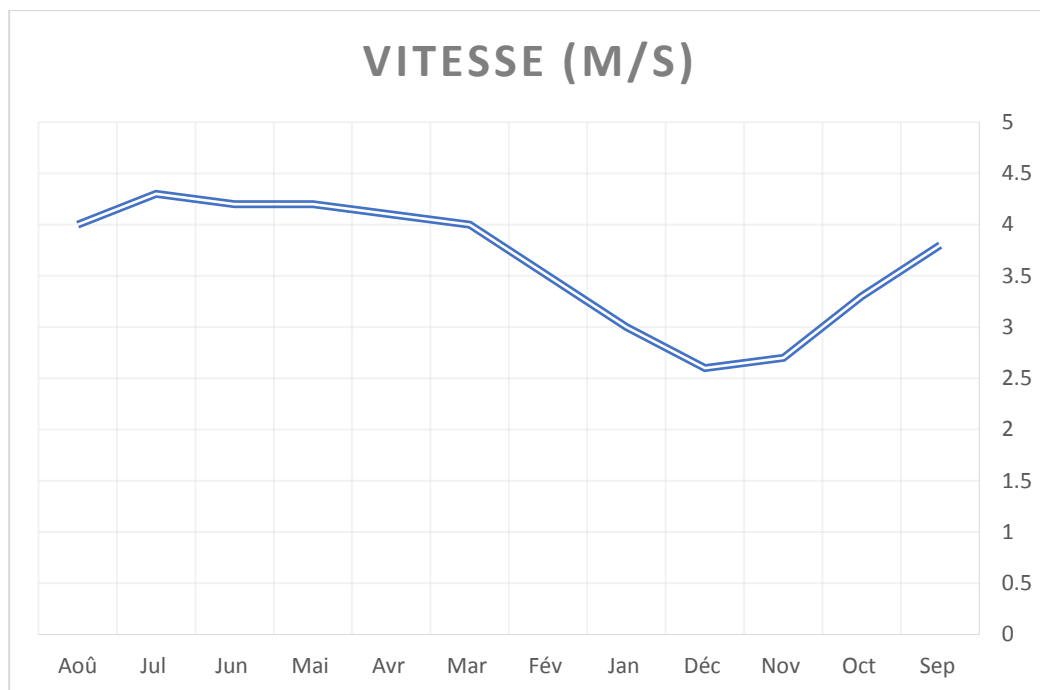
### II.5.3. Vent :

Les valeurs des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station de Tamanrasset sur une hauteur de 10 m sont présentées dans le tableau 3

**Tableau 3 : Vitesses Moyennes mensuelles des vents (en m/s).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
Vitesse (m/s)	3.8	3.3	2.7	2.6	3.0	3.5	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.0

Les vents dont la vitesse est supérieure à 4 m/s sont relativement fréquents durant les mois de mars à juillet avec une valeur maximale égale 4.3 m/s enregistrée en ce dernier mois. Elles ont des vitesses inférieures égales à 2.7 et 2.6 m/s enregistrées respectivement au mois de novembre et décembre.



**Fig. N°. II.9 : vitesse mensuelle de vent**

**II.5.4. Précipitation :**

La région du Hoggar est connue pour se caractériser par des précipitations annuelles tombant essentiellement pendant les mois de juillet et août, et restant notables en septembre. Dans ce cadre climatique, l'irrégularité de la pluie, à l'échelle spatiale et temporelle, est un caractère prépondérant. La variabilité spatio-temporelle des précipitations est accentuée dans cette zone saharienne, où la pluviométrie, en moyenne interannuelle, est faible et où certaines années ne connaissent pas de pluie.

**II.5.5. Précipitations moyennes mensuelles :**

Les valeurs des précipitations moyennes mensuelles enregistrées pour les deux stations sont représentées dans le tableau 4 pour deux périodes.

**Tableau 4 : précipitation moyennes mensuels**

Mois Station		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
Précipitation (mm)	Tamanrasset (1980/2015)	☞ 5.5	☞ 7.25	☞ 0.85	☞ 1	☞ 1.46	☞ 1.28	☞ 5.6	☞ 1.19	☞ 2.56	☞ 7.73	☞ 7.29	☞ 11.01
	Assekrem (1980/2015)	☞ 20.21	☞ 13.7	☞ 6.61	☞ 4.18	☞ 3.69	☞ 2.14	☞ 7.61	☞ 4.76	☞ 7.87	☞ 13.02	☞ 16.04	☞ 23.53

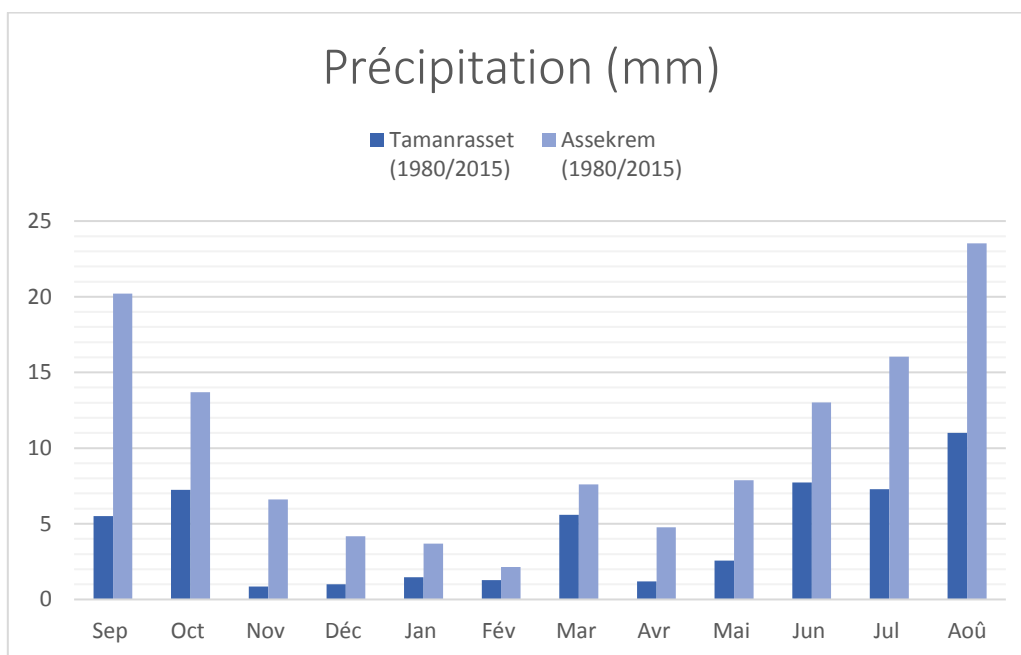
Les histogrammes de variation des précipitations moyennes mensuelles (Fig. 5) permettent de distinguer pour la période 1980/2015 :



- Une saison pluvieuse qui s'étale d'avril jusqu'à septembre, où la hauteur des pluies atteint son maximum en août (23.53 mm) à la station de l'Assekrem et 11 mm à la station de Tamanrasset.

- Une saison sèche, d'octobre ou novembre à février pour les deux stations.

Il est à signaler que la moyenne de la hauteur de pluie importante constatées au mois de mars au niveau des deux stations au cours de la période 1980/2015 a été fortement majorée par les valeurs exceptionnelles enregistrées au cours du mois particulier de mars 2015 au niveau des deux stations : Assekrem (96 mm) et Tamanrasset (47 mm).



**Fig. N°. II.10 : précipitations moyennes mensuelles**

## II.6. CONCLUSION

Les structures géologiques du Hoggar sont complexes et fortement tectonisées, à la faveur d'un dense réseau de failles et des plissements accentués. Le complexe alluvionnaire s'est développé sur un faciès métamorphique de type gneissique et qui forme le substratum. Il s'agit d'un gneiss rubané, à grains grossiers, mésocrate. Des granites d'âge suggarien juxtaposent les formations métamorphiques de même âge dont fait partie le substratum.

Les failles d'extension régionale se situent aux contacts des faciès volcaniques et métamorphiques. La faille la plus proche de l'aire d'étude se situe à la limite de la formation gneissique de la cuvette et du relief de l'Adriane volcanique.

En vue de caractériser l'aquifère, nous avons procédé à une description de la nature géologique de la zone d'étude.

Le Nord du bassin versant est formé de plateaux basaltiques recouvrant la majeure partie vers l'Assekrem à 2000 m d'altitude, qui sont eux même traversés par des pointements trachytiques (Adouada, Akar Akar) et des épanchements phonolitiques d'âge Néogène (Fabre, 2005).

Le Sud est constitué par l'alternance de formations granitiques attribuées au Pharusien (Briedge 1993) que l'on trouve sur une vingtaine de kilomètres le long de l'oued Tamanrasset et, un ensemble de gneiss schisteux d'âge Suggarien recouvrant la majeure partie de la zone d'étude.

Les gneiss et schistes ont une tranche d'altération variable pouvant atteindre 10 à 20 m dans les dépressions.

La surface alluviale ne devient importante qu'en aval (13 km<sup>2</sup> en amont et 4 km<sup>2</sup> en aval de la ville de Tamanrasset) où le lit mineur atteint plusieurs centaines de mètres de largeur. Enfin, dans la basse vallée de l'oued, on note plusieurs seuils gneissiques d'importance inégale.

La cuvette de l'Adriane, qui fait le but de notre étude est située sur l'oued Tamanrasset, au centre d'un massif cristallin du Hoggar. Les caractéristiques géométriques du bassin versant définissent une forme allongée qui est en faveur d'une concentration des eaux de crues assez lente à son exutoire.

Le Hoggar, de par sa situation au centre du SAHARA, subit un climat hyper aride caractérisé par de grands écarts thermiques

Cependant, grâce aux effets de l'altitude, la région du Hoggar est connue par son climat relativement doux et arrosé

Les moyennes mensuelles des précipitations à Tamanrasset sont de 7.13 mm à la station de Tamanrasset et à 13.23 mm à la station de l'Assekrem.

La connaissance de la géologie, le climat et l'hydrographie de la région, permettent de caractériser la nappe de l'inféro-flux de l'oued Tamanrasset.

**CHAPITRE III**  
**ETUDE HYDROGEOLOGIQUE**



### **III.1. Introduction :**

Les ressources hydriques de la wilaya de Tamanrasset sont contenues dans :

. Les formations du Sahara central, avec les grès du Continental intercalaire

(Nappe Albienne) localisé au nord dans le Tademait-Tidikelt et à l'ouest dans le Tanezrouft, et avec le complexe terminal constitué de dépôts marins et lagunaires du Crétacé supérieur et l'Eocène dans la partie la plus au nord de la wilaya.

La nature cristalline et cristallophyllienne de l'Ahaggar ne permet pas l'existence de nappes phréatiques, l'eau est alors puisée dans les nappes d'inféoflux alimentées exclusivement par les crues, comme à Tamenghasset, Abalessa Outoul et Ideles, et dans les couches d'altération du socle ancien (granite, gneiss, schistes) captées par des forages peu profonds (dans l'Ahaggar central on estime à 5h m' les quantités d'eau dans l'inféoflux).

La région de l'Ahaggar abrite un complexe de retenues d'eau, ou Gueltas. L'eau est retenue dans des «marmites de géants » creusées dans la roche. Dans la guelta d'Imelcaoulaoune, l'eau arrive par une cascade (dénivelé de 70 mètres) creusée dans un gneiss relativement sain emprunté par l'oued Takech Chrouet, ce tracé est nouveau, il est le résultat d'un soulèvement du socle qui s'est produit il y a 5 millions d'années Comme pour les oueds de la région, le nombre de gueltas est très élevé. On peut citer parmi les plus importantes : Issakarassene, Imeleaoulaoune, Affilale, Tamekrest, Timesserouadjene, et In Ziza. Notons que les gueltas les plus importantes se trouvent dans le massif de l'Atakor, qui reçoit les quantités de pluies les plus importantes de la région. De nombreuses autres retenues permanentes, et d'autres plus ou moins éphémères se retrouvent éparpillées dans toute la région.

### **III.2. LES PRINCIPALES RESSOURCES EN EAU DE LA REGION :**

Les dépressions intra montagneuses constituent les principaux bassins hydrologiques. Il s'agit de larges cuvettes alluvionnaires qui collectent les eaux de ruissellement. A la faveur des infiltrations lors des rares crues, il y a formation de sous écoulements plus ou moins importants dans les principaux oueds de la région périphérique de l'Atakor. Ces ressources, dites d'inféoflux, sont encore mal connues et les pertes naturelles des nappes ne sont pas négligeables.

**Tableau 1 : les principales ressources de Tamanrasset**

<b>Oued Abalessa</b>	32 l/s
<b>Oued In Amguel</b>	40 l/s
<b>Oued Silet</b>	29 l/s
<b>Oued Outoul</b>	20 l/s
<b>Oued Tamanrasset</b>	46 l/s

D'autres aquifères, qui peuvent constituer des réservoirs non négligeables, sont dans les formations volcaniques et métamorphiques liés à la présence de fractures et de fissures. La Source Chapuis en constitue un exemple.

