

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB - BLIDA**

**Faculté des Sciences de l'Ingénieur**

Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement

# **MEMOIRE DE MASTER**

Filière: **Hydraulique**

Spécialité : **Sciences de l'Eau**

Thème:

**Caractéristiques hydrochimiques et isotopiques des eaux de la  
nappe du continental Intercalaire (Albien - Barrémien) dans la zone  
de Laghouat – Hassi R'Mel**

Par

**ROUANE Mustapha**

Devant le jury composé de :

M. OULARBI	Charge de cours, U. de Blida	Président
B. HADJ KADDOUR	Charge de cours, U. de Blida	Examineur
N. MESSAOUD NACER	Charge de cours, U. de Blida	Examineur
A. GUENDOZ	Maître de conférences, U. de Blida	Promoteur

Promotion 2010/2011



### *Dédicaces*

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

- ◆ *Mes très chers parents.*
- ◆ *Tous mes frères et ma sœur et à Toute ma famille.*
- ◆ *Tout ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ma formation.*
- ◆ *Tous les amis de l'université de Blida et de la cité somma 2 et à M.Saadi .*

### *Remerciements*

*Tout d'abord je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur « Mr Abdelhamid Guendouz » de m'avoir orienté et pour ces conseils judicieux, ses riches enseignements et sa constante disponibilité dans le but de mener à bien ce projet de fin d'études.*

- ◆ *Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur de juger ce travail, je les remercie vivement.*

*Mes remerciement vont également à :*

- ◆ *Mr Bensafia, Mr Remini, Mr Bessenasse, Mr Khouli, Mr HadjKaddour ainsi qu'à Mr et M<sup>me</sup> Anser ,..., et tous les enseignants qui ont contribué à ma formation,*
- ◆ *Mr Mechraoui l'ingénieure de laboratoires d'analyse à l'ADE de Laghouat ainsi qu'a Mohamed Rouane et Hennich à l'ADE de Laghouat qui m'ont beaucoup aidé et que je n'oublierai pas leurs services.*
- ◆ *Mr Mansour , ingénieure à la direction nationale de l'ANRH à Alger*
- ◆ *Mr Chebira, ingénieur au D.H.W de Laghouat pour son aide.*

*Mustapha Rouane*

### ملخص :

تغطي المياه الجوفية في شمال الصحراء (نظام ساس) 1100000 كيلومتر مربع بين ليبيا والجزائر وتونس.

وهي تتألف من طبقتين من المياه الجوفية الرئيسية : المقحم القاري والمركب النهائي و اللتان تحتويان على محطة احتياطيات كبيرة تقدر بنحو  $30\ 000 \times 10^9$  م<sup>3</sup> من المياه الجوفية حيث لا يمكن تفسير هذه الكمية من خلال المناخ الحالي، و يقدر الشحن الحالي من المياه  $1 \times 10^9$  م<sup>3</sup> / سنة. هذه الدراسة توضح التطور الهيدروجيوكيميائي والنظائر للمياه الجوفية في منطقة شحن المقحم القاري ، والتي تقع بالقرب من جبال الأطلس الصحراوي (شمال الصحراء الجزائرية). وقد أجريت عن طريق أخذ المقطع الرئيسي العرضي بين الشمال والجنوب من المقحم القاري لطبقة المياه الجوفية، التي تمثل تطور التدفق الى غاية منطقة التفريغ. بحوالي 200 كيلومتر ، تمعدن المياه الجوفية يتزايد على طول خطوط التدفق ، مع زيادة مماثلة في تراكيزات الصوديوم، الكلور، السولفات، الكالسيوم. حيث تعتبر المعادن النادرة هي الضوابط الرئيسية للتمعدن.

النظائر المستقرة ( $H^2$ ،  $O^{18}$ ) تتفق مع التفسيرات الهيدروكيميائية لتفاعلات الصخور و الماء.

### Résumé :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur 1.100.000 km<sup>2</sup> entre l'Algérie, la Libye et la Tunisie.

Il est constitué de deux principales couches aquifères : le Continental Intercalaire et le Complexe terminal qui renferment d'importantes réserves évaluées à  $30.000 \times 10^9$  m<sup>3</sup> d'eaux souterraines dont l'accumulation ne peut être expliquée par le climat actuel, la recharge actuelle n'étant que de  $1 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/an.

Cette étude décrit l'évolution hydrogéochimique et isotopique des eaux souterraines des sables de la zone de recharge de CI, située dans la région de l'Atlas Saharien (nord du Sahara algérien).

Elle à été réalisée selon la principale section transversale nord sud représentative de l'aquifère de CI, qui représente l'évolution selon un gradient d'écoulement vers la zone de décharge.

sur environ 200 km, La minéralisation des eaux souterraines augmente le long des lignes d'écoulement, avec un accroissement correspondant des concentrations en Na, Cl ,SO<sub>4</sub> ,Ca. Des traces de minéraux sont les principaux contrôles minéralogiques.

Les isotopes stables ( $^{18}O$ ,  $^2H$ ) sont en accord avec les interprétations hydrochimiques d'interactions eau roche.

**LISTE DES TABLEAUX :**

<b>Tableau I.1.</b> Températures moyennes annuelles de l'air.....	4
<b>Tableau I.2.</b> Températures moyennes mensuelles de l'air (2008) .....	4
<b>Tableau I.3.</b> Précipitations annuelles en millimètre .....	4
<b>Tableau I.4.</b> Précipitations moyennes mensuelles (2008).....	5
<b>Tableau I.5.</b> les vitesses des vents avec leurs directions.....	5
<b>Tableau I.6.</b> Aquifères de la région de l'Oasis Nord.....	20
<b>Tableau I.7.</b> Aquifères de la région Djebel Lahmar.....	21
<b>Tableau I.8.</b> Aquifères de la région de Sidi Hakoum.....	21
<b>Tableau I.9.</b> Aquifères de la région de Djebel Mokrane.....	21
<b>Tableau I.10.</b> Progression de la dotation recommandée en eau potable à différents horizons.....	22
<b>Tableau II.1.</b> Bassins versants du Sahara Septentrional.....	27
<b>Tableau II.2.</b> Ruissellements calculés sur l'Atlas Saharien.....	29
<b>Tableau II.3.</b> Les points d'eaux existent dans le CI et le CT.....	33
<b>Tableau II.4.</b> Infiltration a partir de le Pluie et du ruissellement : nappe du CI.....	41
<b>Tableau III.1.</b> Résultats des paramètres Chimiques 2008.....	47
<b>Tableau III.2.</b> Résultats des paramètres Chimiques 2009.....	48
<b>Tableau III.3.</b> Résultats des paramètres Chimiques 2010.....	49
<b>Tableau III.4.</b> Points d'eau échantillonnés au niveau de la zone de recharge (Laghouat,2008).....	50
<b>Tableau III.5.</b> Points d'eau échantillonnés au niveau de la zone de recharge (Laghouat ,2009).....	51

## *Liste des tableaux*

---

<b>Tableau III.6.</b> Points d'eau échantillonnés au niveau de la zone de recharge (Laghouat,2010).....	52
<b>Tableau III.7.</b> Résultats des paramètres Chimiques 2003.....	53
<b>Tableau III.8.</b> Points d'eau échantillonnés au niveau de la zone de recharge (Laghouat,2003) .....	54

**LISTE DES FIGURES :**

Fig. I.1. Situation géographique de la région de Laghouat.....	3
Fig. I. 2. Coupe géologique de djbel dakhla .....	7
Fig. I. 3. comportement hydrogéologique des différentes formations de l'atlas saharien central.....	15
Fig. II. 1. Nappes du CI et CT.....	23.
Fig. II. 2. carte géologique du Sahara Septentrional.....	25
Fig. II. 3. Bassin versant du Sahara septentrional.....	28
Fig. II. 4. Carte des bassins de l'atlas saharien.....	29
Fig. II. 5. Isopièzes du Continental Intercalaire.....	32
Fig. II. 6. Carte des épaisseurs du CI.....	33
Fig. II.7 : répartition des points d'eau du CI et du CT ( à Lag – H R'mel ) et sur l'ensemble du bassin Saharien (OSS, 2003) .....	34
Fig. II. 8. Représentation des divers mécanismes de la recharge en zone aride.....	35
Fig. II. 9. Modèle mathématique du SASS.....	38
Fig.III.1. les points échantillonnés lors la campagnes de prélèvement de ( CRNA , 2003 ).....	43
Fig. IV.1 : Diagramme de Piper: Eaux du CI (Laghouat-Hassi R'mel).....	58
Fig. IV.2 Relation entre Na et Cl (CRNA, 2003).....	60
Fig. IV.3 Relation entre Br et Cl (CRNA, 2003).....	60
Fig. IV.4 : Relation entre (Mg/Ca) et Cl (CRNA, 2003).....	61

## LISTE DES FIGURES

---

Fig. IV.5 : Relation entre Ca et SO <sub>4</sub> (2003, 2008, 2009, 2010). .....	62
Fig. IV.6 : relation entre (SO <sub>4</sub> /Cl) et Cl (2003,2008,2009,2010).....	63
Fig. IV.7 : évolution spatial de la conductivité, Cl, Na, TDS (CRNA 2003) .....	65
Fig. IV.8. Relation O <sup>18</sup> - H <sup>2</sup> dans les eaux naturelle.....	68
Fig. IV. 9. Relation Oxygène 18-deutérium (eaux de la nappe du Cl à Laghouat- Hassi R'mel ).....	69
FIG. IV.10 : Cartes piézométrique du Cl.....	70

**SOMMAIRE :**

Introduction générale .....	1
Chapitre I présentation du secteur d'étude.....	3
I.1. situation géographique du secteur d'étude.....	3
I.2. Contexte hydro climatique.....	3
I.2.1. Température.....	3
I.2.2. Précipitation.....	4
I.2.3. Vent.....	5
I.2.4 . Humidité relative de l'air.....	5
I.3 . Contexte géologique et stratigraphique.....	5
I.3.1. Stratigraphie .....	6
1) L'Albien (800 à 1 000 m).....	8
2) Le Cénomaniens (200 à 250 m).....	8
3) Le Turonien (150 à 300 m).....	9
4) Le Sénonien.....	9
5) Le Mio-Pliocène.....	9
6) Quaternaire.....	10
Quaternaire ancien.....	10
Quaternaire moyen.....	11
Quaternaire récent.....	12
Glacis du Quaternaire récent (Soltanien).....	12
Remblaiements Fini-Soltanien.....	12
Basses terrasses (Rharbien).....	12
I.4. Contexte Hydrogéologique.....	13
I.4.1. Aquifères de l'Atlas Saharien Central.....	13
I.4.1.1. Nappes des formations deltaïques.....	13
I.4.1.2. Formations calcaire-dolomitique.....	14
I.4.1.3 Nappe sénono-turonienne.....	16
I.4.1.4. Nappe du Tertiaire Continental.....	16

I.4.1.5 .Nappes alluviales et infère-flux.....	16
I.4.1.6. Limites Hydrogéologiques.....	17
I.4.2. Aquifères du piémont Sud.....	17
I.4.2.1. Continental Intercalaire.....	17
I.4.2.2. Complexe Terminal.....	18
Éocène inférieur carbonaté.....	18
Eocène moyen évaporitique.....	18
Mio-Pliocène.....	18
I.4.3. Relations avec les aquifères limitrophes.....	19
I.4.3.1. Relation avec le Complexe Terminal.....	19
I.4.3.2. Relation avec le Continental Intercalaire.....	19
I.5. Conditions d'Émergence des sources.....	20
I.6 Dotation .....	22
Chapitre II Problème de la recharge de nappe du continental intercalaire sur la région de Laghouat (Atlas saharien) .....	23
II.1. Faciès géologiques du Sahara Septentrional .....	24
II.1.2. Corrélations lithostratigraphiques.....	25
le bassin occidental.....	26
le bassin central.....	26
le bassin oriental.....	26
II.2. Ruissellement sur les Bassins Versants du Sahara Septentrional ... ..	26
II.3. Ruissellements calculés sur l'Atlas Saharien.....	28
II.4. Les faciès du Continental Intercalaire .....	30
II.5. Tracé de la Carte Piézométrique du CI .....	31
II.6.Calcul des réserves du CI.....	32
II.7. Les points d'eaux du CI et le CT.....	33
II.8. Aires de Recharge et Alimentation des Nappes.....	35
II.9. Estimation du débit de la recharge du CI a partir de l'Atlas Saharien .....	36
II.9.1. Approche hydrologique .....	37
II.9.2. Modèles mathématiques.....	37
II.10. Affleurements du continental Intercalaire .....	38
II.10.1. L'infiltration directe aux affleurements .....	39
II.10.2. L'Infiltration des Crues d'Oueds.....	40

Chapitre III METHODOLOGIE.....	42
III. 1 – Mesure des paramètres physico chimique .....	44
- Mesure de pH .....	44
- Mesure de la conductivité électrique .....	44
- Mesure du TAC (Titre alcalimétrique complet ).....	44
- Mesure la somme des alcalins libre (OH <sup>-</sup> ).....	44
- Mesure de TDS ( Taux de sel dissous ) .....	45
III. 2 – Matière azotée et phosphore .....	45
- Dosage de l'ammonium .....	45
- Dosage des nitrites .....	45
- Dosage des nitrates .....	45
- Dosage des phosphore .....	45
III. 3 – Matières minérale.....	46
- Dosage des sulfates .....	46
- Dosage des chlorures .....	46
- Dosage de calcium et du magnésium .....	46
- Dosage du potassium et du sodium .....	46
Chapitre IV Discussion et interprétation des résultats.....	55
Introduction.....	55
IV.1. discussions des résultats hydro chimique .....	55
IV.1. 1. discussions des résultats des paramètres physico-chimiques .....	55
IV.1. 1. 1. la température .....	56
IV.1. 1. 2. Ph.....	56
IV.1. 1. 3. Taux de sel dissous (TDS) .....	56
IV.1. 1. 4. Titre alcalimétrique complet (TAC , HCO <sub>3</sub> ) .....	56
IV.1. 1. 5. conductivité .....	57

## SOMMAIRE

---

IV.1. 2 : Faciès chimiques des eaux .....	58
IV.1. 3. Origine de la minéralisation et des éléments chimique .....	59
- Couple Na , Cl <sup>-</sup> et Br <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> .....	59
- Couple (Mg / Ca) , Cl <sup>-</sup> .....	60
- Couples Ca <sup>++</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> et (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> / Cl <sup>-</sup> ) ,Cl <sup>-</sup> .....	61
IV.1.4 Evolution spatiale et origine de la minéralisation.....	63
IV. 2. Discussion des résultats isotopique.....	66
Rappel théorique .....	66
IV. 2. 1Interprétation des Données isotopiques.....	70
IV.3. Données piézométriques et hydrochimiques .....	70
CONCLUSION.....	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	

## **Introduction**

Le Sahara septentrional, qui s'étend d'ouest en Est entre l'Algérie la Tunisie et la Libye, avec près d'un million de km<sup>2</sup> de superficie, est l'un des plus grands déserts au monde : Le Continental Intercalaire (CI). Plusieurs investigations ont été faite par des hydrogéologues qui reconnaissent qu'il recèle d'énormes réserves d'eaux souterraines, L'aquifère du Continental intercalaire l'un des plus grands aquifères captifs dans le monde, Ensemble avec le Grès Crétacé Nubien (En Libye, Egypte et Soudan) forment facilement le plus grand système des aquifères dans le monde entier.

Quant à l'alimentation des ces systèmes aquifères Sahariens, certains s'accordent à dire que leurs eaux sont héritées de périodes climatiques plus humides, alors que pour d'autres, ces nappes peuvent encore être actuellement rechargées lorsque certaines conditions sont réunies .

Il a été établi (ERESS, 1972) que la zone de l'Atlas saharien constitue la principale zone de recharge de l'aquifère du CI. Cette question de la recharge a été le paramètre le moins connu dans l'établissement du Bilan de la nappe, ce qui a fait d'elle l'objet d'un intérêt scientifique depuis plusieurs décennies.

L'objectif de cette étude est :

- D'appliquer les techniques hydrochimiques pour déterminer l'origine de la minéralisation et des éléments chimiques et cela par l'étude de certaines corrélations entre éléments chimiques et leurs évolution spatio temporelle.
- Appliquer les isotopes stables (deutérium, oxygène-18) afin de confirmer ou infirmer la recharge de la nappe du CI au niveau de l'Atlas Saharien et déterminer l'origine des masses d'eau.
- Confirmer la continuité hydrodynamique du système par la considération des radiales dans la direction de l'écoulement et voir l'évolution des éléments chimiques selon ces directions.

Cette étude est structurée selon les chapitres suivants :

Le premier chapitre, abordera la présentation de notre secteur d'étude concernant la zone de recharge du CI à l'Atlas Saharien (région de Laghouat) par la présentation des différents contextes hydro climatique, géologique et stratigraphique et comprendre le Contexte Hydrogéologique .

Le deuxième chapitre, traite du Problème de la recharge de nappe du continental intercalaire sur la région de Laghouat (Atlas saharien) .

Le troisième chapitre consacré à la Méthodologie adopté dans cette étude, c'est à dire les différents méthodes d'analyses hydro chimiques et isotopiques .

Et enfin un quatrième chapitre, réservé à la présentation des résultats et discussion,

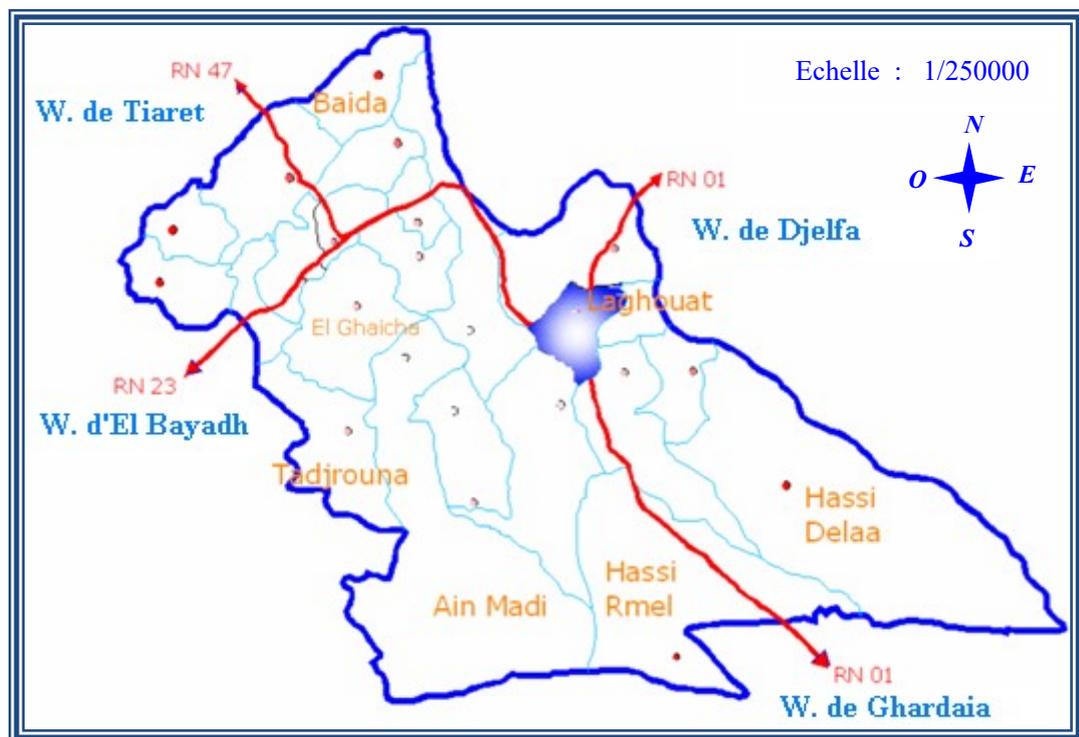
## I. présentation du secteur d'étude :

### I.1. Situation géographique :

La région de LAGHOUAT est située à environ 400 km au sud d'Alger, elle est limitée par les wilayets suivantes :

- DJELFA au Nord et Est .
- W.ELBAYADH et W.de TIARET de l'Ouest .
- W.de GHARDAIA au Sud .

Elle est située au piémont de l'atlas saharien, dont l'altitude moyenne est de 760 m .



**Fig. I.1 : Situation géographique de la région de Laghouat**

### I.2. Contexte hydro climatique :

Le climat de la région de Laghouat est de type aride, froid et humide en Hiver et chaud et sec en Eté .

#### I.2.1. Température :

L'abaissement de la température en hiver et en automne est assez sensible au voisinage de hautes terres de l'atlas saharien.

Les écarts de températures annuelles sont uniformes.

**Tableau I.1 : Températures moyennes annuelles de l'air**

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
T <sub>moy</sub> (°C)	18.2	19.2	18.6	19.6	18.6	19.9	18.9	19.4	19.8

(Source : Station métrologique Laghouat)

La température moyenne annuelle est de 19.13 °C pour la période 2000-2008

**Tableau I.2 : Températures moyennes mensuelles de l'air (2008)**

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T <sub>moy</sub> (°C)	9	11	14	16	19	28	31	31	25	21	21	11

(Source : Station métrologique Laghouat)

La température moyenne mensuelle est de 19.8 °C pour la période 2000-2008, elle atteint sa valeur maximale (31°C) au mois d'Aout et sa valeur minimale (9 °C) au mois de Janvier.

### I.2.2. Précipitation :

La pluviométrie est très réduite à cause du rempart naturel de la chaîne de l'Atlas saharien. La pluviométrie enregistrée par la station de Laghouat est 180 mm par an en 36 jours de pluie, les tableaux suivants donnent les valeurs de précipitations annuelles et mensuelles en millimètre.

**Tableau I.3 : Précipitations annuelles en millimètre**

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Pluviométrie	181	237	63	253	89	95	101	154	180

(Source : Station métrologique Laghouat)

**Tableau I.4 : Précipitations moyennes mensuelles (2008)**

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Pluviométrie	14.4	9.7	20.7	11	28.5	19	9.5	7	10.8	7.7	5.9	35.8

(Source : Station métrologique Laghouat)

### I.2.3. Vent :

Laghouat est une région fortement ventée avec des directions différentes selon les saisons.

Généralement les vents se manifestent au début de Printemps jusqu'au début d'Eté.

Le tableau suivant donne les vitesses maximales annuelles des vents et leurs directions entre 2000 - 2008.

**Tableau I.5 : les vitesses des vents avec leurs directions**

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Direction du vent	N/NW	N	NW	W/NW	W	N/NW	NW	NW	W/NW
V <sub>max</sub> (m/s)	29	30	28	28	25	36	24	25	35

(Source : Station métrologique Laghouat)

### I.2.4 . Humidité relative de l'air :

L'humidité relative mensuelle atteinte une valeur maximale de 82 % au mois de Décembre et une minimale de 32 % en Juillet et Aout. Sa moyenne annuelle est de 52.17 %.

