

N° d'ordre :



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre

**Mémoire**

Présenté pour l'obtention du grade de

Master en Hydrogéologie

Option : **Eau Souterraine & Environnement**

Thème :

**Évolution de la pollution des eaux souterraines par les Nitrates  
dans le Moyen Chélif Occidental  
(Nord-Ouest d'Algérie).**

Présenté par :

**BENHAOUADIA Samia**

**RADJAH Farida**

**Soutenu le : 30/ 09/ 2018**

Devant la commission d'examen :

Mr : MANSOUR H

Président

Mr. BOURSALI T

Rapporteur

M<sup>elle</sup> : ABLAOUI H

Examinatrice

2018

***Sommaire :***

Dédicaces

Remerciement

Liste des acronymes

Liste des figures

Liste des tableaux

***Introduction générale***

Introduction.....01

***Chapitre I : Généralités***

I.1. Situation géographique .....	02
I.2. Morphologique.....	04
I-2-1- Orographie.....	04
I-2-2- le réseau hydrographique.....	06
I-3. Cadre climatique .....	07
I-3-1- Introduction.....	08
I-3-2- Pluviométrie .....	08
I-3-2-1- Etude des précipitations .....	09
I-3-2-2- Les précipitations mensuelles et annuelles.....	09
I-3-2-2- les précipitations saisonnières.....	10
I-3-3-Etude de température .....	12
I.3.4. Régime climatique .....	13
I.3.4.1. Diagramme pluviothermique de Gaussen .....	13
I.3.4.2. Indice climatique .....	14
I.3.4.2.1. L'indice d'aridité annuel .....	14

I.3.4.2.2. L'indice d'aridité mensuel .....	15
I.3.4.2.3. L'indice climatique de L. Emberger.....	17
I.3.4.2.4. L'indice de Stewart :.....	18
I.3.5. L'évapotranspiration .....	19
I-3-6-Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite.....	20
I.3.6.1. Evapotranspiration potentielle (E.T.P).....	20
I.3.6.2. Evapotranspiration réelle (E.T.R) (déficit d'écoulement) :.....	21
I.3.6.2.1.Méthode de Turc .....	21
I.3.6.2.2.Méthode de Coutagne .....	22
I.3.6.2.3.Méthode de Wundt .....	23
I.3.6.2.4. Méthode de P.Verdeil .....	23
I.3.6.2.5. Méthode deThornthwaite.....	25
I.3.7. Ruissellement (méthode de Tixeront Berkaloff) .....	26
I.3.8. Bilan hydrologique selon Thornthwaite .....	26
I.3.8.1.Méthode rationnelle .....	26
I.3.9. Conclusion.....	27
I-4-Contexte géologique.....	28
I-4-1- Lithostratigraphie.....	29
I-4-1-1. Les formations anténéogènes.....	29
I-4-1-2. Les formations Néogènes et Quaternaires .....	31
I-4-2. Conclusion .....	37
I.5.Cadre hydrogéologique.....	37
I.5.1. Introduction.....	37

## *Sommaire*

---

I.5.2 Stratigraphie des aquifères .....	38
I.5.3. Les principaux aquifères.....	40
➤ Calcaires à lithothamnium .....	41
➤ Grés et sables de l'Astien .....	42
... ..	
➤ Alluvions quaternaire.....	44
I-5-4- Etude piézométrique.....	45
I.5.4.1- La piézométrie .....	45
I.5.4.2- Interprétation de la carte piézométrique.....	46
I .5.5. Conclusion .....	48
<b><i>Chapitre II : Hydrochimie</i></b>	
II.1.Introduction .....	49
II.2.Etude des paramètres physico-chimiques de l'eau .....	50
II.2.1. Paramètres physiques .....	50
II.2.1.a- Potentiel d'Hydrogène (pH) .....	50
II.2.1.b-Conductivité .....	50
II.2.1.b-Conductivité .....	50
II.2.2. Paramètres Chimiques .....	50
II.2.2. a- Les cations .....	50
II.2.2.b- Les anions.....	54
II.3-Classification des eaux .....	57
a- Présentation graphique .....	57
b - Diagramme de Schoeller-Berkaloff .....	57
c- Diagramme de Piper .....	61
II.4- Conclusion .....	62

*Chapitre III : Evolution de la pollution des eaux souterraines par les Nitrates*

III.1. Généralités .....	63
III.2. Définition de la pollution de l'eau .....	63
III.3. Principaux types de pollution .....	63
III.3.1-Pollution d'origine urbaine .....	63
III.3.1.1- Pollution organique .....	63
III.3.1.2-Pollution bactériologique .....	64
III.3.2- Pollution d'origine agricole .....	64
III.3.3- Pollution d'origine industrielle.....	64
III.4. Les nitrate : définition et généralités .....	64
III.5. Cycle de l'Azote .....	65
III.5.1.Nitrification .....	65
III.5.2. Dénitrification .....	66
III.5.3. Minéralisation et réorganisation .....	66
III.6. Normes de potabilité .....	67
III.7. Etude de la pollution par les nitrates des eaux souterraines dans le secteur d'étude.....	68
III.7.1. Présentation des résultats d'analyse des nitrates .....	68
III.7.2. Evolution des nitrates entre .....	69
III.8- Apports d'azote sur le périmètre de la zone d'étude.....	69
III.8.1-Apports naturels.....	69
• Apport d'azote atmosphérique.....	69
• Apport d'azote par minéralisation.....	70
III.8.2-Apports anthropiques.....	70
• Impact de l'activité agricole.....	70

## *Sommaire*

---

• L'influence de la pollution d'origine domestique et urbaine.....	70
• Impact de l'industrie.....	71
• Décharges d'ordures ménagères.....	72
III.9. Conclusion .....	74
Recommandations .....	75
<b><i>Conclusion générale</i></b>	
Conclusion générale .....	76
Références bibliographiques	

## **Remerciements**

*Avant tout, Je remercie **Dieu** le tout puissant qui nous a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont permis de mener à bien cette étude.*

*Nous remercions tout particulièrement Messieurs les membres du jury :*

*A Monsieur **BOURSALI T**, de nous avoir encadré et suivis de près avec sa rigueur scientifique, ses conseils ainsi que sa gentillesse qui nous ont permis de mener à bien ce travail de fin d'étude.*

*Nous tenons à remercier pleinement Monsieur **MANSOUR H**, de nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.*

*Nous tenons également à remercier Mademoiselle **ABLAOUI H** pour ses encouragements et d'avoir bien voulu examiner ce mémoire.*

*A tous nos amis qui nous encouragent pour la réalisation de ce modeste travail.*

*Toute notre gratitude aux responsables et personnel de l'**ANRH** de Chlef et Blida, et de l'**ABH**.*

*Nous tenons également à nous excuser auprès des personnes qui nous ont aidés et les auteurs dont nous avons utilisé les documents sans les avoir cités dans les remerciements ou dans la bibliographie.*

*Nos remerciements les plus respectueux s'adressent également à tous les enseignants et le personnel du Département de Géologie et de la Faculté des Sciences de la Terre de l'Université d'Oran en particulier Saliha et Rafik.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire à **mes parents** pour leur soutien pendant toutes mes études.*

*A mes sœurs, mes frères, mes petits neveux et mes nièces et à toute ma famille.*

*A ma tante **Mahdjouba** qui nous a quittés la semaine passée mais qu'elle  
reste toujours présente dans nos pensées.*

*A mon binôme Samia et sa famille.*

*A tous les étudiants des sciences de la terre, à tous mes très chers fidèles amis.*

*A ceux qui m'ont connu de près ou de loin.*

*A ma promotion 2017/2018.*

*A tous mes enseignants de tout le cycle d'étude.*

***Farida***

# *Dédicace*

*Avec un très grand plaisir et joie, je dédie ce travail :*

*A mes très **chers parents** pour tout leur sacrifice, afin que je puisse atteindre ce niveau d'étude, que Dieu leur offre une longue vie pour me voir réussir dans ma vie.*

*A mes très chères sœurs, et petits neveux et mes nièces.*

*A mon binôme Farida et sa famille.*

*A notre collègue **KADDOUR** qui nous a quittés mais qui reste toujours présent dans nos pensées.*

*A mes beaux frères : Mounir, Haouri et Brahim.*

*A mes amies surtout **Wassila, Karima, Sarra.***

*A tous ceux ou celles qui m'aiment.*

***Samia***

## *Listes d'acronymes*

---

ABH -CZ	:	Agence du Bassin Hydrographique Cheliff – Zahrez
ADE	:	Algérienne Des Eaux
AEP	:	Alimentation en Eau Potable
ANRH	:	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CEE	:	Conseil Economique Européen
CMA	:	Concentration Maximale Admissible
Da	:	Déficit agricole
DBO	:	Demande biologique en oxygène
DCO	:	Demande chimique en oxygène
DHW	:	Direction d'Hydraulique de la Wilaya
DSA	:	Direction des Services Agricoles
ETP	:	Evapotranspiration Potentielle
ETR	:	Evapotranspiration Réelle
FNDRA	:	Fond National de Développement et de régularisation Agricole
MCO	:	Moyen Cheliff Occidental
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
ONIDC	:	Office National d'Irrigation et de Drainage Centre
ONM	:	Office National de la Météorologie
OPI	:	Office des Périmètres Irrigués
Qts	:	Quintaux (unité de masse 1Qts = 100 kg)
RFU	:	Réserve Facilement Utilisable.

## *Liste des Figures*

---

- Fig. 01.** : Situation géographique du bassin du Moyen Chélif (d'après Perrodon, 1957modifié).
- Fig. 02** : Carte de situation géographique de la zone d'étude.
- Fig.03** : Relief et hydrographie.
- Fig.04** : Position des postes pluviométriques de la plaine du Moyen Chélif Occidental
- Fig.05** : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (1995/2013).
- Fig.06** : Histogramme des précipitations saisonnières des stations (1995/2013).
- Fig.07:** Température moyenne mensuelle à la station Chlef ANRH (1995/2013).
- Fig.08:** Diagramme pluviothermique (station Chlef ANRH, période 1995/2013).
- Fig. 09** : Abaque d'indice d'aridité (d'après De Martonne, 1925).
- Fig. 10** : La position de la région d'étude dans le diagramme D'EMBERGER (1995 /2013).
- Fig. 11** : Carte d'évapotranspiration de la région de Chélif (ABH-CZ, 2003)
- Fig.12** : Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE.
- Fig.13** : Abaque de P.Verdeil.
- Fig.14** : Structure générale du bassin du Moyen Chélif (d'après Delfaut et Al, 1973, modifié).
- Fig.15** : Log stratigraphique synthétique de la plaine du Moyen Chélif Occidental (d'après Maghraoui, 1982). Echelle : 1/1000)
- Fig. 16** : Carte géologique synthétique du secteur d'étude (d'après Brive, 1936, modifié).
- Fig. 17** : Coupes géologique à travers la plaine de Chlef (d'après Maghraoui, 1988).
- Fig.18** : Schéma stratigraphique du Miocène inf. sur la bordure Nord du massif d'Ouarsenis (d'après Perrodon, 1957).
- Fig. 19** : Schéma stratigraphique du Miocène sup. sur la bordure Nord du massif de l'Ouarsenis (d'après Perrodon, 1957).
- Fig.20** : Stratigraphie et niveaux aquifères (d'après Schrambach, 1966)
- Fig. 21** : Principales formations aquifères de la nappe du Moyen Chélif
- Fig. 22** : Carte d'inventaire des prélèvement (points d'eau) de la nappe du Moyen Chélif.
- Fig.23:** Carte piézométrique de la nappe alluviale du Moyen Chélif Occidental (Janvier 2013). (Établie par CHEROUAG B, 2014).
- Fig.24** : Schéma structural du calcaire à lithothamnium d'Oued Sly à Oued Taflout  
(D'après Schrambach, 1966)
- Fig.25:** Carte d'inventaire des points d'eaux.
- Fig.26** : Carte d'isoteneur en  $\text{Ca}^{+2}$  (mg /l).
- Fig.27** : Carte d'isoteneurs en  $\text{Mg}^{2+}$  (mg/l).
- Fig.28** : Carte d'isoteneurs en  $\text{Na}^{+}$  (mg/l).
- Fig.29** : Carte d'isoteneurs en  $\text{K}^{+}$  (mg/l).
- Fig. 30** : Carte d'isoteneurs en  $\text{Cl}^{-}$  (mg/l).
- Fig. 31** : Carte d'isoteneurs en  $\text{SO}_4^{-2}$  (mg/l).
- Fig.32** : Carte d'isoteneurs en  $\text{HCO}_3^{-}$ (mg/l).
- Fig.33** : Carte de zonalité des concentrations en  $\text{NO}_3^{-}$ .

## *Liste des Figures*

---

- Fig.34:** Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkalof (Faciès chloruré sodique).
- Fig. 35:** Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller- Berkalof (faciès chloruré magnésien, sulfaté magnésien).
- Fig.36:** Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkalof (Faciès chloruré calcique, chloruré sodique).
- Fig.37:** Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.
- Fig.38 :** Cycle de l'Azote.
- Fig.39 :** Carte de situation des points d'eau contrôlés sur le secteur d'étude.
- Fig.40 :** Evolution des nitrates entre 2005 et 2017.
- Fig.41 :** Position des unités industrielles et de rejet urbains (source ABH-CZ)
- Fig.42 :** Situation du centre d'enfouissement technique de Meknassa

## *Liste des Tableaux*

---

**Tab.01** : Les coordonnées et les précipitations moyennes annuelles, période 1995/2013 de la station Chlef ANRH et Ouled Ben Abdelkader.

**Tab .02** : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles en mm (période: 1995/2013).

**Tab.03** : Répartitions saisonnières des précipitations (en mm).

**Tab.04** : Températures moyennes mensuelles à la station de Chlef ANRH (1995-2013).

**Tab.05**: Moyenne mensuelle des précipitations et températures (station d'ANRH Chlef) période 1995-2013.

**Tab.06**: Précipitations, températures et indices d'aridité mensuels (i) de la station de l'ANRH Chlef (1995/2013).

**Tab.07**: Calcul de l'évapotranspiration potentielle de la station d'ANRH Chlef (1995-2013).

**Tab.08**: Valeur du déficit d'écoulement (Coutagne), (1995-2013).

**Tab.09** : Calcul du bilan hydrologique pour l'année 2013 par la méthode de Thornthwaite.

**Tab. 10** : Valeurs de l'infiltration selon différentes méthodes.

**Tab.11**: Les différents engrais chimiques utilisés dans la région du Chéelif (DSA, 2010).

**Tab.12** : Normes O.M.S de potabilité.

**Tab.13**: Résultats d'analyse des nitrates en mg/l (source ANRH).

**Tab. 14**: Apport annuel en nitrates provenant des eaux usées domestiques.

# *Introduction générale*

### **Introduction :**

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

Dans la plaine de Moyen Chélif Occidental, la chimie des eaux de la nappe alluviale est souvent influencée par les phénomènes de contact, de lixiviation et de dissolution des minéraux et sels présents dans les formations géologiques, les phénomènes d'évaporation et l'activité anthropique notamment agricole.

Notre travail permettra de donner une vision globale sur l'état actuel de la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Moyen Chélif Occidental et en période de basses eaux à travers les campagnes effectuées.

Quelques études, déjà réalisées sur la zone d'étude (mémoires d'ingénieur, de Magister et une thèse de Doctorat), ont montré que les plaines du Moyen Chélif sont fortement affectées par cette pollution.

Pour la réalisation de ce travail, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- Etude du cadre physique, climatique et hydrodynamique des eaux souterraines en relation avec la qualité chimique ;
- Etude des paramètres physiques et chimiques de l'eau ;
- Etude de la pollution par les nitrates et de leurs origines ;
- Etude d'évolution des nitrates entre la période 2005/2017 des eaux souterraines.

# *Chapitre I*

## *Généralités*

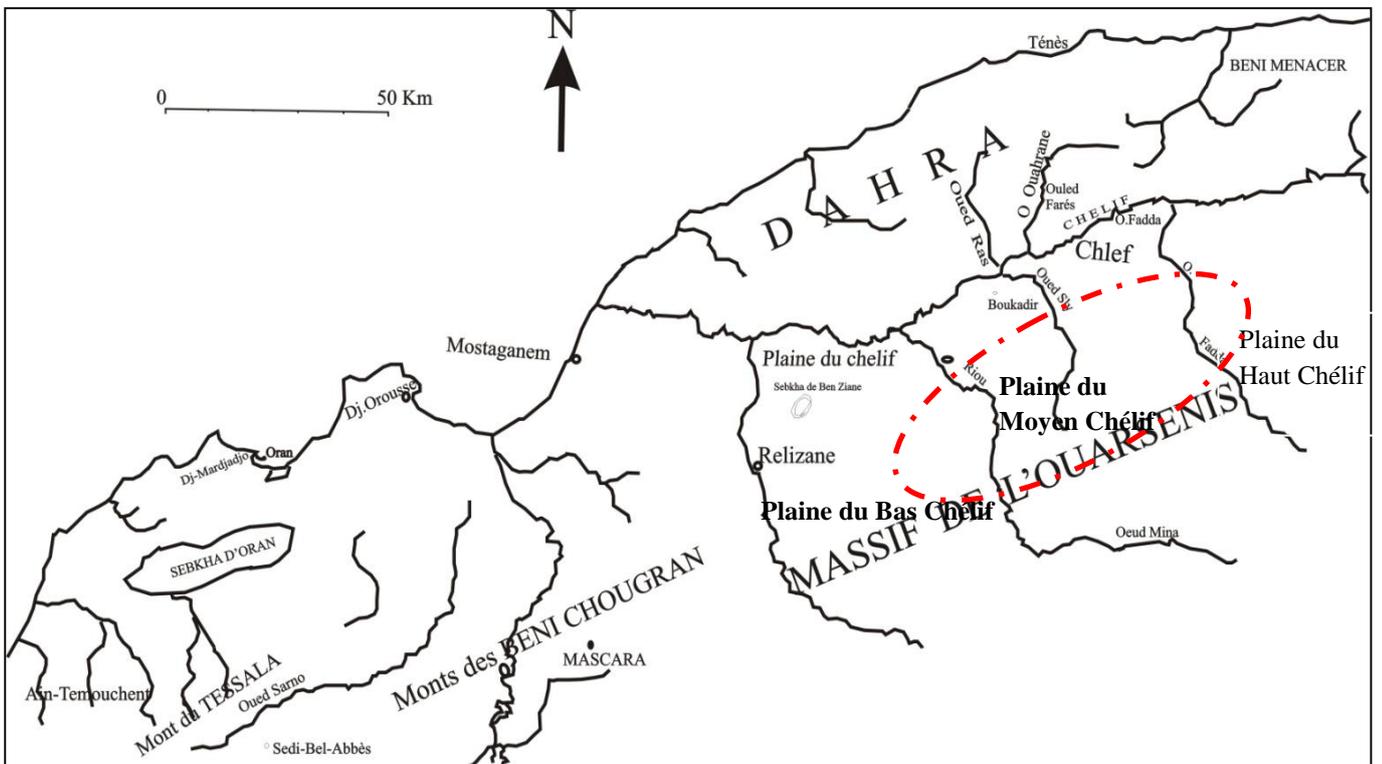
**Introduction :**

L'étude consiste à localiser géographiquement le bassin versant qui couvre notre zone d'étude et à définir les sous bassins qui le constituent, nous définirons les caractéristiques physiques afin de déterminer l'influence de ces derniers sur évolution de la pollution sur notre secteur d'étude.