### **III.3. Etudes hydrogéologiques antérieures :**

Certains travaux ont été réalisés par Levassor en 1970. Ces études hydrogéologiques ont mis en évidence les continuités hydrauliques 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 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

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 4.74 10. et certaines zones au fort gradient de (1-1.12 10)

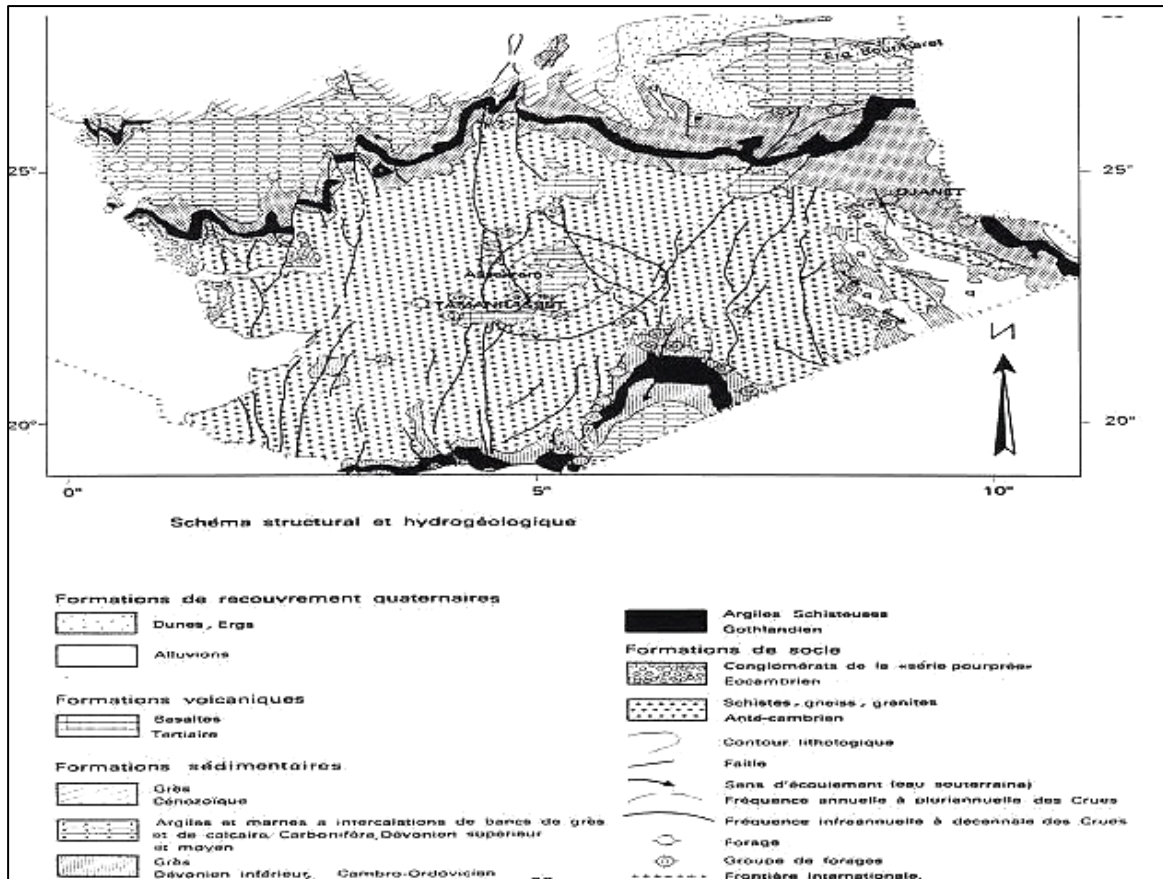


Fig. N°. III.1: schéma structural et hydrogéologique de Hoggar (d'après BRGM)

#### III.4. Délimitation de la zone d'étude :

Le bassin versant se présente sous l'aspect d'un étroit couloir allongé sur 55 Km environ pour une largeur n'excédant pas 13 Km

La cuvette de l'oued, au sens large, s'étend à l'amont de la ville de Tamanrasset, depuis le barrage, sur une distance d'environ 9 Km, pour une surface de 5 millions de mètres carrés

L'aquifère alluvionnaire repose sur le substratum altère. Il est légèrement pentu vers l'aval, La pente du mur des alluvions est d'environ 4‰, et celle de la surface de la cuvette de 5‰

#### ➤ Terrains aquifères :

Les prospections sismiques réalisées en 1959 et 1969 permettent de définir les terrains selon leur vitesse de propagation des ondes.

La succession des terrains de haut à bas est suivante :

Alluvions	Aquifère
Socle altéré	
Socle sain	Socle

L'aquifère s'est développé aussi bien dans les alluvions que la tranche altérée du socle.

➤ **Socle altéré**

On peut schématiser l'altération des roches du socle (gneiss et micaschistes) de la façon suivante:

**1<sup>ère</sup> Phase :** Alteration argileuse des feldspaths. La roche résiduelle riche en argile est pratiquement peu perméable.

**2<sup>ème</sup> Phase :** Formation des arènes plus ou moins argileuse suivant l'altération de la roche mère

**3<sup>ème</sup> Phase :** Elimination de tous les constituants des minéraux plus ou moins solubles Restent les grains de quartz qui donnent un sable.

La capacité de la tranche altérée du socle à emmagasiner et à laisser l'eau circuler dépendra du stade atteint dans cette altération qui tend à produire des roches de plus en plus meubles et perméables

La résistivité du bed rock altéré est relativement constante. On a observé une convergence de facies entre le toit de ce socle altéré et la base des alluvions. On peut donc penser qu'il s'agit

D'arènes plus ou moins argileuses

➤ **Les alluvions :**

Elles sont essentiellement constituées de fragments de roche arrachés au massif de l'Atakor. Extraordinairement variées par leur dimension, leur nature ou leur mode de dépôt, il est impossible d'en donner une image détaillée.

➤ **Socle sain**

L'Oued du Tamanrasset a creusé son lit dans un substratum des roches cristallines 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.



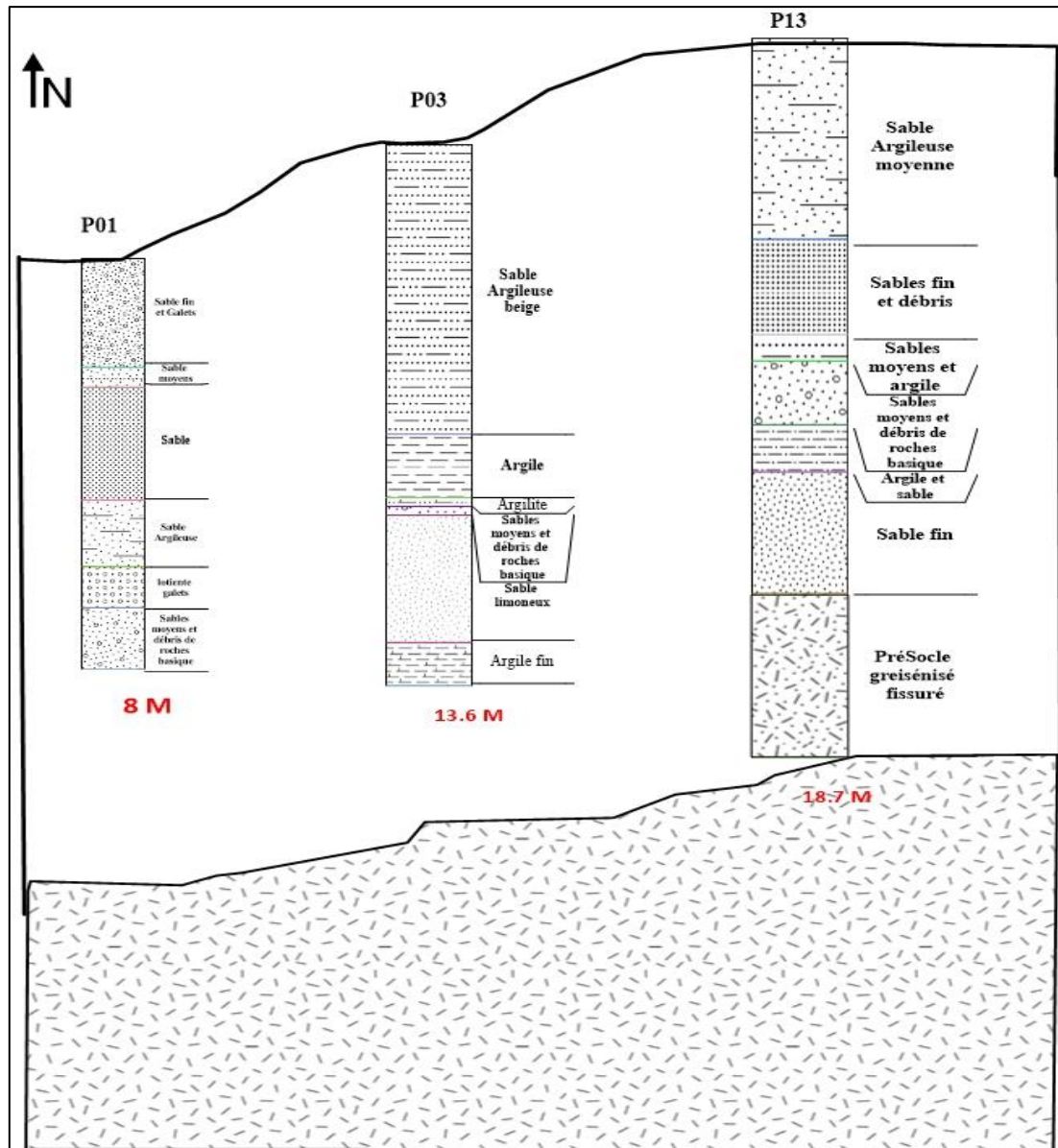


Fig. N°. III.2 : coupe géologique le long à travers de la cuvette de l'oued Tamanrasset

### III.5. Etude de la nappe d'inferoflux et de ses ressources

#### III.5.1. Notion de nappe d'inféro-flux

La mise en place de ce type de nappe s'explique tout d'abord par l'extension du bassin découpé en amont dans le massif de l'Assekrem (ruissellement important en période de crue) et par le développement des alluvions grossières. Il faut signaler que le lit majeur de l'oued emprunte presque la totalité de la largeur des alluvions (200 à 600 m). Par ailleurs, ce lit n'est réellement activé qu'après passage d'une crue qui s'étale sur l'ensemble de la cuvette. Le ruban d'alluvions fonctionne alors comme un vaste drain collecteur de toute l'eau environnante.

### III.6.1. Caractéristiques générales de la nappe :

C'est une nappe de terrains mixtes (alluvions et socle métamorphique altéré, à perméabilité d'interstices et peut-être de fissuration, qui est alimentée périodiquement par sa surface libre en Période des crues de l'oued, et qui est limitée vers le bas par un substratum imperméable, Constitue 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 (Annexe A)

- Latéralement, l'aquifère est délimité par les rives gneissiques continues et étanchés,
- 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
- A l'aval, la limite étanchée du réservoir est constituée par le barrage.

**Tableau 2 : Caractéristique de la nappe**

<b>Aquifère et nappe</b>	<b>Million m<sup>3</sup></b>
<b>Volume géologique de la cuvette</b>	<b>134</b>
<b>Volume aquifère potentiel correspondre a la surface dynamique de la nappe</b>	<b>67</b>
<b>Volume de réserve totale</b>	<b>3</b>
<b>Volume aquifère utile correspondant à la crêt de barrage</b>	<b>11.5</b>
<b>Capacité de barrage volume retenu</b>	<b>1.2</b>

On admet que la proportionnalité d'aquifère, représentant environ 46% de l'épaisseur alluvionnaire totale, précise au mieux la qualité au stockage d'eau de ces dépôts

### III.6.2. La morphologie de l'aquifère :

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. (Réalisé par C. G. G 1971-1972). 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)

### **III.6.3. Alimentation de la nappe :**

La nappe est encaissée entre la bordure de roches métamorphiques formant le relief, de sorte que le réseau hydrographique a cheminé les eaux de précipitation en convergeant vers l'aquifère alluvionnaire (cuvette) et alimenté donc la nappe

Les eaux pluviales sont collectées dans l'aire de la cuvette où s'établissent des crues.

La réalimentation de la nappe s'effectué, soit par infiltration directe des pluies, soit par infiltration des eaux de crues qui s'étaient sur les alluvions.

Les apports pluviométriques interannuels sont estimés à 29 millions de m'. L'infiltration directe des précipitations représente un volume d'environ 1,6 millions de m<sup>3</sup>

La topographie avoisinante à la cuvette est plutôt favorable au ruissellement vers les Bordures du lit majeur.

La recharge est favorisée par une faible pente du lit de l'oued, la lithologie perméable des alluvions de surface, les dimensions 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 fréquentes.

### **III.6.4. Écoulement de la nappe :**

Le gradient moyen de la nappe libre est estimé à  $4,74 \cdot 10^{-3}$ . Il s'établit dans la direction générale de l'écoulement de l'Oued.

La nappe s'écoule vers l'axe du barrage soit dans le sens N-S, à travers les alluvions dont les strates sont à perméabilité différente ; Ce drainage souterrain s'effectue dans des chenaux mis en évidence par l'étude géologique.

En réalité la configuration souterraine du substratum impose à la nappe une divergence de son écoulement donnant ainsi naissance localement à deux nappes adjacentes avec discontinuité latérale de la surface piézométrique.

Plus en aval de ce site la nappe reprend son écoulement selon un axe de convergence des eaux (la géométrie des iso pièzes le montre), jusqu'au site du barrage où l'axe principal de drainage de la nappe est mis en évidence.

Longitudinalement à la cuvette la ligne piézométrique est sensiblement parallèle au Substratum de la nappe avec une légère variation du gradient hydraulique au voisinage de seuils.