### I.3 . Contexte géologique et stratigraphique :

L'étude géologique de la région de LAGHOUAT est basée sur des observations de terrains et sur les résultats des différents forages réalisés dans la région, principalement par la D.E.M.R.H et l'E.T.H.L.A.

**I.3.1. STRATIGRAPHIE :**

Les affleurements secondaires de la région étudiée sont très développés et se rencontrent exclusivement dans l'Atlas saharien. CHETTIH M. (2001) Le Mio-Pliocène est transgressif sur les terrains secondaires, sur lesquels il repose en contact anormal . une coupe géologique descriptive des séries cénomaniennes et turoniennes à été levées au Djebel Dakhla .

Le Mio-Pliocène et le Quaternaire sont décrits essentiellement par forages.

Fig. I.2 : Coupe géologique de djbel dakhla . CHETTIH M. (2001)

S coupe geologique de djbel dakhla



**1) L'Albien (800 à 1 000 m) :**

C'est un élément constant formant le cœur des anticlinaux. Il est l'auréole de base des synclinaux.

Cette étage est formé par un complexe gréseux puissant, généralement en bancs métriques. Les niveaux- inférieurs de cette série sont représentés par une succession de marnes plus ou moins gypseuses, de couleur violette ou -lie de vin et de niveaux gréseux.

Au dessus, vient une série épaisse et uniforme de grès à grains grossiers, avec de norilbreux galets de quartz (peu roulés).

Leur désagrégation est responsable, de la formation des dunes de sables.

Les dépôts albiens passent dans leurs parties supérieures à une alternance de marnes et de grès.

La limite inférieure se situerait dès l'apparition des marnes violettes (à la base de l'Albien).

**2 ) Le Cénomaniens (200 à 250 m) :**

Il forme l'auréole moyenne des synclinaux perchés. Il est compris entre un Albien supérieur marno-gréseux et un Turonien calcaire-dolomitique.

A la base, le Cénomaniens est à marnes vertes, souvent gypseuses avec de rares intercalations de bancs métriques de calcaires.

Dans sa partie médiane, le Cénomaniens est représenté par des marno-calcaires, des calcaires marneux et des marnes souvent gypseuses. Au sommet de cette série, les marnes sont plus importantes et gypseuses.

La faune est rare et mal conservée. On trouve au Djebel Dakhla des Ammonites et des Lamellibranches, en voie de pyritisation. D'après LE MESLE, le Cénomaniens de Laghouat renferme des Ostréa Syphax et des oexogyra africana.

**3 ) Le Turonien (150 à 300 m) :**

Au-dessus du Cénomaniens tendre et à pente douce, se dresse en muraille un Turonien calcaire-dolomitique souvent en bancs métriques. Il constitue alors la corniche sommitale des synclinaux .

Plus abondante qu'au Cénomaniens, la faune est toujours en mauvais état. Au sommet du Djebel Milok, existent des niveaux fossilifères à Ammonites (*Pachydiscus perampus*, *pachydiscus Durandi*, *pachydiscus Rollendi*, *Sphenodiscus Requieri*, *Pseudotissotia Moesli*). Au Djebel Dakhla, l'*Acanthoceras Deverianus* a été observé. Au Rocher des Chiens, DURAND a recueilli des *Holaster Tizigarinas*, des *Hemiasters Latigrunda*, des *Pyrinas Durandi* .

La limite inférieure est lithologique, elle marque le passage d'une sédimentation marno - gypseuse du Cénomaniens, à des dépôts calcaires et dolomitiques du Turonien. Le Turonien est juste après les derniers bancs de gypse et de marnes gypseuses verdâtres .

**4 ) Le Sénonien :**

Comparativement aux autres étages, le Sénonien couvre de faibles surfaces. L'émersion de la région de Laghouat a eu lieu, après le Sénonien cet étage a eu à subir une érosion intense . Il affleure dans la cuvette synclinale du Djebel Milok, dans le synclinal Dakhla, dans la chaîne qui va de Laghouat à Messad et au Djebel M'Cied.

**5 ) Le Mio-Pliocène :**

La phase qui a contribué à la surrection de l'Atlas saharien entraîne le retrait de la mer des vastes domaines qu'elle occupait. La région de Laghouat est restée émergée durant tout le Nummulitique. CHETTIH M. (2001)

- Au pied de l'Atlas saharien s'individualise un sillon péri atlasique qui a dû se combler dès le retour de la mer, par des dépôts détritiques.

Les formations détritiques, du Tertiaire continental occupent les dépressions de l'Atlas saharien, et s'étendent largement vers le Sud, où elles sont limitées par l'extrémité nord du bouclier créacé du M'Zab.

- Au Kef Séridja, Bled El Fetha : il est représenté par des calcaires à éléments bréchiques, arrondis et subarrondis, où viennent s'intercaler des veau à oudingues et des sables grossiers siliceux blanchâtres Vers l'aval, de part et d'autre de l'oued M'Zi (à Mekhareg, Ksar Hirane, Ksar Kabeg), le Mio-Pliocène est sableux, argileux et montre de rares passes calcaires ses niveaux forment de petits monticules, ou gours, dont la partie supérieure est protégée par des calcaires fracturés, polis par l'érosion éolienne.

Dans un but hydrogéologique, plusieurs forages ont été exécutés et ont permis de sonder les dépôts du Tertiaire continental.

## **6 ) Quaternaire :**

Après une phase Plio-Villafranchienne d'orogénèse, l'usure des reliefs atlasiques et le remplissage des structures créacées dans l'Atlas Saharien Central ont abouti à la constitution d'une surface d'érosion dont les restes constituent le plus haut niveau des étagements de versants quaternaires. L'ennoyage des structures plissées atlasiques par les séries détritiques du Tertiaire Continental, réalisé probablement avant le Villafranchien Supérieur, a eu pour conséquence de masquer les contrastes du soubassement géologique secondaire et de leur substituer une lithologie peu différenciée. L'élaboration de la Haute surface du Quaternaire ancien a marqué l'aboutissement de ce long processus d'uniformisation des conditions structurales de l'érosion.

### **a) Quaternaire ancien :**

Le Quaternaire Ancien dans la région de Laghouat, comporte deux niveaux morphologiques : la Haute surface et un système de glacis CHETTIH M. (2001)

- La Haute surface se présente en réalité sous forme de lanière. Des blocs de 50 à 60 cm grossièrement émoussés et fortement encroûtés par du calcaire constituent la couverture de ces lanières.
- Le Glacis du Quaternaire ancien est très bien conservé dans la région de Taadmit, sa couverture bien alimentée par la côte calcaire turonienne, est épaisse de 3 à 5 m. Un encroûtement de calcaire pulvérulent surmonté d'une dalle de croûte, consolide une masse de galets. Au Sud de la ville de Laghouat, le Glacis du Quaternaire ancien est un plan incliné simple qui depuis une ligne de hauteurs (Ras Boutrekfine) s'infléchit régulièrement vers le Nord (Oued M'Zi), il est également représenté par une croûte calcaire épaisse et par des galets.

#### **b) Quaternaire moyen :**

En dehors du glacis Moulouyen, on distingue deux niveaux de glacis, ou de glacis-versants et de terrasses rattachables au Quaternaire moyen. Ces formes se sont principalement développées dans les formations détritiques du Tertiaire et accessoirement dans les séries argileuses ou marneuses du secondaire.

- Le premier glacis est mieux représenté dans le bassin de l'Oued Taadmit, il est nettement individualisé sous forme d'une longue lanière dont la croûte sommitale enrobe une nappe de galets. Au pied des dernières crêtes turoniennes existent encore de courts glacis de piémont, mais en aval et au Sud de l'Oued M'Zi, la forme de glacis-versant domine.

- Le deuxième glacis (Tensiftien) est largement fossilisé par une croûte calcaire qui surmonte une nappe de galets hétérométriques. Des glacis de piémont s'esquissent à proximité de Laghouat, de part et d'autre de l'Oued M'Zi. Partout ailleurs règne le glacis-versant. Plus en aval, la terrasse correspondant à ce niveau est en moyenne à 5 m au-dessus des écoulements actuels et tend à se confondre avec la nappe alluviale du Quaternaire récent et à disparaître même à certains endroits sous ce remblaiement.

**c) Quaternaire récent :**

Les basses topographies localisées de part et d'autre des écoulements, en contrebas du glacier Tensiftien, comprennent deux à trois niveaux différents. On rencontre d'abord un glacier-versant, ou un glacier sur piémont, étagé dans le précédent.

On passe ensuite aux basses terrasses qui peuvent être exceptionnellement raccordées en continuité au glacier, mais ordinairement viennent s'y emboîter.

- **Glacis du Quaternaire récent (Soltanien) :** Un nouveau niveau morphologique a été façonné au cours du dernier pluvial, en contrebas des glaciers du Quaternaire moyen. Ce dernier pluvial a eu une efficacité réduite en dehors des chaînons montagneux. Dans les dépressions, il a modelé un système de courts glaciers-versants.

La couverture caillouteuse de ce niveau, constituée en débris dans l'ensemble de petite taille, à une épaisseur faible de l'ordre du mètre. Un encroûtement calcaire consolide les dépôts et une mince croûte fossilise la topographie.

- **Remblaiements Fini-Soltanien :** Ils ont été décrits à El Haouita par ESTORGES AUMASSIP ET DAGORNE. (1969) où ils ont été très bien conservés. Ils correspondent à des sables fins homométriques, grès fins consolidés, accumulations de sables remaniés, calcaire lacustre, horizons noirâtres de marnes et enfin un petit banc de galets anguleux. La nature des dépôts et leurs terminaisons brusques indiquent une ambiance climatique aride.

- **Basses terrasses (Rharbien) :** Deux basses terrasses d'importance très inégale s'étagent ou s'emboîtent en contrebas du glacier Soltanien. Elles constituent une accumulation généralisée et continue le long des talwegs. Sur le piémont adasique, elles passent en continuité à des vastes cônes de déjection. Son épaisseur est en moyenne de 5 à 6 m, elle peut atteindre 10 m de part et d'autre des barrages structuraux. La basse terrasse majeure est définie par la couleur beige-rosé de ses alluvions, son dispositif stratigraphique le plus fréquent est celui d'une séquence verticale.

A la base apparaît un conglomérat épais. Il remplit d'anciens chenaux, sa structure lenticulaire, la très forte hétérométrie du matériel dans lequel abondent les blocs plus ou moins émoussés, le caractérisent comme dépôt torrentiel. Sa matrice sablo-graveleuse est généralement peu consolidée. Au-dessus, dans la partie moyenne et haute de la nappe, le faciès du dépôt devient de plus en plus fin. La nappe se termine par des sables ocre-beige, très finement lités, de plus en plus limoneux et carbonatés vers le haut, sur lequel s'est développé un sol brunâtre. La basse terrasse mineure n'occupe qu'une place très réduite le long des principaux talwegs. Sa position la plus fréquente est l'étagement ou l'emboîtement dans la terrasse Soltanienne. Elle est le plus souvent à paralléliser avec le Rharbien. Elle s'intègre à une sédimentation Soltano-Rharbienne dans les cas de recouvrement CHETTIH M. (2001).

#### **I.4. Contexte Hydrogéologique :**

La répartition et la nature des formations, ainsi que leur localisation tectonique permettent de distinguer deux unités hydrogéologiques bien distinctes : l'Atlas et son piémont Sud.

##### **I.4.1. Aquifères de l'Atlas Saharien Central :**

###### **I.4.1.1. Nappes des formations deltaïques et continentales secondaires :**

Les puissantes formations deltaïques et continentales : (grés dolomies de Kerakda, grés massifs de Seklafa, grés chenaux de Taouiala et grés dragées du Barrémien et Albien inférieur) constituent les aquifères les plus importants de la chaîne porosités multiples d'interstices, des fissures et des chenaux. Ces formations gréseuses sont dotés d'une propriété-réservoir de nature initialement intrinsèque représentés par sa porosité d'interstice, car elles remplissent principalement vis-à-vis de l'eau une fonction capacitive d'une part, et une fonction conductrice d'autre part. Elles possèdent également une porosité de fissure mise en évidence par les pertes totales ou partielles de boue dans la zone noyée, que nous avons fréquemment constaté au cours de la réalisation de nombreux forages hydrauliques. La porosité

de chenaux est également mise en évidence dans la zone noyée par la descente en chute libre du train de tige (1 à 2.5 m) au cours de la réalisation de forages dans les régions : d'El Haouita, d'Ain Madhi, de l'Oued Mourra et de Sidi Makhlouf.

Les aquifères sont drainés par un nombre important de sources qui jaillissent le plus souvent le long des accidents tectoniques et au niveau de certains contacts stratigraphiques et alimentent régulièrement les cours d'eau montagnards. CHETTIH M. (2001)

#### **I.4.1.2. Formations calcaire-dolomitique**

Les formations calcaire-dolomitiques jurassiques (calcaires polypiers d'El Azreg, calcaires en plaquettes et calcaires massifs) sont peu perméables, malgré leur importante fissuration, l'épaisseur des bancs et les fréquentes intercalations mammo-argileuses ne permettent pas l'interconnexion des fissures et par conséquent une mauvaise circulation d'eau. Ces calcaires sont très peu exploités par les forages (Tadjerouna, Taouiala et Ain Madhi).

Les débits d'exploitation de ces aquifères sont faibles et varient de 5 à 6 l/s en moyenne, ils peuvent exceptionnellement débiter 10 à 12 l/s s'il sont en relation hydraulique avec d'autres aquifères plus importants. Les transmissivités de ces aquifères varient en moyenne de  $1.8 \cdot 10^{-3}$  à  $2.0 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

Ces aquifères sont caractérisés par quelques sources au niveau de la région de Tadjemout, El Hetaiba et au niveau de Djebel Zeireg. Les nappes des formations calcaire-dolomitiques jurassiques ont peu d'intérêt hydrogéologique à l'échelle régionale. CHETTIH M. (2001).

Age		Epais. (m)	Log Lithologique	Formations	Comportement hydrogéologique	
T. Q.	Quaternaire	Variable		Sables argilo-limoneux	Perméables à peu perméables	Circulation d'interstices
	Tertiaire Continental			Croute calcaire Grès et argiles rouges		
CRETACE	Sénonien	200		Calcaires dolomitiques	Perméables "Karstifiés"	Circulation par fissures
	Turonien	130		Haute muraille calcaire		
	Cénomannien	140		Marnes gypseuses	Imperméables	Substratum
				Marno-calcaires		
	Albien Sup.	100		Grès à dragées supérieurs	Perméables	Circulation par interstices, fissures et chenaux
	Albien Inf.	250		Basses inter-grésives		
	Barremien - Valanginien			800	Grès à dragées inférieurs	
Portlandien		200	Calcaires oolithiques de Zerga Marnes gypseuses	Imperméables	Substratum	
JURASSIQUE	Kimméridgien	200		Grès à chenaux de Tsouida	Perméables	Circulation par interstices, fissures et chenaux
		600		Calcaires en plaquettes	Peu perméables	Circulation par fissures
				Calcaires massifs		
		150		Marnes à gypse	Imperméables	
	300		Calcaires jurassaliques	Peu perméables	Circ. par fissures	
		Oxfordien	800		Grès et argiles rouges de Kourbane	Peu perméables
	Grès massifs de Seldafa				Perméables	Circulation par interstices, fissures et chenaux
	Zone intermédiaire				Peu à imperméables	
	Dogger	150		Calcaires à polypiers d'El Azreg		
				Grès de Kerakda	Perméables	Circulation par interstices, fissures et chenaux
Dogger	400 à 500		Zone de passage	Peu à imperméables	Substratum	
			Argiles silteuses d'El Acuidja			

Fig. I.3 : comportement hydrogéologique des différentes formations de l'atlas saharien central .CHETTIH M. (2001)

### **I.4.1.3 Nappe sénono-turonienne**

La formation calcario-dolomitique sénono-turonienne d'extension relativement faible, forme les reliefs des synclinaux perchés. Cette formation carbonatée présente une forte fissuration et un réseau de drainage assez important. Elle est caractérisée par des sources de débordement (sources de l'Oued M'Zi au niveau du pont de Laghouat, sources d'El Kheneg et la source de Ain Milok), et par des sources temporaires moins importantes (source de Ain Guenifid, source de Ain Dakhlet, El Haouita). L'aquifère est essentiellement exploité qu'au niveau du synclinal de Dakhla Oum Delouaa dans la région de Laghouat et d'El Kheneg.

Les débits des forages captant les calcaires dolomitiques sénono-turonien présentent une large fourchette, et varient de 5 à 30 l/s de qualité moyennement potable.

Les forages captant les calcaires du Turonien, implantés à proximité de la nappe infère flux de l'Oued M'Zi au Nord de la ville de Laghouat, présentent de fortes transmissivités, de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### **I.4.1.4. Nappe du Tertiaire Continental :**

Dans la partie méridionale de l'Atlas Saharien Central, le Tertiaire Continental n'occupe que le centre des synclinaux perchés (Dakhla - Oum Delouaa, Haouita, Lalmaya), ses niveaux grés-argileux sont perméables et les débits sont relativement faibles, le plus souvent inférieurs à 8 l/s. En général, les eaux de cette nappe sont fortement minéralisées (sup à 2 g/l) et très peu sollicitées pour l'exploitation.

### **I.4.1.5. Nappes alluviales et infère-flux :**

La majorité des affluents de l'Atlas Saharien Central sont secs durant les saisons chaudes de l'année. Cependant, certaines rivières (l'Oued Seklafa, l'Oued Taadmit, l'Oued El Maleh et l'Oued Kerakda) s'alimentent régulièrement par les sources d'eau des aquifères mésozoïques atlasiques. Dans les fonds de ces vallées s'installent des dépôts alluvionnaires (sables grossiers, graviers et galets) constituant ainsi les nappes alluviales et les nappes infère-flux. Les transmissivités sont assez bonnes et oscillent entre  $5 \cdot 10^{-2}$  et  $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , HANNACHI (1981) et CHETTIH M. (2001).

#### **I.4.1.6. Limites Hydrogéologiques :**

Les reliefs de Djebel Touilet Makna, Djebel Sidi Okba, Djebel Gourou, Djebel Zeireg, Ain Chouhada, Bordj Douis et Djebel Djellal Rharbi constituent suivant leurs allongement Nord-Est, Sud-ouest la ligne de l'apex des grands bassins versants. Ces bassins constituent :

une unité hydrogéologique septentrionale renfermant le bassin de l'Oued Touil dont certaines crues confluent avec le Nahr Ouessel dans la région de Boughzoul, participent aux Écoulements du Cheliff, une unité hydrogéologique méridionale renfermant les bassins endoréiques de l'Oued M'Zi, l'Oued Taadmit et l'Oued El Maleh.

La limite hydrogéologique Nord de l'unité méridionale correspond à une ligne de partage des eaux superficielles, cette limite peut fluctuer légèrement entre la période des hautes eaux et basses eaux permettant l'unité méridionale de s'étendre plus loin vers le Nord.

L'unité hydrogéologique méridionale est limitée vers le Sud par l'accident Sud Atlasique. Cet accident continu d'orientation Nord-est Sud-ouest, mettant en contact des terrains de nature différente, sépare l'unité méridionale de l'unité hydrogéologique du piémont Sud. Cette limite peut laisser passer des circulations d'eau par endroits, mais d'une manière générale, elle joue le rôle d'une barrière hydrogéologique, Les zones de fuites correspondent aux zones de failles décrochées ouvertes, empruntés par les grands Oueds.

#### **I.4.2. Aquifères du piémont Sud :**

##### **I.4.2.1. Continental Intercalaire :**

Structuralement, le secteur du piémont Sud fait partie de la plateforme saharienne. Le Continental Intercalaire de la plateforme correspond toutes les formations continentales du Jurassique et du Crétacé CHETTIH M. (2001). il repose en discordance sur n'importe quel terme du primaire ou même du socle. Ces sédiments contiennent le plus puissant aquifères du Sahara : 600 000 Km<sup>2</sup> , 250 à 1000 m

d'épaisseur. De part la présence d'épais horizons argileux, impliquant une hétérogénéité importante au sein de l'aquifères GUENDOUZ A. (1985), l'aquifère est en général multicouche.

La perméabilité est relativement élevée, de l'ordre de  $10^{-5}$  m/s. La porosité effective moyenne sur l'ensemble du bassin du Grand Erg Oriental est de l'ordre de 20 à 30% (EDMUNDS ET AL. 1997).

#### **II.4.2.2. Complexe Terminal :**

Dans cette partie Nord de la plateforme saharienne, les formations du Complexe Terminal constituent un système aquifère généralement indépendant du Continental Intercalaire.

##### **a) Éocène inférieur carbonaté :**

Dans le Sahara, on distingue dans l'Eocène deux ensembles distincts : l'Eocène carbonaté la base et l'Eocène évaporitique au-dessus.

Le sénonien et l'Eocène carbonatés réunis forment un puissant ensemble calcaire porosité de fissure mise en Évidence par les pertes de boue signalés au cours de la réalisation des forages pétroliers. Le substratum de l'aquifère étant le Sénonien lagunaire du Salura. HANNACHI A (1981) .

##### **b) Eocène moyen évaporitique :**

Au-dessus de l'Eocène carbonaté, on rencontre une formation constituée par une alternance de calcaires, d'argiles, de marnes et d'anhydrites. HANNACHI A (1981) .

##### **c) Mio-Pliocène :**

Le Mio-pliocène correspond au "Continental Terminal" GUENDOUZ A. (1985), c'est un puissant ensemble de sables et d'argiles qui s'Étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance, indifféremment sur le Primaire, le Continental Intercalaire, le Cénomaniens, le Turonien, le Sénonien ou l'Éocène. Son Épaisseur varie de

quelques mètres à plus de 2000 m dans la fosse Sud-atlasique GUENDOUIZ A. (1985).

On distingue quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires, de bas en haut :

**Niveau 1** : Essentiellement argileux, peu épais, avec l'Eocène évaporitique, constitue une barrière très peu perméable .

**Niveau 2** : Grés-argileux, c'est le niveau le plus épais et constitue le niveau aquifère principal du Mio-pliocène .

**Niveau 3** : Argilo-sableux, ce niveau n'est véritablement épais et constant que dans la région des Chotts .

**Niveau 4** : Sableux, c'est le deuxième niveau aquifère du Mio-pliocène, avec le niveau 2, constitue "les nappes des sables ".

#### **I.4.3. Relations avec les aquifères limitrophes :**

Les relations hydrauliques entre l'unité hydrogéologique méridionale atlasique et les aquifères du piémont Sud, peuvent être simplifiées en deux groupes :

##### **I.4.3.1. Relation avec le Complexe Terminal :**

Les études antérieures de CORNET. (1964), BEL & DEMARGNE. (1966) et BEL & CUCHE (1970), supposent une alimentation du Complexe Terminal à partir de l'Atlas Saharien entre la frontière tunisienne et Biskra. Cependant, entre Biskra et Laghouat, l'apport est supposé nul. Les marnes gypseuses du Crétacé Supérieur constituent une véritable barrière hydrogéologique.