**I-1- Situation géographique de la région d'étude (Fig.01) :**

La région d'étude est limitée :

- Au Nord par les monts et de Beni Menacer et de Medjadja (flanc sud du Dahra) d'altitude moyenne 600m,
- Au Sud par le massif de l'Ouarsenis dont l'altitude moyenne s'accroît assez régulièrement d'Ouest en Est (Fig.01),
- À l'Ouest par la plaine du Bas Chélif,
- À l'Est par la plaine du Haut Chélif.

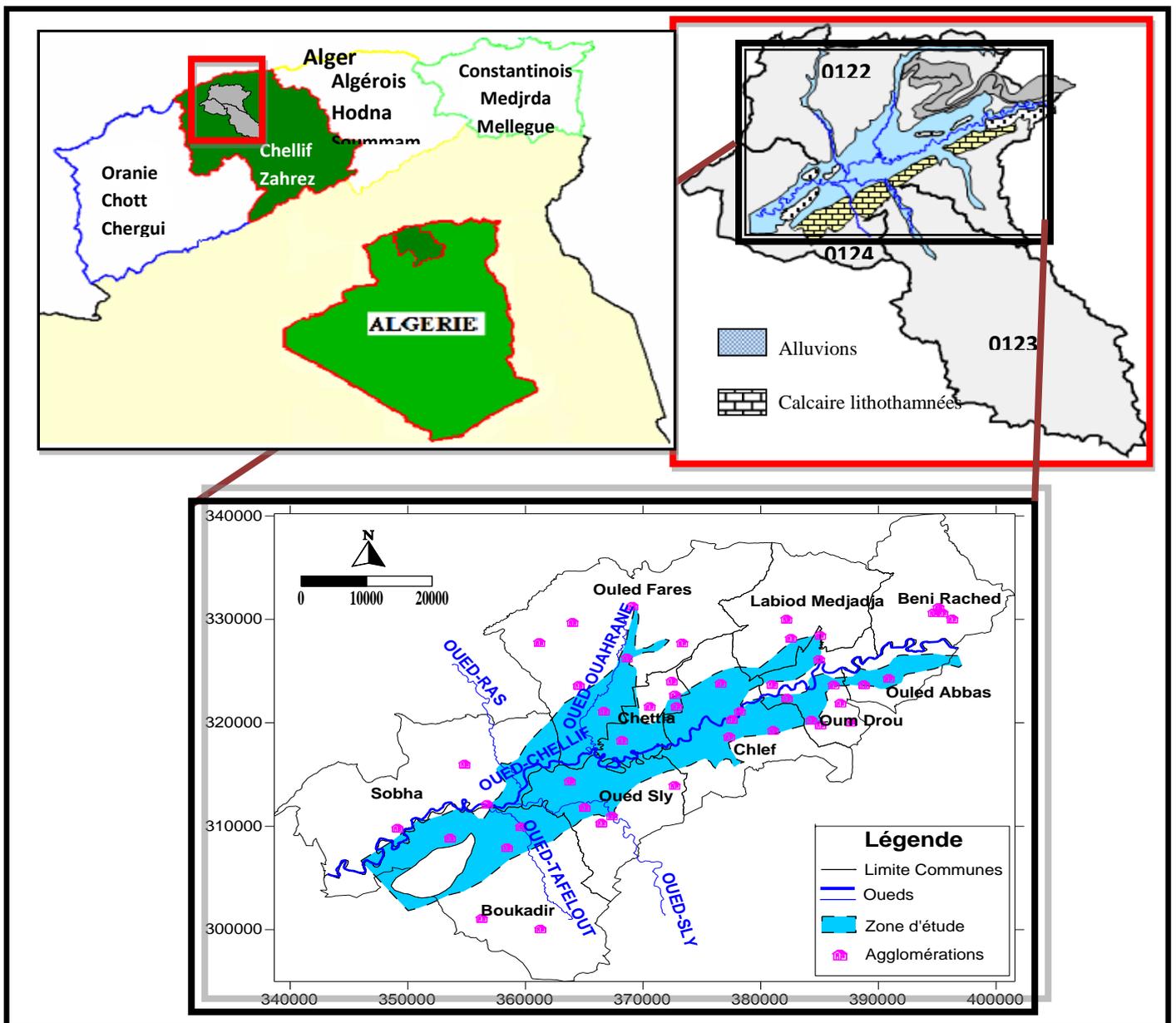


**Fig.01** : Situation géographique du bassin du Moyen Chélif (d'après Perrodon, 1957modifié).

**I-1- Situation géographique de secteur d'étude :**

La zone d'étude est située au Nord-Ouest de l'Algérie, à environ 200 km à l'Ouest d'Alger, elle prolonge celle du Moyen Chélif Oriental (plaine d'el Abbadia) et s'étend depuis le village d'Oued Fodda (Ouled Abbès) à l'Est jusqu'à Boukadir à l'Ouest sur une longueur d'environ 70 Km. Elle couvre une superficie de 394 Km<sup>2</sup> dans le bassin du Moyen Chélif Occidental qui lui-même englobe deux sous bassins versants: O. Ras-Ouahrane et O. Sly respectivement codés 0122, 0124 et une partie du sous bassin O.Chélif- Ouarizane codé (0123). (Fig.02).

Ce bassin appartient au grand bassin hydrographique Chélif-Zahrez (CZ) qui couvre une superficie d'environ 56227 km<sup>2</sup> (soit plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord).



**Fig.02 :** Carte de situation géographique de la zone d'étude.

## **I-2- Morphologie :**

Le bassin du Moyen Chélif est jalonné par une succession de plaines et de plateaux peu élevés, s'étendant au pied d'un chapelet de massifs Crétacés, plus ou moins continu.

### **I-2-1- Orographie :**

#### **I-2-1-1 Les massifs limitrophes :**

Le massif de l'Ouarsenis est une chaîne qui s'allonge sur plus de 200 km, son altitude moyenne s'accroît d'Ouest en Est de 1000 à 1300 m environ.

La partie orientale est séparée de la mer par la chaîne de Dahra, qui forme une barrière assez continue, de quelques 70 km de longueur, d'une altitude comprise entre 500-700 m.

Le bassin du Moyen Chélif Occidental comprend deux types de pays que l'on peut schématiquement définir par leur caractère hypsométrique ; les collines d'une altitude moyenne de 500-700 m et les plaines s'étalant entre 60 et 120 m (Fig.02, Perrodon, 1957).

#### **I-2-1-2 Les collines :**

Elles occupent une partie importante du bassin proprement dit, elles se sont formées suite à l'orogénèse tardive liée au Pléistocène, qui a touché les dépôts Néogènes.

Cette zone montagneuse est particulièrement développée dans la partie orientale du bassin où elle vient s'accoler au massif Crétacé du Dahra pour former un même ensemble orographique.

Les formations calcaires Miocènes se relèvent vers le massif d'Ouarsenis et forment une ligne de relief allongée localement de 648 m d'altitude (Fig.02, Perrodon, 1957).

#### **I-2-1-3 Les plaines :**

La plaine du Chélif forme dans sa partie orientale une étroite bande d'une dizaine de kilomètres de longueur, qui draine le Chélif, depuis la ville de Chlef jusqu'à son confluent avec oued Mina (Perrodon, 1957).

Elle comporte trois ensembles de plaines :

- Les plaines de l'amont, relativement resserrées à pente forte.
- Les plaines centrales (la plaine de Chlef).

- Les plaines de l'aval, plus ouvertes et plus plates.

D'après Boulaine (1957), la plaine du Chélif comporte les zones suivantes :

**a- Plaine de Mudjadja :**

Cette plaine est une annexe de la plaine de Chélif, c'est le fond d'une grande gouttière synclinale séparé de la ville de Chlef par une ligne de hauteurs qui correspondent au relèvement des bords du synclinal : ce sont les « montagnes rouges ».

**b- La vallée d'Oued Ouahrane :**

Cette vallée s'élargit constamment vers le Sud à partir d'Ouled Farès, il s'agit en fait d'une portion du compartiment subsidient situé entre la partie centrale du synclinal de Mudjadja et la flexure qui abaisse les formations Villafranco-Quaternaires du Nord-Ouest de la plaine entre Ouled Farès et Oued Ras.

**c- La vallée du Chélif en amont de Chlef :**

Entre le confluent du Oued Fodda et Chlef, le Chélif coule non pas dans une plaine d'origine tectonique mais dans une véritable vallée qu'il a creusée dans les formations Néogènes.

La vallée proprement dite, comporte une succession de boucles qui ont été creusées par les méandres divagantes du Chélif.

A l'aval d'Oum-Drou, la vallée se réalise et s'élargit peu à peu jusqu'au méridien d'Ouled Farès.

**d- Zone de Oued Sly et Boukadir (partie Sud de la plaine) :**

A quelques kilomètres à l'aval de Chlef, le lit du Chélif s'infléchit vers l'Ouest et la terrasse récente s'élargit notablement. L'Oued Sly a contribué à l'alluvionnement de cette partie de la plaine et son cours actuel coule parallèlement à celui du Chélif à partir de son débouché des collines. Celles-ci sont bordées par des carapaces calcaires entaillées de ravins.

Les terrasses récentes comportant trois parties :

- Zone Oued Sly.
- Zone comprise entre Oued Sly et Oued Taflout.
- Zone cuvette de Boukadir.

**e- La rive droite du Chélif au Nord-Ouest de la plaine :**

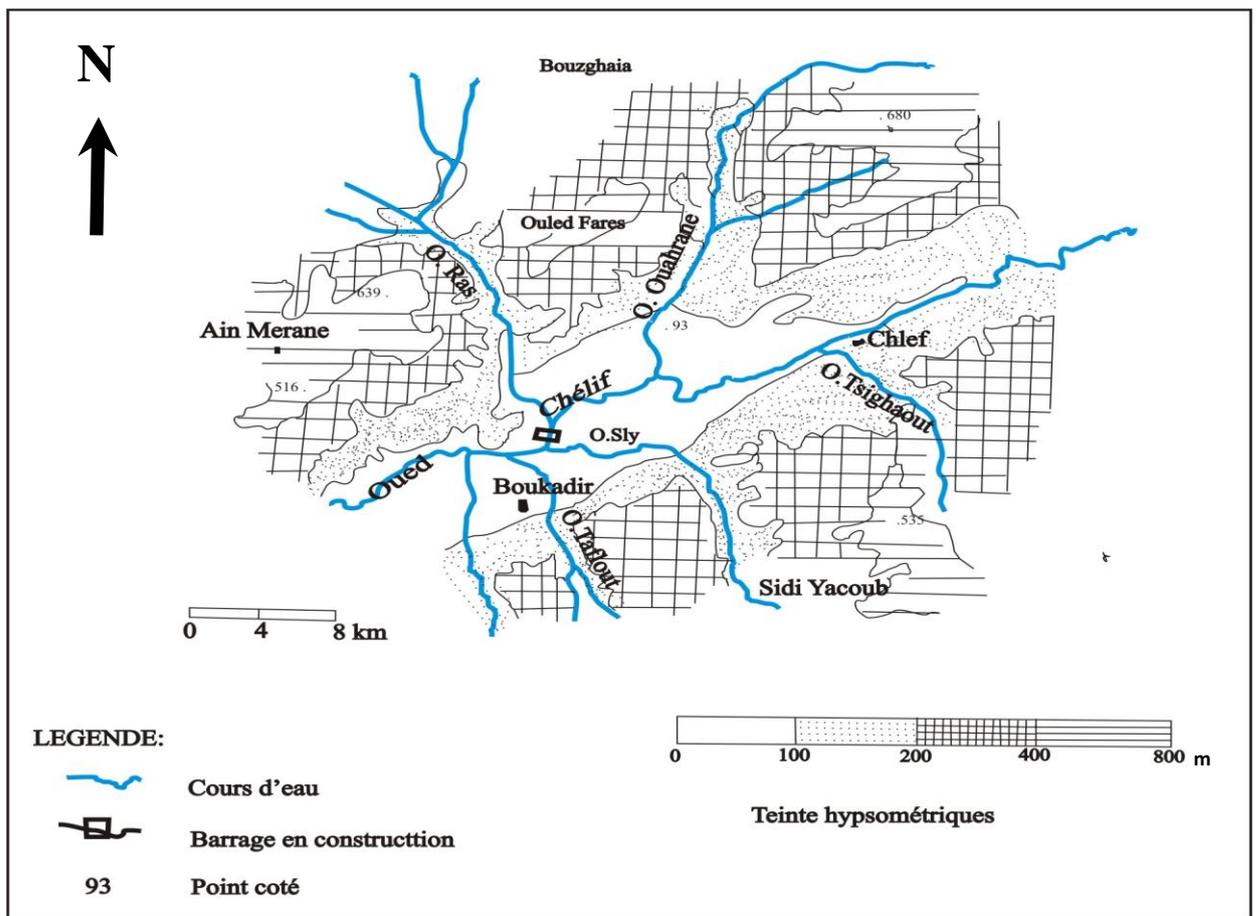
Entre les lits majeurs d'Oued Ras et Oued Ouahrane, au Nord du lit majeur du Chélif, la terrasse récente s'étale largement. Cette portion de la plaine est connue sous des noms divers : Bled El Outa et le Sobha.

**f- Le seuil de Boukadir :**

Entre le lit d'Oued Ras et la Merdja de Sidi Abed, la plaine du Chélif est occupée par des reliefs qui dominent de quelques dizaines de mètres.

Le lit majeur actuel les traverse en s'encaissant dans une terrasse récente réduite à quelques kilomètres de largeur.

**I-2-2- Le réseau hydrographique :**



**Fig. 03 :** Relief et hydrographie de la région du Moyen Chélif.

Le réseau hydrographique apparaît soit en gestation, soit en voie de disparition, et un certain nombre de régions ne présente qu'un écoulement intermittent (Perrodon, 1957).

Le bassin du Chélif est traversé par le fleuve le plus important en Algérie s'étalant sur une longueur de 800km d'Est en Ouest. Il prend sa source depuis l'Atlas Saharien (région d'Aflou), et se déverse dans la mer tout près de Mostaganem, il commande toute l'hydrographie de la partie orientale.

Cinq Oueds importants sont tributaires d'Oued Chélif. On peut les distinguer dans notre secteur (Fig.03) :

- **Rive droite** : Oued Ouahrane ; Oued Ras.
- **Rive gauche** : Oued Tsighaout ; Oued Sly ; Oued Taflout.

### **I.3.Cadre climatique**

#### **I.3.1. Introduction**

L'étude des données climatiques permet d'analyser les facteurs du climat de cette zone et de nous renseigner sur :

- Le type de climat,
- Le comportement hydroclimatologique du bassin versant,
- Le bilan hydrologique.

Ces paramètres sont, soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures), soit calculés par des formules empiriques (ETP, ETR, R, I).

Toutes les données climatiques de la région (précipitations et température) sont centralisées dans les deux services climatologiques régionaux suivant :

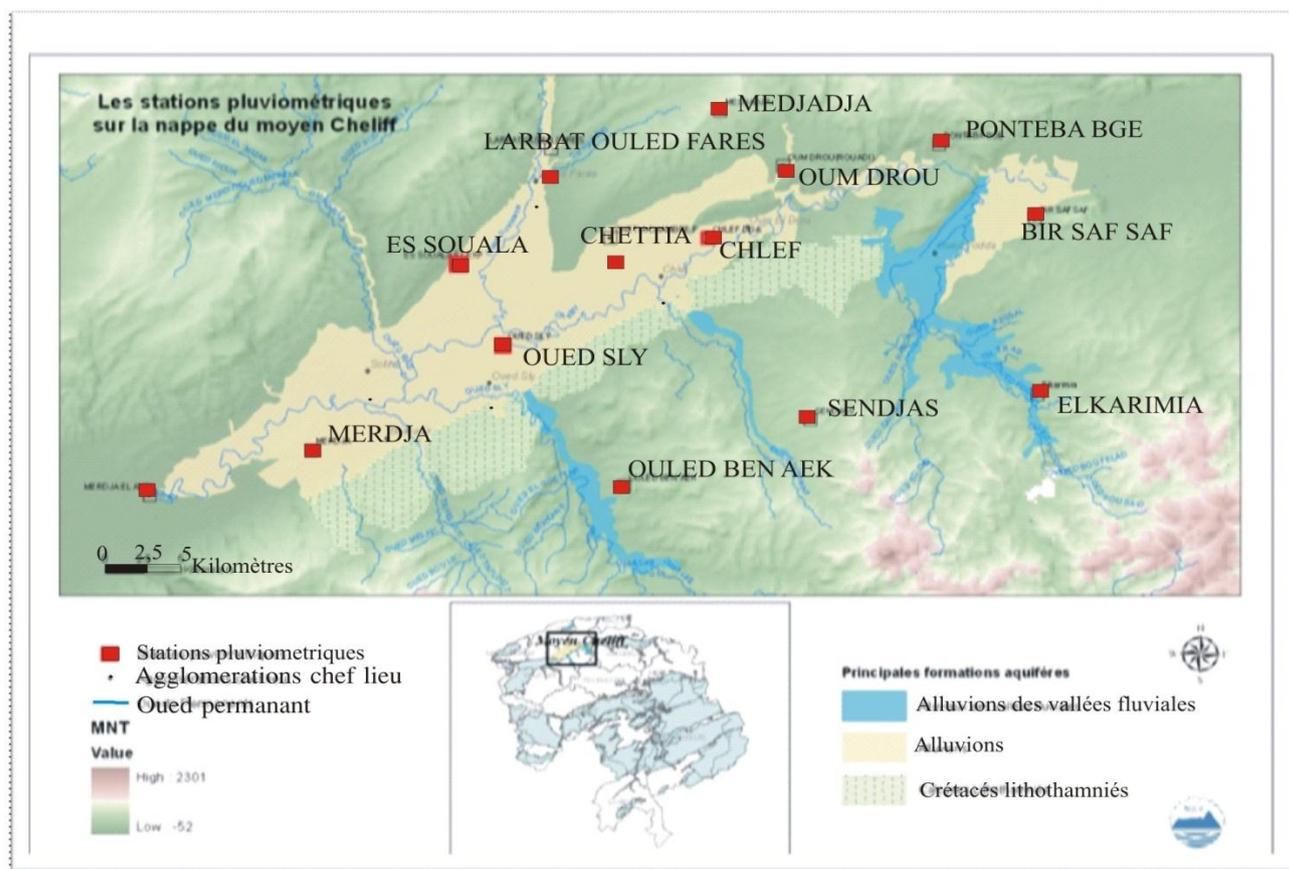
- A.N.R.H de Blida : Agence Nationale des Ressources Hydraulique.
- O.N.M de Chlef : Office Nationale Météorologique.

### I.3.2 Pluviométrie

Les coordonnées et les caractéristiques des stations sont mentionnées dans la (Fig.04) et le (Tab .01).

**Tab. 01** : Les coordonnées et les précipitations moyennes annuelles, période (1995/2013) de la station de Chlef ANRH et Ouled Ben Abdelkader.