**III.7. Conclusion :**

La réalimentation de la nappe s'effectué, soit par infiltration directe des pluies, soit par infiltration des eaux de crues qui s'étalent sur les alluvions. Les apports pluviométriques interannuels sont estimés à 29 millions de m'. L'infiltration directe des précipitations représente un volume d'environ 1,6 millions de m<sup>3</sup>.

Le gradient moyen de la nappe libre estimé à  $4,74 \cdot 10^{-3}$ . Il s'établit dans la direction générale de l'écoulement de l'Oued. La nappe s'écoule vers l'axe du barrage soit dans le sens N-S, à travers les alluvions dont les strates sont à perméabilité différente ; Ce drainage souterrain s'effectue dans des chenaux mis en évidence par l'étude géologique.

**CHAPITRE IV**  
**ETUDE HYDROCHIMIQUE**



**IV .1. Introduction**

L'étude hydrochimique est basé sur l'interprétation des résultats des mesures des paramètres physico-chimiques et des analyses de 15 échantillons prélevés durant la campagne novembre 2014 (TARENGA. L et al., 2015) des puits réalisés au niveau de la nappe inféro-flux de la cuvette de l'oued Tamanrasset. Elle a pour but de montrer la répartition quantitative des différents éléments.

Elles ont porté sur les éléments chimiques majeurs suivants :

Les cations :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$

Les anions :  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$

## IV.2. Les caractéristiques physico-chimiques :

### IV.2.1. PH :

C'est le cologarithme de la concentration en Hydrogène. Il mesure l'activité des ions H contenus dans une eau. Le Ph détermine l'acidité de l'eau. La mesure du Ph sur terrain a été effectuée à l'aide d'un PH-mètre de terrain.

Ph-Log [H]

Les valeurs de Ph obtenues pour les différents puits sont comprises entre 7.25 et 7.43, c'est à dire proche de la neutralité, avec une légère tendance vers la basicité, ce qui va expliquer l'absence des ions NO

Par ailleurs, le Ph d'équilibre de l'ensemble des échantillons analysés est inférieur au Ph mesure,

Révélaant le caractère incrustant des eaux.

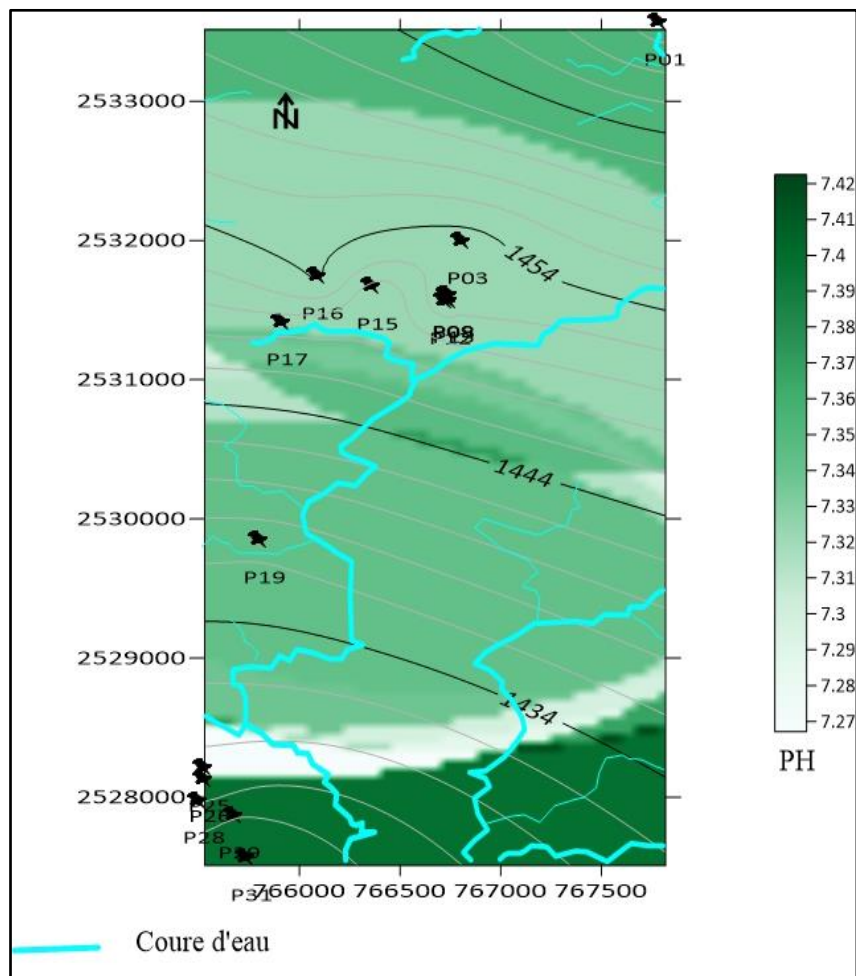


Fig. N°. IV.1: carte de l'évolution du PH de la zone de l'étude.

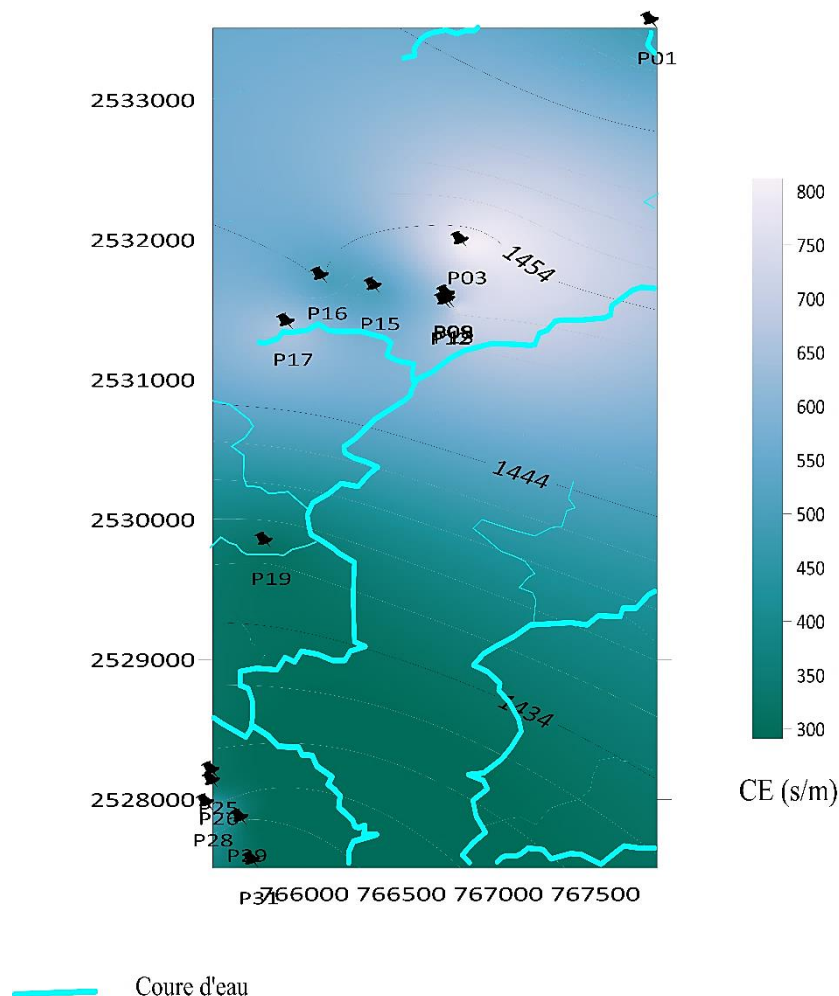


### IV.2.2. Température :

Dans les eaux de la nappe d'inféro-flux de l'oued de Tamanrasset, les températures mesurées. Varient entre 10.9°C à 33.6°C. La température est différent, cela est due au fait que les prélèvements ont été effectués à des profondeurs de niveau d'eau relativement élevées.

### IV.2.3. Conductivité

La conductivité permet de mesurer la propriété de l'eau à conduire le courant électrique qui dépend de la concentration en sels dissous. Elle permet donc, d'évaluer le degré de minéralisation. Les mesures de la conductivité d'une eau sur le terrain ont été effectuées à l'aide d'un conductivimètre portatif. Nous constatons que les valeurs de la conductivité à 10.9°C à 33.6°C des 15 échantillons varient entre 0.298ms/cm et 0.815ms/cm



*Fig. N°. IV.2 : carte de l'évolution de conductivité de la zone de l'étude.*

#### IV. 2.4. Le résidu sec :

Le résidu sec correspond à la totalité des teneurs en matières organiques et des sels dissous dans l'eau, obtenu par évaporation à 110°C. Il donne une idée sur la minéralisation globale de l'eau. Les valeurs des résidus secs de l'eau de la nappe d'inféro-flux varient entre 180 mg/l et 480 mg/l. On remarque que les valeurs augmentent dans le sens de l'écoulement de la nappe.

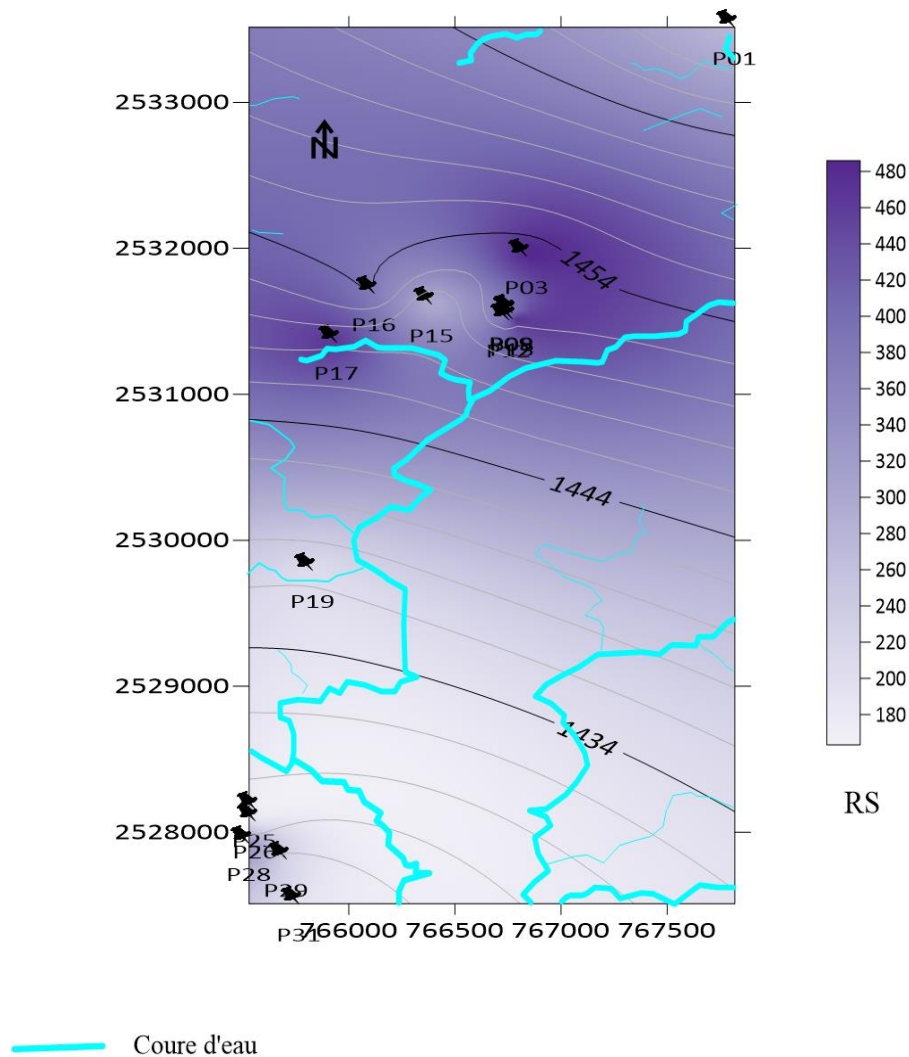


Fig. N°. IV.3 : carte de l'évolution du RS en mg/l de la zone de l'étude.

#### IV.2.5. La balance ionique :

L'analyse physico-chimique d'une eau comporte obligatoirement les éléments nécessaires à l'établissement de sa balance ionique on vérifie alors que la somme des cations est égale à celle des anions, pour ses ions majeurs: calcium, magnésium, sodium et potassium pour les cations; chlorures, sulfates, nitrates et bicarbonates pour les anions. On admet qu'une différence peut

exister entre la somme des anions et celle des cations, mais elle ne doit pas excéder 10% (sommes exprimées en milliéquivalent par litre). Dans le cas contraire, on peut suspecter des erreurs de manipulation ou de mesure. Il est alors nécessaire de refaire l'analyse dans sa totalité

$$BI = [(\Sigma r - \Sigma r) / (\Sigma r + \Sigma r)] \times 100$$

La balance est variée entre (-3% et 5%), elle est inférieure à 10.