Par ailleurs, HANNACHI (1981) a pu montrer les relations étroites entre les aquifères profonds et superficiels au niveau de la vallée de l'Oued M'Zi, et confirmer ainsi l'alimentation à partir des aquifères atlasiques .

La simulation des écoulements souterrains dans l'aquifère alluvial de l'Oued M'Zi a permis également de confirmer l'apport en provenance des formations aquifères Sénono-Turoniennes et Barrémo-Albo-Aptiennes atlasiques CHETTIH M. (2001).

### I.4.3.2. Relation avec le Continental Intercalaire :

Le Continental Intercalaire saharien peut être rechargé au Nord-Ouest sur les piémonts atlasiques, au Sud sur le plateau du Tinhert et à l'Est sur le Dahar tunisien GONFIANTINI ET AL. ( 1974), GUENDOZ A. (1985), EDMUNDS ET AL. (1997). Le taux de recharge actuel estimé de la nappe est très faible, voire négligeable sur le Dahar MAMOU. (1990).

### I.5. Conditions d'Émergence des sources:

Dans le Djebel Amour, les aquifères gréseux sont drainés par un nombre important de sources, il s'agit le plus souvent de sources de débordement par faille et par contact stratigraphique au niveau des abaissements topographiques. Ces sources constituent les niveaux de base, sous lesquels les aquifères se sont développés en profondeur et / ou la fracturation a probablement permis de guider le processus d'évolution par l'élargissement des vides du réseau de fractures originel. Les différents facteurs géologiques et géomorphologiques sont responsables des possibilités d'alimentation en eau des aquifères et contrôlent les niveaux de base et la direction générale des "drains" vers les exurgences. CHETTIH M. (2001) .

Les formations carbonatées et gréseuses du crétacé constituent des bons réservoirs aquifères séparées par les formations argileuses gypseuses du cénomaniens et l'Aptien qui constituent des épontes imperméables étanches .

La présence des zones faillées favorisent l'alimentation régulière des nappes alluviales HANNACHI A (1981) .

**Tableau I.6 : Aquifères de la région de l'Oasis Nord**

Etage	Lithologie	Prof (m)	Comportement hydrogéologique
Quaternaire	-Sable grossiers -Alluvions (galets, graviers) -Sables fins faiblement argileux	40	Perméabilité par porosité d'interstices

Source : (DHW) de Laghouat

**Tableau I.7 : Aquifères de la région Djebel Lahmar**

Etage	Lithologie	Prof. (m)	Comportement hydrogéologique
<b>Turonien</b>	-Calcaires, dolomitique -Argile	85	Perméabilité par fissures

Source : (DHW) de Laghouat

**Tableau I.8 : Aquifères de la région de Sidi Hakoum**

Etage	Lithologie	Prof. (m)	Comportement hydrogéologique
<b>Barrémien</b>	-Sable et grès fins rouges faiblement argileux à chevrotines -Sables siliceux - Siliceux	150	Perméabilité par porosité d'interstices et fissures

Source : (DHW) de Laghouat

**Tableau I.9 : Aquifères de la région de Djebel Mokrane**

Etage	Lithologie	Prof. (m)	Comportement hydrogéologique
<b>Albien</b>	-Sable et grès fins rouges faiblement argileux à chevrotines	215.	Perméabilité par porosité d'interstices et fissures

Source : (DHW) de Laghouat

## I.6 Dotation

L'estimation de la quantité d'eau nécessaire à l'agglomération dépend étroitement du développement démographique, de l'amélioration du niveau de vie de la population et des infrastructures existantes, cette estimation est faite en fonction de l'évaluation de la population dans différents horizons. Elle diffère aussi d'une période à une autre et d'une agglomération à une autre .

Les prévisions des dotations hydriques recommandées par la direction d'hydraulique de la wilaya de Laghouat (D.H.W) sont représentées sous la forme du tableau suivant :

**Tableau I.10 : Progression de la dotation recommandée en eau potable à différents horizons.**

<b>Horizon</b>	<b>2006</b>	<b>2011</b>	<b>2016</b>	<b>2030</b>
<b>Dotation (l/j/h)</b>	198	200	200	200

Ces prévisions des dotations sont recommandées par la (D.H.W) pour 30 années, On voit que la progression de la dotation recommandée en eau potable est de 200 ( l / j / h ) pendant toute cette période car les paramètres qui rentrent normalement dans la prévision (l'industrie, l'agriculture, le tourisme.....) ne changeront pas d'après les études qui ont été faites par les différents secteurs publics.

## II. Problème de la recharge de nappe de continental intercalaire sur la région de Laghouat (Atlas saharien) :

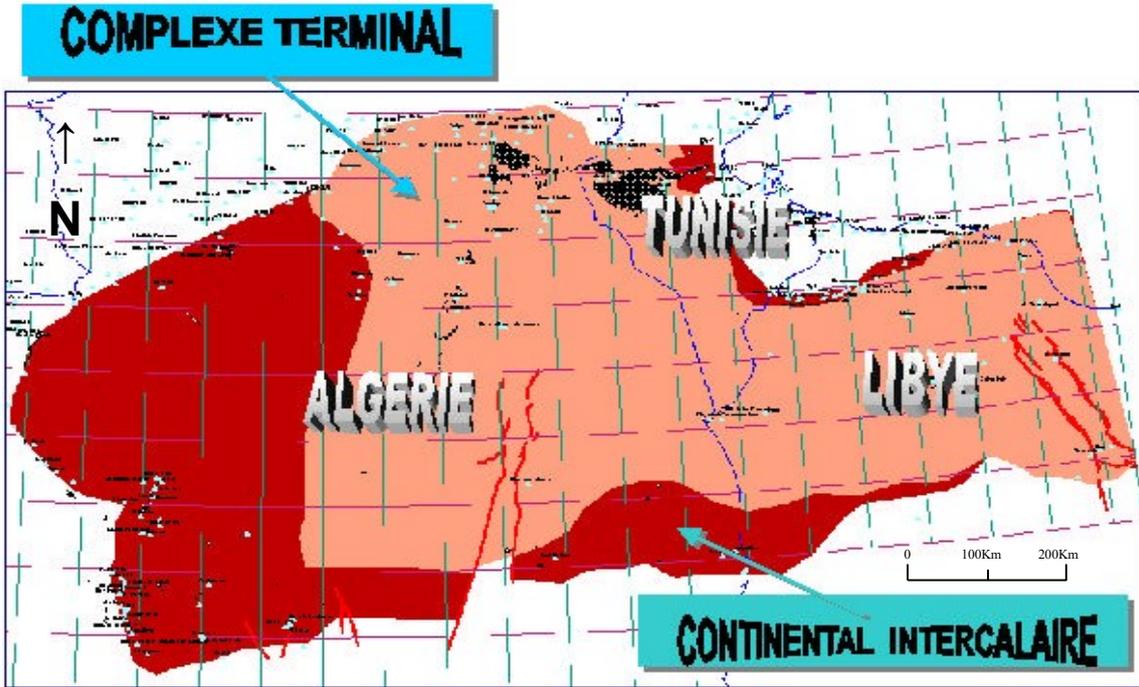


Fig. II .1 : Nappes du CI et CT

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur 1.000.000 km<sup>2</sup> entre l'Algérie, la Libye et la Tunisie. Il est constitué de deux principales couches aquifères :

Le Continental Intercalaire et le Complexe terminal, qui renferment d'importantes réserves évaluées à  $30.000 \times 10^9$  m<sup>3</sup> OULD BABA SY (2005) d'eaux souterraines dont l'accumulation ne peut être expliquée par le climat actuel, la recharge actuelle n'étant que de  $1 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/an ERESS (1972).

Plusieurs hypothèses ont été émises concernant la recharge des aquifères sahariens, notamment celui du Continental Intercalaire qui a été longtemps considéré comme étant une nappe fossile d'où la notion de paléorecharge. La plupart des études ERESS (1972), GUENDOZ A. (1985), GUENDOZ ET AL. (1997), EDMUNDS ET AL. (2003), OSS (2003) confirment que la partie la plus importante des réserves du Continental Intercalaire a été emmagasinée durant les périodes pluvieuses notamment à la fin du Pléistocène.

Il s'agit donc de recharge paléo climatique. Cependant, il est de plus en plus admis, qu'en plus de ces réserves générées pendant les derniers humides, il existe des apports continus à partir des limites du bassin. Tout d'abord, c'est grâce aux études des gradients hydrauliques et à la géochimie, et plus spécialement, la géochimie isotopique qu'on a pu dresser un schéma général d'écoulement. Les cartes piézométriques font ressortir les zones d'alimentation et les zones de vidange, alors que les résultats des analyses isotopiques traduisent la répartition spatiale des âges des eaux. C'est ainsi que les eaux les plus récentes.

Les études de la recharge du SASS s'appuyaient sur trois principaux outils :

- le modèle de simulation du système aquifère multicouche du SASS utilisé pour reconstituer le comportement ancien du système.
- les résultats des analyses isotopiques effectuées dans la région traduites sous forme de cartes des âges des eaux.
- la modélisation des précipitations efficaces et de l'infiltration des crues d'oueds sur les zones d'affleurements perméables utiles des aquifères.

### **II.1. Faciès géologiques du Sahara Septentrional :**

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin englobe une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le terme du «Continental intercalaire» désigne d'après son auteur (C. Kilian (1932),in (OSS 2003b)) un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne.
- au sommet, le cycle du Crétacé supérieur.



Le Modèle Conceptuel du SASS constitue l'aboutissement d'une succession de simplifications ayant comme origine le découpage stratigraphique reconnu aux affleurements géologiques et recoupé en profondeur sur les logs de forages. Le résultat de ces investigations peut décèle clairement la structure générale du SASS en trois bassins OSS ( 2003a ).

- **le bassin occidental**, comprenant le secteur des foggaras au Sud, le Grand Erg Occidental et l'Atlas Saharien au Nord.

- **le bassin central**, le plus étendu en superficie et en profondeur, celui qui présente les plus grandes épaisseurs d'aquifères et dont les ressources sont partagées par les trois pays. Limité à l'Ouest par la dorsale du M'Zab et à l'Est par le plateau de la Hamada el Hamra, sa morphologie est dominée par le Grand Erg Oriental et par les Chotts.

- **le bassin oriental**, Dans ce domaine, le Mio-Pliocène sables et les carbonates sont présents autour de Sénonien la ville de Ouargla où ils fusionnent et sont moins profondes qu'ailleurs. Leur épaisseur ne dépasser 100 m. Sud de 31 300N, le Mio-Pliocène aquifère de sable est la seule formation exploitée .

## II.2. Ruissellement sur les Bassins Versants du Sahara Septentrional :

Depuis les travaux de DUBIEF (1953), Il existe peu d'observations du ruissellement dans la région et l'hydrologie saharienne d'une manière générale paraît avoir suscité bien peu d'intérêt. La contribution de M. FERSI (1979) est à cet égard précieuse. Mettant à profit l'observation du ruissellement sur plusieurs bassins de Tunisie centrale et méridionale, FERSI à établi une formule empirique valable en climat aride, qui relie la lame ruisselée à la pluviométrie (moyenne annuelle) et aux caractéristiques physiographiques résumées par la pente moyenne. Ajustée sur les points expérimentaux, l'équation de FERSI s'écrit :

$$\overline{Lr} = 0.017 * P \cdot \sqrt{IG}$$

où :

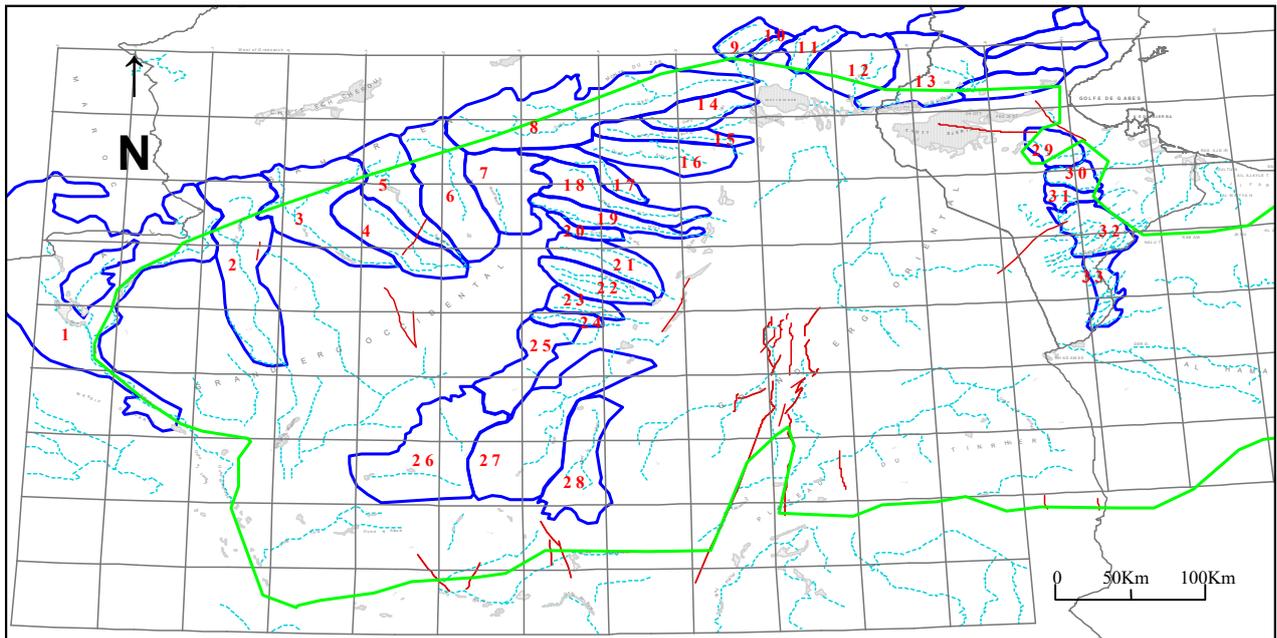
$\overline{Lr}$  : lame ruisselée moyenne en mm / an .

$P$  : pluie moyenne en mm / an .

$IG$  : pente moyenne du bassin en m/Km .

1 : Oued Béchar – Saoura	12 : Oued Djedah	23 : Oued Gouiret Moussa
2 : Oued Namous	13 : Oued El Melah	24 : Oued Djafou
3 : Oued Rharbi	14 : <b>Oued Ittel</b>	25 : Oued Djoua
4 : <b>Oued Mazar</b>	15 : Oued Rtem	26 : <b>Oued Ech Cheguig</b>
5 : Oued Seggeur	16 : Oued Attar	27 : Oued Mya
6 : Oued Zergoun	17 : Oued Zegrir	28 : Oued In Sakki
7 : Oued Mehaiguène	18 : Oued N'sa	29 : Oued Hallouf
8 : Oued Djeddi	19 : Oued M'zab	30 : Secteur Mahbes
9 : Oued Biskra	20 : Oued Metlili	31 : Secteur Lisseri
10 : Oued Biraz	21 : Oued Touil	32 : Secteur Djneiene
11 : Oued El Arab	22 : Oued Fahl	33 : Secteur Tiaret

**Tableau II.1. Bassins versants du Sahara Septentrional OSS (2003a)**



**Fig. II.3 Bassin versant du Sahara septentrional OSS (2003a)**

### II. 3. Ruissellements calculés sur l'Atlas Saharien

La loi de FERSI lui à permis (1979) de proposer des estimations du ruissellement moyen sur l'ensemble des bassins-versants du Sud Tunisien. Elle était utilisée pour tenter d'évaluer le ruissellement sur l'ensemble des Bassins-Versants drainés par le SASS. Parmi ces bassins, les plus actifs sont sans conteste ceux de l'Atlas Saharien, dont on dénombre huit principaux. Parmi ces derniers, deux sont contrôlés par l'ANRH (Fig. II.4) : les Oueds Namous et Seggeur.

Les mesures effectuées ont permis de vérifier la validité de la formule de FERSI dans les conditions de l'Atlas saharien. appliquée aux autres bassins versants du Système Aquifère du Sahara Septentrional. En première analyse, on peut en dénombrer une trentaine, à partir desquels les études estime que l'ensemble du ruissellement interannuel moyen sur le SASS serait de l'ordre de 1 Milliard m<sup>3</sup>/an, dont la moitié provient des bassins de l'Atlas Saharien ERESS (1972b) , BRL (1998), OULD BABA SY (2005),

Bassin versant		$P_{moy}$ (mm)	$I_G$ (m/k m)	$L_r$ (mm)	S (km <sup>2</sup> )	$V_r$ (Mm <sup>3</sup> )
ATLAS SAHARIEN	Oued Namous (ensemble du bassin)	128	4.09	4.24	19052	81
	<i>O.Namous à hassi Mamoura</i>	189	8.17	8.85	8910	79
	Oued El Rharbi	159	4.48	5.52	14974	83
	Oued Seggeur (ensemble du bassin)	154	6.04	6.20	9662	60
	<i>Oued Seggeur à Brezina</i>	245	12.1	13.97	3905	55
	Oued El Mazar	78	2.22	1.90	10590	20
	Oued Zergoun	113	3.93	3.67	15729	58
	Oued Mehaiguene	79	2.23	1.92	10581	20
	Oued Djeddi	177	2.71	4.78	26068	124
	<i>Oued Saoura</i>	114	3.76	3.62	58447	212
<b>Total Atlas (Saoura non compris)</b>						<b>446</b>

Tableau II.2. Ruissellements calculés sur l'Atlas Saharien OSS (2003a)

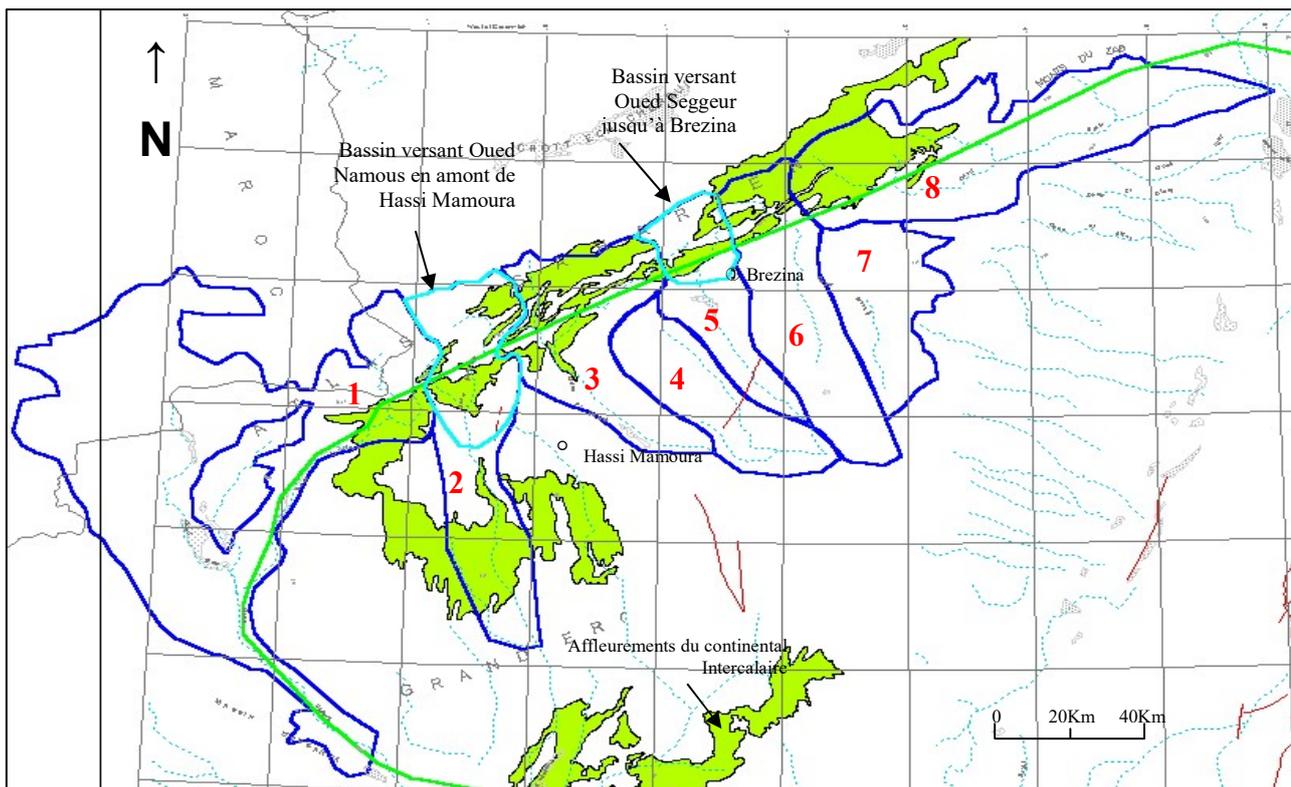


Fig. II.4 : Carte des bassins de l'Atlas Saharien OSS (2003a)

#### II.4. Les faciès du Continental Intercalaire GONFIANTINI ET AL. ( 1974)

Directement surmontées par les argiles du Cénomaniens, les formations du Continental Intercalaire [CI] s'étendent jusqu'en bordure de la plate-forme, en une auréole continue d'El Goléa jusqu'à la limite sud de la Hamada El Hamra. Au Nord-Ouest du bassin, le CI affleure tout au long de l'Atlas Saharien et au N-E sur le Dahar et le Djebel Neffusa. Plus au Sud, le CI repose directement sur les formations marines du Paléozoïque, lequel forme en affleurement une ceinture continue allant de la frontière marocaine, à la limite N-W du bassin, jusqu'à la ville de Hun à l'extrême S-E de la région. L'observation des affleurements permet donc de définir le Continental Intercalaire comme l'ensemble continental compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plate-forme saharienne, et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales grés-argileuses du Crétacé inférieur, auxquelles l'étude des coupes de forages a permis d'associer des sédiments marins ou lagunaires, post-paléozoïques et antécénomaniens intercalés au sein du CI.

Cette définition du Continental Intercalaire, qui constitue la formation aquifère la plus étendue de la région, détermine les limites attribuées à la zone d'étude du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Ces limites, fondées à la fois sur l'étude des affleurements géologiques et sur l'étude des sondages sont :

- **Au Nord-Ouest** le versant Sud de l'Atlas Saharien, marqué en affleurement par le contact Albien-Cénomaniens.
- **A l'Ouest Sud-ouest**, la limite des affleurements paléozoïques de l'Ougarta, marquée par le cours de la Zousfana et de la Saoura.
- **Au Sud**, la limite d'affleurement du CI sur le paléozoïque, allant en continuité d'Adrar à Hun, décrivant les limites septentrionales des Tassilis et du Djebel Hassaouna.
- **Au Nord**, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'El Hamma - Médenine.
- **Au Nord Est** les affleurements du Continental Intercalaire sur le Dahar et le Djebel Neffusa.