Station	X	Y	Z	Moyennes annuelles période (1995/2013) (mm)
ANRH(Chlef)	378.65	320.10	110	365,05
OULED BEN A.E.K	373.4	302.85	240	358,65



**Fig.04** : Position des postes pluviométriques de la plaine du Moyen Chélif Occidental.

### I.3.2.1 Etude des précipitations :

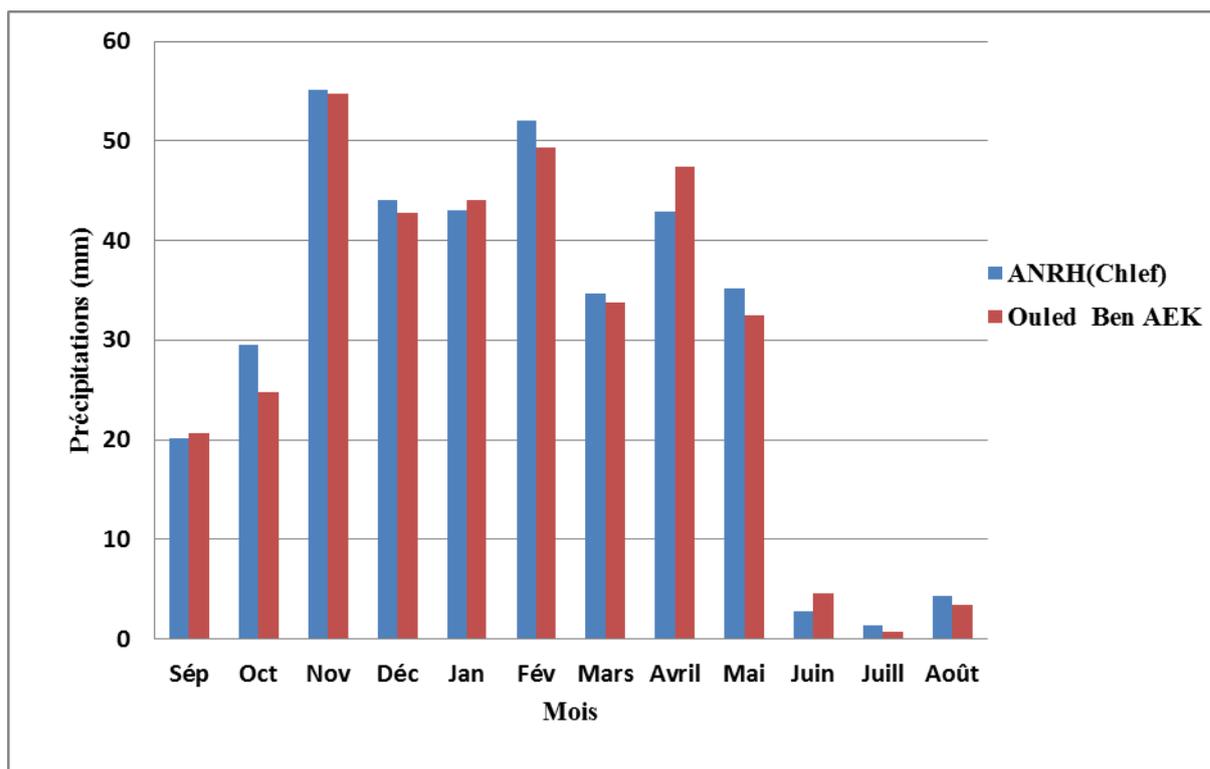
Les valeurs moyennes des précipitations mensuelles et annuelles de la période (1995-2013) pour les postes pluviométriques du Moyen Chélif Occidental sont données dans le tableau suivant (Tab.02):

#### I.3.2.1.1. Les précipitations mensuelles et annuelles (1995/2013) :

Nom de station	Sép	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Ma	Avr	Mai	Jui	Juill	Aou	annuel
<b>ANRH (Chlef)</b>	20,2	29,5	55,1	44	43,08	52,1	34,64	42,84	35,13	2,74	1,41	4,31	<b>365,05</b>
<b>Ouled Ben AEK</b>	20,6	24,73	54,8	42,8	44,07	49,3	33,72	47,43	32,54	4,51	0,71	3,44	<b>358,65</b>

**Tab. 02 :** Précipitations moyennes mensuelles en mm (période: 1995/2013).

Les valeurs moyennes mensuelles pluviométriques, relatives à la période de 1995 à 2013, représentées par des graphiques (Fig. .05) traduisent clairement les variations mensuelles des précipitations.



**Fig. 05:** Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (1995/2013).

La période pluvieuse va du mois de novembre au mois d'avril en général ; Cependant le mois de novembre reste le plus pluvieux; on enregistre à l'ANRH (Chlef) 55.1 mm, et à Ouled Ben Abdelkader 54.8 mm.

On notera aussi que les précipitations sont, pour les deux stations confondues, faibles pour les mois d'été à savoir juin, juillet et août et dont le mois de juillet enregistre la quantité la plus basse de l'année dans la station de l'ANRH (Chlef), elle est de 1.41 mm et 0,71 mm dans la station d'Ouled Ben Abdelkader.

#### **I.3.2.1.2. Les Précipitations saisonnières :**

Dans le tableau ci-dessous nous présentons les valeurs des précipitations saisonnières des deux stations.

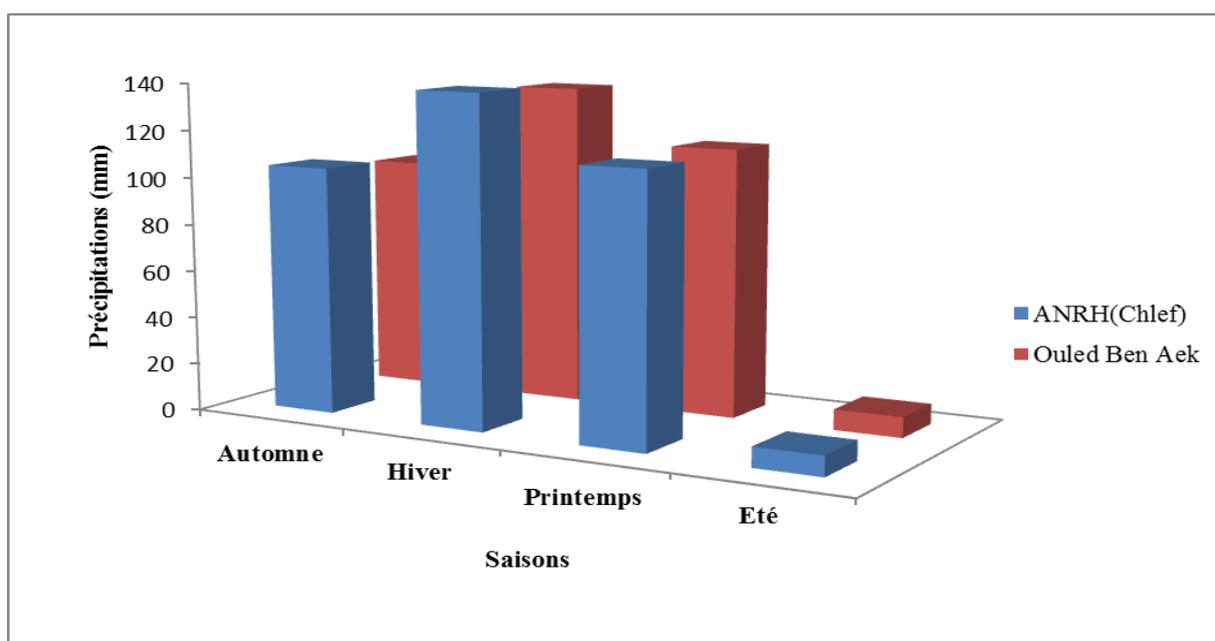
**Tab 03** : Répartition saisonnière des précipitations(en mm).

Station	Précipitations									Indice saisonnier
	Automne (A)		Hiver (H)		Printemps (P)		Eté (E)		Pluie annuelle (mm)	
	Pluie (mm)	Pourcentage (%)	Pluie (mm)	Pourcentage (%)	Pluie (mm)	Pourcentage (%)	Pluie (mm)	Pourcentage (%)		
<b>ANRH (Chlef)</b>	104.8	28,70	139.18	38,12	112.61	30,84	08.46	2,31	365,05	<b>HPAE</b>
<b>Oued Ben Aek</b>	100.13	27,91	136.17	37,96	113.69	31,69	08.66	2,41	358,65	<b>HPAE</b>

Les histogrammes des précipitations saisonnières (Fig. 06) montrent que :

- Les fortes précipitations sont enregistrées en hiver pour les deux stations, elles varient entre 136.17 mm et 139.18 mm.
- Les précipitations d'automne et de printemps sont relativement importantes, elles varient entre 100.13 mm et 113.69 mm.
- La saison d'été est la moins pluvieuse, les précipitations varient entre 08.46 mm et 08.66 mm.

En générale, on constate que les stations considérées présentent un même indice saisonnier **HPAE**, Celui-ci manifeste une bonne recharge des nappes par les précipitations à l'abri d'un déficit important par l'évapotranspiration.



**Fig.06** : Histogramme des précipitations saisonnières des stations (1995/2013).

### I.3.3. Etudes de température

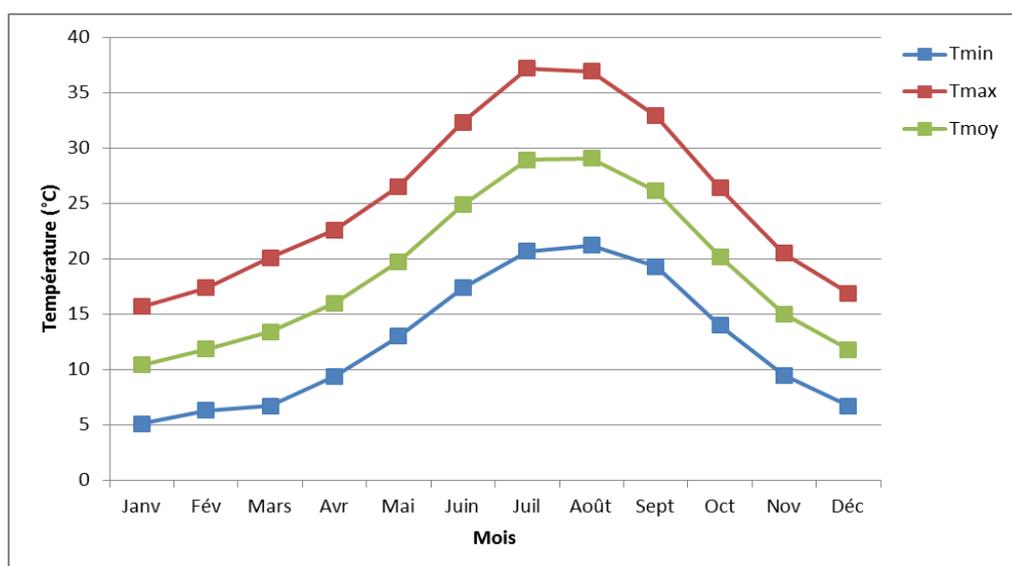
La température agit directement avec les autres facteurs météorologiques (précipitations, insolation, ...) sur le climat et le bilan hydrologique d'une région. Le manque d'observations de mesures thermométriques constitue un handicap. Les seules mesures disponibles sont les températures moyennes mensuelles à la station de Chlef ANRH pour la période 1995-2013. Elles sont représentées dans le tableau ci-après.

**Tab. 04:** Températures moyennes mensuelles à la station de Chlef ANRH (1995-2013).

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy annuel
Tmin	5,1	6,3	6,7	9,4	13	17,4	20,7	21,2	19,3	14	9,5	6,7	12,44
Tmax	15,7	17,4	20,1	22,6	26,5	32,3	37,2	36,9	32,9	26,4	20,5	16,9	22,70
Tmoy	10,4	11,9	13,4	16,0	19,8	24,9	29,0	29,1	26,1	20,2	15,0	11,8	18,96

On peut distinguer que le mois de janvier est le mois le plus froid où la température est minimale (10.4°C) et août est le mois le plus chaud avec une température moyenne de l'ordre de 29.1°C.

A la station de Chlef, la moyenne de température annuelle est de 18,96°C durant la période (1995-2013).



**Fig. 07 :** Température moyenne mensuelle à la station Chlef ANRH (1995/2013).

Le tracé des courbes de variation de température montre deux pôles extrêmes (Fig. 07):

- Un pôle froid, correspondant aux mois de décembre, janvier et février où la température atteint 10,4 °C.
- Un pôle chaud, correspondant aux mois de juillet et août où la température atteint respectivement 29 et 29,1 °C.

L'écart considérable des températures entre les deux pôles, soit près de 20 °C, traduit une continentalité assez marquée.

### **I.3.4. Régime climatique :**

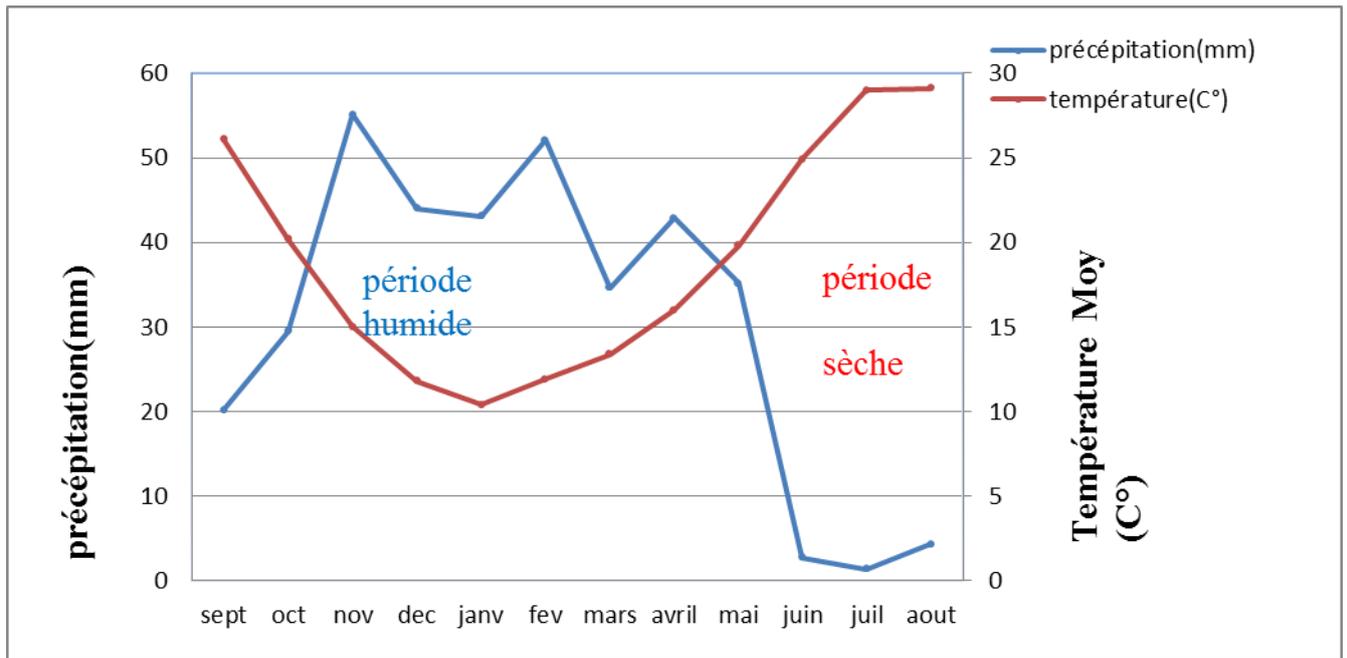
Les méthodes d'étude reposent, soit sur le calcul de l'indice à partir de précipitations et des températures, soit une visualisation graphique de ces paramètres. Elles permettent de préciser la position et l'importance des périodes sèches et humide.

#### **I.3.4.1. Diagramme Pluviothermique de Gaussen :**

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs. Cette relation permet d'établir un graphe dit Pluviométrique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations (Fig. 08). Nous avons recalculé les pluies moyennes de la station de Chlef pour la période (1995-2013) afin d'avoir la même période d'observation avec celle des températures moyennes.

**Tab.05 :** Moyenne mensuelle des précipitations et températures (station d'ANRH Chlef) période 1995-2013.

Mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
<b>Précipitation (mm)</b>	20,2	29,5	55,1	44	43,08	52,1	34,64	42,84	35,13	2,74	1,41	4,31
<b>Température C°</b>	26,1	20,2	15	11,8	10,4	11,9	13,4	16	19,8	24,9	29	29,1



**Fig.08:** Diagramme pluviothermique (station Chlef ANRH, période 1995/2013).

Nous constatons que la station de Chlef est caractérisée par une période sèche qui s'étale sur plus de six (06) mois, elle s'étend de la fin de mois de Mai jusqu'au mois d'octobre.

La détermination de cette période est d'une grande importance pour l'hydrologie afin de pouvoir estimer les besoins en eau (Fig.08).

#### **I.3.4.2. Indice climatique :**

D'après De Martonne on a :

##### **I.3.4.2.1. L'indice d'aridité annuel :**

En se basant sur la distribution des températures et des précipitations, De Martonne (1925) a défini un indice d'aridité (I) donné par la relation suivante :

$$I = P/T + 10$$

**P** : précipitation moyenne annuelle en mm.

**T** : Température moyenne annuelle en °C.

**DE Martonne** a établi la classification suivante :

- $20 < I < 30$  Climat tempéré,  
 $10 < I < 20$  Climat semi aride,  
 $7,5 < I < 10$  Climat steppique,  
 $5 < I < 7,5$  Climat désertique,  
 $I < 5$  Climat hyperaride.

On prend la station de Chlef comme exemple :

$$I = 365,05/18,96+10 = 12.60$$

$$\text{Donc } 10 < I < 20$$

La valeur trouvée dans cette station montrent que le secteur d'étude est soumis à un climat semi aride (Fig.09).