### IV.3. Les caractéristiques chimiques :

#### IV.3.1. Les minéralisations globales des eaux de la nappe :

Les minéralisations globales des eaux souterraines sont en général modérées elles avoisinent 0.5g/l et ne dépassent 1g/l que dans des niveaux relativement profonds ou en des points situés à l'écart des axes d'oueds

D'une manière plus détaillée cependant, on a une augmentation nette des concentrations en fonction de la profondeur qui se traduit par une stratification des faciès hydro chimiques, On peut distinguer alors 02 groupes fondamentaux de faciès :

- Le premier correspond aux interfloques peu minéralisés
- Le second aux eaux plus chargées en sels dissous, qui sont présentes dans le réseau fissure du

#### IV.3.2. Les ions dominants :

D'une manière générale, les bicarbonates constituent l'espèce ionique dominante, aussi bien en ce qui concerne la nappe interfloque, fréquemment réalimentées, que les couches sous-jacentes, faiblement régénérées

#### IV.3.3. Les anions :

##### IV.3.3.1. Les chlorures (Cl<sup>-</sup>) :

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 moyenne en chlorure des eaux souterraines de Tamanrasset est de 0,29 (meq/l) Elle est sensiblement la même dans les eaux d'alluvions et celles de la couche altérée. Cette teneur semble être essentiellement acquise avant l'infiltration des eaux dans le sol et le sous-sol, car les mesures effectuées sur les eaux de pluies donnent des résultats à peu près équivalents.

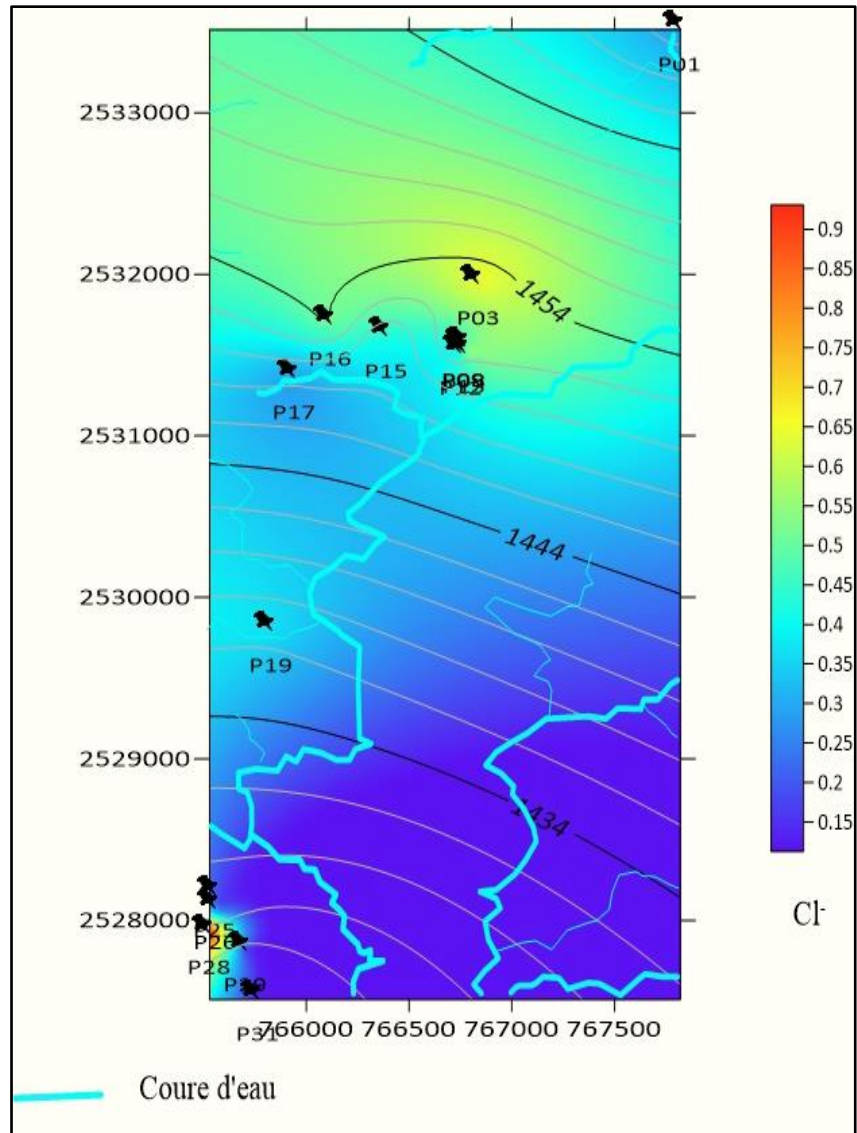
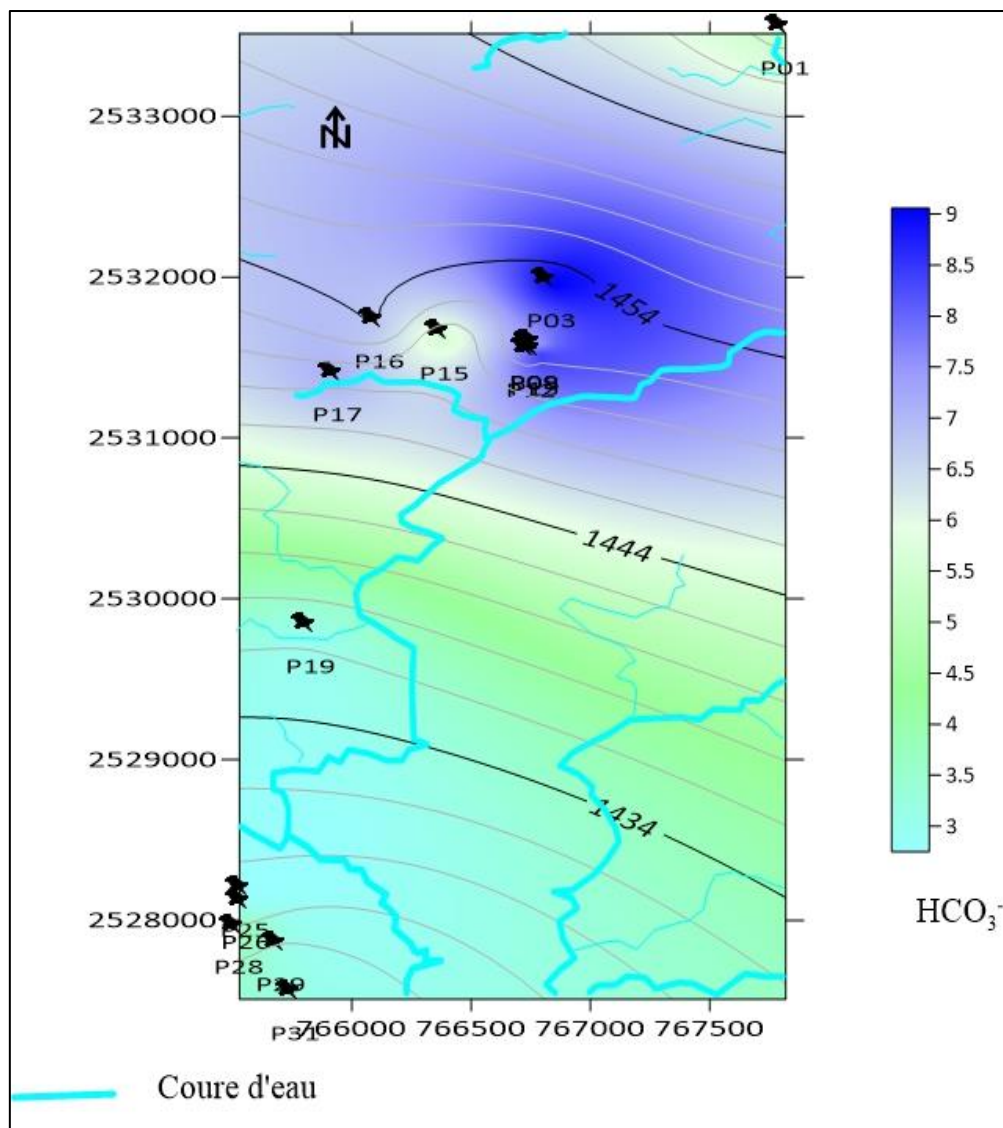


Fig. N°. IV.4 : carte de l'évolution du chlorure en meq/l de la zone de l'étude.

#### IV. 3.3.2. 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.

Leur distribution s'échelonne de 3 à 9 (meq/l) .



*Fig. N°. IV.5 : carte de l'évolution de bicarbonate en meq/l de la zone de l'étude.*

#### IV.3.3.3. Les sulfates (SO<sub>4</sub>):

Leurs teneurs sont hétérogènes Elles varient de 0.7 (meq/l) dans les eaux de l'inféoflux et supérieur à 1.25 (meq/l) dans les eaux de socle fissuré.

Les sulfates sont toujours présents en teneurs fortes que ne l'autorise une simple origine étéorique. L'oxydation des pyrites des roches cristallines et bassins peuvent représenter une source pour cet élément.

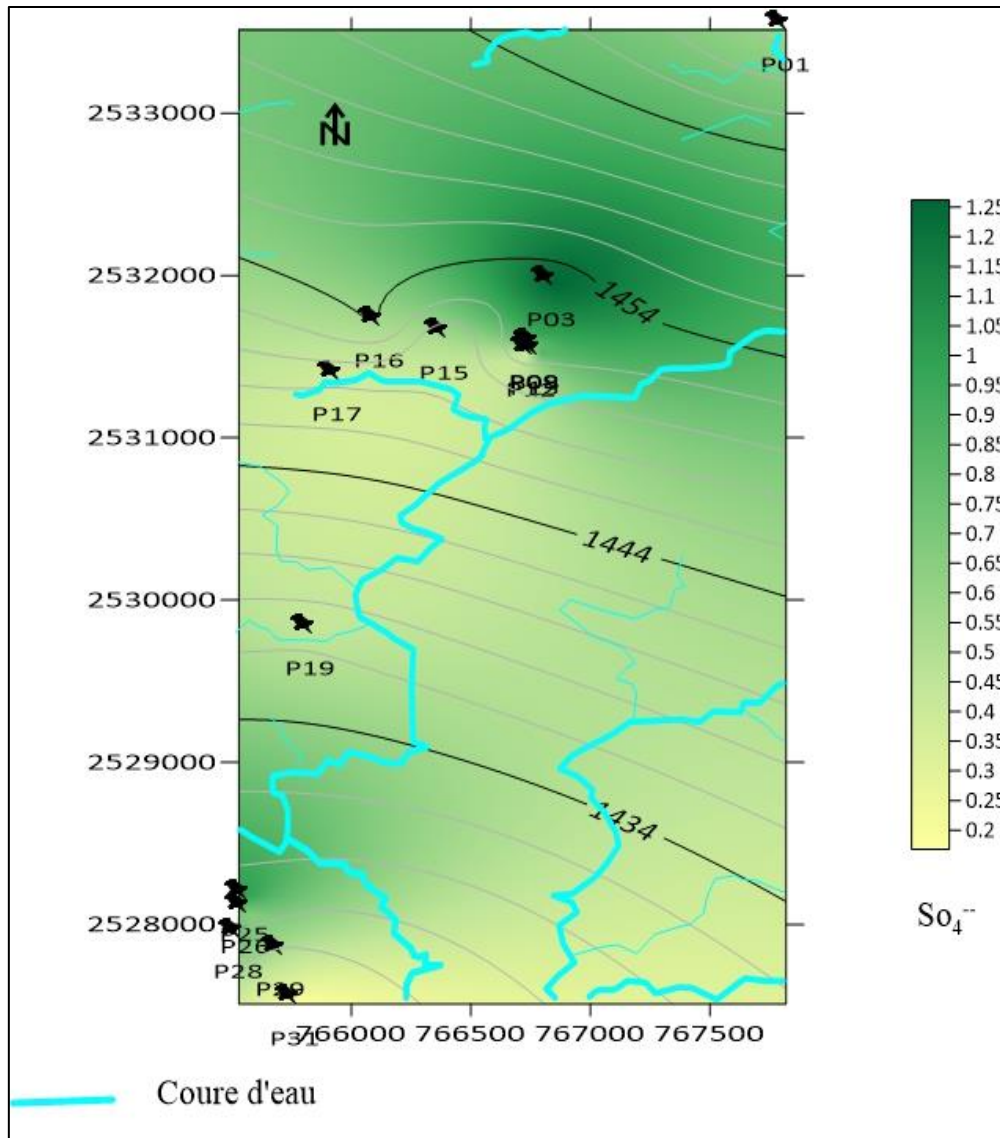


Fig. N°. IV.6 : carte de l'évolution du sulfate en meq/l du secteur de l'étude.