- **A l'Est**, les formations aquifères du Crétacé inférieur se prolongent bien au delà du graben de Hun. Mais à l'Est du Méridien 16° et en passant au bassin de Syrte, les eaux du CI deviennent saumâtres .

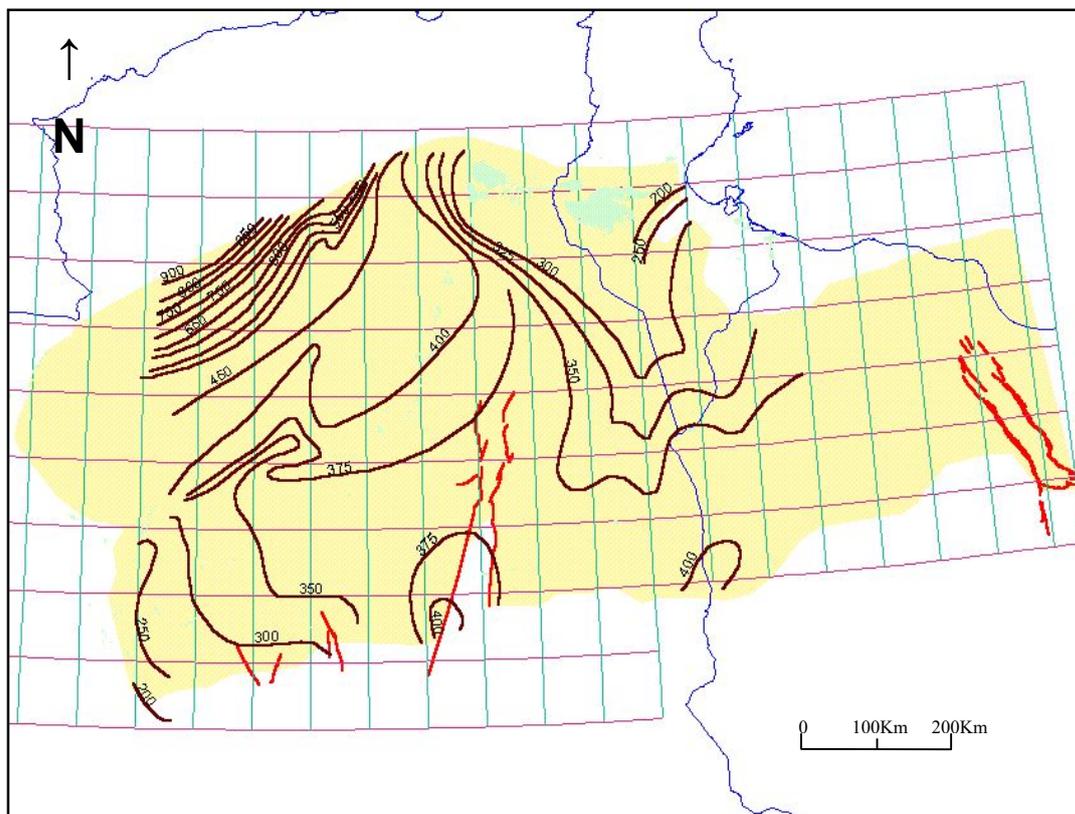
## **II. 5. Tracé de la Carte Piézométrique du CI :**

Le tracé de la carte piézométrique d'un système aussi vaste que le CI comporte toujours un certain degré de parti-pris : la représentation des écoulements constitue le premier niveau de la modélisation hydrodynamique, qui implique qu'aient été arrêtées les idées concernant les origines, les directions et les devenirs de ces écoulements. or ceci n'est pas chose aisée même si l'on dispose de mesures. Une telle carte n'avait pas encore été dressée sur tout le territoire du SASS. Des représentations portant sur des parties du territoire existaient bien pourtant, chacune apportant sa part au progrès des connaissances sur le système. La première contribution d'envergure à la connaissance des écoulements du CI est sans doute celle apportée par A. CORNET (1964) qui identifie deux directions principales de circulation :

- l'une allant de l'Atlas vers l'axe de drainage du Gourara, du Touat et du Tidikelt,
- la seconde zone de drainage principale étant constituée par « les chotts du Bas-Sahara dans le Sud Constantinois et le Sud Tunisien ».

Quelques années plus tard, l'étude commandée par l'Organisme Technique de Mise en Valeur des Richesses du Sous-sol Saharien, réalisée par SCG-BURGEAP(1963), concluait ainsi : «... L'hypothèse de la remontée des eaux du Continental Intercalaire vers les Chotts du Sud Tunisien (Fedjej-Djerid) où elles s'évaporeraient, doit être rejetée. L'exutoire principal de la nappe du CI paraît constitué pour l'essentiel par les nappes Crétacées et Miocènes de la région de Gabès qu'elle alimente à travers la grande faille d'El Hamma ». Cette vision sera adoptée par le projet qui fera de «l'Exutoire Tunisien» l'unique sortie de la nappe dans le bassin central du SASS. Dans le cadre du projet SASS, il a été nécessaire de construire une carte piézométrique

d'ensemble, qui présente un schéma d'écoulements cohérent sur l'ensemble du bassin. Le résultat, (Fig. II.5) , est une synthèse de toutes les précédentes contributions. Cette carte définit les écoulements de la nappe du Continental Intercalaire à l'état « naturel », peu ou pas influencé par les pompages. Cette représentation spatiale de la surface piézométrique est soutenue par un certain nombre de mesures, non forcément toutes synchrones mais datées de périodes antérieures aux pompages les plus significatifs.



**Fig. II.5 : Isopièzes du Continental Intercalaire CORNET A. (1964)**

## **II. 6. Calcul des réserves du CI :**

La carte des épaisseurs du CI résulte de la soustraction des cotes du mur à celles du toit du CI (Fig. II.6). Celle-ci montre des épaisseurs variables. Sur la limite Nord-Ouest du bassin, nous pouvons noter des variations brutales d'épaisseurs dues à la flexure sud atlasique.

Considérant une porosité efficace de 5%, nous pouvons estimer les réserves du CI à  $20.000 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Avec un flux moyen annuel de recharge naturelle de  $0,296 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{an}$ , le taux de renouvellement de la nappe du CI s'établit à  $1,48.10^{-5}$  soit une durée de 70.000 ans environ. OULD BABA SY (2005) .

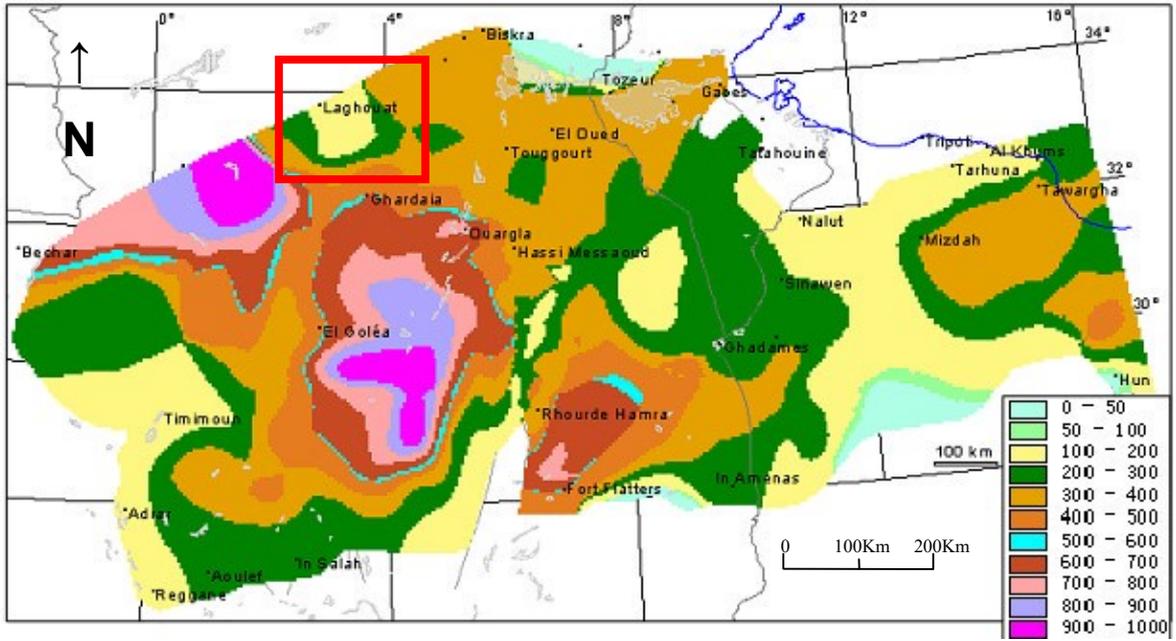


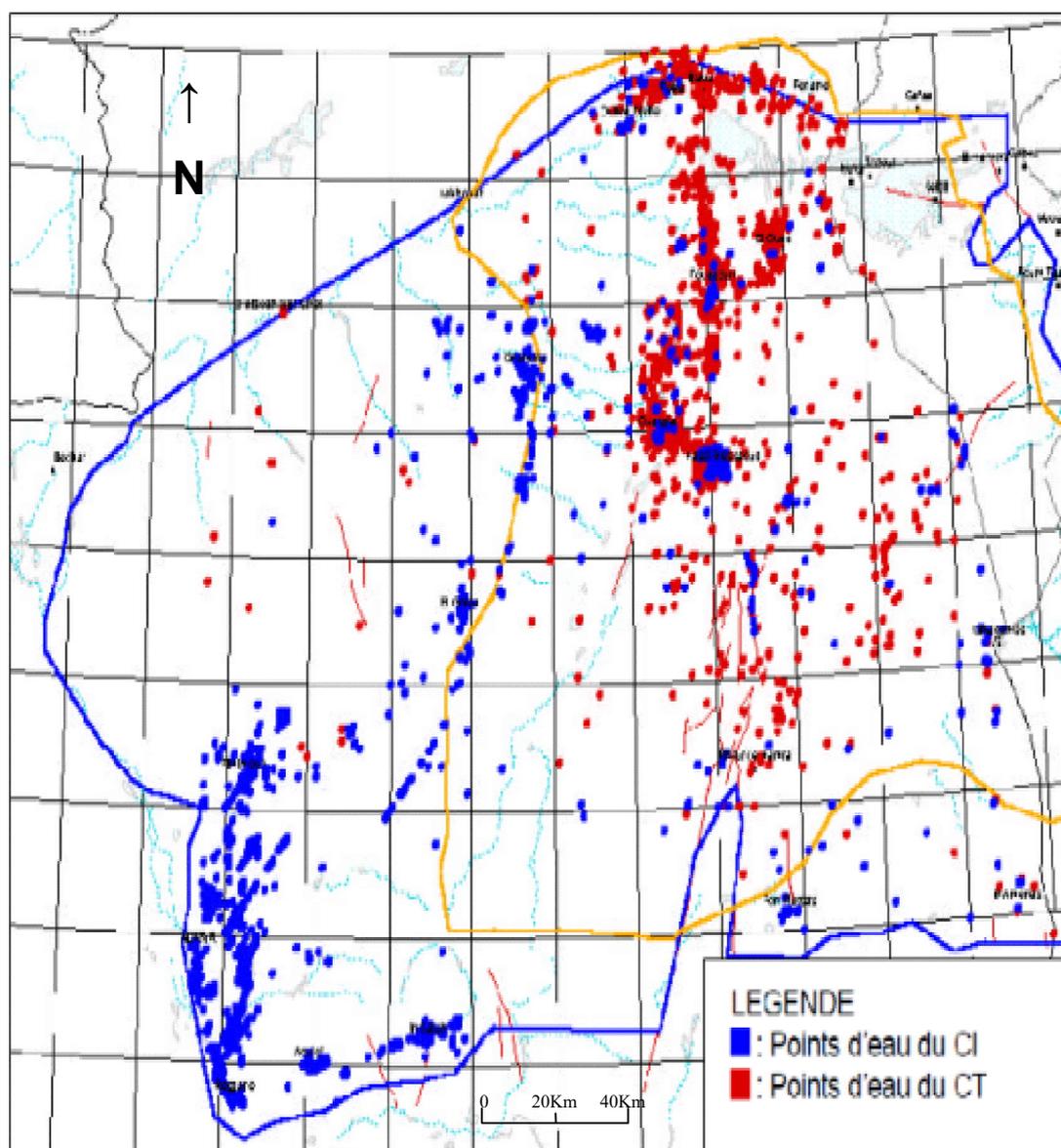
Fig. II.6 : Carte des épaisseurs du CI (OSS, 2003b)

### II. 7. Les points d’eaux du CI et le CT

L’état récapitulatif des points d’eau du bassin saharien situés en territoire algérien fait ressortir en l’an 2001, un total de 6108 points d’eau (Fig. II.7 ) se répartissant comme suit :

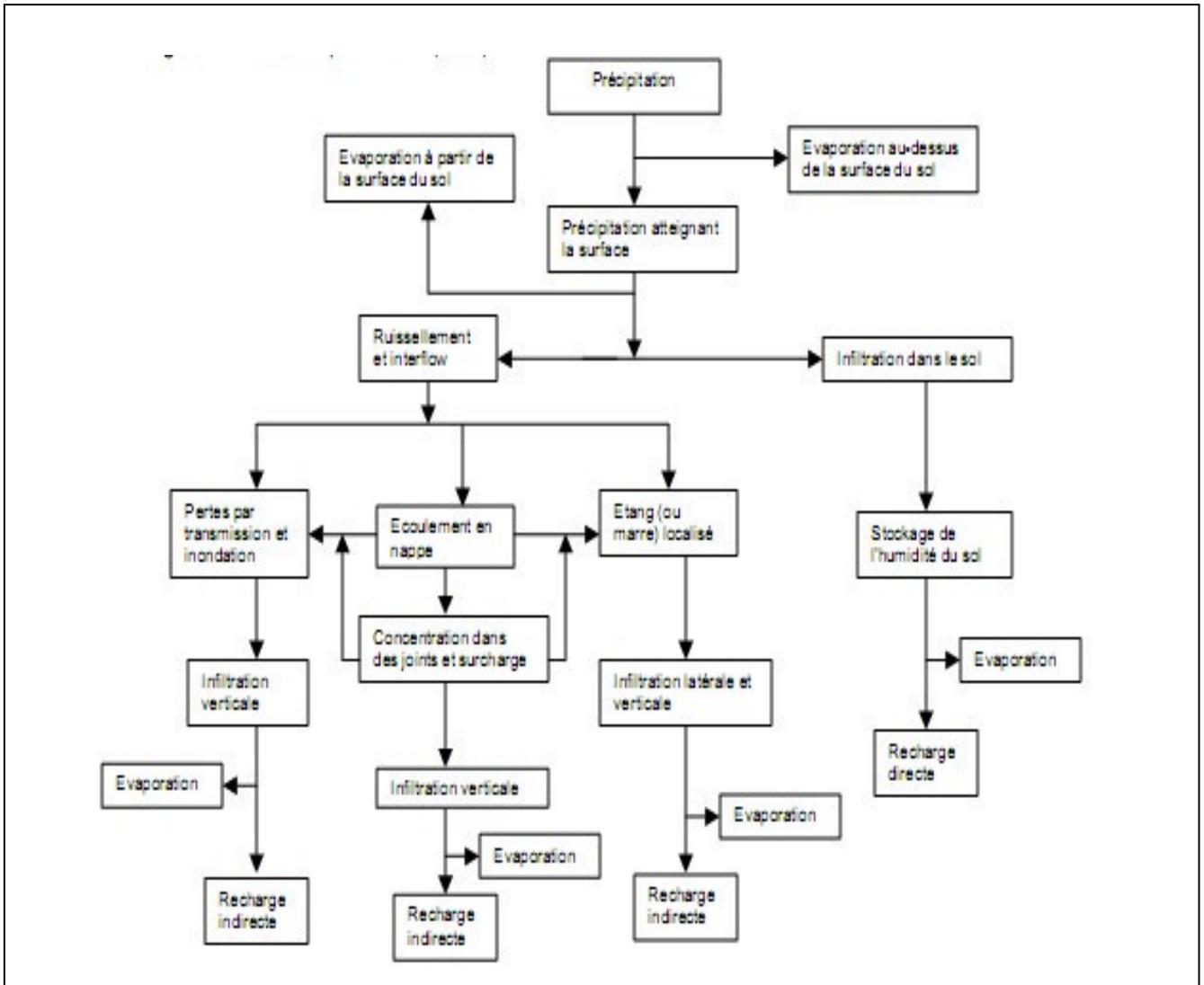
Aquifère	Foggaras	Groupes De foggaras	Forages artésiens	Forages Pompes	Forages Pétroliers	sources	Piézométrie	Total Points d’eau
Continental Intercalaire	701	176	1257	214	33		2	2383
Complexe Terminal			3415	156	87	66	1	3725
Total	701	176	4672	370	120	66	3	6108

Tableau II.3 : Les points d’eaux existents dans le CI et le CT (ANRH, 2001)



**Fig. II.7 : répartition des points d'eau du CI et du CT ( à Lag – H R'mel )  
et sur l'ensemble du bassin Saharien (OSS, 2003)**

## II. 8. Aires de Recharge et Alimentation des Nappes :



**Fig. II.8 : Représentation des divers mécanismes de la recharge en zone aride (adapté de NAZOUYOU, 2002 ; d'après LLOYD, 1986)**

Il existe peu d'indications précises et de travaux portant sur la quantification de la recharge des nappes sahariennes et cette question est toujours demeurée sans réponse véritable. Le développement des modèles, qui peuvent calculer la recharge par calage des transmissivités, a accredité une telle situation. Si bien que, projet après projet, étude après étude, la connaissance de l'alimentation du CI et du CT n'a jamais pu bénéficier d'investigations spécifiques.

L'alimentation des nappes du Sahara septentrional s'effectue pour le Continental Intercalaire :

1- de façon directe par infiltration des eaux de ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurement, notamment :

- dans le piémont de l'Atlas saharien (Nord – Ouest),
- dans le massif du Dahar (Est),
- sur les rebords ouest (Touat, Gourara) et sud (Tidikelt) du plateau de Tademaït, ainsi que sur le rebord Sud du plateau du Tinrhert et sa prolongation en Libye jusqu'au Jebel Fezzan ERESS (1972b), BRL (1998a), dans le massif du Nefusa en Libye GEOMATH (1994).

2- Indirectement dans le grand erg occidental à travers des sables dunaires et du complexe terminal, dans la région du Dahar où il n'existe pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs ERESS (1972b), BRL (1998a) .

Cette recharge s'effectue selon deux principaux mécanismes dont on peut comprendre les difficultés relatives à leurs quantifications en regardant les termes du bilan conceptuel représenté sur la figure (Fig. II.8) dressée par LLOYD (1986) .

## **II. 9. Estimation du débit de la recharge du CI à partir de l'Atlas Saharien :**

CORNET (1961) a tenté, pour la première fois, d'estimer l'alimentation de la nappe du Continental intercalaire dans le Sahara algérien. L'une des principales zones d'alimentation des grès du Crétacé inférieur continental est l'Atlas Saharien .

L'estimation du débit d'alimentation de la nappe du CI à partir de l'Atlas saharien a fait l'objet de plusieurs investigations utilisant plusieurs approches dont on dénombre deux : l'approche hydrologique et les modèles mathématiques de simulation hydrogéologique.

Bien que les zones d'alimentation soient connues, les débits concernés n'ont jamais pu être déterminés avec précision ERESS (1972b). Le problème de l'estimation de la recharge en zone aride et semi-aride a particulièrement attiré l'attention des hydrogéologues ces dernières décennies. Le besoin de déterminer quantitativement la recharge des nappes en région aride devenu de plus en plus apparent et pressant, de nombreuses méthodes analytiques ont été proposées et testées GLENDON et HILLEL (1988). Dans l'ensemble, et conformément à l'état de l'art, des approches physiques ou piézométriques ainsi que des techniques de traceurs (isotopiques et chimiques) ont été utilisées .

### **II. 9. 1. Approche hydrologique :**

La grandeur de la tâche liée aux calculs de la recharge, souvent rendue très délicate à cause de multiples lacunes, est telle que souvent un pourcentage de la précipitation est simplement considéré comme recharge en dépit du calcul hydrologique LLOYD. (1986). Le débit (Q) est alors donné par le produit de la pluie moyenne (P), de la surface (S) et d'un coefficient d'infiltration (CI) :

$$Q = P . S . Ci$$

L'auteur estime la quantité d'eau tombant annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental à 2.5 milliards de m<sup>3</sup>. En adoptant un coefficient d'infiltration correspondant à 10% des eaux pluviales tombées strictement sur les affleurements du Crétacé continental, il évalue la recharge à 250 millions de m<sup>3</sup>/an (soit 8 m<sup>3</sup>/s). OULD BABA SY (2005).

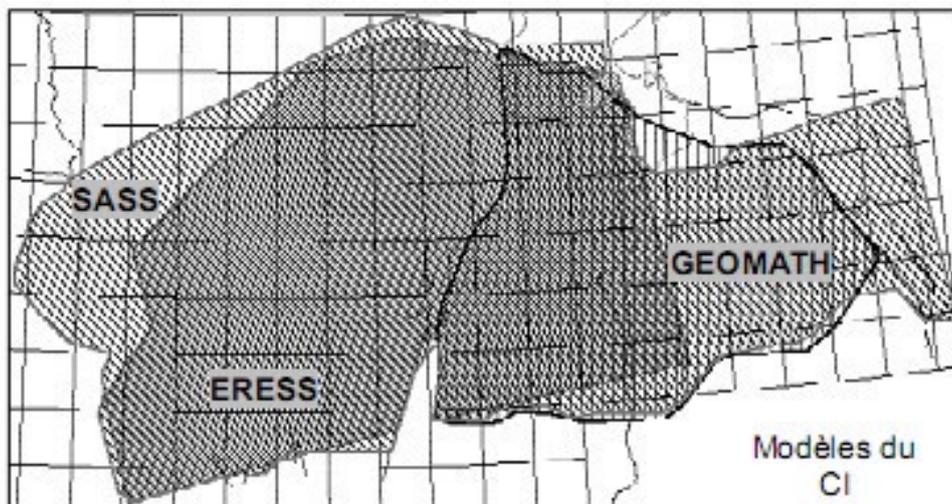
### **II. 9. 2. Modèles mathématiques :**

L'un des premiers modèles conceptuels d'écoulement souterrain au Sahara est l'œuvre de THORWEIHE et HEINL (1996) traçant la carte piézométrique du système aquifère nubien. Ce n'était pas un modèle mathématique mais simplement une conclusion découlant de l'équation de Darcy, signifiant que l'écoulement souterrain suit le gradient de la surface piézométrique. Pour le Sahara septentrional, conformément à l'état de l'art, plusieurs modèles de

dimensions différentes et utilisant des techniques différentes (méthode analogique, éléments finis ou différences finies) ont été élaborés (Fig. II.9)

Les premières précisions sur l'alimentation des nappes, déduite de la modélisation, ont été apportées par l'étude ERESS (1972b). Dans le modèle de l'ERESS, les zones d'alimentation ont été représentées par des potentiels imposés. Les débits d'entrée sont alors calculés par le modèle, en s'assurant toutefois que la valeur trouvée par le calcul était dans des limites compatibles avec les observations de terrain disponibles. Après calage du modèle en régime permanent (1956), le débit d'alimentation de l'Atlas Saharien a été estimé à  $2.03 \text{ m}^3/\text{s}$ .