#### **I.3.4.2.2. L'indice d'aridité mensuel :**

L'indice d'aridité mensuel (i) de De Martonne, est donné par la relation suivante :

$$i = 12p/t+10$$

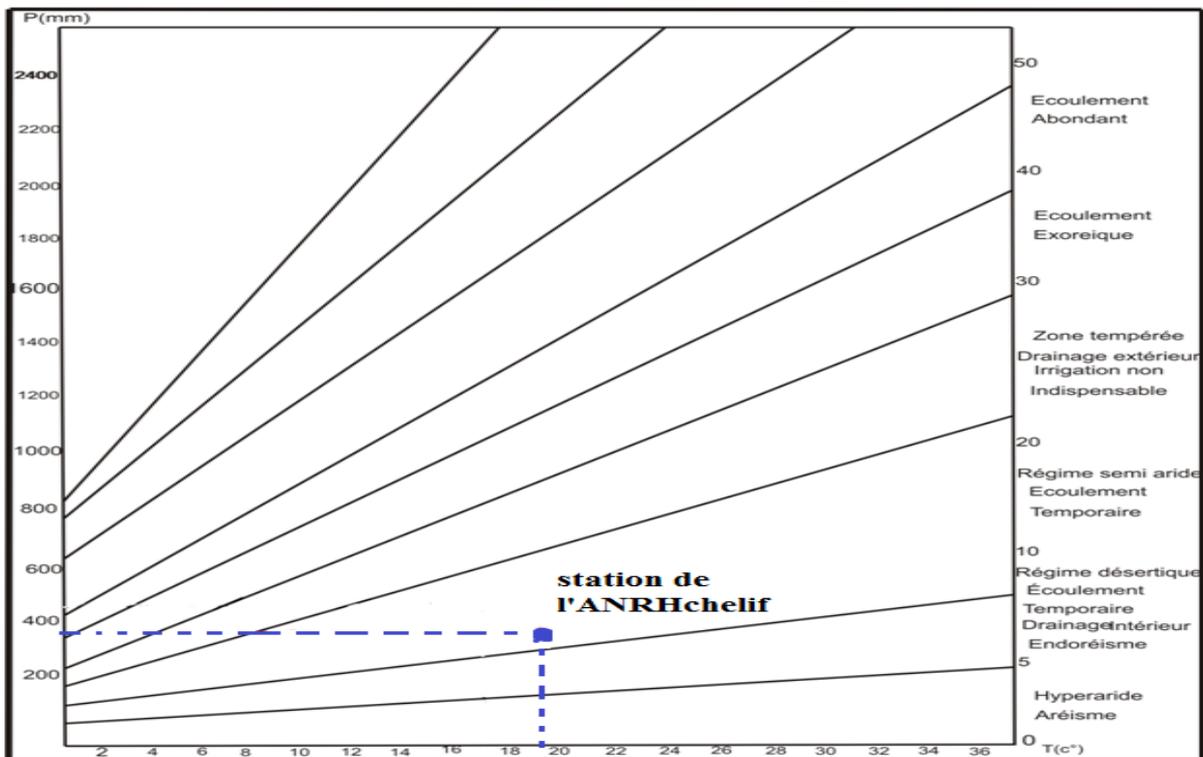
p : précipitation du mois en mm.

t : température moyenne du mois.

A l'exception du mois de novembre où l'indice d'aridité calculé (28,27) correspond à un climat tempéré, tout les autres mois correspondent soit à un climat semi- aride soit à un climat hyperaride (juin, juillet et août). (Voir Tab.06).

**Tab. 06 :** Précipitations, températures et indices d'aridité mensuels (i) de la station de l'ANRH Chlef (1995/2013).

mois	T° moyenne	Précipitation	$i = 12p/t + 10$
Sep	10,4	20,23	11,34
Oct	11,9	29,53	16,18
Nov	13,4	55,13	28,27
Des	16	44	20,30
Jan	19,8	43,08	17,34
Fev	24,9	52,1	17,87
Mar	29	34,64	10,65
Avr	29,1	42,84	13,14
Mai	26,2	35,13	11,64
Juin	20,2	2,74	1,08
Juil	15	1,41	0,67
Aout	11,8	4,31	2,37



**Fig. 09 :** Abaque d'indice d'aridité (d'après De Martonne, 1925).

### I.3.4.2.3. L'indice climatique de L. Emberger : (Fig. 10)

Le diagramme d'Emberger est un abaque comportant en ordonnées les valeurs du quotient pluviométrique d'Emberger ( $Q^2$ ), et en abscisses les valeurs de la température moyenne minimum de la saison froide ( $T$  °C), où :

$$Q^2 = 2000P/M^2 - m^2$$

Avec :

$Q^2$  : quotient pluviométrique d'Emberger.

$P$  : précipitations moyennes annuelles, (mm).

$M$  : moyenne des maxima du mois le plus chaud, (°K).

$m$  : moyenne des minima du mois le plus froid, (°K).

Pour notre cas :

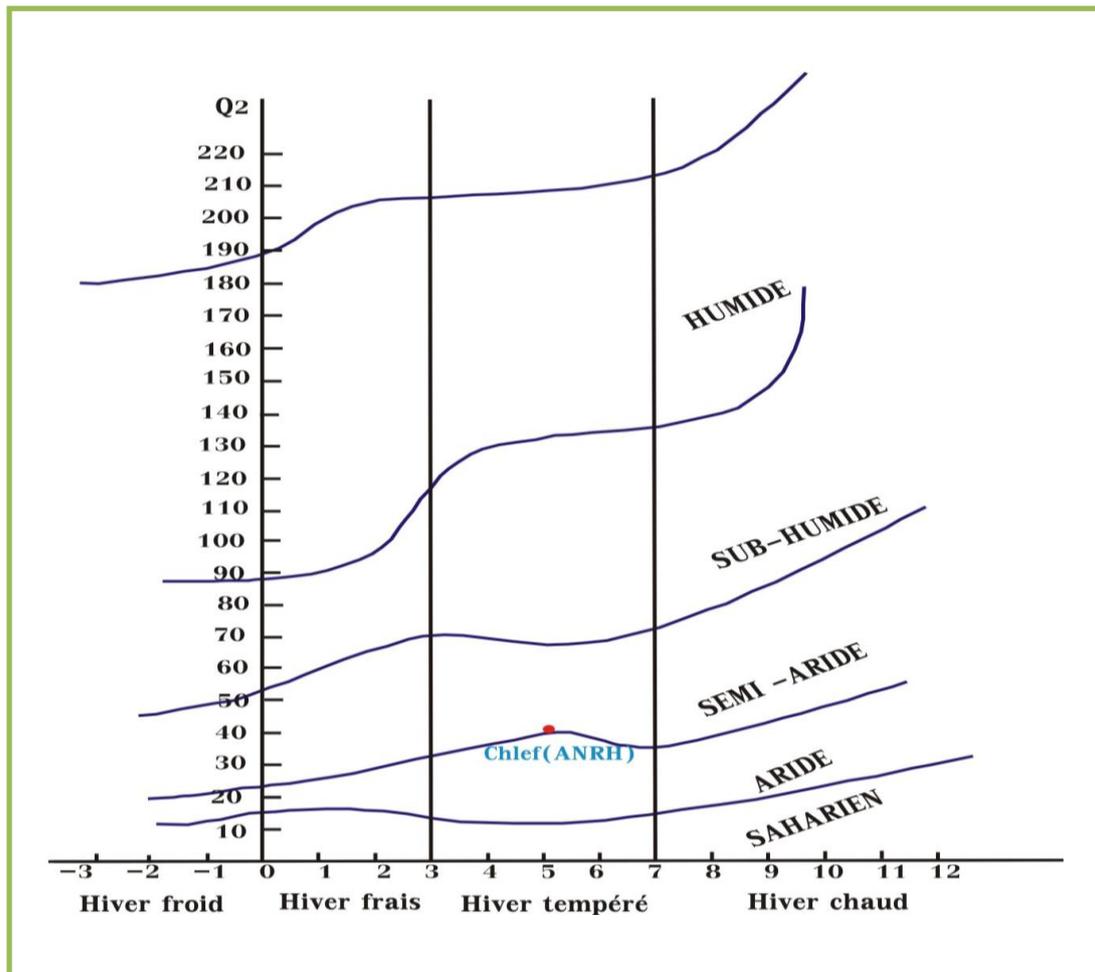
$$M = 37,2 + 273,15 = 310,35 \text{ °K}$$

$$m = 5,1 + 273,15 = 278,15 \text{ °K}$$

$$P = 365,05 \text{ mm} \quad \text{donc : } Q^2 = 38,52$$

$$T = 5,1 \text{ °C}$$

Le report de la valeur trouvée de notre station sur le diagramme L. Emberger (Fig.10) permet de confirmer que le climat de la région d'étude est de type semi-aride à Hiver tempéré.



**Fig. 10 :** La position de la région d'étude dans le diagramme D'EMBERGER (1995 /2013).

#### I.3.4.2.4. L'indice de Stewart :

En appliquant la formule suivante élaborée par STEWART (1968) pour l'Algérie et le Maroc, soit:  $Q2 = 3.43 (P/M-m)$

Q: le quotient pluviométrique d'EMBRGER,

P: Pluviométrie annuelle moyenne en mm,

M: Moyenne maximale du mois le plus chaud en °C,

m: Moyenne minimale du mois le plus froid en °C.

**STEWART** a établi la classification suivante :

10 < Q2 < 50 Climat semi aride

2 < Q2 < 10 Climat désertique

Q2 < 2 Climat insaturé

$$Q2 = 3,43(365,05/37,2 - 5,1) = 39,0$$

**Q2 = 39,0**

La valeur trouvée va confirmer que notre secteur d'étude est caractérisé par un climat semi-aride selon l'indice de Stewart.

### I.3.5. L'évapotranspiration :

L'exploitation de la carte d'évapotranspiration potentielle de la région de Chlef, extraite à partir de la carte d'évapotranspiration du Nord d'Algérie établie par les services de l'ANRH sur la base des données de 45 stations climatologiques et de 142 postes thermométriques, a permis de conclure que l'évapotranspiration se positionne en parfaite opposition à la pluviométrie; les valeurs de l'évapotranspiration sont comprise entre 1200 et 1600 mm, avec un maximum de l'ordre de 1550 mm dans la vallée du Cheliff, et un minimum de 1250 mm enregistré dans les bassins du Côtier.

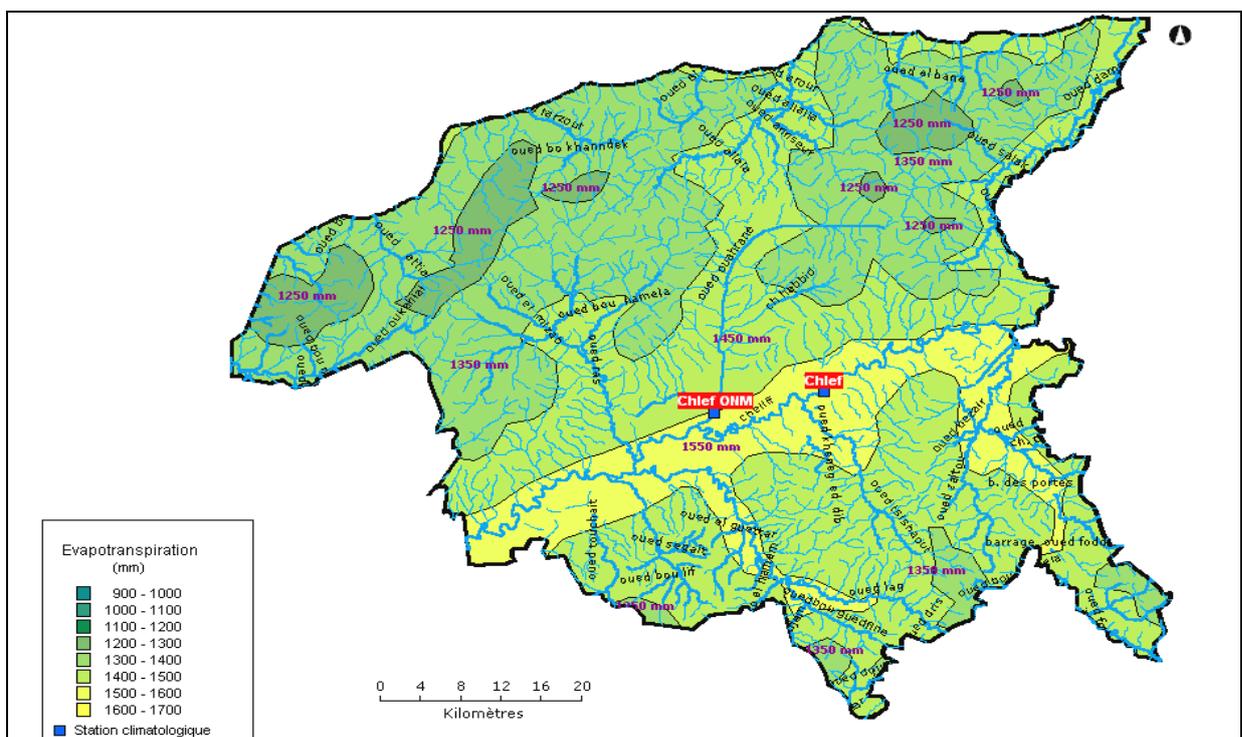


Fig. 11 : Carte d'évapotranspiration de la région de Chélif (ABH-CZ, 2003).

D'après la figure 11 on peut bien distinguer que notre zone d'étude vis à vis de l'évapotranspiration est découpée en deux :

- Une partie Nord avec une évapotranspiration comprise entre 1200 à 1400 mm
- Une partie Sud caractérisée par une évapotranspiration peu élevée comprise entre 1400 et 1600 mm.

### I.3.6. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite :

Cette méthode est utilisée pour les climats subhumide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée.

Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum (Gaude, 1976).

#### I.3.6.1. Evapotranspiration potentielle (E.T.P) :

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température (T°C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i)) de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation suivante :

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a K \text{ et } I = \sum_{i=1}^{12} i, \quad i = (T/5)^{1,514}$$

$$a = 0,49 + 1,8 * 10^{-2} I - 771 * 10^{-7} I^2 + 675 * 10^{-9} I^3$$

**T**: température moyenne du mois considéré.

**I** : indice annuel thermique cumulé =  $\sum$  i mensuel.

**ETP** : évapotranspiration potentielle en mm.

Les valeurs ainsi calculées on multipliées par un terme correctif selon le mois et l'altitude de station.

MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>T(C°)</b>	10,4	11,9	13,4	16,0	19,8	24,9	29,0	29,1	26,1	20,2	15,0	11,8
<b>I</b>	3,03	3,67	4,39	5,81	8,03	11,36	14,31	14,31	12,2	8,31	5,27	3,66
<b>ETP</b>	19,58	25,87	33,07	47,72	74,15	110,38	163,25	164,42	131,3	77,28	41,46	25,42
<b>K</b>	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
<b>ETP corr</b>	17,03	21,98	34,06	52,01	89,72	133,55	200,79	190,72	135,23	74,96	35,65	21,60

**Tab .07:** Calcul de l'évapotranspiration potentielle de la station d'ANRH Chlef (1995-2013).

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant:

- si pour un mois  $P \geq ETP$  on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste

(P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si  $P < ETP$ , la valeur de  $ETR = P + RFU$ , jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole  $Da = ETP - ETR$ , ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

- **Déficit :**

Il représente la différence entre l'ETP et L'ETR, c'est-à-dire la quantité d'eau qui aurait peu être utilisée la végétation.

Déficit agricole = ETP- ETR.

$Da = 1007,28 - 365,05$ .

$Da = 642,23\text{mm}$ .

La méthode que nous avons permet de déduire la période du déficit agricole est qui nécessite l'apport de l'eau dans la région.

### I.3.6.2. Evapotranspiration réelle (E.T.R) (déficit d'écoulement) :

Les pertes des eaux d'un sol atteignent l'évapotranspiration potentielle si le stock d'eau RFU lui est supérieur ou égal, en cas d'insuffisance, elles sont limitées à une quantité plus petite. Cette limite est l'évapotranspiration réelle.

Pour le calcul de l'évapotranspiration on utilisera plusieurs méthodes qui peuvent par la suite nous aider à faire des comparaisons entre différents résultats obtenus :

#### I.3.6.2.1.Méthode de Turc :

Cette méthode est définie par l'équation suivante :

$$ETR(mm) = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Où : ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

L : Pouvoir évaporant avec  $L=300+25T+0.05T^3$

*Application* : pour la station de Chlef (ANRH) **ETR=365,05 mm.**

On remarque que l'ETR obtenu par l'application de la formule de TURC est égale à précipitations.

#### I.3.6.2.2.Méthode de Coutagne :

Elle consiste à calculer  $D=P-\lambda^2$  qui est un déficit d'écoulement équivalent à l'évapotranspiration réelle avec :

$$\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$$

Le paramètre  $\lambda$  a pour l'expression :  $\lambda = \frac{1}{0,8+0,14T}$

Tab.08 : Valeur du déficit d'écoulement (Coutagne), (1995-2013).

	P (mm)	T (°C)	$\lambda$	$1/8 \lambda$	$1/2 \lambda$	D (mm)
Chlef (ANRH)	365,05	18,96	0,28	0,44	1, 78	364,97

Les précipitations **P** ne vérifient pas l'expression  $\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$  donc la formule de Coutagne n'est pas applicable, le déficit d'écoulement est égal aux précipitations.

- $P < 1/8\lambda$  le déficit d'écoulement est égal aux précipitations

**D = 365,05mm.**

**I.3.6.2.3.Méthode de Wundt (Fig.12):** Le report de la température moyenne annuelle et les précipitations moyennes annuelles sur l'abaque de Wundt modifié par Coutagne donne un quotient d'écoulement inférieur à 10% pour la station de Chlef (ANRH). Le déficit d'écoulement égal à **390 mm**.