#### IV.3.4. Les cations :

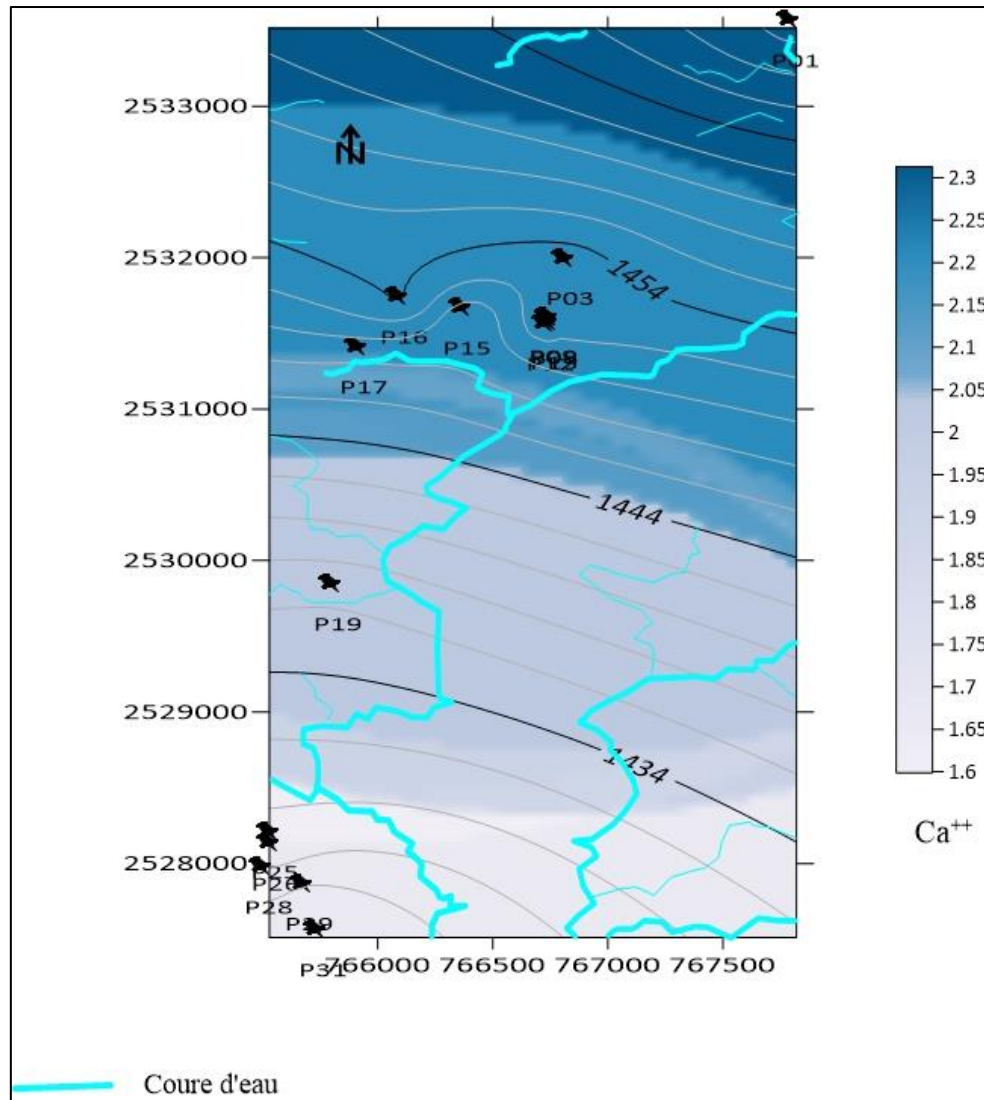
Les cations majeurs sont en quantité très variés. Cependant, la variation peuvent survenir :

-Ca<sup>2+</sup> important dans l'alluvion.

-Mg<sup>2+</sup> important dans le socle fissuré.

##### IV.3.4.1. Le calcium :(Ca<sup>++</sup>)

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.

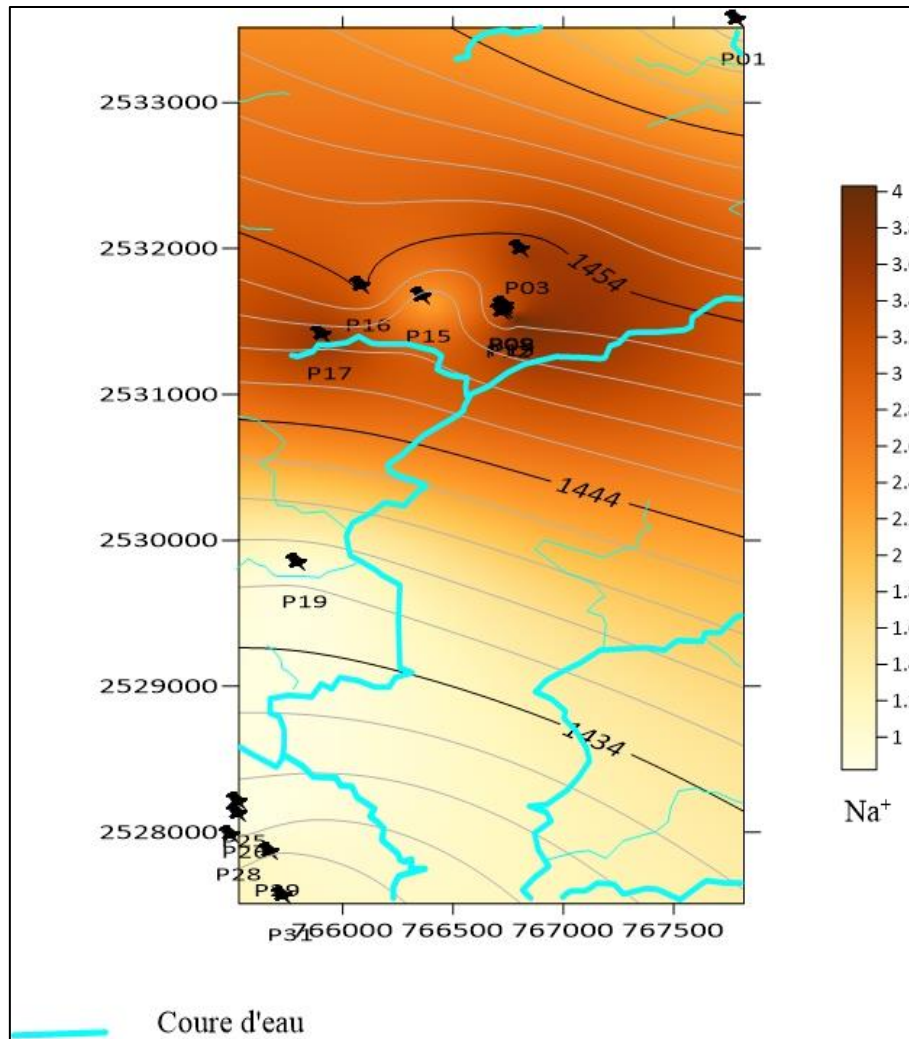


*Fig. N°. IV.7: carte de l'évolution du calcium en meq/l de la zone de l'étude.*

#### IV.3.4.2. Le sodium ( $\text{Na}^+$ )

L'ion sodium provient en partie des eaux partie de l'hydrolyse de silicates tels l'albite ( $\text{Na AlSi}_3\text{O}_8$ ) 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.

Les teneurs en (Na) diffèrent largement suivant le lieu géographique et la nature lithologique de l'aquifère.



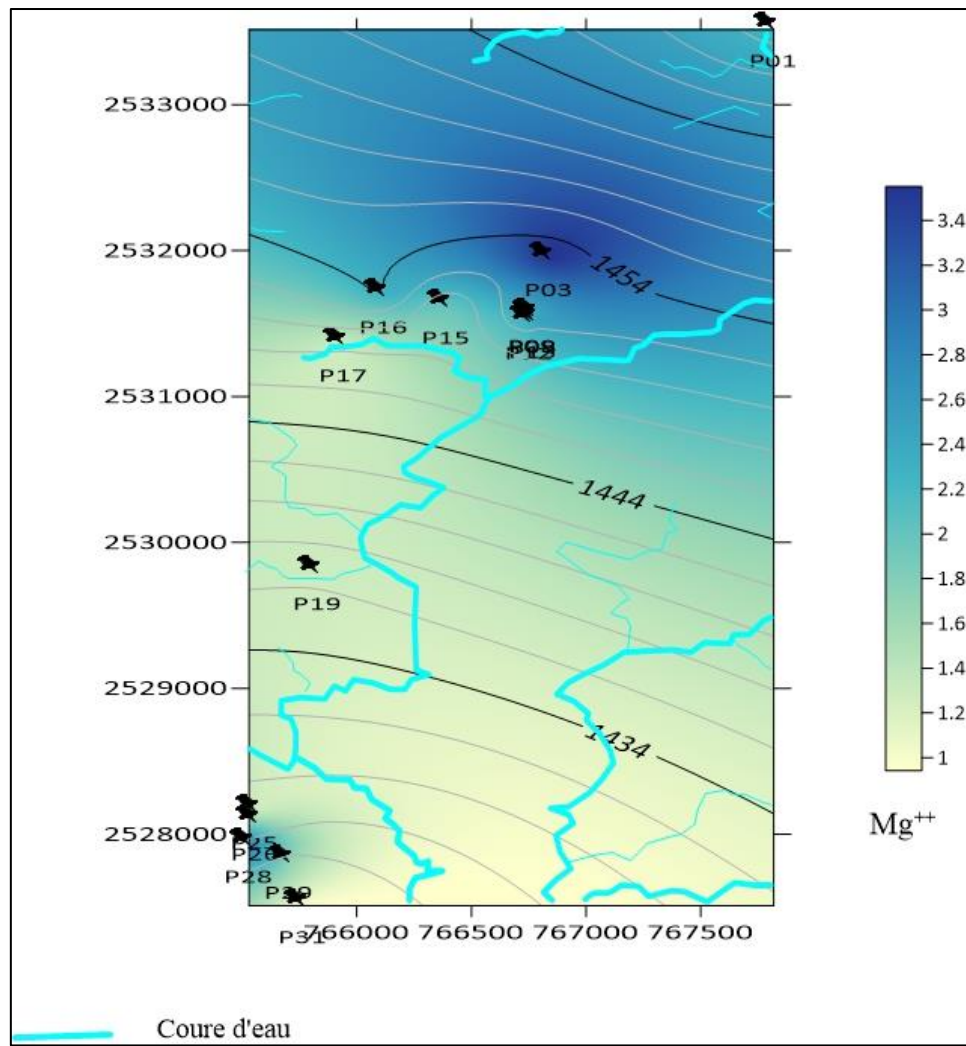
*Fig. N°. IV.8: carte de l'évolution du sodium en meq/l de la zone de l'étude.*

#### IV.3.4.3. Le magnésium ( $Mg^{++}$ )

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.

La gamme des variations de ses teneurs dans les eaux souterraines est plus ou moins étendue, passant de 2.8 à 8.7 (meq/l) dans les eaux de la nappe de socle, et inférieur de 3.5 (meq/l) dans les eaux de la nappe inferoflux.





*Fig. N°. IV.9 : carte de l'évolution de magnésium en (meq/l) de la zone de l'étude.*

#### IV.4. Classification des eaux et représentation graphique

##### IV.4.1. Classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff:

Cette classification consiste à faire une représentation des eaux sur diagramme vertical semi logarithmique de Schoeller-Berkaloff qui tient compte des principaux anions et cations. Le diagramme permet aussi de déterminer la potabilité de l'eau et le pH. La représentation sur diagramme de Schoeller-Berkaloff (Fig N° IV.10) des teneurs de l'eau en différents éléments, donne une classification identique à celle obtenue par la méthode de Stabler. Le tableau montre un équilibre des faciès, bicarbonaté calcique, bicarbonate calcique et magnésique et bicarbonaté magnésique avec une qualité d'eau bonne.

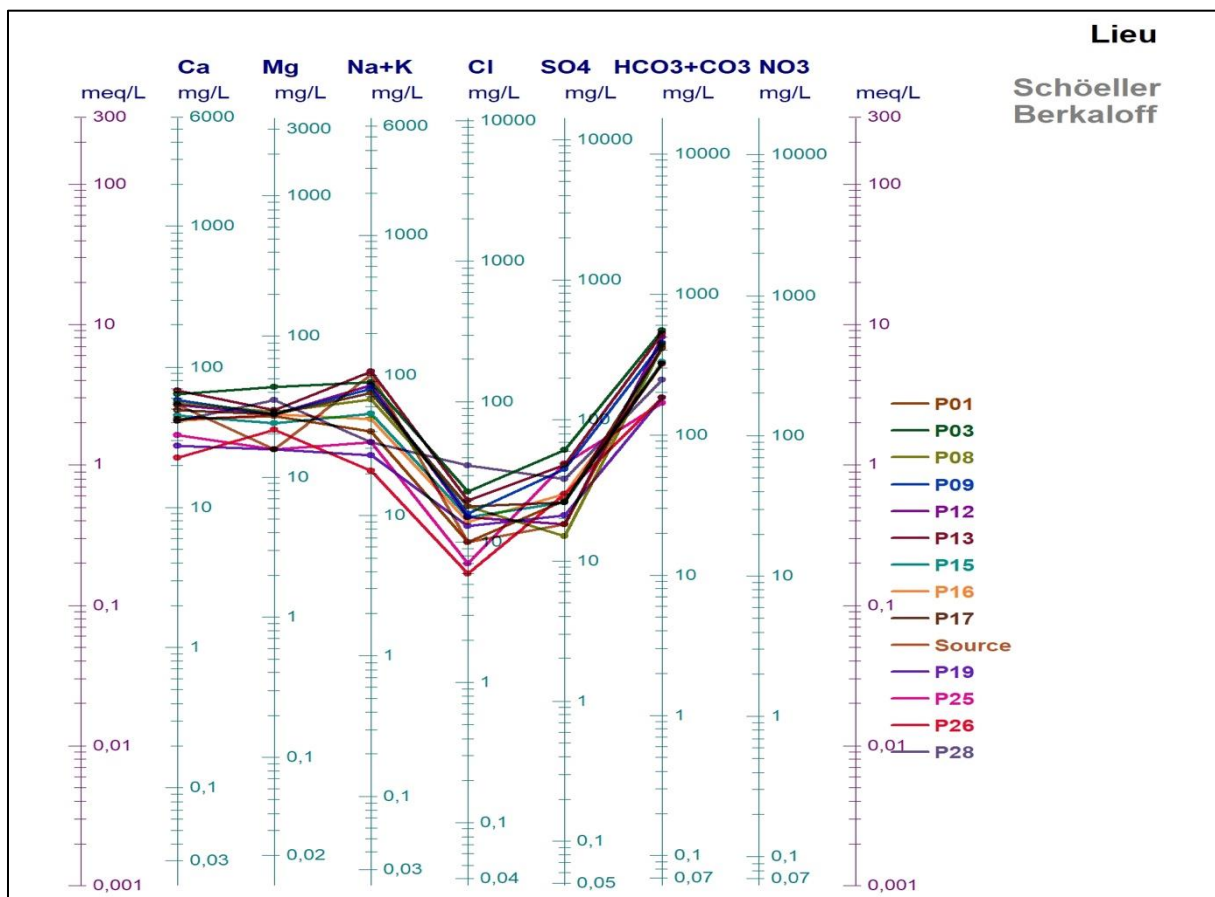


Fig. N°. IV.10 : représentation graphique selon sholler berkalofof de la zone de l'étude.