L'alimentation de la nappe du Continental intercalaire (CI), du simple au double, a été arrêtée à  $8,49 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Fig. II.9 : Modèle mathématique du SASS (OULD BABA SY ,2005)**

#### **II.10. Affleurements du continental Intercalaire :**

Les commentaires du projet ERESS sur cette question sont édifiants : « La recharge de la nappe du CI s'effectue par infiltration :

A - des ruissellements à la périphérie du domaine, notamment l'Atlas Saharien, le Dahar le Tademait, le Tinhert ,

B - des pluies d'années exceptionnelles sur le Grand Erg Occidental.

Bien que les zones d'alimentation soient connues, il était impensable d'envisager une campagne de mesures qui aboutisse à une évaluation sérieuse. Il a été plus sage de représenter ces zones par un potentiel imposé et de faire calculer par le modèle le débit d'entrée » « Il est très probable qu'une alimentation directe se produise sur les zones d'affleurement du CT et le Grand Erg Oriental à la faveur de pluies exceptionnelles... Etant donné l'impossibilité pratique d'évaluer l'importance de ce phénomène ...

il a été supposé que toute l'alimentation provenait des limites du domaine... limites à potentiel imposé ... » UNESCO (1972)

Il est vrai que quarante années après l'ERESS, on en est toujours au même point sur cette question, et que le modèle du SASS est amené à représenter l'alimentation de la même manière que les modèles précédents. Cependant, il a été envisagé, en tout état de cause, de tenter d'approcher les ordres de grandeur du phénomène, de sorte que, avant (ou après) la construction du modèle, on puisse encadrer les données à introduire, ou critiquer les résultats obtenus. Pour ce faire, les trois éléments suivants sont disponibles :

- les précipitations moyennes en tout point.
- la cartographie des affleurements perméables.
- une première évaluation des quantités ruisselées sur les bassins-versants.

Ces éléments ont permis une première estimation de l'alimentation avec ses deux volets :

### **II. 10. 1. L'infiltration directe aux affleurements :**

L'extension de l'ensemble des affleurements « utiles » des formations perméables du SASS, ceux situés sur des régions où la nappe est libre et qui contribuent à l'alimentation des nappes, respectivement du CI et du CT par infiltration directe des précipitations.

Ca peut fournir les résultants suivants :

- les affleurements perméables utilisées recouvrent près de 60% de la surface totale du domaine du SASS.
- la « ressource pluviale » de ces affleurements représente 30 Milliards de m<sup>3</sup>/an en moyenne interannuelle.
- Lorsque l'on fait varier entre 1% et 10% le coefficient d'Infiltration des précipitations, les volumes infiltrés globalement dans le SASS varient entre 0,3 et 3 Milliards m<sup>3</sup>/an.
- Enfin l'ensemble des estimations de recharge du SASS publiées à ce jour A. GUENDOUZ ET AL. (2002), GEOPETROLE. (1964), UNESCO. (1972), GEOMATH. (1994) tournent autour de 1 Milliard m<sup>3</sup>/an ( répartis à 2/3 pour le CT et 1/3 pour le CI ), ce qui représente, dans la logique des calculs précédents un coefficient d'infiltration directe des précipitations de l'ordre de 2% si l'on tient compte des apports par infiltration des crues d'oueds.

## **II. 10. 2. L'Infiltration des Crues d'Oueds :**

Le ruissellement interannuel moyen sur l'ensemble des Bassins-versants du SASS a été estimé à 1 Milliard de m<sup>3</sup>/an. Sur l'infiltration des crues dans les lits d'oueds en zones arides, il existe peu de travaux et de modèles validés sur des résultats d'expérimentations en vraie grandeur. En s'inspirant de travaux sur l'infiltration des crues des Oueds Zeroud et Merguellil FERSI M. (1979) et par analogie, l'ensemble des infiltrations de crues sur le domaine du SASS pourrait se situer autour de 300 Millions de m<sup>3</sup>/an. Il serait fort imprudent de vouloir aller au delà de la recherche de tels ordres de grandeur en l'état actuel des connaissances.

Oued	Station Pluviométrique	Apport moyen (mm)	Surface (Km <sup>2</sup> )	Apports (Mm <sup>3</sup> )	ETR (Mm <sup>3</sup> )	M <sub>eff</sub> (Mm <sup>3</sup> /an)	M <sub>r</sub> (Mm <sup>3</sup> /an)	M <sub>aval</sub> (Mm <sup>3</sup> /an)	Période
Namous	Ain Seïra	128	2800	357.809	344.521	1.089	8.483	8.483	17 ans
Seggeur	Brezina	91	3905	354.574	334.374	2.537	11.524	11.524	19 ans
Rharbi	Abiod S. Cheikh	101	7800	788.015	732.543	12.454	29.078	29.078	45 ans
Mzi	Sekhafa	122	3000	365.215	335.894	12.757	15.268		13 ans
El Nekrebets	Ain Mehdi	148	714	104.348	98.873	1.727	3.189		13 ans
Bou Drine	Sidi Makhlouf	84	1088	91.858	88.848	1.012	2.519		17 ans
Merqeb	Messaad	125	2230	279.099	282.845	3.378	9.373		23 ans
Moudjbara	Ain El Bel	158	1880	294.107	283.787	0.048	9.198		5 ans
Douis	Douis	99	480	47.533	45.411	0.089	1.522		18 ans
Djedi	Ksar El Hirane	102	2880	293.438	281.121	0.018	11.272		18 ans
Nessaad	El Hacouta	91	1370	124.145	118.885	0.353	3.378		18 ans
Total (Mm <sup>3</sup> /an)				3 097.741	2 924.888	35.417	104.778	49.084	
Total (m <sup>3</sup> /s)				98.23	92.74	1.12	3.32	1.58	

**Tableau II.4 : Infiltration a partir de la Pluie et du ruissellement : nappe du CI OULD BABA SY (2005)**

Le tableau qui précède présente l'ensemble des résultats obtenus. On peut y noter que :

avec les hypothèses retenues sur les coefficients d'infiltration, l'estimation de la recharge hydrologique de la nappe du Continental Intercalaire correspond à peu de chose près à celle calculée par le modèle numérique. Les apports des oueds représentent 40% de la recharge et l'infiltration directe 60%. Cette dernière n'est cependant pas reportée à la limite extérieure de la nappe comme c'est le schéma adopté par le modèle du SASS et l'on doit faire intervenir la surface infiltrant du Grand Erg Occidental pour pouvoir « boucler » le bilan .

### **III. Méthodologie :**

Sur le plan méthodologique, nous avons utilisé l'outil hydro chimique et isotopique pour étudier l'évolution spatio temporelle de tous les éléments chimiques (ions majeurs et traces  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Sr}^{++}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) et isotopiques (isotopes stables de la molécule d'eau (Oxygène 18 et deutérium)

Ces évolutions ont été étudiées le long des directions d'écoulement présumés de la nappe du Continental Intercalaire (CI), près de la zone Atlasique sur l'axe Laghouat-Hassi R'mel-Berriane sur environ 150Km.

Pour mener cette étude, nous avons effectué une prospection au niveau de tous les secteurs liés à l'eau dans la région et ailleurs, il s'agit des institutions et centres suivants:

- L'Algérienne Des Eaux (ADE), de Laghouat
- Direction de l'Hydraulique de Laghouat
- L'Université de Laghouat
- Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA)

L'ensemble des ces institutions travaillent ou ont travaillés sur la nappe du CI au niveau de la région de Laghouat.

Ainsi L'ADE ET La DHW de Laghouat effectuent depuis plusieurs années (1970) des campagnes de prélèvement sur les forages du CI à des fins d'analyse chimiques pour le suivi de la qualité. Les données recueillis sont mentionnées sur les tableaux N°( III.1, III.2, III.3, III.4, III.5, III.6 ) Pour la DHW ce sont surtout les données hydrogéologiques (essais de pompages, etc..) et hydrologiques qui nous ont bété utiles et qui ont été mis à notre disposition.

L'Université de Laghouat ne dispose pas de grands moyens logistiques et analytiques en matière de suivi de cette nappe mais néanmoins certains travaux ont été menées dans le cadre de sujet de magister et de Doctorat sur le domaine Atlasique , CHETTIH M. (2001),

Enfin l'équipe du centre de recherche Nucléaire d'Alger ( Division datation et hydrologie isotopique) a travaillé depuis plusieurs années (1997 -2006) sur la région sur le sujet et notamment le problématique de la recharge de cette nappe au niveau



Pour la partie analytique, et concernant l'hydrochimie, les techniques de détermination des éléments chimiques diffèrent d'une institution à une autre. Ainsi au centre de recherche nucléaire d'Alger, les ions majeurs ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) ont été déterminés par chromatographie ionique et par spectrophotométrie.

Pour les isotopes stables de la molécule d'eau, elles ont été déterminés par spectrométrie de masse de la division datation et hydrologie isotopique du CRNA.

Pour les analyses déterminés à L'ADE de Laghouat les éléments physico chimique et les éléments chimiques ont été déterminés par les techniques suivantes :

### III. 1 – Mesure des paramètres physico chimique :

- **Mesure de pH** : Dosage par la Méthode potentiométrique :

La méthode potentiométrique qui est la même utilisée pour le dosage des carbonates, bicarbonates et les  $\text{OH}^-$ . Elle évite toute erreur d'estimation particulière aux méthodes utilisant des indicateurs colorés. En outre elle est particulièrement intéressante dans le cas d'eau troubles ou colorées.

- **Mesure de la conductivité électrique** :

La mesure est basée sur le principe du pont de Wheatstone, en utilisant comme appareil de zéro un galvanomètre ou une image cathodique.

- **Mesure du TAC (Titre alcalimétrique complet)** :

La mesure est basée sur le dosage des bases qui se trouvent dans une eau telle que  $\text{OH}^-$ . Elle se mesure par la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'un acide minérale, le point d'équivalence étant déterminée par des indicateurs colorés.

- **Mesure la somme des alcalins libre ( $\text{OH}^-$ ), carbonates et bicarbonates.**

A 100 ml on ajoute quelques gouttes de Méthyle orange (ou Rouge de Méthyle), titre avec  $\text{HCl}$  (0,1 N), le virage se fait du jaune au rose orange.

$$\text{TAC} = V \times N \times 1000 / V \text{ (mol / L)} .$$

- **Mesure de TDS ( Taux des sels dissous ) :**

C'est le taux des sels dissous dans l'eau soit sous forme cationique ou anionique ,cela dépend de la nature géologique du terrain .

A l'aide de conductimètre , et Just après la mesure de conductivité , On effectuée la lecture de la TDS .

**III. 2 – Matière azotée et phosphore :**

- **Dosage de l'ammonium :** par la méthode colorimétrique

L'ammonium , en milieu alcalin et en présence d'hypochlorite de sodium donne avec le phénol une coloration bleue (Réaction de Berthelot). On utilise du nitroprussiate de sodium comme catalyseur.

On évite les précipitation a ce pH par addition de tartrate et de citrate de sodium .

- **Dosage des nitrites :** par diazotation

par diazotation des nitrites avec l'acide sulfanilique a pH 2,5 puis par copulation du compose forme avec l'&-Naphthylamine (Réactif de Griess), on obtient un colorant azoïque rouge stable au moins 12 heures dont on mesure l'intensité a 520nm .

- **Dosage des nitrates :** dosage par colorimétrique

Les nitrates sont réduit en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur.

Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie : diazotation avec l'acide sulfanilique et copulation avec l'énaphthylamine . On mesure la densité du colorant ainsi formé a 520nm .

- **Dosage des phosphore :** dosage colorimétrique

Le molybdate d'ammonium  $\text{Mo}_7 (\text{NH}_4)_4\text{H}_2\text{O}$  réagit en milieu acide en présence de phosphate en donnant un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique développe une coloration bleue (bleu de molybdène) susceptible d'un dosage colorimétrique .

### III. 3 – Matières minérale :

#### - **Dosage des sulfates** : méthode gravimétrique :

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum .

Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine . On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495nm .

#### - **Dosage des chlorures** : par la méthode colorimétrique

Les chlorures , en présence de thiocyanate mercurique et de l'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe colore orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470nm .

#### - **Dosage de calcium et du magnésium** : par complexometrie

Le sel disodique de l'acide éthylène Diamino Tétra Acétique cristallisé avec H<sub>2</sub>O ,appelé aussi complexion ou versénate forme avec un nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du pH .

#### - **Dosage du potassium et du sodium** : par photométrie de flamme

Les ions en solution sont portés ,au moyen d'une flamme de température convenable à un niveau énergétique supérieure à la normal ( on dit que les atomes sont excités par la flamme ). Libérés de la flamme ,ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément .

On pulvérise donc au moyen d'un gicleur ,la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendue au moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du photométrie de flamme. Le calcium est dosé par sa gamme étalon propre.

Tableau III.1. Résultats des paramètres Chimiques 2008

	Réf.	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	Ech.						
Laghouat	<b>LAG25</b>	107	409	207,4	1033	13,2	148
	<b>LAG26</b>	75,4	180,4	205	435	15,4	185
	<b>LAG27</b>	85	164	195	367	16,2	170
	<b>LAG28</b>	75,4	180,3	212	360	32	174
Ben Nacer Ben Chohra	<b>LAG29</b>	53	208	136,4	1028,4	25	163,4
	<b>LAG30</b>	105	152	152	1047	345	185
	<b>LAG31</b>	61	377	228	1004	30	153
Elassafia	<b>LAG32</b>	32	88	227	380	29	313
	<b>LAG33</b>	41	116	202	478	11	312
	<b>LAG34</b>	58	168	186	377	2,36	168
Houita	<b>LAG35</b>	63	140	152	500	37	211
	<b>LAG36</b>	99	219	395	894	29,4	190
Kheneg	<b>LAG37</b>	32	124	336	585	86	207
	<b>LAG38</b>	117	284	383	455	27	211
Tadjmout	<b>LAG39</b>	104	44	209	346	16,26	274
	<b>LAG40</b>	192	92	128	653	25	253
Oued M'Zl	<b>LAG41</b>	63	215	242	708	11	190
	<b>LAG42</b>	51	289	205	756	0,8	232
Ain Madhi	<b>LAG43</b>	119	429,2	288,2	1060,4	3,5	527,6
	<b>LAG44</b>	59,98	108	42,24	856,8	11,78	312,9

(Source : ADE Laghouat)

Tableau III.2. Résultats des paramètres Chimiques 2009

	Réf.	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	<b>Ech.</b>						
Laghouat	<b>LAG25</b>	32,61	200,4	175	484	0,73	157,9
	<b>LAG26</b>	55,9	168,3	182,1	452	7,8	163,5
	<b>LAG27</b>	94,8	164,3	197,5	532	8,05	126,6
	<b>LAG28</b>	136,2	252,5	265,8	753	6,8	263,8
Ben Nacer Ben Chohra	<b>LAG29</b>	48,63	172,3	102,5	331	14,6	168,36
	<b>LAG30</b>	29,18	8	175,5	226	29,3	226,31
	<b>LAG31</b>	63,23	232,5	873,6	213	16,12	184,6
Elassafia	<b>LAG32</b>	60,8	208,4	170,5	140	26,8	163,4
	<b>LAG33</b>	92,41	92,18	132,9	350	18,6	168,8
	<b>LAG34</b>	17,02	172,3	132,7	396	12,5	137
Houita	<b>LAG35</b>	77,86	272,5	257,7	622	43,1	157,9
	<b>LAG36</b>	102,4	248,5	272,9	830	20,6	189,7
Kheneg	<b>LAG37</b>	85,12	268,5	436,8	383	1,24	195,23
	<b>LAG38</b>	58,36	248,5	128,9	854	28,9	290,3
Tadjmout	<b>LAG39</b>	77,8	224,4	143,9	136	25,3	247,6
	<b>LAG40</b>	41,34	300,6	168,7	767	9,7	330,06
Oued M'Zi	<b>LAG41</b>	82,68	212,4	227,6	173	25,7	205,57
	<b>LAG42</b>	68,09	168,3	166,6	429	34,9	231,8
Ain Madhi	<b>LAG43</b>	46,2	164,3	136,5	385	27,1	269,6
	<b>LAG44</b>	85,12	104,2	174,7	370	41,8	158,29

(Source : ADE Laghouat)

Tableau III.3. Résultats des paramètres Chimiques 2010

	Réf.	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
	<b>Ech.</b>						
Laghouat	<b>LAG25</b>	58,3	180	485	473	16,12	168
	<b>LAG26</b>	9,72	204,4	166,8	538,08	8,4	147,6
	<b>LAG27</b>	48,64	184,36	232,4	791	8,8	147,6
	<b>LAG28</b>	34,04	200,4	204,8	525	23,4	157,9
Ben Nacer Ben Chohra	<b>LAG29</b>	68,09	168,3	212,7	591	11,2	189,7
	<b>LAG30</b>	65,66	172,34	170,5	440	27,4	195
	<b>LAG31</b>	31,61	148,29	242,5	322	13,6	200
Elassafia	<b>LAG32</b>	43,64	140,28	178,2	318	13	163,4
	<b>LAG33</b>	87,55	196,39	208,7	545	12,01	136,6
	<b>LAG34</b>	43,7	148,2	170,7	353,5	18,09	216
Houita	<b>LAG35</b>	49	260,5	341,8	439,2	10,49	131,9
	<b>LAG36</b>	56	289	292	417	27,6	148
Kheneg	<b>LAG37</b>	53,5	264,5	440,6	392,1	7,7	184,67
	<b>LAG38</b>	72,9	240,48	159,4	775,68	0,26	237
Tadjmout	<b>LAG39</b>	55,93	288,5	246,7	588	11,2	184,8
	<b>LAG40</b>	68	128,2	125,3	393	10,49	274
Oued M'Zl	<b>LAG41</b>	116,7	88,2	288,7	437,7	38,8	316,59
	<b>LAG42</b>	124,03	68	246,9	447,8	15,6	306
Ain Madhi	<b>LAG43</b>	69	144,3	201,3	553,4	45,3	226,3
	<b>LAG44</b>	85	120,3	220	606	75,4	190

(Source : ADE Laghouat)

**Tableau III.4. Points d'eau échantillonnés au niveau de la zone de recharge  
(LAGHOUAT, 2008)**

Réf.	Localité	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Formation géologique	Date de prélèvement	Minér (mg/l)	pH	Cond. (µS/cm)	TAC (mg/l)	TDS (mg/l)
		Nord	Oues								
LAG25	F01.Bordj Senouci	33 54 16	02 38 31	918	Barrémien	07/04/2008	1403	7,78	1849		962
LAG26	F.mokrane	33 57 41	02 37 27	995	Albien	08/03/2008	1550	7,76	2050		1031
LAG27	St.Sidi Hakoum	33 51 18	02 27 11	935	Albien	08/03/2008	1200	7,77	1582		787
LAG28	St.Laffran	33 51 01	02 20 19	?	A ou B	08/03/2008	1266	7,8	1699		833
LAG29	B.B.C F01	33 46 05	03 02 55	730	Barrémien	07/04/2008	859	7,68	1133		558
LAG30	B.B.C F02	33 47 05	03 07 02	723	Barrémien	07/04/2008	1107	8,4	1460		725
LAG31	B.B.C F03	33 47 45	03 11 30	697	Barrémien	07/04/2008	1305	7,68	1721		860
LAG32	R.Assa.Ghar	33 49 06	03 00 55	742	Barrémien	09/03/2008	1321	6,34	1742		870
LAG33	R.Assa.Charg	33 49 09	02 58 39	743	Barrémien	09/03/2008	1128	7,55	1487		738
LAG34	R.Assa.Charg	33 48 46	02 56 52	752	Barrémien	12/11/2008	969	6,84	1500		638
LAG35	Forage 01 Houita	33 49 06	02 54 41	758	Quaternaire	26/11/2008	1158	6,92	1527		847
LAG36	Forage 01 Khng	33 48 36	02 53 34	761	A ou Turon.	08/03/2008	2033	7,8	2680		1366
LAG37	Forage 03 nv Khng	33 49 27	03 02 14	739	A ou Turon.	06/08/2008	1570	7,61	2070		1040
LAG38	Forage 02 Khng	33 50 12	02 52 23	762	Barrémien	16/11/2008	1970	7,04	2598		1130
LAG39	Forage 02 Tadj	33 50 58	02 52 34	779	Barrémien	09/03/2008	1442	6,31	1902		953
LAG40	Forage 01 Tadj	33 50 53	02 53 12	778	Quaternaire	23/09/2008	1432	7,7	1888		544
LAG41	Forage 01 M'zi	33 51 26	02 53 14	774	CT	09/03/2008	1638	7,03	2160		1089
LAG42	Forage 01M'zi	33 51 58	02 54 20	784	Albien	12/11/2008	1365	6,68	2091		900
LAG43	forage01 Ain Madi	33 52 37	02 55 30	792	Albien	09/03/2008	1934	7,25	2550		1293
LAG44	forage02 Ain Madi	33 52 48	02 55 55	796	Quaternaire	09/03/2008	1367	7,35	1803		902

(Source : ADE Laghouat)