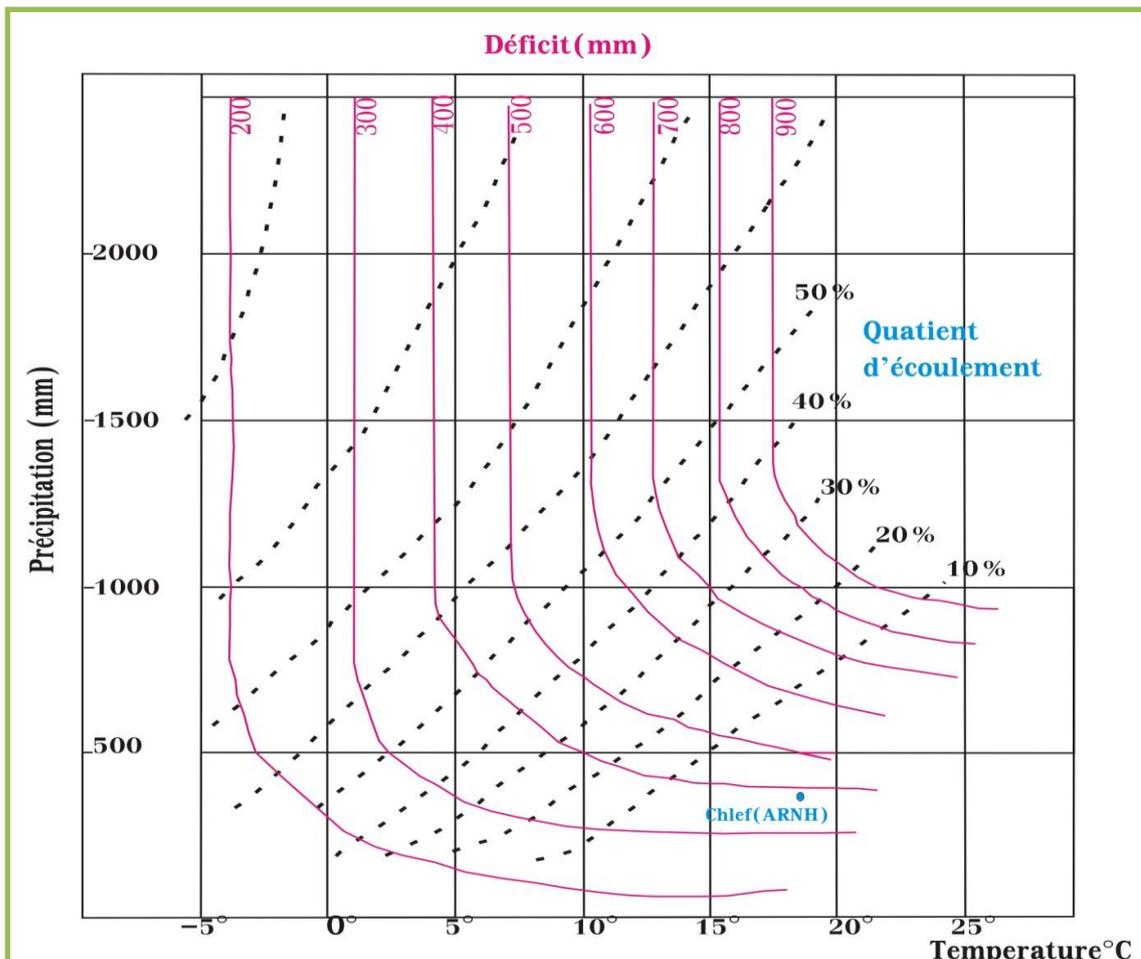
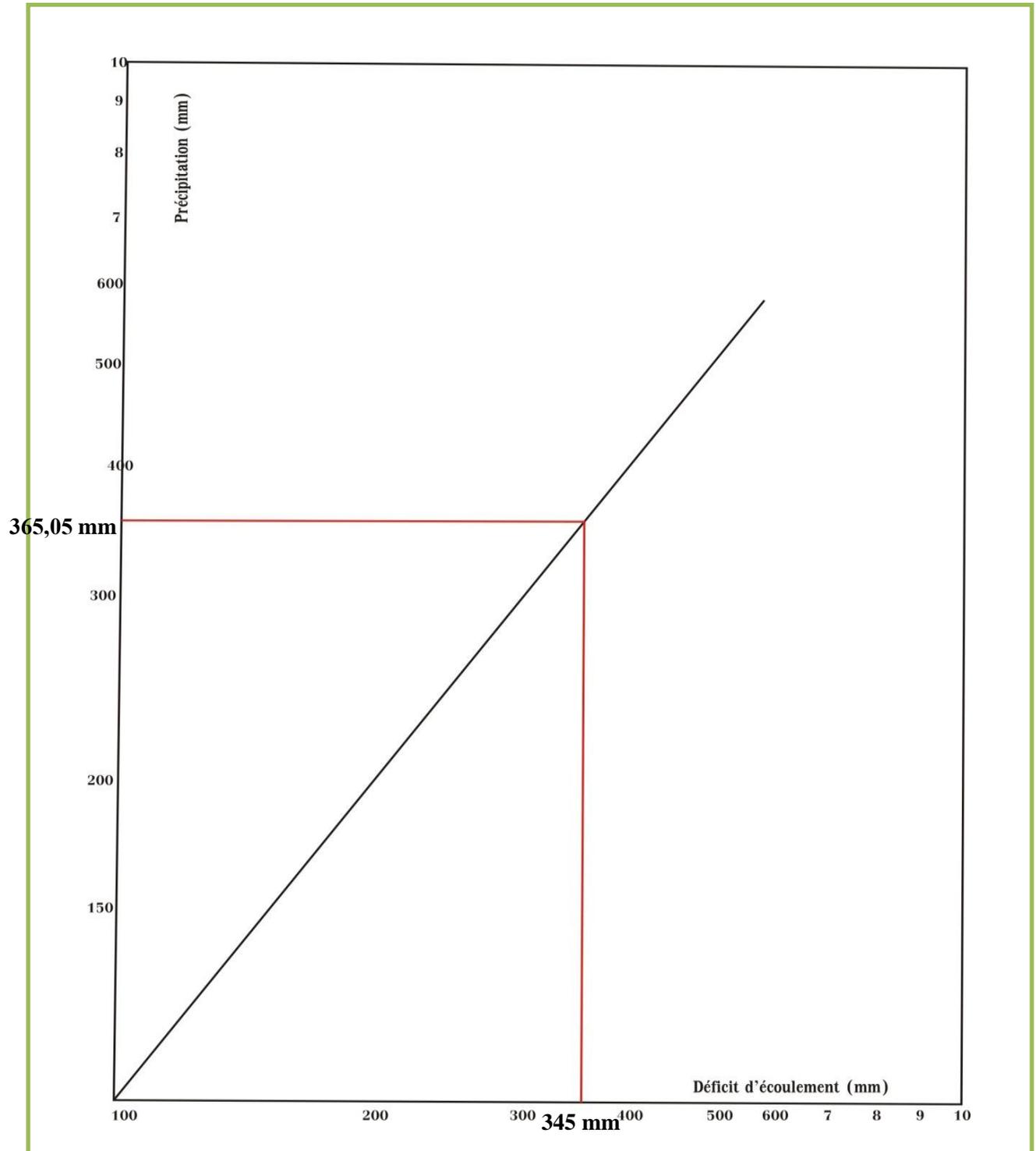


Fig.12 : Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE.

**I.3.6.2.4. Méthode de P.Verdeil :( Fig.13):**

C'est la méthode la plus adaptée au climat Nord Algérien pour le déficit d'écoulement.

Après la projection de la valeur de précipitation annuelle, on aura un déficit d'écoulement égal à **345 mm** soit **94,50%** des précipitations.



**Fig.13** : Abaque de P.Verdeil.

## I.3.6.2.5. Méthode de Thornthwaite:

**Tab. 09.** Calcul du bilan hydrologique pour la période (1995-2013) par la méthode de Thornthwaite

Mois	Nov.	Déc.	Janv	Fév.	Mar s	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Annuel
P (mm/mois)	55,1	44	43,08	52,1	34,64	42,84	35,13	2,74	1,41	4,31	20,2	29,5	<b>365,05</b>
ETP (mm)	35,65	21,60	17,03	21,98	34,06	52,01	89,72	133,5	200,8	190,7	135,2	74,96	<b>1007,21</b>
P-ETP variatio	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	
RFU (100m m)	19,45	41,85	67,90	98,02	100	90,83	36,24	0	0	0	0	0	
ETR (mm)	35,65	21,60	17,03	21,98	34,06	52,01	89,72	38,98	1,41	4,31	20,21	29,5	<b>365,05</b>
Da (mm)	0	0	0	0	0	0	0	94,52	199,4	186,4	115,1	45,46	<b>640,88</b>
Déficit d'écoul	0	0	0	10	0,29	0,14	0,07	0,036	0,018	0,009	0,004	0,002	

Les résultats sont regroupés dans le **Tableau (09)**, montre que l'évapotranspiration maximum a été observée pendant les mois de juin, juillet août et septembre avec une valeur cumul qui dépasse 640 mm/an, ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones cultures. Par contre, pendant les mois de janvier et mai, on observe une recharge qui dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir soit sous forme d'infiltration vers la nappe, soit sous forme de ruissellement.

**I.3.7. Ruissellement (méthode de Tixeront Berkaloff) :**

Le ruissellement (mm) est donné par la formule empirique de Tixeront Berkaloff :

$$R = \frac{P^3}{3.ETP^2} \quad \text{Si } P < 600 \text{ mm}$$

$$R = (365,12)^3 / 3(1007,3)^2 = 15,98 \text{ mm.}$$

$$\mathbf{R = 15,98 \text{ mm.}}$$

**I.3.8. Bilan hydrologique selon Thornthwaite :**

La formule du bilan hydrologique s'écrit :  $\mathbf{P = E+R+I}$

**P** : précipitations moyenne annuelle (mm)

**T** : température moyenne annuelle (mm).

**ETP** : évapotranspiration réelle annuelle (mm).

**I** : Infiltration moyenne annuelle (mm).

En remplaçant tout les termes de l'équation par leur valeur, On aura :

$$P = ETR+R+I.$$

$$I=P-(ETR+R).$$

$$I= 365,05-(365,05+15,98)$$

$\mathbf{I < 0}$  donc la méthode n'est applicable.

**I.3.8.1.Méthode rationnelle :**

**Tab. 10** : Valeurs de l'infiltration selon différentes méthodes.

Station	Méthodes selon:	P(mm)	ETR(mm)	P-ETR	R(mm)	I(mm)
<b>Chlef (ANRH) période (1995/2013)</b>	THORNTHWAITE	365,05	365,05	0	15,98	< 0
	TURC	365,05	365,05	0	15,98	< 0
	COUTAGNE	365,05	364,97	0,08	15,98	< 0
	WUNDT	365,05	390	< 0	15,98	< 0
	VERDEIL	365,05	345	20,05	15,98	4,07

Le calcul de l'infiltration à partir de déficit d'écoulement estimé par la méthode de P. Verdeil donne un résultat satisfaisant, théoriquement la valeur obtenue est fiable.

### **I.3.9. Conclusion:**

L'ensemble de cette étude, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la plaine. Un climat méditerranéen de type semi aride a été mis en évidence avec un hiver pluvieux et un été sec, ce qui produit des modifications périodiques de la chimie des eaux par l'effet de dilution pendant les périodes pluvieuses et par l'effet de l'évaporation pendant les périodes sèches. Ceci aura évidemment une influence sur le mode d'alimentation des nappes et la qualité des eaux en périodes sèches et humides.

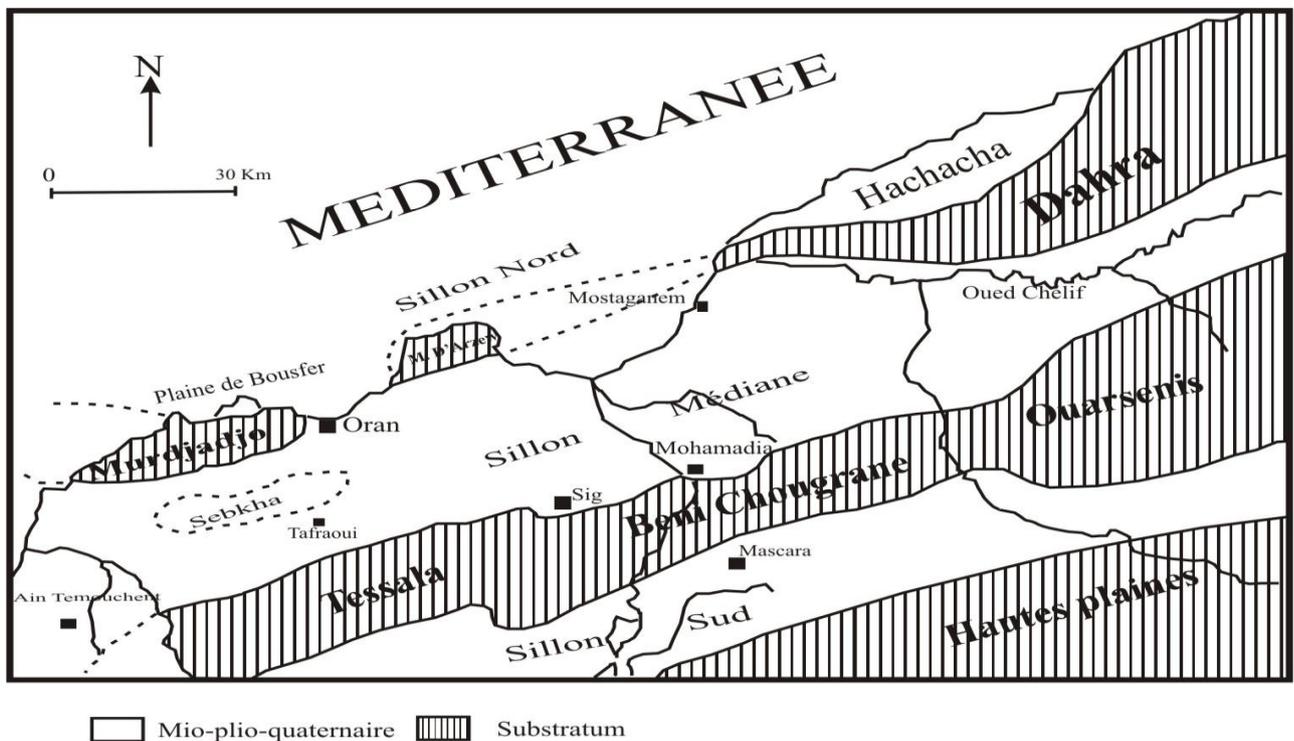
#### I.4. Contexte géologique

Le bassin du Chélif appartient au bassin Néogène de l'Algérie centro-occidentale, qui s'aligne parallèlement à la cote méditerranéenne formant des zones peu élevées par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les encadrent. (Fig. 14).

Le bassin du Chélif est un bassin subsident de type intra montagneux fonctionnant en graben le long de grandes flexures bordières (Perrodon, 1957).

On rencontre comme ensembles lithologiques :

- Le substratum : Essentiellement secondaire sur ses bordures, représenté par :
  - Les monts de l'Ouarsenis au Sud, du Dahra au Nord, et par les massifs epimétamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Temoulga à l'Est (Kireche, 1977).
- Les terrains allochtones mis en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Eocène moyen. Miocène inférieur).
- Les terrains Néogènes et Quaternaires dans la zone centrale du bassin.



**Fig.14** : Structure générale du bassin du Moyen Chélif (d'après Delfaut et Al, 1973, modifié).

**I-4-1- Lithostratigraphie** (Fig.15 et 16) :

Le secteur d'étude comprend deux ensembles lithologiques :

- Les formations Anténéogènes.
- Les formations Néogènes et Quaternaires.

**I-4-1-1. Les formations anténéogènes:****I-4-1-1. a- les terrains anciens autochtones :**

Ils sont présents au niveau des bordures où ils apparaissent le plus souvent en fenêtres tectoniques surmontées de terrains allochtones.

- Le Paléozoïque (Silurien et Permo-Trias) : constitue l'essentiel du massif du Doui avec quelques apparitions au Rouina et Temoulga.
- Le Secondaire (Jurassique et Crétacé) : le Jurassique est présent dans les trois massifs mais il est plus localisé au Doui. Le Crétacé est présent uniquement à l'Ouest du massif de Rouina.
- Le Tertiaire (Eocène) : le seul affleurement important se trouve au Sud du massif de Temoulga.

**I-4-1-1 .b - Les terrains allochtones :**

Ils sont constitués d'un empilement de nappes. On distingue trois grands ensembles : nappes A, nappes B et nappes C ; elles-mêmes subdivisées en sous unités.

- **Les nappes A** : ce sont les plus externes, on les retrouve au Sud du bassin et constituent une partie des monts de l'Ouarsenis. Le faciès est représenté par le Crétacé marno-gréseux et le Trias gypsifère.
- **Les nappes B** : Leur position est intermédiaire entre les zones internes et externes, le faciès est essentiellement flyschoides à marneux renfermant des blocs de quartzite et de calcaire. Ces terrains couvrent une grande surface de part et d'autre du bassin de Chéelif.
- **Les nappes C** : Ces dernières reposent sur tous les édifices des nappes antérieures, on les retrouve dans le Dahra et l'Ouarsenis occidental, il s'agit de terrains Oligo-Miocène grésomiacés.

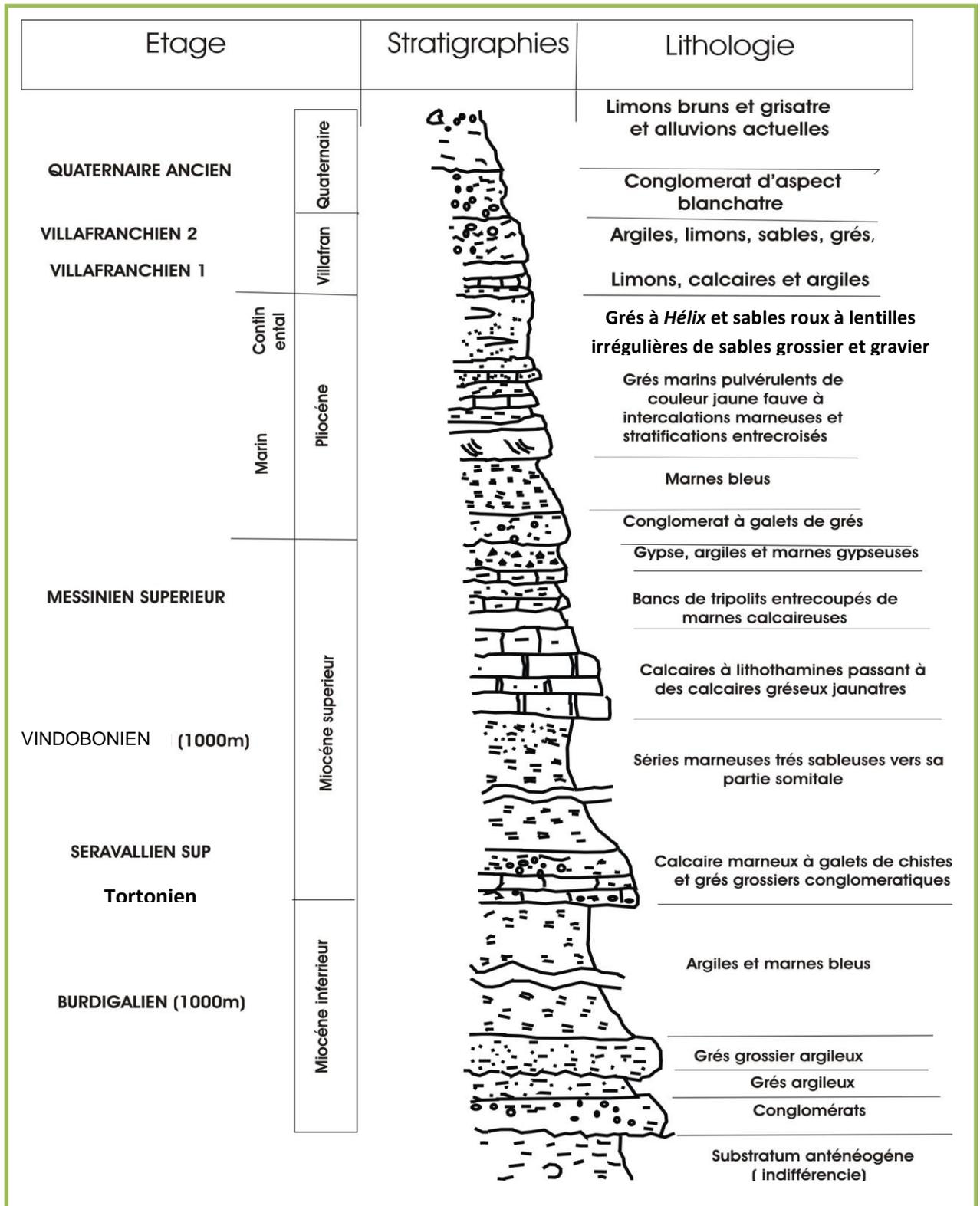


Fig.15 : Log stratigraphique synthétique de la plaine du Moyen Chélif Occidental (d'après Maghraoui, 1982). Echelle : 1/10000