#### IV.4.2. Représentation des eaux selon le diagramme losangique de Piper :

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. Les points projetés dans les triangles (Fig. N°.IV.11) montrent une tendance vers le pôle bicarbonate pour les anions et calcique ou magnésique pour les cations. Dans le **losange**, tous les points sont placés dans l'aire du faciès bicarbonaté calcique ou magnésique.

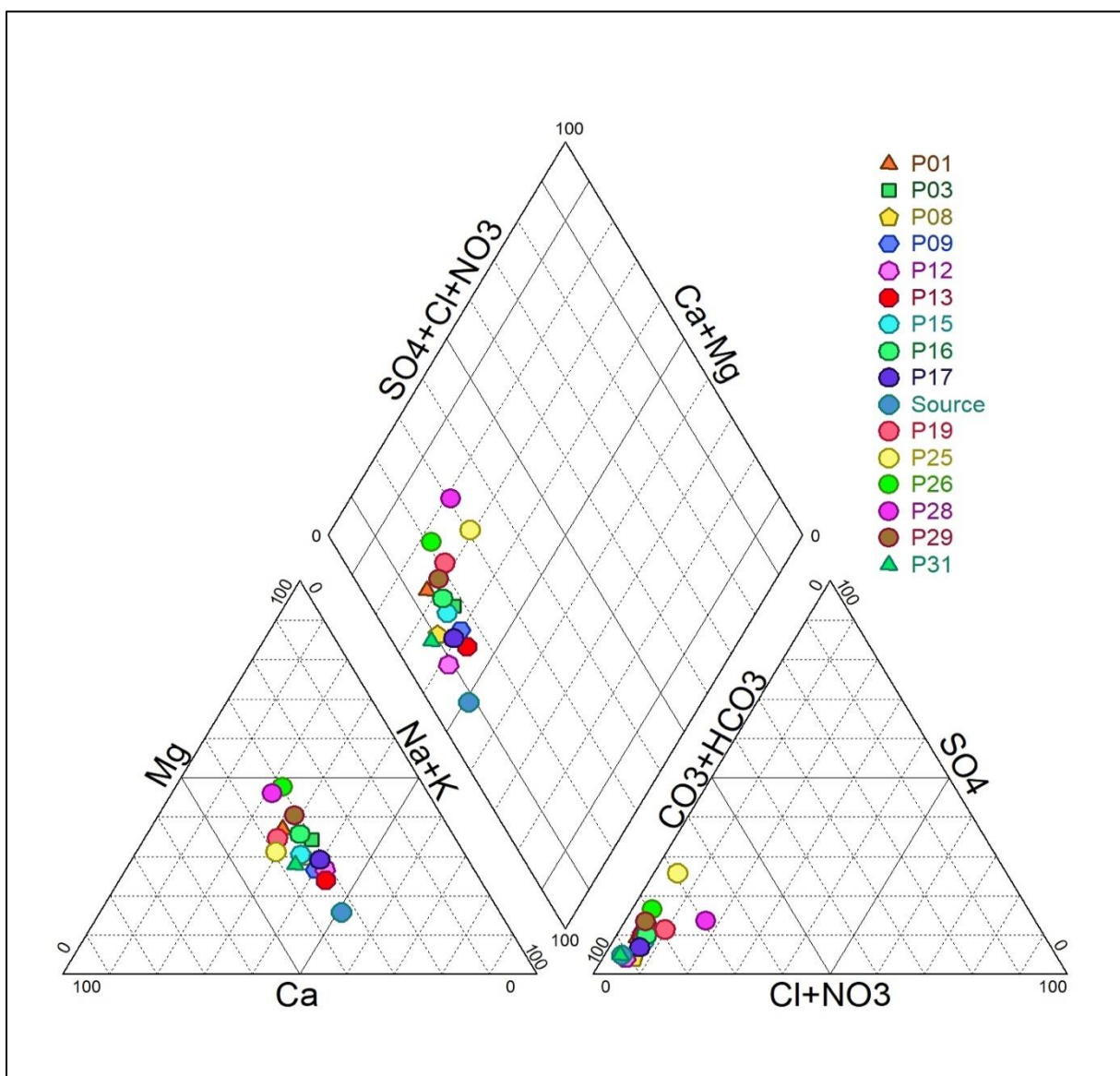


Fig. N°. IV.11 : diagramme de piper de la zone de l'étude.

**IV.5. Conclusion :**

La conductivité électrique oscille entre 290 et 800 S/m, elle est moyenne à forte au Nord et au Sud et elle est faible au centre de la zone d'étude. La forte minéralisation est liée aux massifs cristallins et est probablement le résultat d'un apport à travers les fractures en provenance du socle. D'autre part, la plus forte minéralisation est observée au Sud (p3) à proximité de la ville et semble être le résultat d'une contamination par les eaux usées.

Le faciès chimique des eaux est bicarbonaté calcique et magnésien à bicarbonaté sodique. L'emploi des rapports caractéristiques a montré des origines différentes des cations ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Na^+$ ) liés à la nature du socle cristallin qui est dans l'ensemble gneissique et parfois granitique, schisteux et basaltique.

**CHAPITRE V : Influence de la composition  
minéralogique des alluvions sur la minéralisation de la  
nappe inféroflux**



### **V.1. Introduction :**

Afin d'étudier la mobilité et les échanges des éléments chimiques entre les alluvions et les l'eau de la nappe alluviale de l'inféroflux de l'Oued Tamanrasset., La méthode la plus adéquate c'est l'étude de ces éléments à partir de l'extrait de pâte saturée de ces alluvions.

L'objectif principale de ces méthodes (extrait de pâte saturée) est la mesure de la salinité totale d'un sol qui est indispensable afin de reconnaître le type de sol auquel on a à faire. Toutefois, comme les propriétés des sols diffèrent fortement suivant la composition chimique et la concentration des sels présents, l'identification des sels solubles, sur extrait de pâte saturée, permet de fournir des renseignements sur les principaux sels présents dans ces sols et d'envisager l'étude de l'évolution. Ces sels peuvent également être dosés dans des extraits aqueux plus dilués (1/5 et autres rapport sol/eau) ; et l'extraction est plus rapide et moins consommatrice en quantité de terre (Mathieu et Pieltain, 2003).

Pour préparer la pâte saturée, on pèse 200g de terre tamisée, on malaxe avec une spatule tout en ajoutant de l'eau distillée jusqu'à obtenir une pâte saturée. On laisse cette pâte se reposer pendant 24 heures afin d'avoir un équilibre (tous les ions seront mobiles dans la solution).

### **V.2. Extraction de la solution du sol**

Dans notre étude nous avons étudié l'évolution de la salinité du sol et le dosage des sels solubles sur l'extrait aqueux 1/5.

Cette méthode pose un problème de validité des résultats ; en effet,

- Les sels présents dans le sol ont des degrés de solubilité différents.
- La dilution étant au moins 15 fois plus forte dans l'extrait de saturation.
- Dans l'extrait de saturation on retrouvera une proportion relativement plus forte des sels les moins solubles, par contre dans l'extrait aqueux 1/5 on retrouvera une proportion relativement plus forte des sels les plus solubles.

#### **Préparation de l'extrait dilué 1/5**

- Peser 50 g de terre tamisée à 2 mm et les transférer dans une fiole d'agitation de 250 ml.
- Ajouter 250 ml d'eau distillée (si l'humidité résiduelle est inférieure à 5%, elle est négligée dans ce cas)
- Agiter pendant 1 heure. Si l'échantillon contient du gypse, il est nécessaire
- D'ajouter un cristal de thymol et de laisser reposer une nuit pour permettre la dissolution du gypse. Filtrer la suspension, si le filtrat est trouble, recommencer la filtration ou centrifuger.

- Ajouter une goutte d'héxamétaphosphate de sodium à 0,1%.
- Mesurer le pH et la conductivité électrique et réaliser le bilan ionique.

### **Dosage du gypse et du calcaire**

#### **a) Le gypse**

Le gypse est un minéral tendre, de densité 2.3 g/cm<sup>3</sup>. de structure granulaire, lamellaire ou fibreuse. Il est de couleur blanche et prend quelquefois du fait de différentes impuretés des couleurs grises, rougeâtres, jaunâtres et noires. Il se dissout facilement dans l'eau. Chimiquement il est composé de sulfate de calcium hydraté, ayant comme formule : CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O. Le gypse est dosé par la calcination au four.

#### **Mode opératoire :**

- On prend 200 g de l'échantillon ;
  - Etuver le à une température de 80°C en cas nécessaire à 105-110 °C
  - Après 48 h placer le dans un dessiccateur pendant 1/4 heure :
  - Pulvériser le dans un mortier :
  - Tamiser à 0,2 mm et peser 1 g (Po) ;
  - Mettre le dans un bécher à 250ml ;
  - Ajouter 100 ml de HCl à 10% puis bouillir doucement de 4 à 5 mn ;
  - Refroidissement pendant 4 heure ;
  - Filtration dans un papier filtre N° 541 :
  - Prendre le filtrat et ajuster jusqu'à 250 ml avec l'eau distillée ;
  - Prendre 100 ml de filtrat dans un bécher et ajouter 10 ml de BaCl<sub>2</sub> à 5% puis Bouillir doucement de 4 à 5 mn ;
  - Refroidissement pendant 4 heure ;
  - Filtration de la solution dans un papier filtre N° 541 ;
  - Peser un creuset vide (P<sub>1</sub>) ;
  - Mettre le papier filtre dans le creuset
- Calcination des creusets et le papier filtre à 900 °C pendant 4 heure ;
- Peser le creuset après la calcination (P<sub>2</sub>).

#### **Expression des résultats :**

$$\text{CaSO}_4 = \frac{184,23 \times (P_2 - P_1)}{P_o}$$

D'où :

- CaSO<sub>4</sub>: teneur en gypse en (%).

- Po: Poids de l'échantillon tamisé à 0,2 mm en (g).
- P<sub>1</sub>: Poids de l'creuset vide en (g).
- P<sub>2</sub>: Poids de l'creuset après la calcination en (g).

### **b) Le calcaire**

Connu principalement sous sa forme de carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub>, il est l'un des minéraux les plus répandus de l'écorce terrestre. Il constitue des roches grenues à grands, moyens et fins grains; sa densité est de 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Il est peu soluble dans l'eau, et réagit vivement à l'action des acides. Le dosage de calcaire est effectué par titrimétrie.

### **Mode opératoire :**

- On prend 200 g de l'échantillon ;
- Etuver le à une température de 80°C en cas nécessaire à 105-110 °C ;
- Après 48 h placer le dans un dessiccateur pendant 1 heure ; Tamiser à 0,2 mm et peser 0.5 g (m<sub>0</sub>);
- Mettre m<sub>0</sub> dans un bécher.
- Ajouter 100 ml de HCl (V<sub>a</sub>).
- Titrer par NaOH jusqu'à coloration brun rougeâtre ;
- Noter le volume (V<sub>b</sub>);

### **Expression des résultats :**

La teneur en calcaire est calculée par la formule suivant :

$$\text{CaCO}_3 = \frac{5x (V_a - V_b)}{m_0}$$

D'où :

- CaSO<sub>3</sub> : teneur en calcaire en (%).
- V<sub>a</sub>: volume ajouté en HCl (100 ml). V<sub>b</sub>: volume titrage en NaOH en (ml).
- m, : poids de prise d'essai (0,5 g).

### **V.2.1 La conductivité électrique et le pH**

- La conductivité électrique a été déterminée par un conductimètre à électrode.
- Le pH est mesuré par un pH mètre à électrode.



### V.2.2 Dosage des anions (Les chlorures, les sulfates, les carbonates et bicarbonates)

#### a) Les chlorures

Réaction des ions de chlorure avec des ions d'argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5 afin de permettre la précipitation.



*Fig. N°. V.1: Photo montrant L'appareil utilisé dans le dosage de chlorure*

#### Mode opératoire :

- On prend trois fioles ;
- La pris d'essais est de 100 ml:
- 100 ml de l'eau distillée (blanc);
- 90 de l'eau distillée + 10 ml de NaCl (titre); 5 ml de l'eau à analyser ;
- Ajouter 2gouttes K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (coloration jaunâtre) ;
- Titrer avec Ag NO<sub>3</sub> à 0.01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

- **Expression des résultats :**

$$[Cl:] = \frac{VARNO \times N_{AgNO_3} \times MCI \times F}{PE}$$

D'où :

- VARNO volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour le dosage de l'échantillon.
- N<sub>AgNO<sub>3</sub></sub>: Normalité d'AgNO<sub>3</sub>, égale à 0,01
- MCI: Masse des chlorures, égale à 35,5 mg
- F: facteur de correction du titre d'AgNO<sub>3</sub>.
- PE: Prise d'essai
- Pour le F,  $F = \frac{1}{V_{AgNO_3}}$

La concentration des chlorures est exprimée en mg/l

**b) Les Sulfates**

Les sulfates ont été dosés par le spectrophotomètre DR 2500 : c'est une appareil qui fonction avec la loi de Ber Labeur. On a deux programme le programme HACH et programme utilisateur ce dernier on a préparé une gamme des étalonnages (absorption moléculaire) des étalons avec des concentrations données et on trouve leur absorbance.