**Tableau III.5. Points d'eau échantillonnés au niveau de la zone de recharge  
(LAGHOUAT, 2009)**

Réf.	Localité	Latitude	Longitude	Altitude	Formation géologique	Date de prélèvement	Minér. (mg/l)	pH	Cond. (µS/cm)	TAC	TDS (mg/l)
		Nord	Oues								
LAG25	F01.Bordj Senouci	33 54 16	02 38 31	918	Barrémien	22/07/2009	1937	6,7	2670	13	1314
LAG26	F.mokrane	33 57 41	02 37 27	995	Albien	04/11/2009	885	7,1	1231	13,4	1330
LAG27	St.Sidi Hakoum	33 51 18	02 27 11	935	Albien	08/11/2009	751	6,8	1502	10,4	1139
LAG28	St.Laffran	33 51 01	02 20 19	?	A ou B	12/11/2009	1088	6,7	2180	22	1635
LAG29	B.B.C F01	33 46 05	03 02 55	730	Barrémien	24/03/2009	1360	6,94	1793	13,5	896,5
LAG30	B.B.C F02	33 47 05	03 07 02	723	Barrémien	27/08/2009	1253	6,8	1653	18,5	826
LAG31	B.B.C F03	33 47 45	03 11 30	697	Barrémien	20/10/2009	1433	8,2	2870	15,13	2177
LAG32	R.Assa.Ghar	33 49 06	03 00 55	742	Barrémien	12/08/2009	1410	6,7	1860	13,4	930
LAG33	R.Assa.Charg	33 49 09	02 58 39	743	Barrémien	24/10/2009	529	6,8	1057	13,83	1192
LAG34	R.Assa.Charg	33 48 46	02 56 52	752	Barrémien	24/10/2009	531	6,9	1061	11,22	1284
LAG35	Forage 01 Houita	33 49 06	02 54 41	758	Quaternaire	01/03/2009	1585	6,76	2090	12,94	1077
LAG36	Forage 01 Khng	33 48 36	02 53 34	761	A ou Turon.	01/03/2009	1941	7,01	2560	15,54	1278
LAG37	Forage 03 nv Khng	33 49 27	03 02 14	739	A ou Turon.	12/08/2009	2184	7,3	2880	16	1441
LAG38	Forage 02 Khng	33 50 12	02 52 23	762	Barrémien	01/03/2009	1661	7,08	2190	23,79	1096
LAG39	Forage 02 Tadj	33 50 58	02 52 34	779	Barrémien	12/08/2009	1623	7,1	2140	20,29	1072
LAG40	Forage 01 Tadj	33 50 53	02 53 12	778	Quaternaire	01/03/2009	1843	6,87	2430	27	1213
LAG41	Forage 01 M'zi	33 51 26	02 53 14	774	CT	12/08/2009	1759	6,9	2320	16,85	1158
LAG42	Forage 01M'zi	33 51 58	02 54 20	784	Albien	01/03/2009	1265	6,96	1668	19	834
LAG43	forage01 Ain Madi	33 52 37	02 55 30	792	Albien	01/03/2009	1353	6,91	1783	22	892
LAG44	forage02 Ain Madi	33 52 48	02 55 55	796	Quaternaire	20/10/2009	587	7,3	1174	12,97	890

(Source : ADE Laghouat)

**Tableau III.6. Points d'eau échantillonnés au niveau de la zone de recharge  
(LAGHOUAT, 2010)**

Réf.	Localité	Latitude	Longitude	Altitude	Formation Géologique	Date de prélèvement	Minér. (mg/l)	pH	Cond. (µS/cm)	TAC (mg/l)	TDS (mg/l)
		Nord	Oues								
LAG25	F01.Bordj Senouci	33 54 16	02 38 31	918	Barrémien	10/03/2010	1248	7,5	1645	13,8	820
LAG26	F.mokrane	33 57 41	02 37 27	995	Albien	23/03/2010	1255	7,1	1654	12,1	825
LAG27	St.Sidi Hakoum	33 51 18	02 27 11	935	Albien	23/03/2010	1342	6,9	1769	12,1	885
LAG28	St.Laffran	33 51 01	02 20 19	?	A ou B	23/03/2010	1258	7,06	1659	13	830
LAG29	B.B.C F01	33 46 05	03 02 55	730	Barrémien	24/03/2010	1911	6,7	2520	15,6	1259
LAG30	B.B.C F02	33 47 05	03 07 02	723	Barrémien	26/08/2010	1641	6,6	2000	16	1054
LAG31	B.B.C F03	33 47 45	03 11 30	697	Barrémien	26/08/2010	1254	6,6	1597	16,4	795
LAG32	R.Assa.Ghar	33 49 06	03 00 55	742	Barrémien	05/09/2010	1215	6,87	1603	13,4	798
LAG33	R.Assa.Charg	33 49 09	02 58 39	743	Barrémien	24/03/2010	1592	7,3	2100	11,2	880
LAG34	R.Assa.Charg	33 48 46	02 56 52	752	Barrémien	02/08/2010	1181	8,33	1557	17,7	784
LAG35	Forage 01 Houita	33 49 06	02 54 41	758	Quaternaire	19/04/2010	1729	6,7	2280	10,8	1142
LAG36	Forage 01 Khng	33 48 36	02 53 34	761	A ou Turon.	02/08/2010	1828	7,94	2410	12,1	1220
LAG37	Forage 03 nv Khng	33 49 27	03 02 14	739	A ou Turon.	09/01/2010	2207	6,5	2910	15,2	1455
LAG38	Forage 02 Khng	33 50 12	02 52 23	762	Barrémien	02/08/2010	1896	7,64	2500	19,4	1265
LAG39	Forage 02 Tadj	33 50 58	02 52 34	779	Barrémien	02/08/2010	1874	7,63	2470	15,2	1244
LAG40	Forage 01 Tadj	33 50 53	02 53 12	778	Quaternaire	19/04/2010	1105	7,1	1457	22,5	733
LAG41	Forage 01 M'zi	33 51 26	02 53 14	774	CT	19/04/2010	1359	6,7	1792	26	896
LAG42	Forage 01M'zi	33 51 58	02 54 20	784	Albien	19/04/2010	1310	7,2	1728	25	876
LAG43	forage01 Ain Madi	33 52 37	02 55 30	792	Albien	26/08/2010	1235	6,6	1573	18,5	783
LAG44	forage02 Ain Madi	33 52 48	02 55 55	796	Quaternaire	26/08/2010	1209	6,5	1540	15,6	766

(Source : ADE Laghouat)

Tableau III.7. Résultats des paramètres Chimiques 2003

Réf.	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Sr <sup>++</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<sup>18</sup> O	<sup>2</sup> H	<sup>3</sup> H
Ech.	mg/l												‰		UT
GHA 01	0,5	147	6,5	85,2	129,5	0,8	0,9	343,3	2,9	456,7	22	119	-7,9	-61,6	0
GHA 02	0,5	118	8,5	58,5	106,4	0,7	0,8	231,7	2,7	334,2	13,1	172	-6,4	-56,0	0
GHA 03	0,5	114	11,6	42,7	78,7	0,9	1,0	175,5	2,7	266,5	15,2	130	-7,8	-60,0	0
GHA 04	0,5	107	7,2	47,8	83,9	0,5	1,0	184,8	0,0	285,5	15,5	150	-6,8	-58,7	2,3
LAG 01	0,5	91	7,8	90,3	69,1	1,7	1,0	176,8	0,0	484,4	20	63	-5,7	-50,7	1,9
LAG 02	0,6	42	5,0	16,4	39,5	0,6	1,1	16,9	0,0	113,1	9,9	145	-8,5	-61,7	0
LAG 03	0,6	252	3,5	82,7	178,9	0,2	0,7	417,5	2,8	659,2	26,5	159	-7,2	-56,1	2,1
LAG 04	2,4	108	16,1	145	459,1	6,2	1,3	50,5	2,7	1930,9	53,2	166	-6,2	-43,2	0,7
LAG 05	0,6	50	6,2	36,9	85,7	0,5	0,4	70,3	2,6	217,9	9,5	182	-6,9	-54,2	1,3
LAG 06	1,9	99	15,3	97,9	168,8	2,5	0,9	158,3	2,7	751,6	11,7	119	-7,2	-54,8	0,5
LAG 07	0,6	69	4,0	86,2	148,0	0,3	0,7	150,3	2,7	544,7	13,5	127	-7,2	-56,7	1
LAG 08	0,6	30	5,2	46,5	101,3	0,5	0,6	54	2,7	273,3	36,8	149	-6,9	-51,2	1,1
LAG 09	0,0	75	4,5	96,1	126,3	0,2	0,7	178,4	2,7	397,6	20,7	143	-7,4	-54,2	0,3
LAG 10	0,6	113	4,0	102	172,8	0,3	0,8	101,1	2,6	691,5	16	197	-6,5	-48,5	0
LAG 11	0,6	389	3,5	286	335,6	0,3	1,0	966	3,4	1453	178,2	140	-7,0	-49,3	0,2
LAG 12	0,6	426	4,3	88,8	181,6	0,2	0,7	821,6	2,7	639,5	39,6	110	-4,5	-39,5	2
LAG 13	0,6	408	3,6	85,4	165,9	0,1	0,7	783,1	2,8	540,9	30,1	132	-6,0	-45,7	0,2
LAG 14	0,6	8,1	5,2	13,4	55,6	0,6	0,6	15,7	0,0	33,2	46,1	146	-7,5	-53,7	0,2
LAG 15	0,6	132	3,4	80	197,1	0,2	1,1	280,3	2,9	690,3	46,7	114	-6,1	-41,4	0,6
LAG 16	0,5	168	7,1	110	324,9	3,8	0,9	378,1	3,3	881,8	127,9	324	-6,0	-40,0	3,9
LAG 17	0,5	211	12,0	157	251,4	4,2	1,0	373,7	2,8	1058,2	317,1	129	-6,7	-52,1	0
LAG 18	0,5	177	4,3	130	267,0	0,8	0,6	290,8	2,8	1148,5	12,4	130	-5,5	-44,0	0
LAG 19	0,5	149	9,0	77,8	140,2	1,1	0,8	336,4	2,8	473	8,2	153	-7,6	-57,5	1,2
LAG 20	0,5	15	4,8	24,1	100,1	1,1	1,4	95,4	2,6	76,8	40,7	227	-4,7	-34,8	4,9
LAG 21	0,5	208	9,2	57,4	114,4	1	0,7	294,9	2,8	381,3	9,9	160	-7,9	-60,4	0,9
LAG 22	0,5	174	8,5	68,7	120,1	0,8	0,8	256,8	2,7	418,3	8,6	165	-6,8	-57,5	1,1
LAG 23	0,5	87	7,2	48,4	99,5	1,3	0,7	135,9	2,7	279,5	73,4	207	-7,9	-56,5	0
LAG 24	0,5	61	5,1	39,3	78,4	0,9	0,6	64,8	0,0	165,4	48,6	247	-7,8	-50,5	0

(Source : CRNA à LAGHOUAT)

**Tableau III.8. Points d'eau échantillonnés au niveau de la zone de recharge  
(LAGHOUAT, 2003)**

Réf.	Localité	Latitude	Longitude	Altitude	Formation géologique	Date	Temp.	pH	Cond.	TAC	TDS
		Nord	Oues				(°C)				
		deg, min, sec		(m)							
LAG1	El-Haouita	33° 38' 54"	02° 26' 59"	921	Barrémien	15/10/03	19.3	7.5	1445	63	
LAG2	Tadjrouna 1	33° 34' 11"	02° 06' 24"	963	Albien	15/10/03	23.3	7.4	565	145	
LAG3	Tadjrouna 2	33° 30' 53"	02° 04' 08"	941	Albien	15/10/03	25.1		2550	159	1300
LAG4	Tadjrouna 3	33° 31' 56"	02° 08' 45"	948	A ou B	15/10/03	24.9	6.9	2946	166	1520
LAG5	El-Hadjeb	33° 36' 54"	02° 37' 14"	1005	Barrémien	15/10/03	23.6	7.2	862	182	452
LAG6	Bordj Senoussi 1	33° 49' 31"	02° 54' 29"	779	Barrémien	16/10/03	24.6	7.3	1970	119	980
LAG7	El-Assafia Gharbia	33° 49' 48"	02° 59' 10"	772	Barrémien	16/10/03	22.3	7.1	1690	127	847
LAG8	El-Assafia ANRH 380	33° 51' 24"	02° 58' 38"	799	Barrémien	16/10/03	23.2	7.3	937	149	470
LAG9	El-Assafia Irrigation	33° 51' 29"	02° 59' 47"	787	Barrémien	16/10/03	23.7	7.3	1578	143	792
LAG10	Tadjmout	33° 54' 48"	02° 29' 10"	919	Barrémien	17/10/03	20.8	7.1	1869	197	930
LAG11	Dakhla	33° 51' 20"	02° 53' 28"	794	Quaternaire	17/10/03	21.3	7.2	5120	140	2600
LAG12	Lalmeya Source	33° 25' 53"	01° 59' 48"	925	A ou Turon.	17/10/03	19.6	7.3	3600	110	1800
LAG13	Lalmeya Forage	33° 25' 54"	01° 59' 42"	927	A ou Turon.	17/10/03	19.4	7.4	3570	132	1770
LAG14	Milok Irrigation	33° 51' 20"	02° 42' 41"	846	Barrémien	18/10/03	20.1	7.2	513	146	257
LAG15	Hamda	33° 50' 52"	02° 49' 05"	781	Barrémien	18/10/03	21.2	7.1	2170	114	1100
LAG16	Hamda Puits	33° 50' 49"	02° 48' 58"	783	Quaternaire	18/10/03	21.2	7.2	2870	324	1440
LAG17	Taouenza Baguera	33° 47' 36"	03° 06' 31"	724	CT	18/10/03	24.1	7.3	2900	129	1460
LAG18	Laghouat Université	33° 47' 46"	02° 51' 05"	771	Albien	19/10/03	19.1	6.9	2850	130	1420
LAG19	Hassi Dalaa 2	33° 24' 37"	03° 32' 59"	767	Albien	19/10/03	30.3	6.9	2090	153	1040
LAG20	Hassi Dalaa Puits	33° 25' 11"	03° 33' 05"	753	Quaternaire	19/10/03	19.6	7.2	803	227	404

(Source : CRNA à LAGHOUAT)

## **IV. Discussion et interprétation des résultats :**

### **Introduction :**

La méthodologie utilisée dans l'interprétation des données hydro chimiques et isotopiques dans la région de Laghouat – Hassi R'mel est basée d'une part, sur l'étude de l'origine et l'évolution des éléments chimiques selon les principales directions d'écoulement de la nappe du CI (interaction eau-roche) afin de vérifier la continuité hydrodynamique du système, et d'autre part d'examiner le problème de la recharge de ce système au niveau des ses affleurements de Laghouat

L'interprétation a concernée les campagnes d'échantillonnage du CRNA et de l'ADE (20 échantillons de CRNA et 24 de l'ADE) prélevés sur la région de Laghouat Hassi R'mel. Les forages sont profonds et isolés, et peu d'informations sont disponible près de la zone d'affleurement. Les longues distances existant entre les forages fait que les interprétations ne sont pas toujours faciles et évidentes.

### **IV.1. discussion des résultats hydrochimiques :**

#### **IV.1. 1. Paramètres physico-chimiques :**

Les paramètres mesurés sur le terrain sont : la température (T), du potentiel d'hydrogène (pH), de la mesure du TDS et du TAC et de la conductivité électrique (CE).

##### **IV.1.1. 1. Température :**

La température de l'eau est un paramètre très important, elle régit les activités chimiques et bactériologique de l'eau. Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence. La concentration de

certaines éléments dissous ou les rapports des concentrations d'éléments entre eux, sont l'image de conditions d'équilibre qui sont, elles même, fonction de la température atteinte par l'eau souterraine. On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère (Les eaux souterraines sont influencées par les propriétés thermiques de la roche), ainsi que son origine.

La température des eaux de la nappe du Cl, varie entre 19,1°C (échantillon LAG18) et 33,9°C (n=20) à (LAG21).(campagne d'échantillonnage de CRNA ,2003) avec une moyenne de 24.8°C

#### **IV.1. 1. 2. pH :**

Le pH est par définition, une mesure de l'activité des ions H<sup>+</sup> contenus dans une eau Tarda-Henry (1984). Il caractérise l'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse ( $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$ ). Il s'agit d'un paramètre capital pour le calcul des équilibres thermodynamiques.

Les valeurs de la campagne du CRNA sont comprises entre 7,5 et 6,9. Le pH moyen est de 7.25. Pour la campagne de L'ADE (2008), elles varient de 6.31 à 8.4 et la moyenne est de 7.36 .

#### **IV.1. 1. 3. Sel dissous (TDS) :**

C'est le taux des sels dissous dans l'eau soit sous forme cationique ou anionique, cela dépend de la nature géologique du terrain. Les valeurs varient de 257 (mg/l) (LAG14: qui est une source) à 2600 (mg/l) (LAG11). (Campagne d'échantillonnage de CRNA ,2003).

La moyenne est de 1044 (mg/l).

Pour la campagne de l'ADE (2010: pas pour les mêmes points d'échantillonnage mais pour le même aquifère sur la même zone), ces valeurs varient de 733 mg/l (LAG 40) à 1455 mg/l (LAG 37), avec une moyenne de 804 mg/l.

#### **IV.1. 1. 4. Titre alcalimétrique complet (TAC , HCO<sub>3</sub>) :**

C'est la Mesure de la somme des alcalins libre (OH<sup>-</sup>), carbonates et bicarbonates. Le TAC mesuré sur le terrain pour la campagne du CRNA varie de 63 mg/l (Lag1) à 324 mg/l (LAG16) avec une moyenne de 157 mg/l.

#### **IV.1. 1. 5. Conductivité : en (µS/cm)**

La conductivité qui est l'inverse de résistivité traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique. C'est une mesure rapide de la teneur globale en électrolytes d'une solution

La mesure de la conductivité électrique donne un aperçu sur la minéralisation des eaux de la nappe. La variation de la minéralisation de l'eau est régit par plusieurs facteurs:

- Evaporation importante liée à l'approximation de la surface
- Temps de séjour et échange eaux-encaissant
- Sens générale d'écoulement de la nappe
- Echanges avec nappes adjacentes

La conductivité mesurée sur le terrain augmente progressivement dans le sens d'écoulement de 513 (µS/cm) à 5120 (µS/cm) , La moyenne est de 2000 (µS/cm). (campagne d'échantillonnage CRNA 2003) .

La conductivité mesurée sur le terrain augmente progressivement dans le sens d'écoulement de 1457 (µS/cm) à 2910 (µS/cm) , La moyenne est de 1615 (µS/cm). (campagne d'échantillonnage ADE 2010).

### IV. 1 .2 : Faciès chimiques des eaux :

Les eaux de la nappe du CI représentées sur le diagramme de Piper (Fig. IV.1), montrent une assez grande homogénéité chimique. La répartition des anions est caractérisée par une dominance des sulfates et chlorures par rapport aux ions carbonatés. Les cations sont eux marquées par une prédominance des ions sodium sur les termes magnésium et calcium.

Ces répartitions permettent de classer les eaux sous un faciès «Sulfaté chloruré sodique», et les ions s'ordonnent de la façon suivante :

- Sur ou près des zones de recharges :



- Sur la partie avale de la nappe (échantillons de Hassi R'mel) :

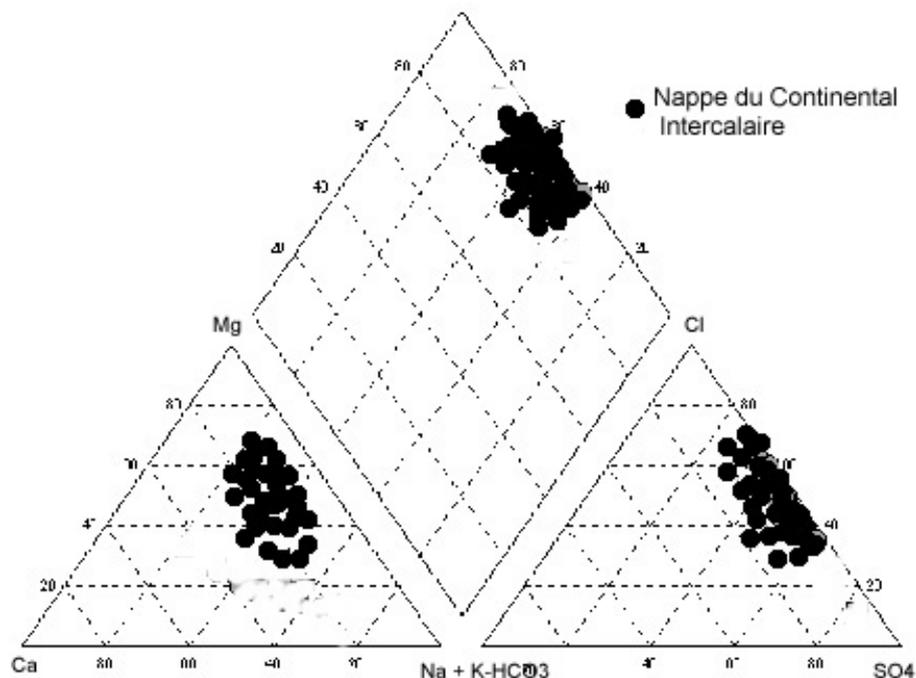


Fig. IV.1 : Diagramme de Piper: Eaux du CI (Laghouat-Hassi R'mel)

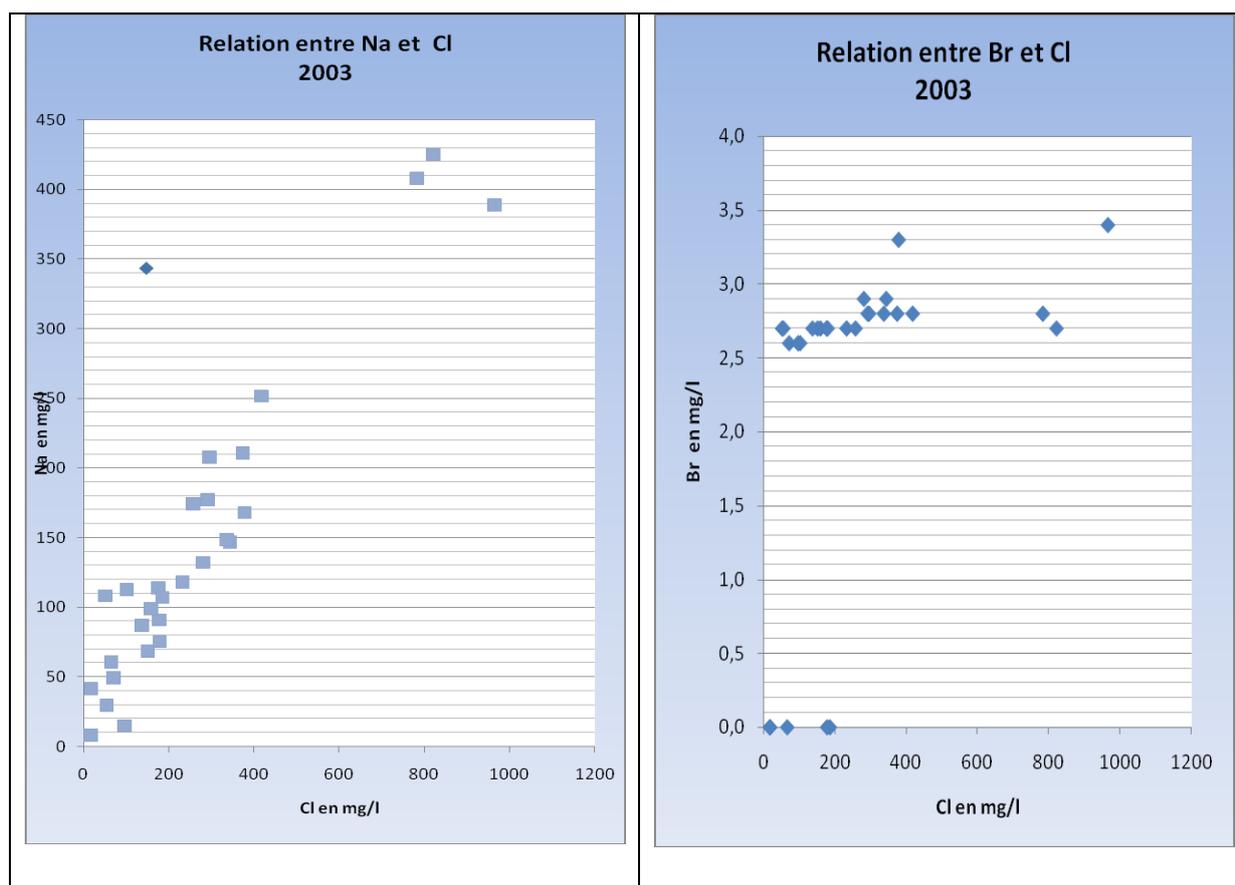
### IV.1. 3. Origine de la minéralisation et des éléments chimiques :

La détermination de l'origine des éléments chimique se fait par l'établissement des corrélation entre éléments chimique et le chlorure et éléments chimique et aussi leurs évolution dans l'espace (couple par couple).