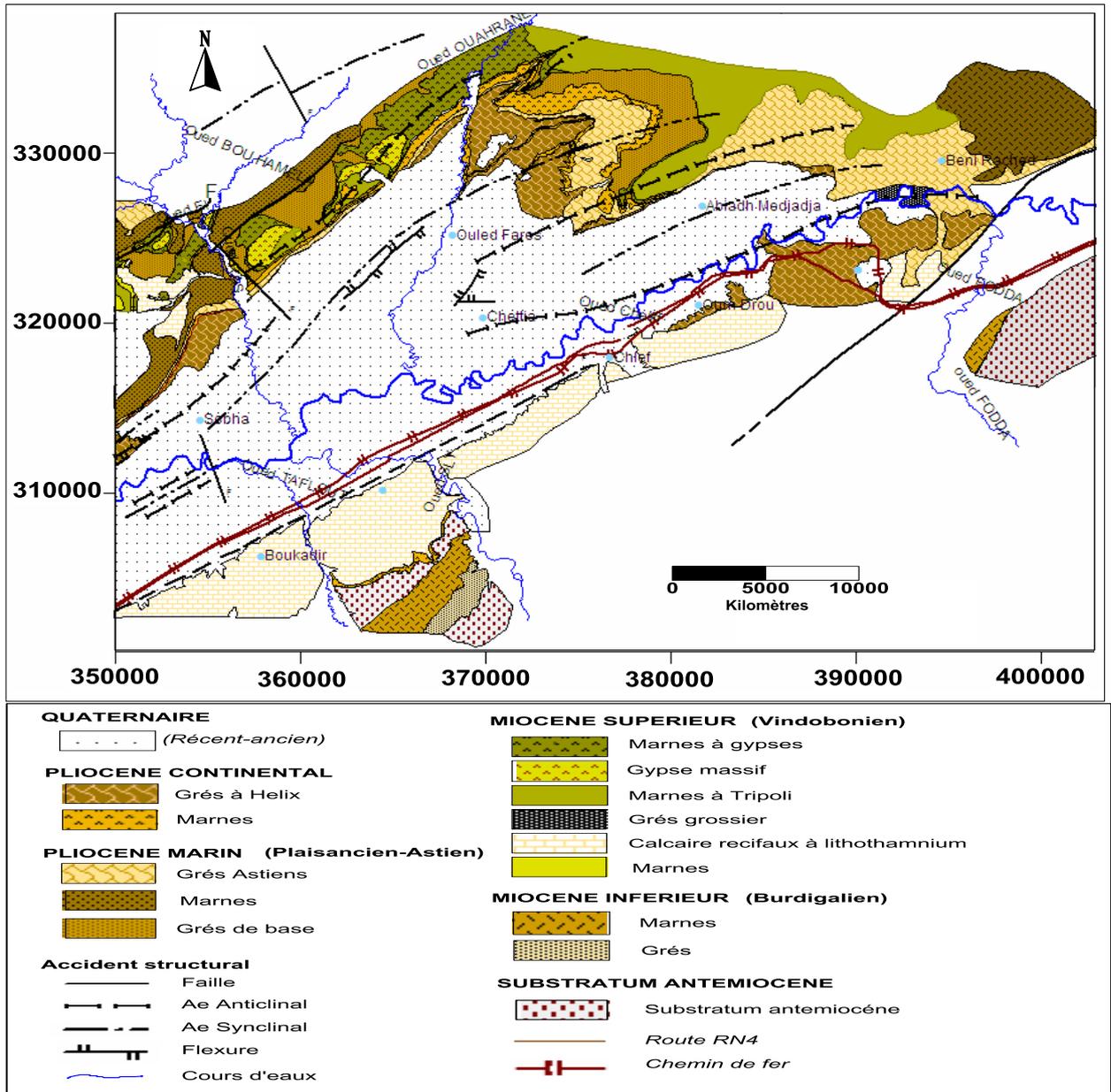


Fig.16 : Carte géologique synthétique du secteur d'étude (d'après Brive, 1936, modifié).

**I-4-1-2. Les formations Néogènes et Quaternaires post-nappes (Fig. 17) :**

Les terrains néogènes qui correspondent à une épaisse accumulation de dépôts Mio-Plio-Quaternaires post-nappes reposent en discordance sur les formations plus anciennes.

Nous assistons alors au dépôt d'une épaisse série essentiellement marine allant du Miocène inférieur au Pliocène inférieur à caractère marneux dans les zones centrales subsidentes avec quelques dépôts détritiques en bordure. Une sédimentation continentale s'installe et fait suite à ces dépôts marins, elle va du Pliocène supérieur au Quaternaire et continue à l'actuel.

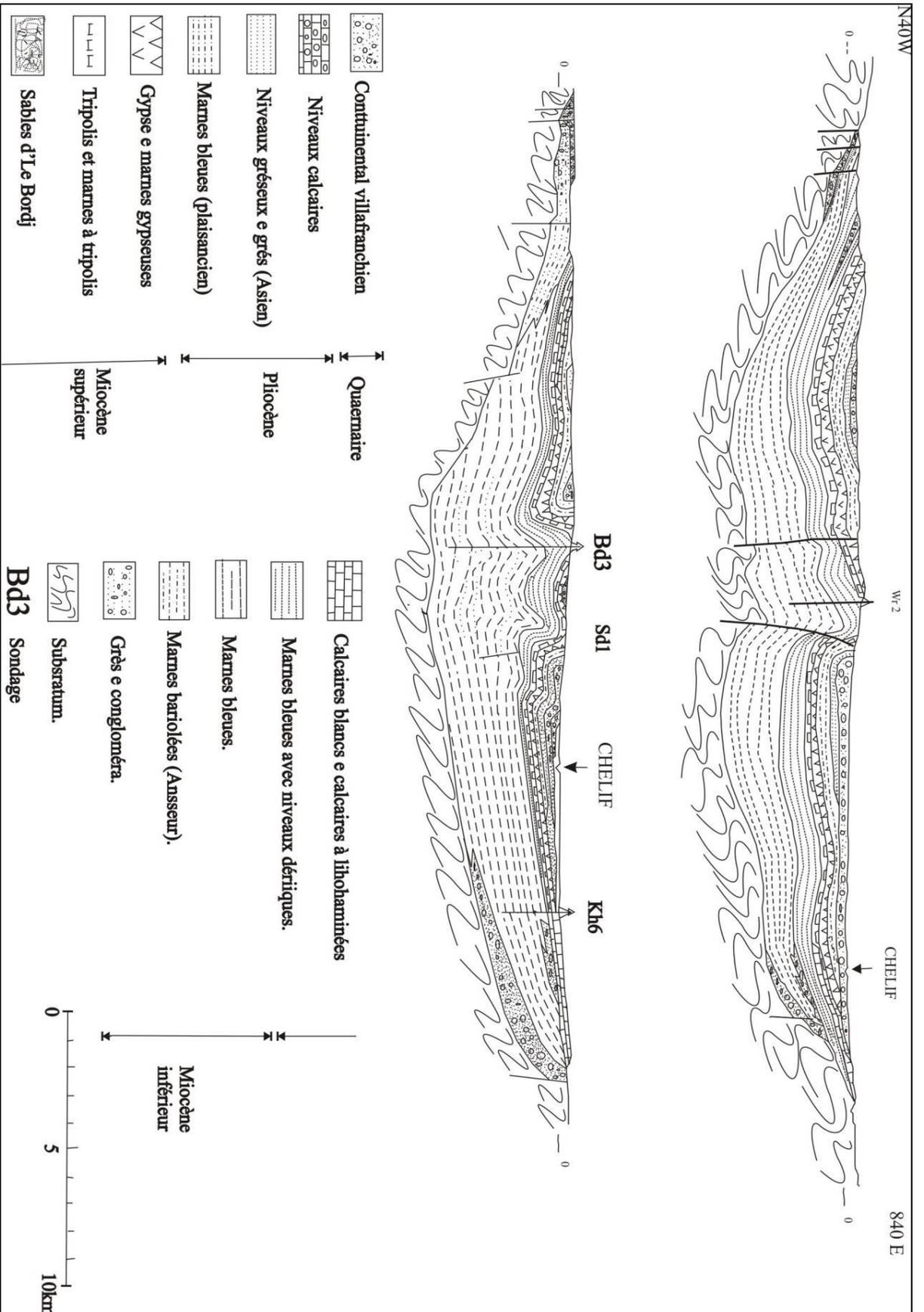
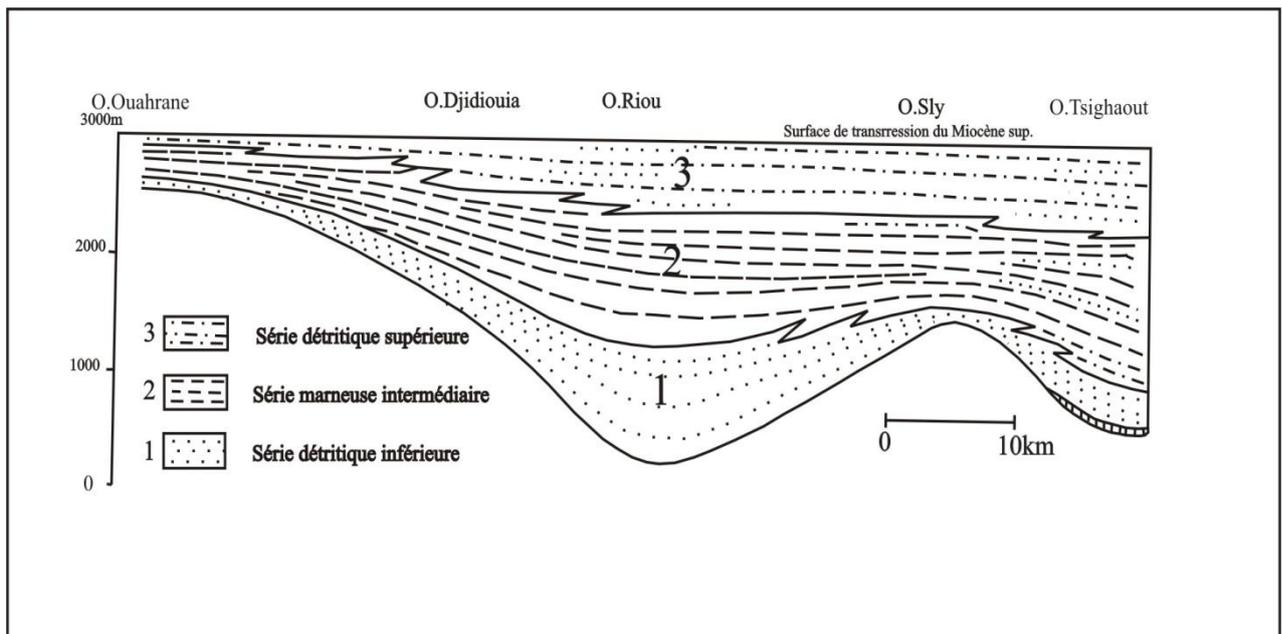


Fig. 17 : Coupes géologique a travers la plaine de Chlef(d'après Maghraoui, 1988)

### I-4-1-2.a. Le Miocène:

#### - Le Miocène inférieur (Burdigalien) ( Fig. 18) :

Le Miocène inférieur est généralement transgressif sur les différents termes de la série stratigraphique. Il est représenté par une série de marnes bleues pouvant atteindre plusieurs milliers de mètres d'épaisseur et affleure largement sur plus de 100 km tout le long du massif de l'Ouarsenis où il forme la bordure SE du bassin du bas Chélif.

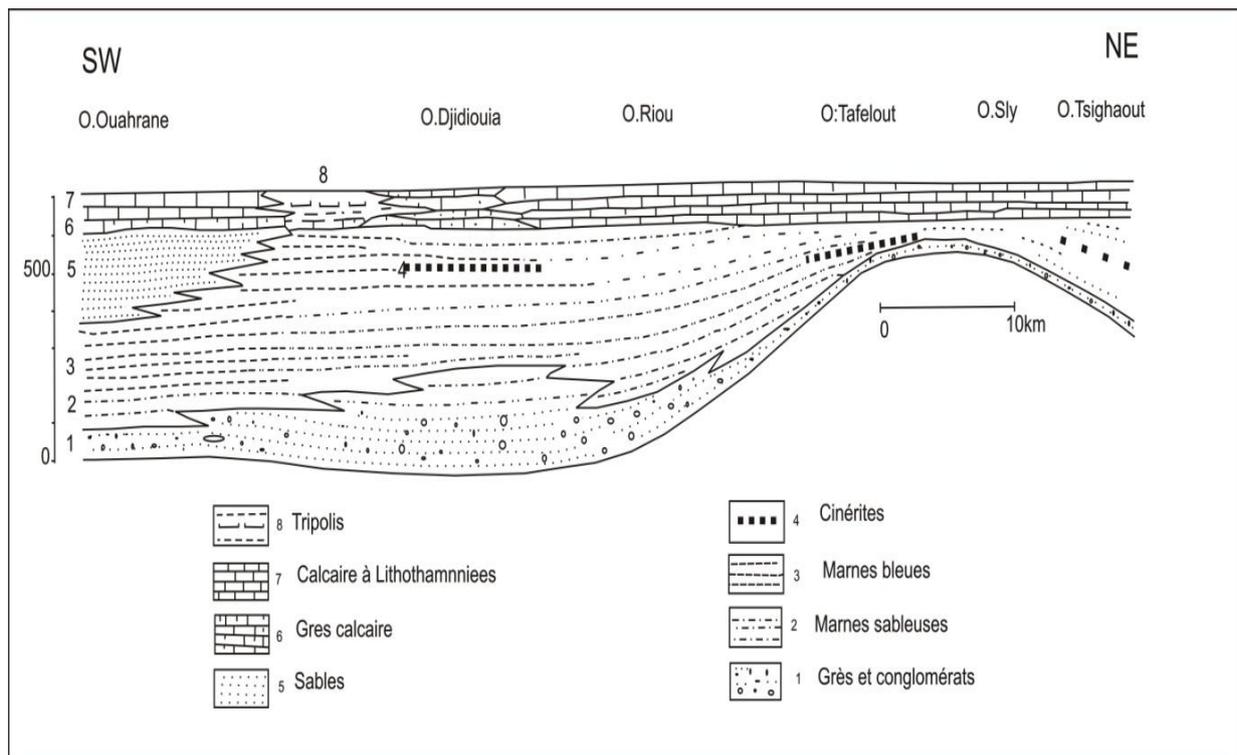


**Fig. 18** : Schéma stratigraphique du Miocène inf. sur la bordure Nord du massif d'Ouarsenis (d'après Perrodon, 1957).

#### - Le Miocène supérieur (Vindobonien) (Fig.19) :

Le Miocène supérieur est représenté par une série marine transgressive sur la série continentale précédente et discordante sur les terrains plus anciens.

Il est représenté par trois formations principales :



**Fig.19:** Schéma stratigraphique du Miocène sup. sur la bordure Nord du massif

De l'Ouarsenis (d'après Perrodon, 1957).

#### ➤ Les formations de base :

Les premiers dépôts (Serravallien Sup. – Tortonien inf) sont représentés par des séries rouges détritiques grossières continentales qui affleurent sur les bordures du bassin du bas Chélif. Cette série débute par une brèche grossière constituée d'éléments peu soudés du substratum (quartzites et calcaires) de taille centimétrique.

Les niveaux bréchiques deviennent plus fins vers le haut de la série pour passer progressivement à des marnes gréseuses brunes et ocre.

Dans la région de l'Oued Tsighaout, les premières couches sont marneuses brunes puis se développe une alternance de brèches et grès rouges. Le sommet de cette formation est beaucoup plus marneux. L'ensemble de la série peut atteindre 200m d'épaisseur.

La série du Tortonien débute par des conglomérats épais à éléments de quartzites dans un ciment sablo marneux. Elle passe vers le haut à des marnes sombres glauconieuses à filons de calcite et se termine par des intercalations grésocalcaires.

➤ **Les formations médianes :**

Ces formations comprennent principalement des marnes bleues d'une puissance maximale de 500m. Celles-ci présentent d'importants passages latéraux avec réduction notable de l'épaisseur. Ces marnes forment une large bande sur la bordure méridionale du Dahra passe localement à des calcaires à algues, des sables et des grès.

Les formations messiniennes passent au Sud des calcaires à algues (*Lithothamnium*). Elles sont généralement détritiques. Au-delà de la rive droite de l'Oued Tsighaout (au niveau des collines d'Ouled Mohamed), ce faciès carbonaté est représenté par des bancs décimétriques de calcaires à l'intérieur de grès et sables dunaires jaunes.

➤ **Les formations terminales :**

Ce sont des marnes blanches bien liées alternant avec des bancs à Tripolis. Les horizons à Tripolis sont fréquents et importants dans la partie inférieure de cette formation souvent marquée de niveaux à silex. L'épaisseur de cet ensemble est de 175m.

Ces marnes à Tripolis occupent des surfaces d'affleurement importantes au Nord de la plaine dans le Dahra : mais disparaissent à l'Est, au delà d'Oum-Drou: ces bancs de Tripolis sont entrecoupés de passées marno-calcaires (Sud-Est) et un ensemble de calcaire construit à *Lithothamnium* (Sud - Ouest).

La partie supérieure se termine par des argiles grises à intercalations gypseuses. Cette formation est surmontée par un ensemble de gypse de 40m d'épaisseur qui passe à des argiles et marnes grises au sommet. La formation gypseuse est importante car elle est à l'origine de la salure de certaines eaux de ruissellement et par conséquent de la salure des aquifères.

**I-4-1-2.b. Le Pliocène:**

**- Le Pliocène inférieur (Pliocène marin) :**

Il est représenté dans le bassin du Moyen Chéelif par un cycle sédimentaire complet, débutant par une transgression sur les séries gypseuses de la fin du Miocène, pour se terminer par la régression Astienne.

➤ **Le Plaisancien :**

Il est représenté par une série de marnes bleues parfois détritiques à coccolites très comparables aux marnes bleues du Miocène. L'épaisseur de cet ensemble varie de 0 à plus de 700 mètres.

➤ **L'Astien :**

Il est représenté par une série marine finement détritique sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grès sont souvent pulvérulents à ciment calcaire et peuvent localement passer à des calcaires gréseux. Ils présentent fréquemment des stratifications entrecroisées et des figures de courants (rides et lisages de rides). Les grains sont formés essentiellement de quartz. L'épaisseur moyenne est de 100m.

Cette série s'amincit régulièrement en bordure du bassin et présente localement des lentilles de marnes.

**- Le Pliocène continental:**

Il est formé de sable roux et grès à gastéropodes (*Hélix*), surmontés par des limons gris continentaux. Ils succèdent avec une certaine continuité de sédimentation aux grès marins astiens débutant, après quelques alternances de niveau marin et continentaux, par des dépôts fluviatiles et lacustres, renfermant des lentilles irrégulières de sables grossiers et de graviers.

Il affleure largement sur toute la bordure Sud- Est du Dahra (Perrodon, 1957). Au Sud du Chélib, sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire vient recouvrir directement les calcaires gréseux miocènes (Achour et Harbi, 1990).

**I-4-1-2.c. Le Villafranchien:**

Il repose, en continuité de sédimentation, sur le Pliocène continental (Ameur, 1979) avec lequel il présente d'étroites analogies de faciès qui rend leur délimitation très délicate (Perrodon, 1957 et Savornin, 1936).

On distingue deux ensembles :

**a- Villafranchien I:**

Lacustre ou continental, il débute par des niveaux de base formés de calcaires, de limons gréseux qui passent à des sables roux, des sables argileux et des argiles grises à blanches de sommet.

**b- Villafranchien II :**

Représenté par un complexe hétérogène rouge formé d'argiles, de limons d'argiles sableuses, de grès et de conglomérats grossiers, de poudingues et de sables grossiers à concrétion calcaire et lentilles de poudingues. Cette formation s'étend sur toute la rive droite de l'Oued Chélif et réapparaît au Sud de la plaine en formant les reliefs d'El Kherha situés au Nord - Ouest de la localité de Boukadir (Kahlal, 1984).