*Fig. N°. V.2 : Photo montrant le spectrophotomètre DR 2500 utilisé dans les analyses des sulfates des alluvions de l'oued Tamanrasset.*

### Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante;
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum :
- Agiter énergiquement pendant 1 mn;
- Passer au Spectrophotomètre.

### -Expression des résultats :

La concentration des sulfates exprimée en mg/l, est égale à la valeur lue sur le spectrophotomètre multipliée fois le facteur de la dilution

### c) Carbonates et bicarbonates

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH 8.3 et 4.3. le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre Alcalimétrique complet (TAC).

### Mode opératoire :

- Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- Noter son pH puis titrer avec HCl à 0.1N jusqu'à obtention d'un pH de 4.3.

### Expression des résultats :

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{\text{VA} \times \text{NA} \times \text{MHCO}_3 \times 1000}{\text{PE}}$$

D'où :

- VA: volume d'acide versé.
- NA: Normalité d'acide versé, égale à 0,1.
- MHCO<sub>3</sub>: Masse des bicarbonates, égale à 61 mg
- PE: Prise d'essai

Si le pH de l'échantillon est inférieur à 8,3; le TA = 0, Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8.3. titrer jusqu'à cette valeur (volume d'HCl obtenu correspond au CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) puis noter le volume VA<sub>2</sub>.

**V.2.3 Dosage des cations :** (le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium).

**a) Sodium et potassium :**

Le sodium et le potassium ont été dosés par photométrie à flamme. Appareil Dr LANGE (JENWAY). La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux. Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium etc...) sont généralement sous forme de sels.

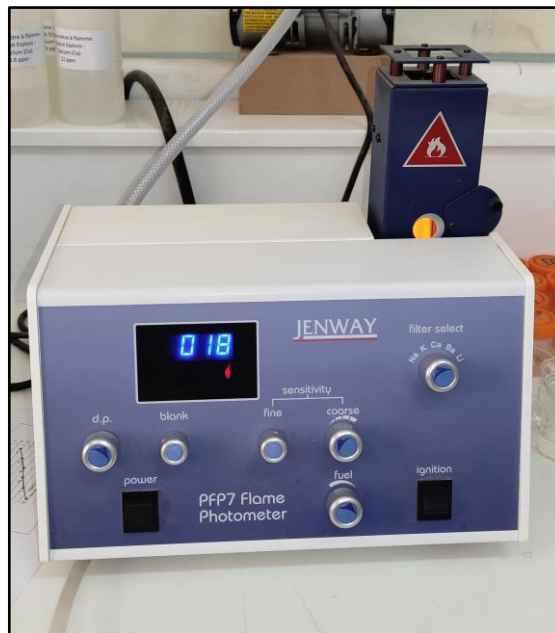
**Mode opératoire :**

Pour l'appareil Dr LANGE (JENWAY) Il faut le suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.
- Allumer la flamme à l'aide du bouton noir "IGNITION" sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran.
- Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton "fuel" jusqu'à ce que la couleur devienne bleue violacée.
- Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
- Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de  $\text{Na}^+$  ou du  $\text{K}^+$  à 10 mg/l.
- Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton "FINE"
- Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de " $\text{Na}^+$ " ou de " $\text{K}^+$ " à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de " $\text{Na}^+$ " ou de " $\text{K}^+$ " à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
- Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.
- A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).

**Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l.



*Fig. N°. V.3 : Photo montrant Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY) utilisé dans les analyses des cations des alluvions de l'oued Tamanrasset*

**b) Calcium et Magnésium**

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH-10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions de calcium et de magnésium, est utilisé comme indicateur.

**Mode opératoire :**

(VI)  $\text{Ca}^{2+}$  :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 2 ml de Na OH à 2 N;
- Ajouter du HSN 0,2 g ;
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

(V2)  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  :

- Pour calculer TH on Prend 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 4 ml de solution tampon ;
- Ajouter trois gouttes de noir eriochrome;
- Et titrer avec l'E,D.T.A jusqu'au virage (bleu).

**Expression des résultats :**

La détermination de la concentration en mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante:

$$[Ca^{2+}] = \frac{V_1 \times C_{EDTA} \times F \times M_{Ca^2}}{PE}$$

D'où :

- $V_1$ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.
- C: Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).
- $M_{Ca^2}$  Masse molaire du calcium (40,80 g).
- PE: Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage) (50ml).
- F: Facteur

La détermination de la concentration en mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante:

$$[Mg^{2+}] = (V_2 - V_1) \times C_{EDTA} \times F \times M_{Mg^{2+}} \times PE \times 1000$$

- $V_1$ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.
- C: Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l). •  $M_{Mg^{2+}}$ : Masse molaire du Magnésium (24,30 g).
- PE: Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage) (50ml).
- F: Facteur

#### V.2.4. Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau filtrée permet d'évaluer le résidu qui correspond seuls aux matières dissoutes.

#### Mode opératoire :

Tarer les capsules préalablement lavées, rincées à l'eau distillée et desséchées ;

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans les fioles jaugées et déverser les dans les capsules:

Porter cette dernière à l'étuve à 105°C pendant 24 heures Laisser refroidir pendant 4 d'heure au dessiccateur :Peser immédiatement et rapidement.

#### Expression des résultats :

$$[RS] = (PP - PV) \times 10 \times 1000$$

D'où :

- PP Poids plein de la capsule.
- PV: Poids vide de la capsule.

La concentration du résidu sec est exprimée en mg/l.

### V.3 Résultats et interprétations :

Les résultats des analyses sur la pâte saturée des échantillons d'alluvions prisent de deux puits de l'Oued Tamanrasset ont permis de voir la fluctuation verticale des teneurs des différents cations et anions solubles et peuvent être l'origine des minéralisations de cette nappe.

#### V.3.1 Résultats interprétation des teneurs des cations :

Les résultats des analyses chimiques des cations illustrés sur les schémas (Figures 12 et 13), montrent clairement l'existence d'une relation entre la composition minéralogique des alluvions et les teneurs des sels dissouts à partir de l'extrait de pâte obtenue.

- **Le sodium ( $\text{Na}^+$ )**

Il est présent des teneurs relativement élevées dans les alluvions composées de sables argileux beiges (14 à 19 mg/l) dans les deux puits. Les valeurs plus sont localisées dans les sables limoneux (25 mg/l).

Cet élément est moins abondant dans les sables à débris de roches basiques (fig. N°. V.4). La caractéristique principale, c'est que ce cation dissout est abondant dans les alluvions composées des fragments des roches gneissiques (17.5 mg/l).

A partir de ces résultats il est bien clairs que ces teneurs sont liées au différents degrés de l'altérations.

- **Le potassium ( $\text{K}^+$ )**

Les teneurs de l'extrait de pâte e sont relativement élevées dans les argiles (1,9 mg/l) et les sables limoneux (1,4 mg/l). Il est moins abondant dans les sables moyens à débris de roche basiques (0.4 mg/l).

Ce qui est bien évident que ce cation a la présence des argiles et l'altération des silicates riches en Potassium.

- **Le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )**

Les teneurs en  $\text{Mg}^{2+}$  montrent des teneurs sont relativement élevées dans les sables et les sables riches en débris des roches basiques (0,9 mg/l) et moins abondants dans les argiles (0.4 mg/l). Ce qui peut être interprété par l'altération des roches basiques riches en minéraux ferromagnésien comme l'amphiboles et l'olivine

- **Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

Les teneurs de solutions de l'extrait de pâtes indiquent des teneurs relativement élevées dans les alluvions issues du socle fissurés (2.5 mg/l), les sables moyen argileux (1.2 mg/l) et les sables. Les teneurs les moins exprimées correspondent au débris des roches basiques. Ce élément qui très abondant dans la calcite et les plagioclases et différents minéraux silicatés



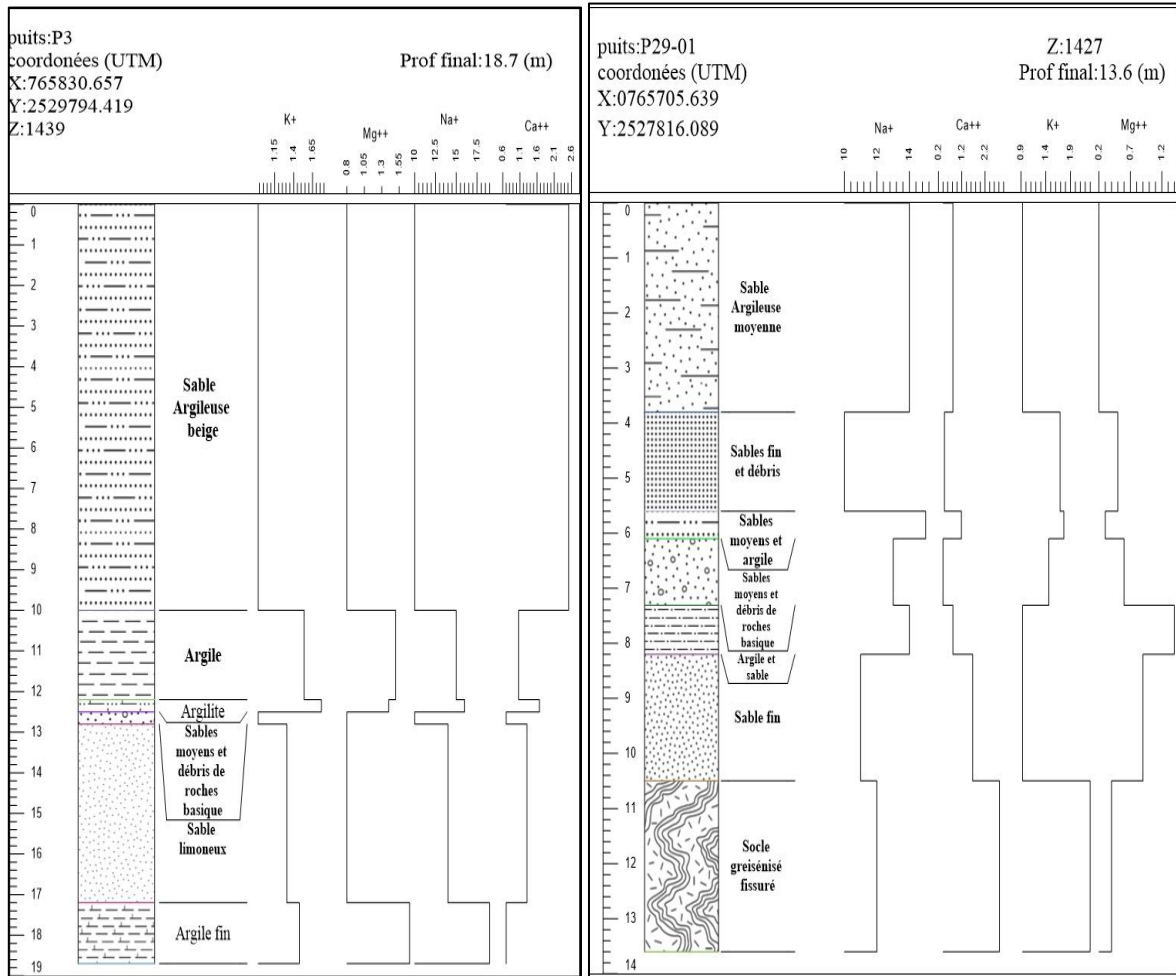


Fig. N°. V.4: schéma montrant la fluctuation des teneurs des cations des alluvions des puits 3 et 29 de la nappe inféroflux de l'oued Tamanrasset.