- Couple  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  (Fig. IV.2) et  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  (Fig. IV.3) :

Le relation entre les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (Fig. IV.2) montre que les points se repartissent selon une droite parallèle à la droite de pente = 1 (droite expérimentale de la dissolution du sel qui est la halite: Na Cl), ce qui suggère que la principale source de ces ions est la dissolution ou le lessivage des niveaux de sel (Na Cl) dans l'aquifère du Cl. Toute augmentation de la ce ratio supérieur à 1 suggère une certaine réaction du silicate minéraux ou d'échange de cations Na libérant au dépens d'une certaine autre cation.

Les variations du bromure ( $\text{Br}^-$ ) et du chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), peuvent aussi être utilisés pour déterminer l'origine des eaux souterraines et des sels dissous (Fig. IV.3). Le rapport  $\text{Br}^- / \text{Cl}^-$  dans l'eau de mer actuelle est relativement constant ( $\text{Br}^- / \text{Cl}^- = 1.5 \cdot 10^{-3}$ ) RITTENHOUSE. (1967). Le rapport  $\text{Br}^- / \text{Cl}^-$  des eaux du sur la zone d'étude est inférieur à celui de l'eau de mer ( $3.5 \times 10^{-3}$ ), il varie entre 1 et  $3 \times 10^{-3}$  proche de celui de la Halite, ce qui suggère et confirme l'origine commune des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  sur cette partie de la nappe : dissolution des niveaux de sels (Halite) lors du transit souterrain .

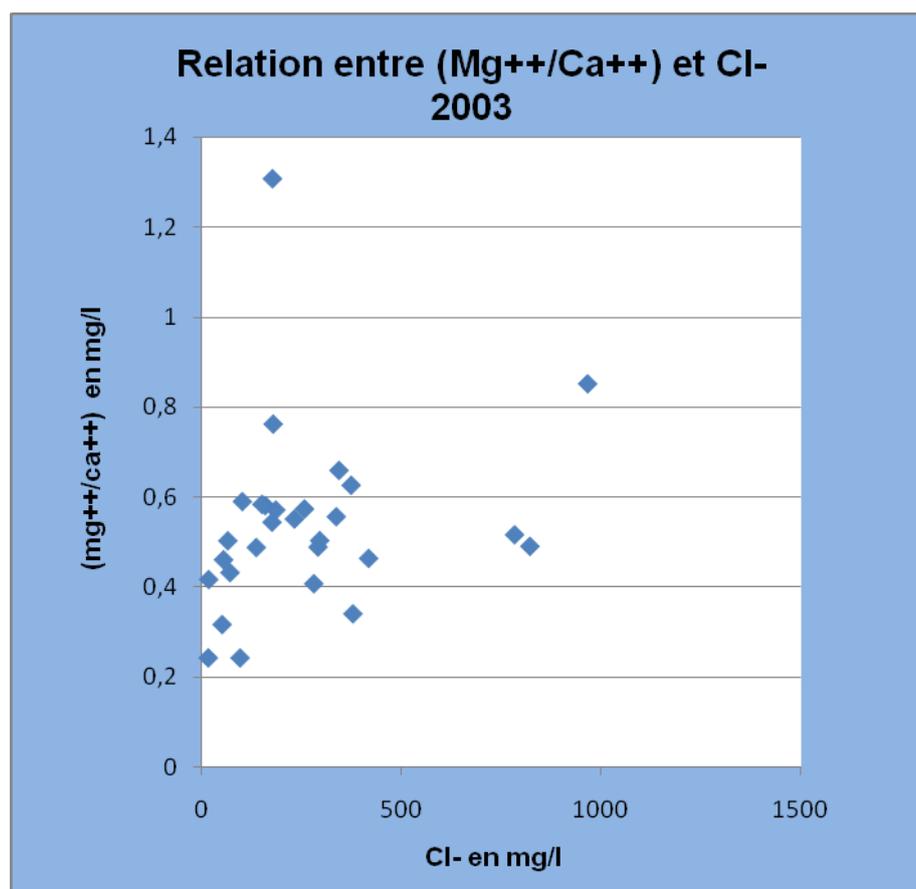


**Fig. IV.2 Relation entre Na et Cl  
(CRNA, 2003)**

**Fig. IV.3 Relation entre Br et Cl  
(CRNA, 2003)**

- Couple ( $Mg^{++} / Ca^{++}$ ) /  $Cl^{-}$  (Fig. IV.4) :

Les concentrations en  $Mg^{++}$  et  $Ca^{++}$  augmentent le long de la direction d'écoulement parallèlement au chlorure. La bonne corrélation entre les ions  $Mg^{++}$  vs.  $Ca^{++}$  (Fig. IV.4) ainsi que et l'évolution du rapport ( $Mg^{++} / Ca^{++}$ ) augmente le long de la direction d'écoulement et en fonction de l'ion chlorure. Ce rapport évolue de 0,4 jusqu'à 0,7 Suggère une mise en solution des niveaux calcaires dolomitiques dans l'aquifère. Les concentrations sont contrôlées par la dissolution de calcite ou la dolomite.



**Fig. IV.4 : Relation entre (Mg/Ca) et Cl  
(CRNA, 2003)**

- Couples  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{-}$  (Fig. IV.5) et  $(\text{SO}_4^{-} / \text{Cl}^{-})$ ,  $\text{Cl}^{-}$  (Fig. IV.6) :

Les concentrations en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{SO}_4^{-}$  augmentent le long de la direction d'écoulement parallèlement au chlorure. La bonne corrélation entre les ions  $\text{Ca}^{++}$  vs.  $\text{SO}_4^{-}$  (Fig. IV.5) suggère une mise en solution des niveaux gypseux dans l'aquifère. Par ailleurs, l'évolution du rapport  $\text{SO}_4/\text{Cl}$  (Fig. IV.6) diminue le long de la direction d'écoulement et en fonction de l'ion chlorure. Ce rapport évolue de 7 jusqu'à l'unité (1) ce qui explique une dissolution du niveau gypseux jusqu'à saturation (solubilité de gypse).

Au delà de 1 ce rapport reste constant et l'ion Cl continue son augmentation qui est liée beaucoup plus à la dissolution du sel qui est plus soluble que le gypse.

L'évolution de ce rapport montre la même tendance dans toutes les campagnes (CRNA 2003 et ADE 2008,2009,2010).

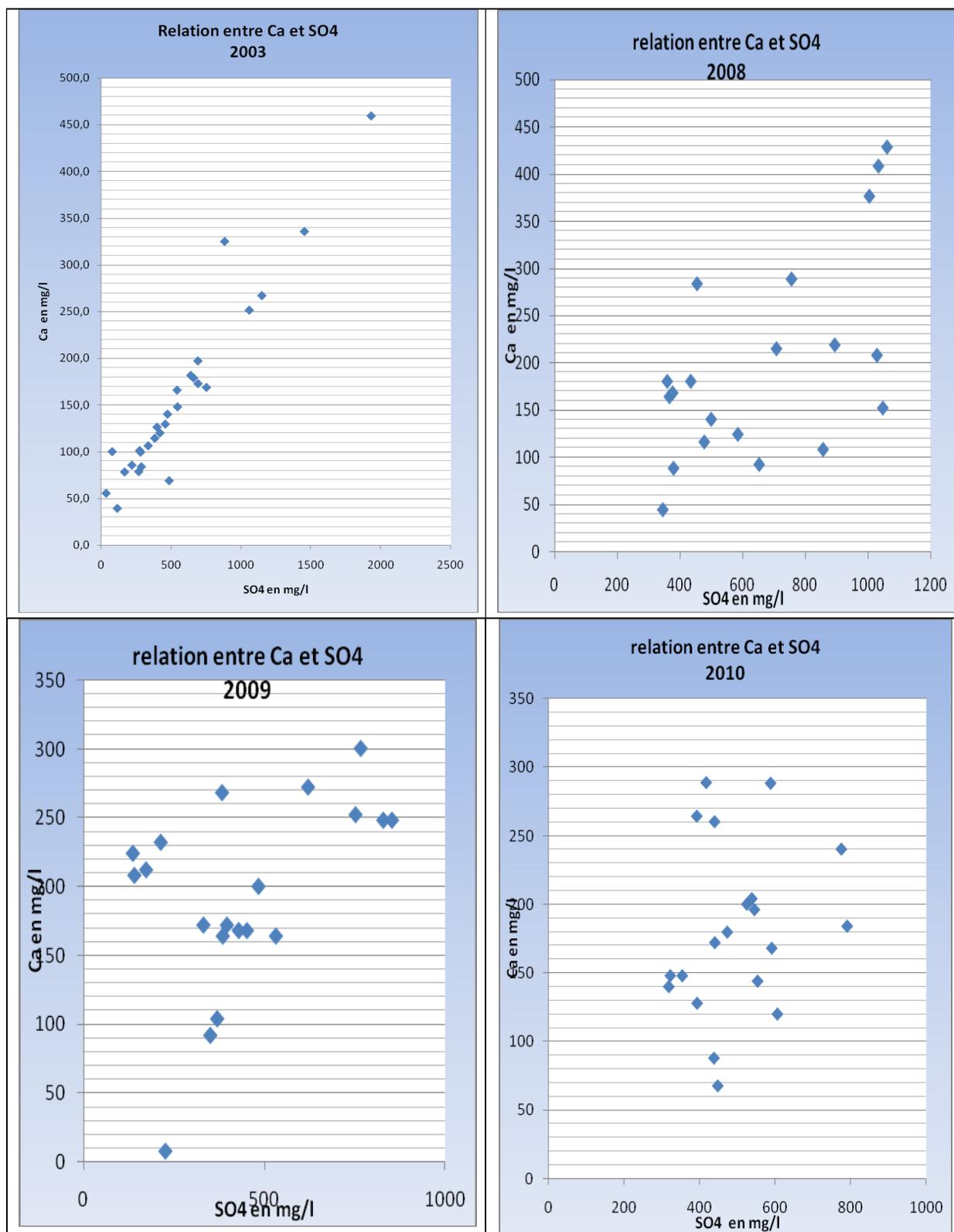


Fig. IV.5 : Relation entre Ca et SO<sub>4</sub> (2003, 2008, 2009, 2010).

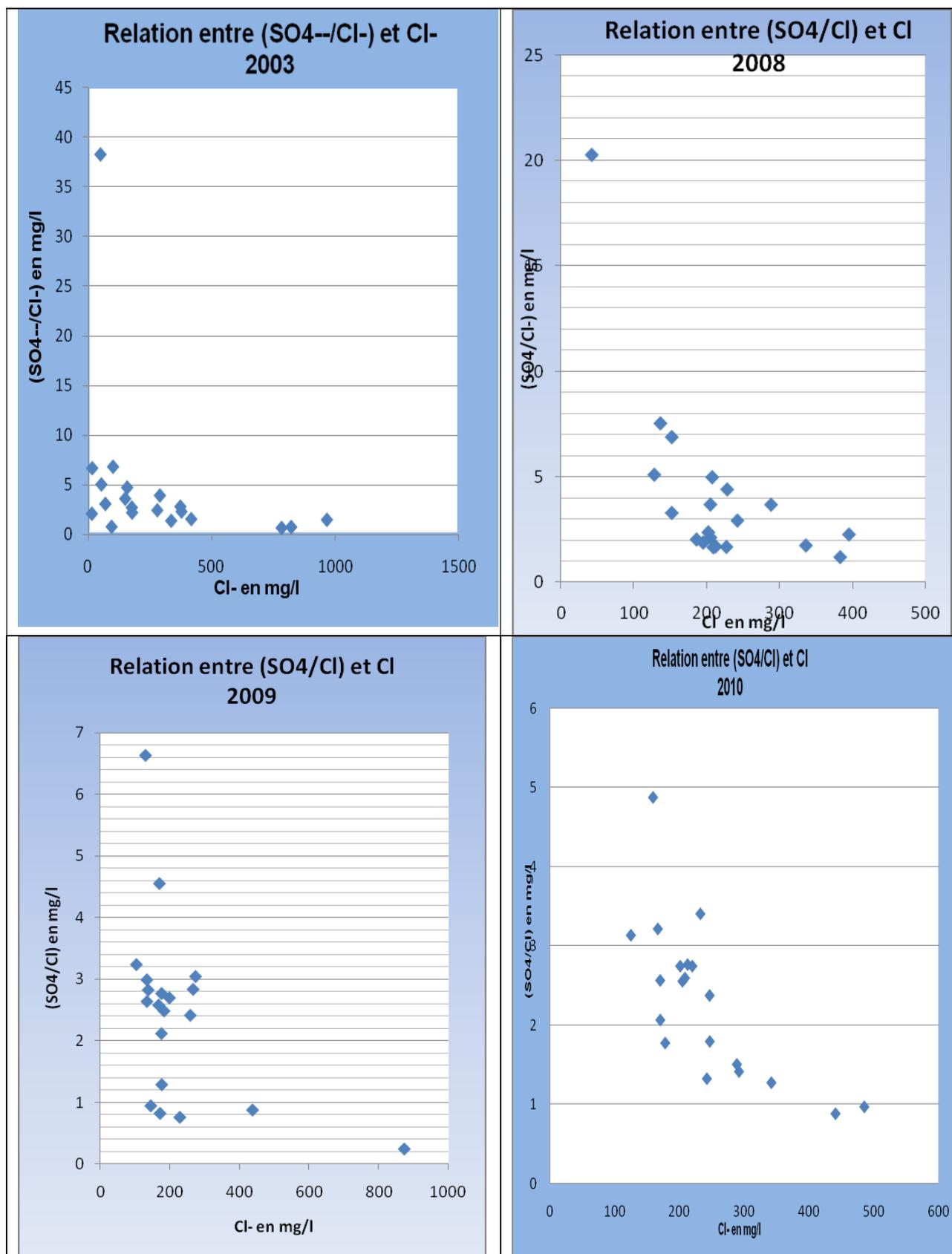


Fig. IV.6 : relation entre ( $\text{SO}_4/\text{Cl}$ ) et Cl (2003,2008,2009,2010)

#### IV.1.4. Evolution spatiale et origine de la minéralisation

Les concentrations des éléments chimiques tels que le chlorure et sodium augmentent le long de l'écoulement respectivement de 16.9 à 343.3 mg/l, et de 42 à 208 mg/l. La distribution de  $\text{Na}^+$  (Fig. IV.7) par rapport au distance montre que le taux de sodium est en augmentation le long de l'écoulement ainsi que pour le  $\text{Cl}^-$  (Fig. ), montre que les points représentatifs sont aussi en augmentation le long de l'écoulement de l'eau ce qui suggère une origine commune des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  sur cette partie de la nappe : dissolution des niveaux de sels (Halite) lors du transit souterrain.

Pour les paramètres physico chimique, on remarque aussi que sur tout le parcours de l'écoulement souterrain de l'eau de la région de Laghouat jusqu'à la région de Hassi R'mel - M'zab les paramètres tel que la conductivité et le TDS sont en augmentation le long de l'écoulement. pour la conductivité elle augmente de 565 jusqu'à 5100 uS/cm (Fig. IV.7). et pour le TDS la valeur augmente de 200 jusqu'à 1200 mg / l (Fig. IV.7)

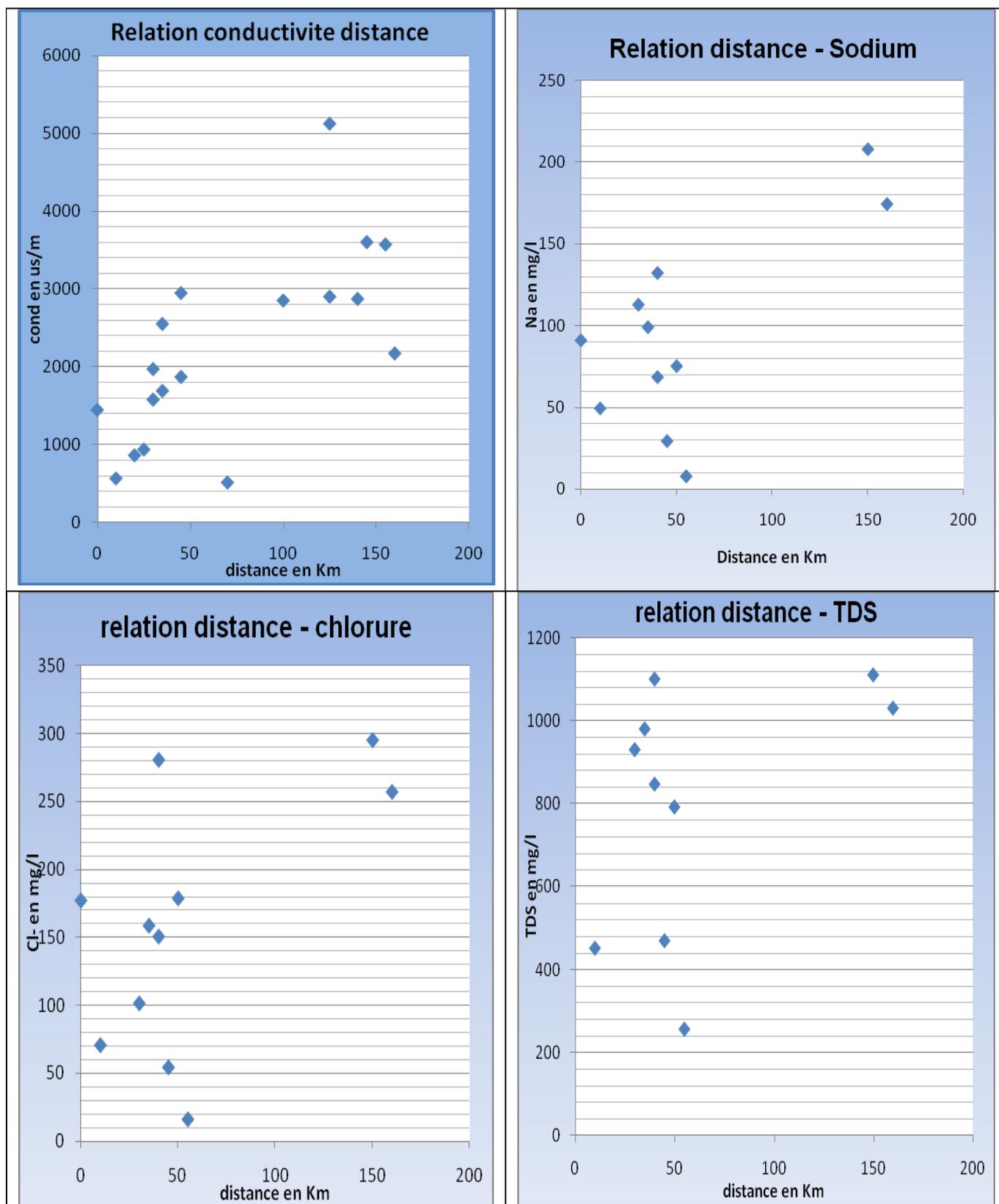


Fig. IV.7 : Evolution spatiale de la conductivité, Cl, Na, TDS (CRNA 2003)

## IV. 2. Discussion des données isotopiques :

### Rappel théorique :

Les isotopes les plus communément utilisés en Hydrologie isotopique sont logiquement ceux qui font partie intégrante de la molécule d'eau à savoir :

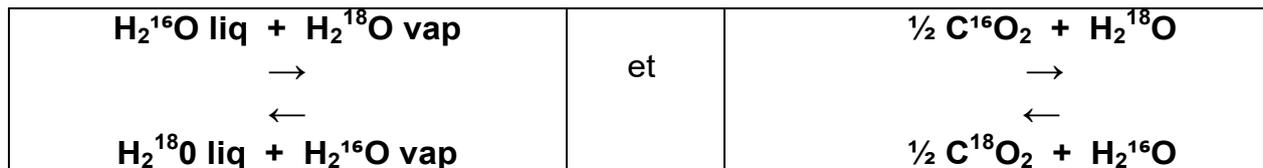
L'oxygène - 18 ( $O^{18}$ ), le Deutérium ou Hydrogène lourd ( $^2H$  ou D) et le Tritium ou Hydrogène radioactif ( $^3H$  ou T) qui sont des traceurs intrinsèques. Les autres isotopes sont ceux de la forme dissoute : le Carbone-13 qui est stable ( $^{13}C$ ) et le radiocarbone ( $^{14}C$ ).