**I-4-1-2.d. Le Quaternaire:**

Les dépôts Quaternaires sont continentaux, ils sont prédominants dans la plaine de Mouafkia et la dépression du Chélif-Oum-Drouh où ils affleurent largement. On distingue un Quaternaire ancien et un Quaternaire récent.

**➤ Le Quaternaire ancien :**

Le Quaternaire ancien est constitué par des alluvions grossières essentiellement conglomératiques, représentés par des galets, des graviers et des sables, L'épaisseur de ces dépôts est en moyenne de 100 à 120 m mais ils peuvent atteindre localement des épaisseurs beaucoup plus grandes au synclinal de Boukadir, Ouled Farès (200 m d'épaisseur).

**➤ Le Quaternaire récent:**

Il correspond à des alluvions dont le caractère essentiel est la prédominance des éléments fins (limons). Ces limons correspondent à d'anciennes vases asséchées qui recouvrent le centre de la plaine qui sont représentés par :

- Les limons bruns à rougeâtres.
- Les limons gris.
- Les alluvions actuelles.

### **I-4-2. Conclusion :**

Cette description géologique a fait apparaître que notre secteur d'étude comprend deux ensembles lithologiques :

- Les formations anténéogènes.
- Les formations Néogènes et Quaternaires.

Notre secteur se situe dans un domaine tectonique actif, il a subi trois phases tectoniques principales :

- Phase de distension : qui aurait débuté au Miocène.
- Phase de compression : affecte les formations Pliocènes.
- Phase de compression tardive : qui a touché les formations quaternaires (Maghraoui, 1988).

Seules les formations du Miocène (calcaires) et du Plio-Quaternaire (alluvions) peuvent constituer des réservoirs d'eau importants.

Par contre, les formations qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploitées.

## **I.5.Cadre hydrogéologique :**

### **I.5.1. Introduction :**

La plaine de Moyen Chélif d'une superficie de 394Km<sup>2</sup> est limitée au Nord par les formations argilo-gréseuses du Djebel sidi Bernous, les marno-calcaires du Djebel Hangouf et Djebel Beskra, et au Sud par les calcaires jurassiques de Rouina et Tamoulgua et enfin à l'Est par les schistes du massif du Daoui.

Elle est constituée, d'alluvions grossières donnant des débits variant entre 30 à 140 l/s à El Abadia et les Attafs et des débits de 30 à 40 l/s à Karba et Ain defla. Les débits plus faibles de ce dernier secteur sont liés à la faible épaisseur des alluvions et à la présence de marnes (seuil d'Oum Drou) à l'aval. En profondeur, les grès et sables tortoniens forment un aquifère de moindre importance.

Nous nous sommes basés sur les données existantes au niveau de l'A.N.R.H de Chlef et Blida et des anciens mémoires et rapports concernant la région.

### **I.5.2. Stratigraphie des aquifères (Fig.20):**

L'étude géologique nous permet, d'après l'analyse lithostratigraphique et structurale du bassin, de distinguer les terrains susceptibles de constituer des aquifères (Fig. 20) :

- Les formations des grès, sables et conglomérats du Quaternaire
- Les formations gréseuses (dunaires et à hélix) du Pliocène supérieur
- Les formations des grès de base du Pliocène inférieur
- Les calcaires grumeleux à lithothaminées du Miocène supérieur
- Les formations conglomératiques basales du Miocène inférieur et du Miocène supérieur.
- Les massifs calcaires du Chélif d'âge Jurassique, intensément fissurés et karstifiés.

Grâce à leurs structures, les plaines centrales synclinales, constituent les aires les plus propices à l'accumulation des eaux souterraines, donc les plus favorables et les plus économiquement exploitables.

### **I.5.3. Les principaux aquifères (Fig. 21):**

Les aquifères importants du Moyen Chélif sont au nombre de trois, et sont plus ou moins indépendants (Fig. 21) :

- Les calcaires à lithothamniées
- Les grés astiens
- Les alluvions quaternaires.

Designation sur la carte au 1/50000	Nom d'étages	Nature des dépôts	Perméabilité	Niveaux aquifères théoriques
a <sup>1</sup>	Quaternaire récent (20-50m)	Argiles	I	
A <sub>1</sub>	Quaternaire moyen	Sables, grés et graviers	P	
q	Quaternaire ancien (100-200m)	Poudingues, grés et gravier	P	
p <sup>1</sup>	Pliocène supérieur ou Astien (50-100 m)	Grés grossiers (sables dunaire et grés).	P	Niveau 6 (important)
p <sup>2</sup> et p <sup>3</sup>	Pliocène inférieur ou Plaisancien (50-200 m)	Marnes bleues	I	
		Marnes blanches et calcaires	I	
		Grés grossiers et graviers	P	Niveau 5
m <sup>4</sup> +G mc <sup>4</sup>	Sahélien	350 m Gypse et marnes gypseuses	I	
		175 m Marnes blanches à tripolis	I	
mc <sup>3</sup>	Tortonien	55-260 m Grés et calcaire à Lithothamnium	P	Niveau 4
		50-500 m Marnes bleues	I P	
		<50 m Gre et grés calcaires	P	Niveau 3
m <sub>5</sub>	Hélvitien	200-300 m Marnes sombres	I	
		100-120 m Poudingues et gré calcaire	P	Niveau 2
		200-700 m Marnes sableuses plus ou moins brêchoide	I	
	Cartenien	50-220 m Conglomérats	P	Niveau 1 (possible)

P: perméable  
I: imperméable

Les epaisseur de couches varient régionalement, il s'agit d'un schéma théorique ou des horizons peuvent manquer

Fig. 20 Stratigraphie et niveaux aquifères (d'après Schrambach, 1966).

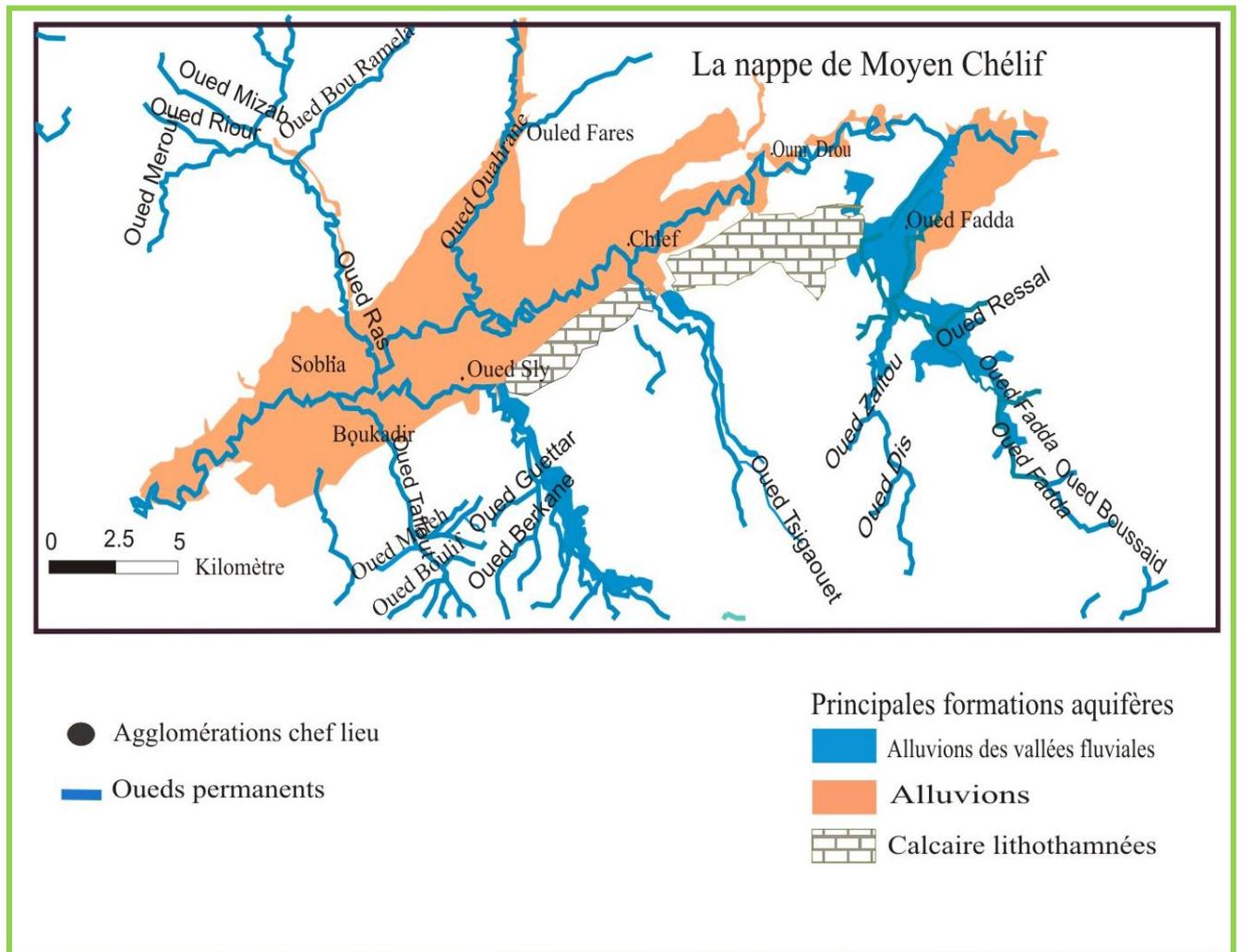


Fig. 21: Principales formations aquifères de la nappe du moyen Chélif.

Cette étude est basée sur l'interprétation des réservoirs, l'alimentation, l'exutoire ainsi que les paramètres hydrodynamiques de ces formations aquifères.

➤ **Calcaires à lithothamnium :**

Les calcaires affleurent sur la rive gauche du Chélif, formant une longue semelle inclinée située entre Oued Fodda au N-E et Djidiouia au S-O.

Cette nappe se met en charge sous les formations de piémont et les alluvions de la vallée. Le recouvrement se fait plus au Nord où les calcaires sont couverts par les marnes du Pliocène en prenant le caractère captif de la nappe.

La direction de l'écoulement de la nappe est orientée vers le Nord- Ouest. Cela indique une alimentation par les oueds (particulièrement Oued Sly).

Plusieurs auteurs ont tenté de calculer les potentialités de la nappe des calcaires à lithothamniées. SCHRAMBACH et l'étude SOGREAH 1984 l'avait estimé à 12 Hm<sup>3</sup>/an.

**a. Le réservoir :**

Il est constitué par les calcaires fissurés mais ceux-ci sont très hétérogènes. Les changements latéraux et verticaux de faciès sont extrêmement fréquents. Vers le Nord, les calcaires passent à des couches de marnes à tripoli de même âge.

Le réservoir est presque partout entouré de séries marneuses imperméables du Pliocène et du Miocène. Le mur étant constitué par des marnes du Miocène supérieur. Les terrains de couverture sont constitués vers le Nord, soit par des formations de piémont, soit des formations continentales, ou des grès Astien. Au Sud, les calcaires à lithothamniées affleurent sur environ 2 km.

La karstification semble peu importante en profondeur, et les fissures ne sont pas très ouvertes. Cependant dans les forages d'El Arroussi, des pertes totales attribuées à la présence d'une faille à 45° ont été enregistrées.

**b. L'alimentation :**

L'alimentation s'effectue évidemment par l'impluvium grâce à l'infiltration des pluies, et localement par les oueds. Elle se fait généralement en amont des oueds. Comme c'est le cas de l'Oued Sly. (G.Schrambach, 1984).

**c. L'exutoire :**

Il est admis que la nappe des calcaires à lithothamniées, se déverse dans le remplissage constitué par les formations plus récentes du Pliocène et du Quaternaire, qui reposent au Nord en biseau incliné sur les calcaires. Les oueds agissent localement dans le drainage de la nappe, à l'image de l'Oued Sly.

Les calcaires ne sont aquifères que dans la mesure où ils sont fissurés ou karstifiés. L'alimentation étant irrégulière, l'écoulement n'est donc pas uniforme. Dans les calcaires du Chélif, la circulation de l'eau se fait comme t-il (G. SCHRAMBACH) à travers les fissures suivant un régime rapide 'turbulent' ou lent à travers de fines canalicules (Cheylan).

D'une manière générale, l'écoulement se fait du Sud vers le Nord, par diffusion à travers les alluvions d'origine continentale ou de l'Astien.

#### **d. Caractéristiques hydrodynamiques :**

Les essais des débits effectués sur la nappe des calcaires ont permis de déterminer la perméabilité de celle-ci. Cette dernière varie entre 1.01 et  $3 \cdot 10^{-4}$  m/s. La transmissivité calculée par les méthodes transitoires est  $T = 3.03 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s (G. SCHRAMBACH).

Par manque d'ouvrages adaptés (piézomètres), le coefficient d'emmagasinement n'a jamais été déterminé

#### ➤ **Grès et sables de l'Astien :**

Cette nappe se trouve sous forme libre ou captive, sa partie libre est connue par le déversement de plusieurs sources situées dans les collines bordant la plaine du côté Nord entre Beni Rached à l'Est et Ain Merane à l'Ouest.

Le caractère captif se trouve là où la nappe est située entre deux horizons de marnes (anticlinal de Medjadja et son flanc Sud sous la plaine de Mouafkia et dans le synclinal Medjadja – Ouled Farès).

La potentialité en eaux de cette nappe (la recharge annuelle) est estimée à 3 hm<sup>3</sup>/an (Etude de la protection d'Oued Cheliff contre la pollution tronçon Oued Harbil – Oued Sly).

#### **a. Le réservoir :**

Le réservoir des grès astiens peut être rencontré essentiellement sur la rive droite de l'Oued Chélif, et rarement sur la rive gauche. La lithologie assez constante, montre que l'Astien est constitué de sables fins renfermant localement des grès.

Le réservoir est compris entre deux horizons de marne imperméable. Dans la partie Nord, l'Astien affleure sur de larges superficies, par contre dans la partie Sud, il est recouvert par des dépôts plus récents.

Certains géologues associent aux sables Astien, des calcaires gréseux et des poudingues.

#### **b. Alimentation :**

L'alimentation de la nappe s'effectue soit directement par infiltration à travers l'impluvium, soit par les Oueds notamment dans la partie amont sur le flanc Sud du Djebel Hamri, là où la nappe est libre.

Le débit infiltré par percolation à travers les sédiments a été estimé à 100 l/s. L'apport des oueds serait de l'ordre de 10 l/s.

**c. L'exutoire :**

La nappe libre comprend une zone « suspendue » par rapport à la rive droite de l'Oued Cheliff. C'est une zone de déversement qui donne lieu à une multitude de sources, particulièrement dans la partie aval.

La partie captive se caractérise par la présence d'un artésianisme notamment dans la région de Medjadja. D'autre part, la Sebka de Sidi Abed semble constituer un exutoire naturel pour la nappe.

**d. Paramètres hydrodynamiques :**

Les essais de débit effectués sur plusieurs forages notamment dans la région de Medjadja et Fromentin, montrent que la perméabilité des grès Astien varie entre  $1.9 \cdot 10^{-5}$  m/s et  $7 \cdot 10^{-5}$  m/s

Les valeurs de la transmissivité sont comprises entre  $2 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. La porosité calculée par diverses formules serait comprise entre 5% et 20 % (G. SCHRAMBACH).

➤ **Alluvions Quaternaires :**

La plaine du moyen Cheliff est couverte par des limons qui s'étendent sur toute la plaine et la superficie des zones basses. Sur la bordure Sud de la plaine, les limons sont peu épais et s'approchent du lit actuel. Au Nord de l'Oued, son épaisseur devient plus importante et est très développée dans la région de Kherba (El Amra).

Sous les limons et en profondeur se trouvent les alluvions grossières en plusieurs horizons. Elles sont bien développées dans l'axe Nord du synclinal entre Ouled Fares et Sobha et dans la plaine de Mouafkia. Le prolongement de l'axe est vers le N-E en face des oueds et leurs jonctions. Cette nappe est une nappe profonde du Quaternaire du Chéelif.

La potentialité en eau de cette nappe est estimée à 11 hm<sup>3</sup>/an selon la méthode pluie/infiltration (Etude de la protection de Oued Chéelif contre la pollution tronçon : Oued Harbil – Oued Sly).

**a. Alimentation :**

L'Alimentation s'effectue par les eaux de pluie, par les eaux de l'oued Cheliff en certains endroits seulement au moment des crues. L'alimentation s'effectue aussi à partir des formations profondes.

**b. L'exutoire :**

Les cartes piézométriques montrent que l'écoulement se fait d'amont en aval parallèlement à l'oued Chélif.

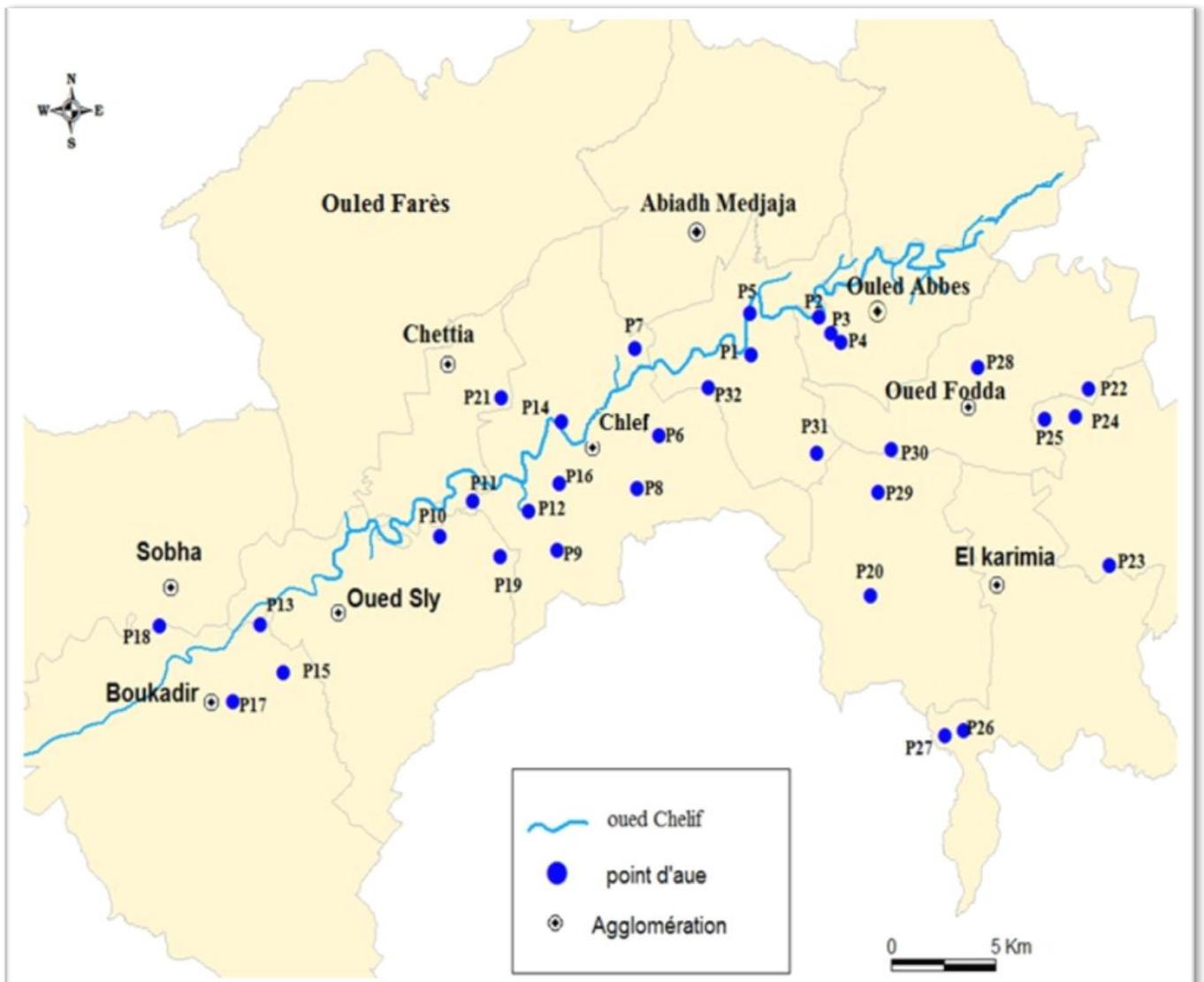
**c. Caractéristiques hydrodynamiques :**

Les transmissivités des alluvions déterminées en différents endroits du moyen Chélif, sont comprises entre  $3.6 \cdot 10^{-4}$  et  $7.6 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s (G. SCHRAMBACH). Dans les alluvions grossières, qui constituent les chenaux, elles sont comprises entre  $10^{-3}$  et  $2 \cdot 10^2$  m<sup>2</sup>/s. Le coefficient d'emmagasinement n'est pas connu.