### V.3.2 Résultats et interprétation des teneurs des Anions :

- **Le chlore (Cl<sup>-</sup>)**

Les teneurs des Cl<sup>-</sup> dans l'extrait de la pâte saturée des échantillons prélevés au niveau des du secteur de l'étude montre des valeurs variables. Ces teneurs sont élevés au niveau des argiles sableuses et les sables fins (92 mg/l). Les teneurs les moins élevées sont correspond aux débris du socle fissuré et les sables (15 mg/l). ce qui peut être interprété par l'altération des roches magmatiques libre des ions cl<sup>-</sup>

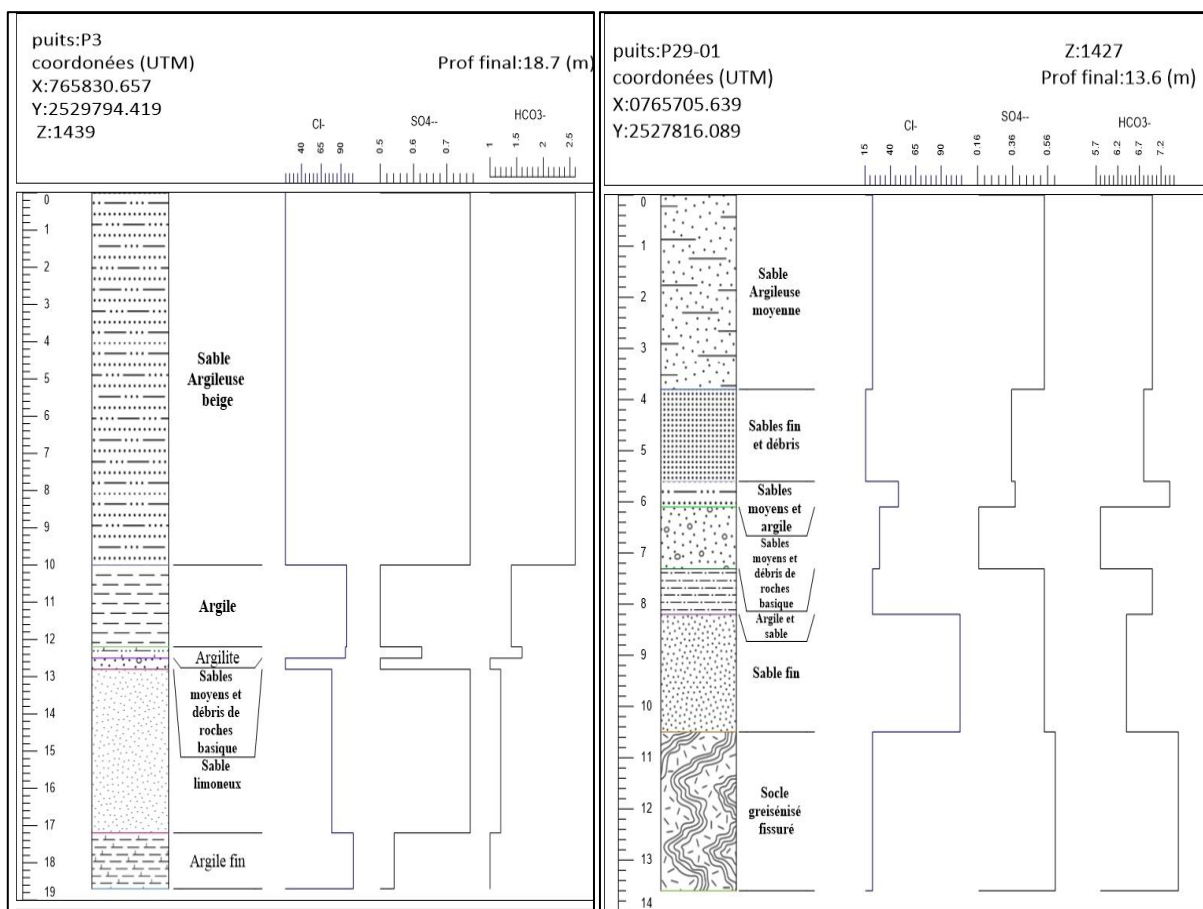
- **Les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)**

Les teneurs des sulfates des échantillons prélevés au niveau des du secteur de l'étude montre des teneurs relativement faibles des dans les alluvions composées des débris des roches basiques (0.16mg/l). Les teneurs les plus élevées correspond a des sables argileux moyens et dans les sables (0.56 mg/l). ce qui peut être interprété par l'oxydation de la pyrite et des autres minéraux sulfures et dissolution de gypse et l'anhydrite

- **Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )**

Les teneurs des carbonates des échantillons prélevés au niveau des du secteur de l'étude montre des teneurs relativement élevées des dans les alluvions composées dans sables argileux (7.2 mg/l) et les débris du socle fissuré. Les teneurs relativement faibles correspondent à l'alluvion composées des débris des roches basiques dans les sables argileux les sables fins (6.7 mg/l).

En peut explique par la dissolution des carbonates par des eaux contenant du gaz carbonique  $\text{CO}_2$



**Fig. N°. V.5:** schéma montrant la fluctuation des teneurs des anions des alluvions des puit 3 et 29 de la nappe inféroflux de l'oued Tamanrasset.

**V.4.Conclusion :**

Les résultats des analyses sur la pâte saturée des échantillons d'alluvions prisent de deux puits de l'Oued Tamanrasset ont permis de voir la fluctuation verticale des teneurs des différents cations et anions solubles et peuvent êtres l'origine des minéralisations de cette nappe.

Les résultats des analyses chimiques des cations et les anions montrent l'existence d'une relation entre la composition minéralogique des alluvions et les teneurs des sels dissouts à partir de l'extrait de pate obtenue.

**CONCLUSION GENERALE**



### **Conclusion générale :**

La nappe inféroflux est constitués de terrain mixte formé par des alluvions est un substratum altéré issue de la roche fissurée et passe progressivement à la roche saine.

Les principales réactions d'altération sont des hydrolyses, accessoirement des oxydations, des hydratations, des décarbonatations pour les roches calcaires

Les sols minéraux proviennent d'une roche originelle appelé roche mère. Ils évoluent avec le temps, Il y a deux sortes de sols minéraux : Le sol formé à partir d'un matériau d'origine et le sol minéral se forme à partir de petites particules provenant de sols minéraux situés ailleurs

L'Oued Tamanrasset se trouve sur le territoire de la wilaya de Tamanrasset se situant à l'extrême Sud Est de l'Algérie.

Le bassin versant de la partie amont de l'oued Tamanrasset est allongé avec un indice de compacité de Graveleuse KG 1.92. Situé dans une zone aride qui est caractérisée par des faibles pluviométries

La région de Tamanrasset est caractérisée par un climat hyper aride. et une température moyenne annuelle de 22.5°C et la moyenne mensuelle des précipitations de 7.13 mm à la station de Tamanrasset pour la période (1980/2015)

Du point vu hydrogéologique, La réalimentation de la nappe s'effectué, soit par infiltration directe des pluies, soit par infiltration des eaux de crues qui s'étalent sur les alluvions.

Le gradient moyen de la nappe libre est estimé à  $4,74 \cdot 10^{-3}$ . Il s'établit dans la direction générale de l'écoulement de l'Oued

La structure schématique simple de l'oued de Tamanrasset :

- Alluvions Quaternaires : présentent un niveau aquifère intéressant, correspond à la nappe nommé inféroflux.
- Le socle fissuré : présentent un autre aquifère peu important que l'inféroflux.
- Le socle sain : gneiss schisteux présentent le substratum.

Du point vu hydro chimique, après les analyses chimiques des eaux de la nappe inferoflux on trouve que La conductivité électrique elle est moyenne à forte au Nord et au Sud et elle est faible au centre de la zone d'étude. La forte minéralisation est liée aux massifs cristallins et est probablement le résultat d'un apport à travers les fractures en provenance du socle.

## CONCLUSION GENERALE

---

Le faciès chimique des eaux est bicarbonaté calcique et magnésien à bicarbonaté sodique.

A partir des résultats des analyses sur la pâte saturée des échantillons d'alluvions de 2 puits de l'Oued Tamanrasset ont permis de voir la fluctuation verticale des teneurs des différents cations et anions solubles et peuvent être l'origine des minéralisations de cette nappe

A partir de ces résultats il est bien clair que ces teneurs de cation sodium sont liées aux différents degrés de l'altération.

A partir des résultats est évident que le cation  $K^+$  à la présence des argiles et l'altération des silicates riches en Potassium.

Les résultats des teneurs de magnésium peuvent être interprétés par l'altération des roches basiques riches en minéraux ferromagnésien comme l'amphibole et l'olivine

L'élément de calcium est très abondant dans la calcite et les plagioclases et différents minéraux silicates

A partir des résultats des teneurs des chlorures on peut interpréter par l'altération des roches magmatiques libère des ions  $Cl^-$

On peut interpréter les teneurs des sulfates par l'oxydation de la pyrite et des autres minéraux sulfures et dissolution de gypse et l'anhydrite

On peut expliquer la dissolution des bicarbonates par des eaux contenant du gaz carbonique  $CO_2$

Après ces résultats on confirme que la minéralisation des eaux infero flux est liée au degré de décomposition des sols.

## **Références Bibliographique**



## Références Bibliographiques :

- 1) BABA HAMED, K. (2007). *HYDRODYNAMIQUE ET MODELISATION D'UNE NAPPE ALLUVIALE, VALIDATION PAR L'APPROCHE GEOSTATISTIQUE. APPLICATION A LA NAPPE DE LA PLAINE DE MAGHNIA (NW ALGERIEN)* (Doctoral dissertation).
- 2) Berthelin, J., Valentin, C., & Munch, J. C. (2018). *Les sols au coeur de la zone critique 1 : Fonctions et services* (Vol. 1). ISTE Group.
- 3) Bertrand et Caby, (1978)
- 4) BENZAZA, R., DAHECH, T., & FANAZI, B. *Modélisation de l'écoulement des eaux dans la nappe d'inféoflux dans la région de Tamanrasset* (Doctoral dissertation).
- 5) Boushaba, P. A. GEODYNAMIQUE EXTERNE (M10) Sciences de la Terre et de l'Univers.
- 6) C.G.G (Compagnie Générale des Géophysiques) : Travaux Hydrogéologiques par prospection électrique et sismique de l'inféoflux de l'Oued Tamanrasset, D.H.W Tamanrasset.
- 7) Dandurand, G. (2011). *Cavités et remplissages de la nappe karstique de Charente (bassin de la Touvre, La Rochefoucauld). Spéléogénèse par fantômisation, archives pléistocène et holocène, rôle de l'effet de site* (Doctoral dissertation, Université Michel de Montaigne-Bordeaux III).
- 8) E.N-HYD (2005) : étude de faisabilité du barrage inféoflux sur Oued Tamanrasset (Etude hydrogéologique), D.H.W Tamanrasset
- 9) E.N-HYD (Entreprise Nationale des Etudes Hydraulique) : Modèle de simulation hydrogéologique de la nappe de Tamanrasset (la nappe d'Adrienne).
- 10) HAMDI, F. Z. (2013). *ETUDE DAMENAGEMENT D'OUED TAMANRASSET* (mémoire d'ingénieur).
- 11) HANNI, I. (2018). *Effets des barrages d'inféro-flux d'oueds de la région de Tamanrasset sur l'hydrodynamique des nappes alluviales* (Doctoral dissertation, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed).
- 12) Liegois et al, (1994), Blak et al, (1994), Liegois et al, (2000), Navez et al, (2000)
- 13) REGGANI, H, ET BADREDDINE, S (2011) : *Etude et reconnaissance de la nappe inféoflux de l'oued de Tamanrasset, (Mémoire d'ingénieur)*
- 14) TARENGA. L et al. (2015)





## خلاصة:

تقع تمنراست في الجنوب الجزائري الكبير و هي ارض شاسعة من مختلف التضاريس التي تبعد عن العاصمة بمسافة تقدر ب(1970 كم). وادي تمنراست يقع في منطقة الهقار.

تعتبر هذه الدراسة تقيما لمدى تأثير تركيب الصخر على تعدين مياه الطبقة الداخلية للتدفق لواد تمنراست. وتتكون طبقة المياه الجوفية من التربة الغرينية المختلطة وهي عبارة عن طبقة سفلية متغيرة من الصخور المتصدعة وتنتقل تدريجيا إلى الصخور السليمة من صخر القنايس.

اعتمدت هذه الدراسة البيبليوغرافية لمختلف الدراسات (الجيولوجية و الهيدروغرافية و الهيدروجيولوجية و الهيدروكيميائية) التي شملت هذا النوع من الخزانات المائية و اظهرت نتائج التحاليل الكيميائية على مستخلصات التربة في الطبقة الداخلية للتدفق لواد تمنراست أن تعدين مياه الطبقة الداخلية مرتبط ارتباطا وثيقا مع درجة تحلل التربة.

**الكلمات المفتاحية:** الطبقة الداخلية للتدفق, مستخلص التربة, واد تمنراست, تعدين, الماء

## RESUME :

La région de Tamanrasset fait partie du Sahara algérien est une vaste terre aride, au milieu du Sahara algérien, la plus éloignée de la capitale située à (1970 Km d'Alger), l'oued de Tamanrasset, situé de l'Ahaggar.

Cette étude est basée sur l'impact de la lithologie sur La minéralisation de l'eau sur la nappe inféroflux de Tamanrasset.

La nappe inféroflux est constitués de terrain mixte formé par des alluvions est un substratum altéré issue de la roche fissurée et passe progressivement à la roche saine. Cette étude est basée sur des recherches bibliographiques des différent études (géologique, hydrologique, hydrogéologique et hydrochimique) qui ont inclus ce type de réservoirs d'eau

Les résultats des analyses chimiques des extraits de sol dans nappe inféroflux de l'oued de Tamanrasset ont montré que la minéralisation de l'eau de la nappe est étroitement liée au degré de l'altération du sol.

**Mots clés:** Inféroflux, Extrait de pate, Oued Tamnrasset, minéralisation, eau



**ABSTRACT:**

The region of Tamanrasset is part of the Algerian Sahara is a vast arid land ,the furthest from the capital located (1970 km) from Algiers, the wadi Tamanrasset located in the Haggar

This study is based on the impact of the lithology on the mineralization of the water on the sub-flux water table of Tamanrasset.

The inferoflux water table is constituted of mixed ground formed by alluvium is an altered substratum coming from the fissured rock and passes progressively to the healthy rock.

The study is based on a bibliographic Recherche of different studies (geological, hydrological, hydrogeological and hydrochemical) that have included this type of water reservoirs.

The results of the chemical analysis of the soil extracts in the water table of the wadi of Tammanrast showed that the mineralization of the water table is closely related to the degree of alteration of the soil.

**Key words:**Inferoflow, Wadi Tamnrasset, Pate Extract, Mineralization, Water