Considérant seulement les isotopes stables d'intérêt, les espèces isotopiques possibles qui peuvent être rencontrées pour l'eau sont :

$H_2^{16}O$ ,  $HD^{16}O$ ,  $D_2O^{16}$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $HD^{18}O$ ,  $D_2^{18}O$ . Dans la Nature, deux mécanismes ayant lieu au sein du cycle de l'eau peuvent modifier la composition en isotopes intrinsèques d'une eau naturelle. Ce sont :

- le changement de la phase (condensation, évaporation).
- les réactions d'échanges.

qui peuvent, illustrées pour  $O-18$  respectivement par les deux réactions suivantes :



Dans le cas d'un équilibre chimique et isotopique, et pour une température donnée, les rapports isotopiques des composés impliqués sont réalisés par une constante appelée : facteur de fractionnement isotopique, notée. Ainsi pour les deux réactions décrites auparavant, le facteur de fractionnement isotopique sera respectivement comme suit :

$$(^{18}O/^{16}O)_{H_2O}$$

En géochimie isotopique, les résultats sont exprimés en différence de ces rapports isotopiques R entre deux substances. cette différence appelée communément de l'échantillon E par rapport à un standard donné S, s'exprime en pour mille (‰) comme suit :

$$\delta E = [(R_E/R_S) - 1] \cdot 10^3$$

Ainsi, si ( $\delta E > 0$ ), on dira que l'eau est enrichie en isotopes lourds ( $^{18}O$ ,  $^2H$ ) et si ( $\delta E < 0$ ), on dira alors que l'eau en est appauvri et déduisant par la même occasion les phénomènes auxquels l'eau a été soumise, Les standards ou étalons ont par définition une composition isotopique  $\delta s = 0‰$  Pour les eaux naturelles, le standard utilisé est SMOW (Standard Mean Ocean water)

A l'échelle du globe, les teneurs en oxygène – 18 et Deutérium des pluies d'origine océanique sont corrélée entre elles d'une façon linéaire. l'équation de cette droite météorique mondial à été trouvée comme suit :

$$\delta ^2H = 8 \delta O^{18} + 10$$

De même, il existe des droites météoriques locales comme celle du domaine méditerranéen ou encore celles des eaux souterraines fossiles comme illustrée ci-dessous. Par ailleurs il existe également une relation simple entre les teneurs en isotopes lourds des pluies et la température de condensation. Calla-ci se traduit notamment par des effets de latitude, d'altitude et de saison, Ainsi à l'échelle mondiale DANSGAARD a proposé en 1964 une corrélation linéaire entre les teneurs moyennes annuelles en isotopes des précipitations et la température moyenne annuelle du sol.

$$\delta ^{18}O = 0.69 T - 13.6$$

$$\delta ^2H = 5,6 T - 100$$

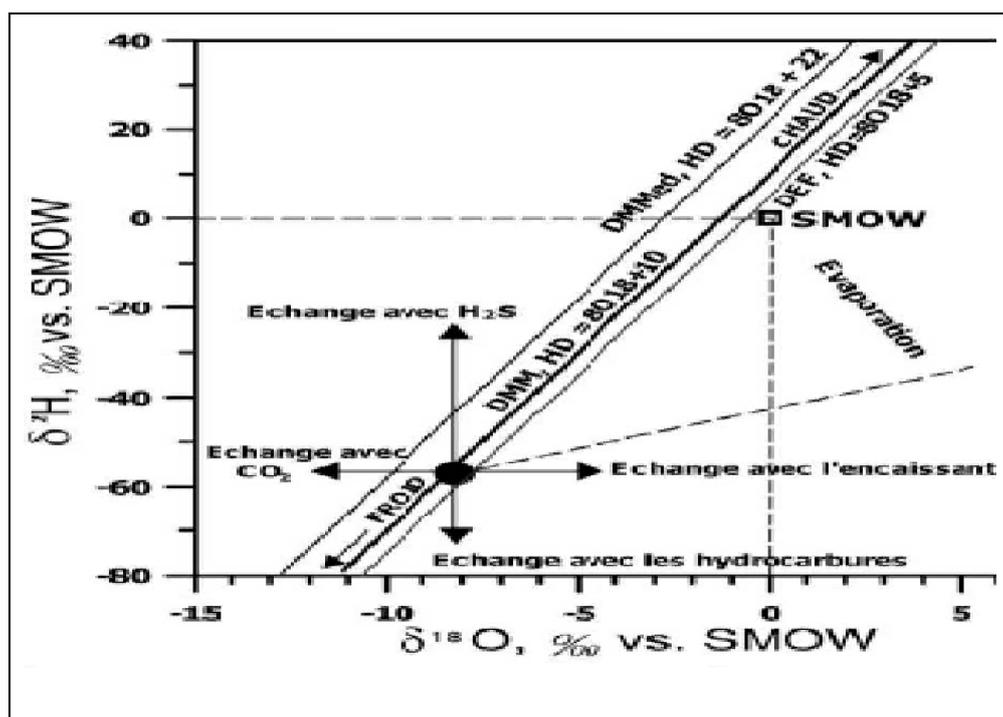


Fig. IV.8. Relation  $\delta^{18}\text{O} - \text{H}^2$  dans les eaux naturelle.

La connaissance des valeurs de la compositions isotopique des eaux météoriques à travers les temps géologiques est nécessaire pour établir l'origine des eaux des formations aquifères profondes qui ont pu être mélangée ou rechargées depuis plusieurs millions d'années. ces variations de teneurs en isotopes lourds des eaux météoriques peuvent résulter :

- de la variation du terme source c'est-à-dire de la compositions isotopiques des océans.
- du changement des conditions climatiques de l'aire de recharge.

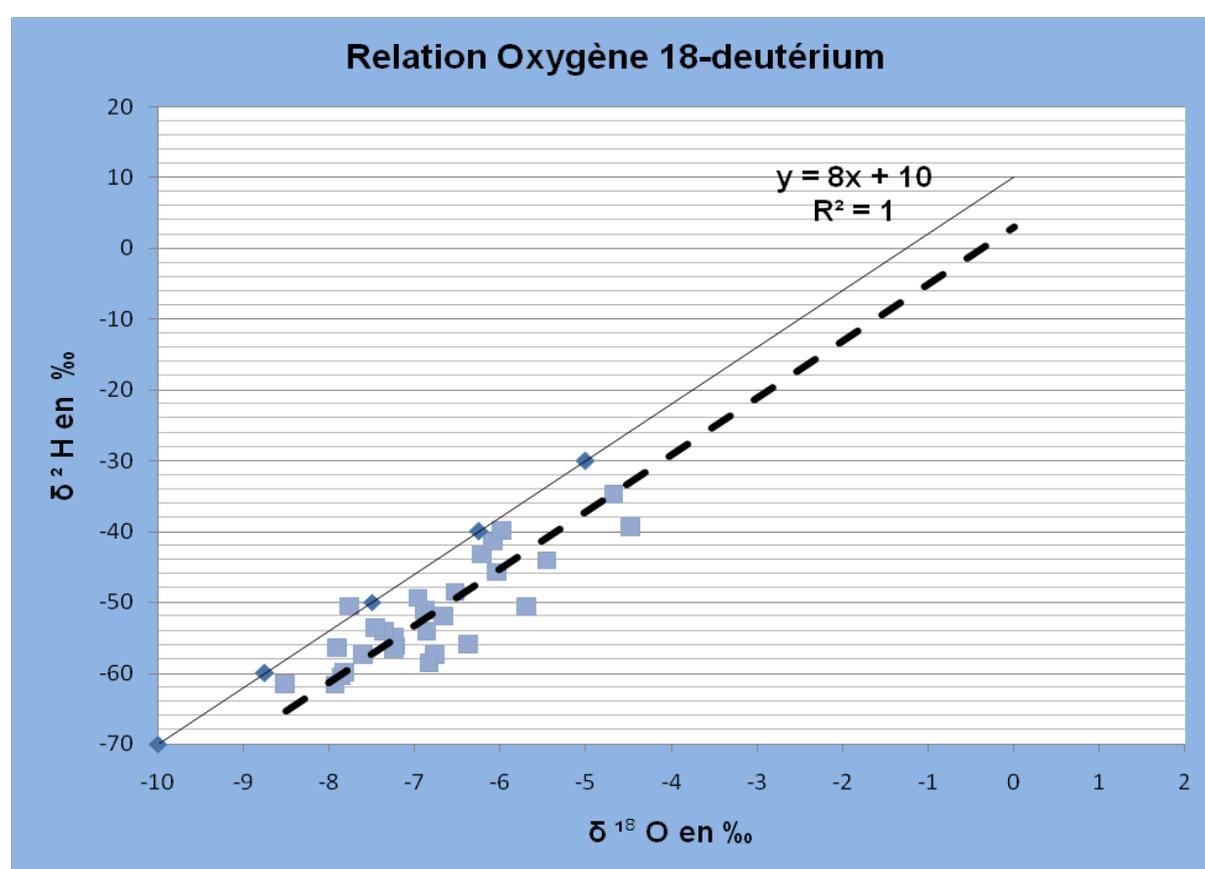
Les isotopes radioactifs comme leurs nom implique, sont instable et sont donc régit par la loi exceptionnelle de décroissance radioactive ,chaque élément ayant sa constante de décroissance spécifique et par conséquent sa propre période de demi vie. cette dernière est le temps suffisant et nécessaire pour que le stock d'atome initialement présent dans le système se réduise de moitié. Les radioéléments les plus couramment utilisé en hydrologie sont le tritium, le carbone – 14 , le chlore - 36. Ils sont d'origine diverses (cosmo génique, techno génique ou pedogénique).

### IV.2. 1 : Interprétation Des Données Isotopiques :

Les teneurs en isotopes stables  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  des eaux de la nappes de CI sur la région Laghouat Hassi Rmel montrent une relative dispersion

Pour les teneurs en  $^{18}\text{O}$  elles varient entre - 8.5 ‰ à (Lag2) comme étant la valeur max et la valeur min se trouve à (Lag 20) – 4.68 ‰ vs SMOW (Standard Mean Ocean Water).

Pour les teneurs en  $^2\text{H}$  elles varient entre la valeur - 61.7 ‰ à (Lag2) et - 34.8‰ vs SMOW qui représente la valeur min qui se trouve à (Lag20) .



**Fig. IV. 9. Relation Oxygène 18-deutérium (eaux de la nappe du CI à Laghouat- Hassi R'mel )**

Les points d'eau de la zone d'étude représentés sur le diagramme ( $^{18}\text{O}$ - $^2\text{H}$ ) (Fig. IV.9) sont réparties selon une droite qui est parallèle à la droite des eaux météoriques mondiale d'équation  $\delta^2\text{H}=8\delta^{18}\text{O}+10$ , ce qui suggère que la recharge de la nappe du CI reçoit une alimentation des eaux de pluie actuelle qui tombent

sur l'Atlas Saharien (surtout sous forme d'orage intense et exceptionnelle), la dispersion des teneurs en isotopes stables allant de  $-8.5\text{‰}$  à  $-4.6\text{‰}$  vs SMOW reflètent d'une part une variation (appauvrissement des teneurs) due à l'Altitude (1500m Atlas Saharien), et d'autre part à une recharge paléo climatique (ancienne) notamment pour les eaux du CI (Barrémien) à Hassi Rmel (confirmée par des analyses de datation au carbone 14 GUENDOUZ. (2005).

### IV.3. Données piézométriques et hydrochimiques :

L'évolution spatiale des éléments chimiques des eaux du CI montrent globalement une augmentation du Nord vers le Sud (de la région de Laghouat vers la région de Hassi R'mel-M'zab), (FIG. IV.10) ce qui est conforme à l'évolution des charges hydraulique (piézométrie) depuis le piémont Atlasique (Laghouat) à 900 m vers l'aval de l'écoulement (Hassi R'mel) à 400 m. Cette similitude dans l'évolution hydrodynamique et hydrochimique témoigne d'une interaction Eau – Roche assez intense et par conséquent montre bien que la continuité hydraulique est respectée en globalité .

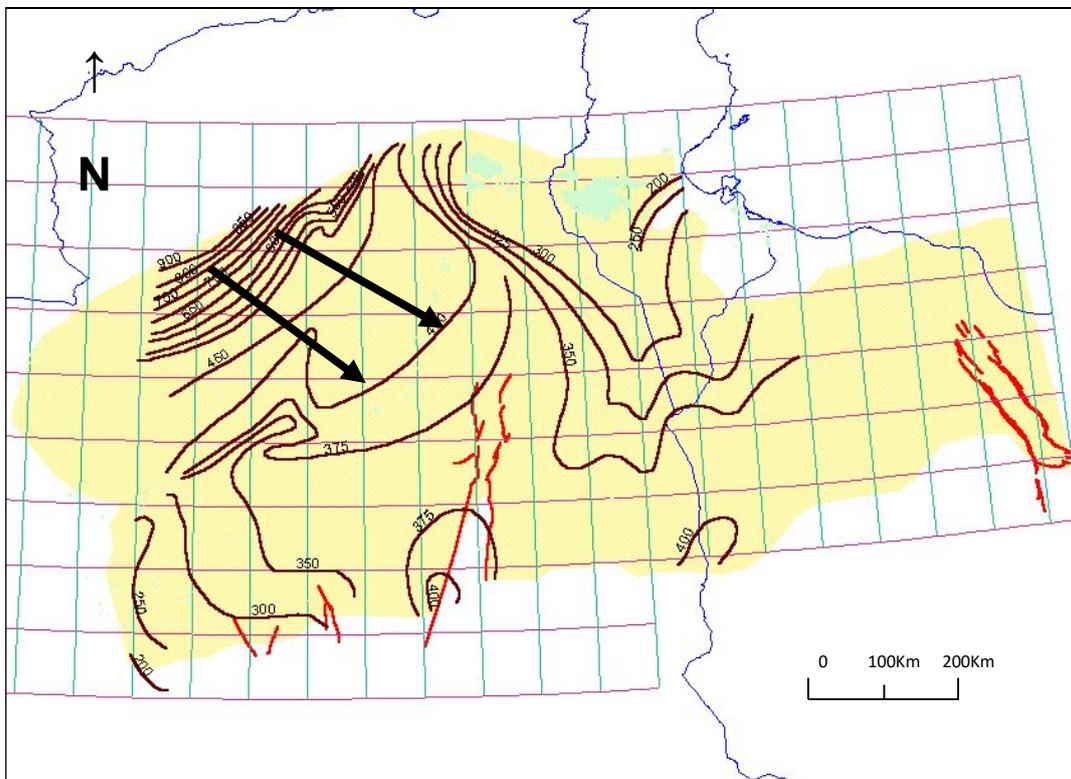


FIG. IV.10 : Cartes piézométrique du CI

### CONCLUSION GENERALE :

L'étude de la nappe du Continental Intercalaire sur la zone Laghouat Hassi Rmel près de l'Atlas Saharien a permis de caractériser cet aquifère sur le plan géologique, hydrogéologique, hydrochimique et isotopique, en effet :

- Sur le plan géologique, les principales formations qui affleurent sur l'Atlas Saharien et font partie de l'ensemble sont :  
Le crétacé inférieur: Albien – Barrémien qui sont composées sur le plan lithologique par des formations de grés de sable et d'argile.
- sur le plan hydrogéologique, le principal aquifère étant le Continental Intercalaire (formation Albien et Barrémien) qui affleure sur l'Atlas Saharien et constitue la principale Zone de recharge à l'échelle de bassin du Sahara Septentrional.
- Les données hydroclimatiques et hydrologiques montrent que la recharge du continental intercalaire a lieu effectivement au niveau de l'Atlas Saharien avec un taux de recharge estimée à 300 Millions de m<sup>3</sup>/an (OSS,2003)
- L'évolution spatiale des éléments chimiques des eaux du CI le long de la principale direction d'écoulement (NW – SE) montre que la minéralisation et les principaux éléments chimiques augmentent dans ce sens, et suggèrent une acquisition par dissolution lors du parcours souterrain.
- Les données des isotopes stables ( $\delta^{18}\text{O}$  ,  $\text{H}^2$ ) représentées sur le diagramme ( $\delta^2\text{H} - \delta\text{O}^{18}$ ) confirme que les eaux de pluies actuelle participent à la recharge de la nappe du CI avec une composante probablement ancienne.
- Les données hydrochimiques et isotopiques sont conformes à l'évolution piézométrique de cet aquifère ce qui confirme la continuité hydraulique de l'écoulement souterrain dans ce système.

**BIBLIOGRAPHIE :**

**A.H. GUENDOZ, W.M. Edmunds, A. Mamou K. Zouari. (2002) :** groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia trace element and isotopic indicators , Applied Geochemistry 18 (2003) 805–822.

**ADE 2008, 2009, 2010 :** mesures et analyses des paramètres physico-chimiques.

**APPELO ET POSTMA. (1993) :** Geochemistry, Groundwater and Pollution. Rotterdam, Balkema.

**AUMASSIP G. et DAGORNE A. ESTORGES P (1969) :** El Haouita, un exemple de remblaiement fini-würmien. Libya, Anthrop., Prehist., Ethnog., t. XVII, p. 53-91.

**BEL & DEMARGNE. (1966) :** Etude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches, 22p.

**BEL F & CUCHE D. (1970) :** Etude des nappes du Complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique, DHW, Ouargla.

**BRL. (1998) :** Etude du Plan directeur général de développement des régions sahariennes – Connaissances d'Ensemble. Rapport, ANRH, Alger, Algérie.

**CENTRE NECLUAIRE D'ALGER CRNA. (2003) :** Rapport sur la mission du terrain effectuée en 2003 mesures et analyses des paramètres physico-chimiques.

**CHABOUR N. (2006) -** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie . Thèse de doctorat . Université de Constantine.176p.

**CHETTIH M. (2001) :** Analyse fonctionnelle de quelque system aquifères de l'Atlas saharien. Thèse de doctorat . Université de Bab ezzouar.

**CORNET A. (1964) :** Introduction à l'hydrogéologie saharienne ; Rev. de géogr. phys. et de géol. dyn. (2),vol. VI, fasc.1 ; 5-72.

**CORNET. (1961)** : Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Hydraulique et équipement rural. Service des études scientifiques. Rapport, Alger, Algérie. 108p.

**DANSGAARD. (1964)** : Stable isotopes in precipitation. Tellus, 16. p.436-468.

**DERBYSHIRE ET AL. (1998)** : A Sr Isotope Study of Groundwaters from the Grand Erg Oriental Basin, North Africa. NERC Isotope Geosci. Lab. Rep. Ser. No. 125

**DUBIEF J. (1953)** : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie ; Service des Etudes Scientifiques ; Alger, Algérie. 451p.

**EDMUNDS WM, Guendouz AH, Mamou A, Moulla AS, Shand P, Zouari K (2003)** : Groundwater evolution in the Continent Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Appl Geochem 18(6):805–822.

**EDMUNDS WM, Shand P, Guendouz A, Moulla AS, Mamou A, Zouari K (1997)** : Recharge characteristics and groundwater quality of the Grand Erg Oriental basin, final report. EC (Avicenne) contract CT93AVI0015, BGS Tech Rep WD/97/ 46R Hydrogeol Ser.

**EDMUNDS WM. (1996)** : Bromine geochemistry of British groundwaters. Mineral Mag 60:275–284.

**ERESS (1972a)** : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport final, 78p, 1 carte ; 12 planches. OSS, Tunis, Tunisie.

**ERESS (1972b)** : Nappe du Continental intercalaire. Plaquette 2, 46p, Appendices, 5 cartes, 4 planches. OSS, Tunis, Tunisie.

**FERSI M. (1979)** : Estimation du ruissellement moyen annuel sur les BV du SE, du SW et Sahel sud, DGRE.

**GEFLI. (1978)** : Survey for the development of the Central Wadi Zone & Golf of Sirte ;Groudwater Resources ; Final Synthesis Report ; Text & App 2&3-tome1 : 151p ; tome2 : pp152-418. App2 : drill.rep ; App3 : water analyses, hydrogeol. cross sections, maps.- General Water Authority, ref. : AL-WR-205. Tripoli, Libye.

Générale des Ressources en Eau, Tunis.

**GEOMATH. (1994)** : Western Jamahiriya System ; Hydro geological Modeling of aquifers & well fields ; Final Report ; Text & pl. General Water Authority, ref. : AW-MI-579. Tripoli, Libya.

**GEOPETROLE. (1964)** : Etude analogique de la nappe du Continental Intercalaire saharien, pour l'org. Mise en valeur sous-sol saharien. Direction

**GLENDON ET HILLEL. (1988)** : Groundwater recharge in arid regions : Review and critique of estimation methods. Hydrological process, Vol.2, 255-266.

**GONFIANTINI ET AL. ( 1974)** : Etude isotopique de la nappe du continental intercalaire et de ses relations avec les autres nappes du Sahara septentrional. Isot. Techn. groundwater hydrology, Vol.1, IAEA, Vienne.

**GUENDOZ A, Moulla AS, Edmunds WM, Shand P, Zouari K, Mamou A (1997)** : Palaeoclimatic information contained in groundwaters of the Grand Erg Oriental, North Africa. In: Int Symp Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere and Atmosphere, Vienna, 14–18 April 1997. IAEA-SM-349-/43.

**GUENDOZ A, Moulla AS. (1995)** : étude hydro chimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, Algérie, 1993– 1995 (Hydrochemical and isotopic investigation of Ouargla depression groundwaters, Alegria, 1993–1995). Tech Rep CDTN/DDHI, Algiers, 107 pp.

**GUENDOZ A. (1985)** : Contribution à l'étude hydro chimique et isotopique des nappes profondes du Sahara septentrional, Algérie (A contribution to the hydrochemical and isotopic study of the northern Sahara deep groundwaters in Algeria). Thesis, University Paris-sud, Orsay, France, 243p.

**GUENDOZ . (2005)** : APPLICATION DES TECHNIQUES NUCLEAIRES ET HYDROGEOCHIMIQUES A L'ETUDE DES NAPPES PROFONDES DU BASSIN SEDIMENTAIRE DU SAHARA SEPTENTRIONAL, IMPLICATIONS POUR LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU Thèse Doctorat d'état, 276P. 2005, USDB

**HANNACHI A. (1981)** : Relation entre aquifère profonds et superficiels. (hydrogéologie de la vallée de l'oued M'zi a l'est de Laghouat. Algérie).Thèse de 3eme cycle .Université de Grenoble. 225p.

**LLOYD J. W. & MILES J. C. (1986)** : Examination of the mechanisms controlling groundwater gradients in arid regional sedimentary basins, Wat. Resour. Bull. Am. Wat. Res. Assoc., 22, 3, 1-8.

**MAMOU A. (1990)** : Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du Sud tunisien. Thèse Doctorat es-Sciences. Univ. Paris Sud, 426p.

**OSS (2003a)** : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.

**OSS (2003b)** : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie. 229p.

**OULD BABA SY. (2005)** : Recharge et paléo recharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse Doctorat en Géologie, Univ. Tunis, El Manar.

**P. PALLAS. (1978a)** : Groundwater flow toward Tawargha in the Mesozoic sandstones aquifer. S.P.L.A.J., General Water Authority. Tripoli, Libya, 5p. 1 map.

**RITTENHOUSE. (1967)** :

**TARDA - HENRY. (1984)**. Chimie des eaux. Editions Le Griffon d'argile Inc. Québec.

**THORWEIHE ET HEINL. (1996)** : Groundwater resources of the Nubian aquifer system. Sahara and Sahel Observatory. Tunis, Tunisie. 82p.

**UNESCO. (1972)** : Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional, Rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).

# **CHAPITRE I**

## **PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE**

## **CHAPITRE II**

**Problème de la recharge de nappe de continental intercalaire sur la région  
de LAGHOUAT (atlas saharien)**

## **CHAPITRE III**

### **Méthodologie**

## **CHAPITRE IV**

### **DISCUSSIONS DES RESULTATS**

**INTRODUCTION  
GENERALE**

**CONCLUSION  
GENERALE**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**