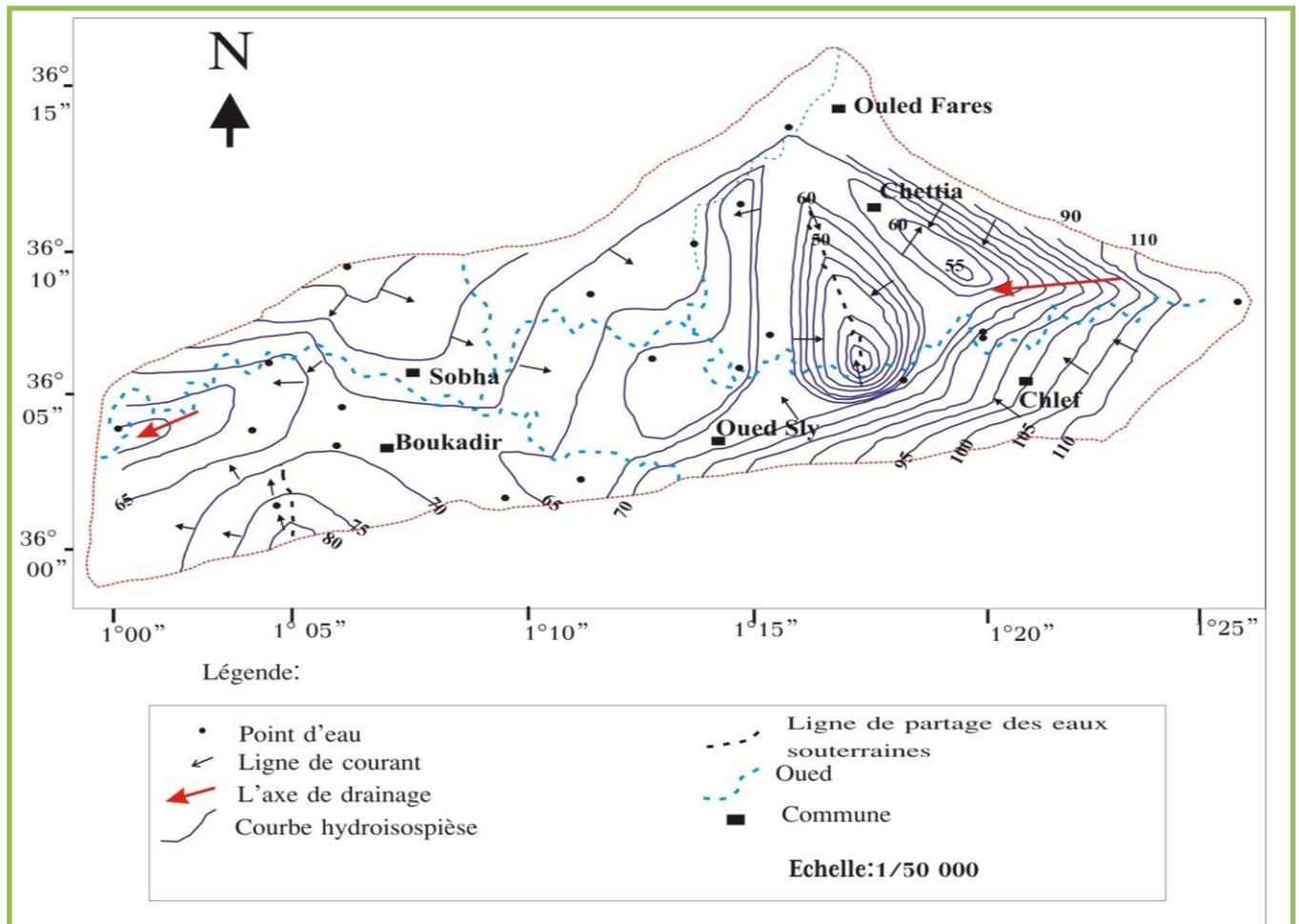
**I.5.4. Etude piézométrique :****I.5.4.1- La piézométrie :**

Deux campagnes piézométriques sont effectuées chaque année par l'A.N.R.H de Chlef, l'une en hautes eaux (mois d'avril) et l'autre en basses eaux (mois de septembre), pour permettre la surveillance du niveau des nappes aquifères.

Pour établir la carte piézométrique de cette nappe, nous sommes basés sur les observations effectuées sur 32 points (Fig.22) par L'ANRH pendant la campagne des hautes eaux correspondant à celle du janvier 2013.



**Fig 22 :** Carte d’inventaire des prélèvement (points d’eau) de la nappe du Moyen Chélif.



**Fig. 23 :** Carte piézométrique de la nappe alluviale du Moyen Chélif Occidental

(Janvier 2013). (Établie par CHEROUAG B, 2014).

**I.5.4.2- Interprétation de la carte piézométrique :** (Fig.23).

L'observation de la morphologie de la carte piézométrique des hautes eaux (janvier 2013) permet de constater que l'écoulement souterrain se fait généralement, suivant une direction Est - Ouest à l'amont et du Nord- Est vers le Sud- Ouest à l'aval de la plaine (Fig.23). L'axe de drainage des eaux souterraines coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Chélif qui draine les eaux superficielles.

On remarque aussi des dépressions, une au Sud- Est de l'agglomération de Chettia et l'autre au N-E de Oued Sly, ce qui indique des ponctions dans la nappe soit par pompes intensifs ou soit par fuites vers l'aquifère sous-jacent.

L'espacement des courbes piézométriques dans le sens d'écoulement caractérise la pente (gradient hydraulique). Ces isopièzes sont resserrées et rapprochées en amont du secteur,

c'est-à-dire le gradient est fort, puis elles deviennent espacées au centre, ce qui indique la diminution du gradient, et enfin vers l'aval au niveau des bords du bassin les courbes se resserrent sensiblement à nouveau.

Les variations du gradient hydraulique sont dues vraisemblablement à des modifications de la section d'écoulement et de l'alimentation. L'accroissement du gradient en amont et aux bords du bassin correspond à une zone très alimentée. Les écoulements apparaissent très largement collectés vers un seul axe de drainage qui évolue dans le même sens que celui de l'Oued Chéelif.

La nappe alluviale du Moyen Chéelif Occidental peut être alimentée par l'infiltration des eaux de l'oued et par la décharge des aquifères des versants contigus.

On distingue deux zones d'alimentation en dehors des précédentes :

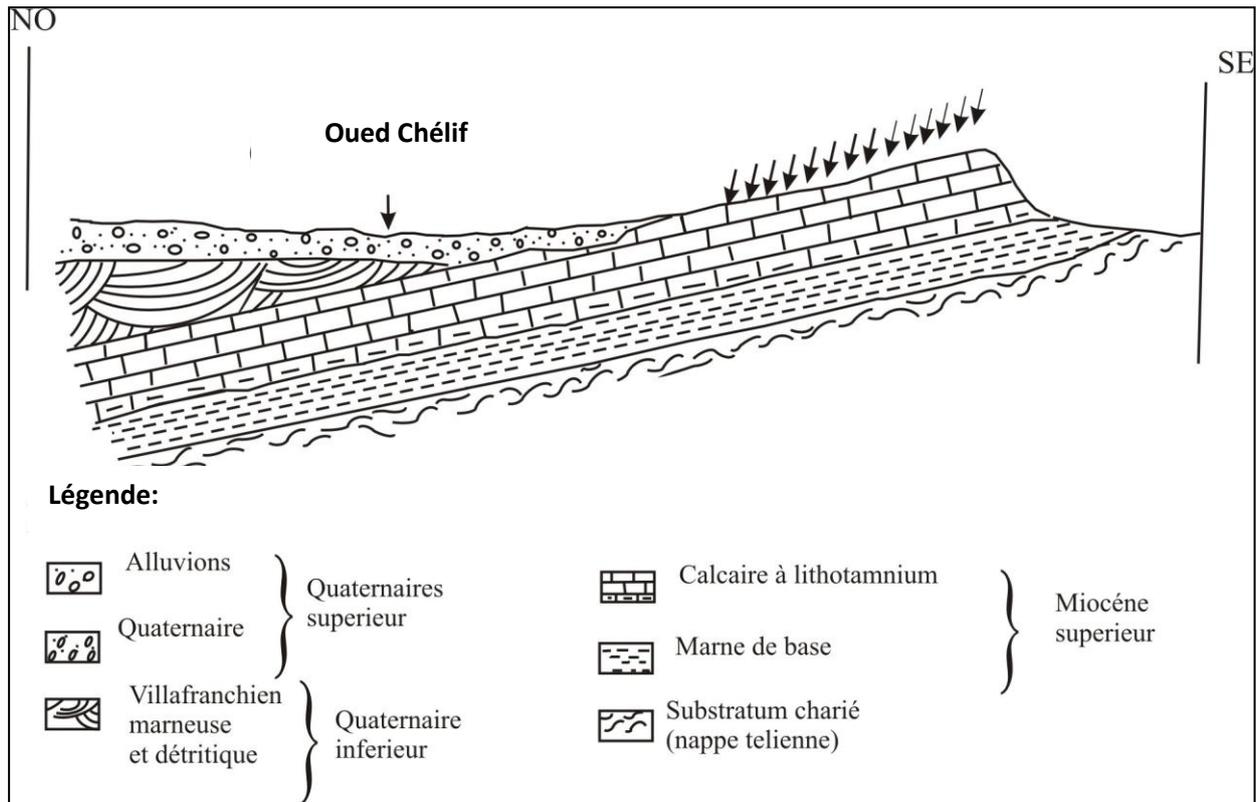
-Une alimentation en eaux souterraines provenant du flanc sud du synclinal d'Ouled Fares, au Nord.

-Une importante alimentation en eaux souterraines par les calcaires à lithothamnium de la bordure Nord de l'Ouarsenis, au Sud (Fig.24).

Les variations du gradient hydraulique sont dues vraisemblablement à des modifications de la section d'écoulement et de l'alimentation. L'accroissement du gradient en amont et aux bords du bassin correspond à une zone très alimentée, les écoulements apparaissent très largement collectés vers un seul axe de drainage qui évolue dans le même sens que celui de l'Oued Chéelif, c'est à dire de l'Est vers l'Ouest.

La nappe alluviale du Moyen Chéelif Occidental peut être alimentée par l'infiltration des eaux de l'oued et par la décharge des aquifères des versants contigus.

Le coefficient d'infiltration des eaux météoriques qui alimentent la nappe est estimé à 4,07mm ce qui représente seulement 1,11% de l'ensemble des précipitations selon le bilan hydrologique de Thornthwaite.



**Fig. 24 :** Schéma structural du calcaire à lithothamnium d'Oued Sly à Oued Taflout (D'après Scharmbach, 1966).

**I .5.5. Conclusion :**

La combinaison de l'outil géologique, et hydrogéologique a permis de déterminer la lithologie, la géométrie et les caractéristiques hydrodynamiques des différents réservoirs dont deux se présentent au niveau de la zone d'étude possédant des potentiels hydrauliques importants dans la région :

- Aquifère du Plioquaternaire.
- Aquifère des calcaires miocènes.

L'hydrodynamique de l'aquifère du Plioquaternaire est également influencée par d'autres paramètres : le pompage, l'irrigation, échanges hydrodynamiques .etc. Ces derniers peuvent jouer un rôle majeur dans le changement de la direction d'écoulement des eaux et dans la modification de leur chimie.

# *Chapitre II*

## *Hydrochimie*

## II.1.Introduction :

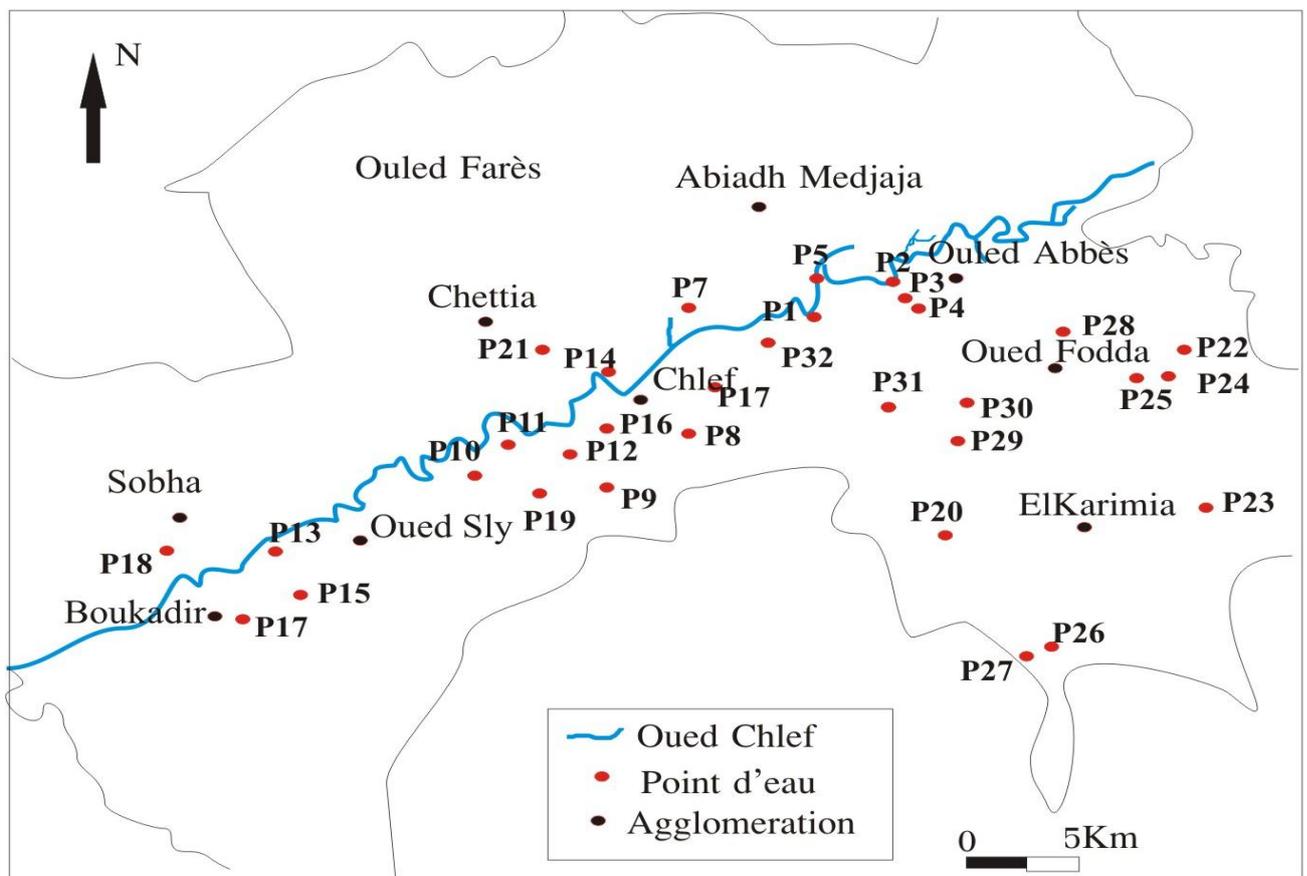
L'étude hydrochimique permet d'abord d'avoir une idée sur la qualité de l'eau, de connaître la répartition des faciès chimiques, de les comparer entre eux, de suivre leur évolution dans le temps et dans l'espace et de déterminer parfois les aires d'alimentation.

L'étude de cette partie est basée sur une campagne de prélèvements qui a eu lieu en Octobre 2012 (signalons un manque des données chimiques des campagnes actuelles).

L'étude hydrochimique porte sur les échantillons prélevés au niveau de 32 points d'eau (Fig.25) répartis sur la plaine du Moyen Chélif.

L'analyse de ces échantillons est réalisée au niveau de laboratoire de l'ANRH de Blida. Elle est basée sur :

- Les paramètres physiques : le pH, le résidu sec(R.S) et la conductivité (Cond).
- Les éléments majeurs :
  - Anions:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,
  - Cations :  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ .



**Fig. 25:** Carte d'inventaire des points d'eaux.

## II.2. Etude des paramètres physico-chimiques de l'eau :

### II.2.1. Paramètres physiques :

#### II.2.1.a- Potentiel d'Hydrogène (pH) :

La détermination du pH constitue une mesure de la concentration des ions ( $H^+$ ) dans l'eau (il montre le degré d'acidité du milieu)

Le pH dépend de l'origine des eaux et de la nature géologique des terrains. Les régions granitiques et les zones forestières donnent des eaux acides aux pH voisins de 5 à 6 alors que les terrains calcaires donnent des eaux voisines de 8, les eaux potables ont généralement un pH compris entre 7 et 8.5.

#### II.2.1.b- Conductivité :

La conductivité d'une eau traduit globalement la teneur en sels dissous, la mesure de la conductivité dans les eaux de la plaine montre que la plupart des points d'eaux ont des valeurs relativement élevées qui dépassent la norme fixée à  $1000 \mu\text{s/cm}$  (DR DASS, 2001) : Direction Régionale et Département des Affaires Sanitaires et Sociales de Poitou –Charente, France “ la qualité des eaux destinées à la consommation humaine”. On enregistre 92.3% de ces points avec des conductivités supérieures à  $1000 \mu\text{s/cm}$  dont près de 77% est comprise entre  $2000 \mu\text{s/cm}$  et  $6180 \mu\text{s/cm}$ .

Ces eaux sont caractérisées par une minéralisation importante.

### II.2.2. Paramètres Chimiques :

Les différents paramètres ont été analysés au laboratoire de l'ANRH Blida (voir annexe). Le dosage a concerné les éléments majeurs rencontrés dans une eau souterraine à savoir :

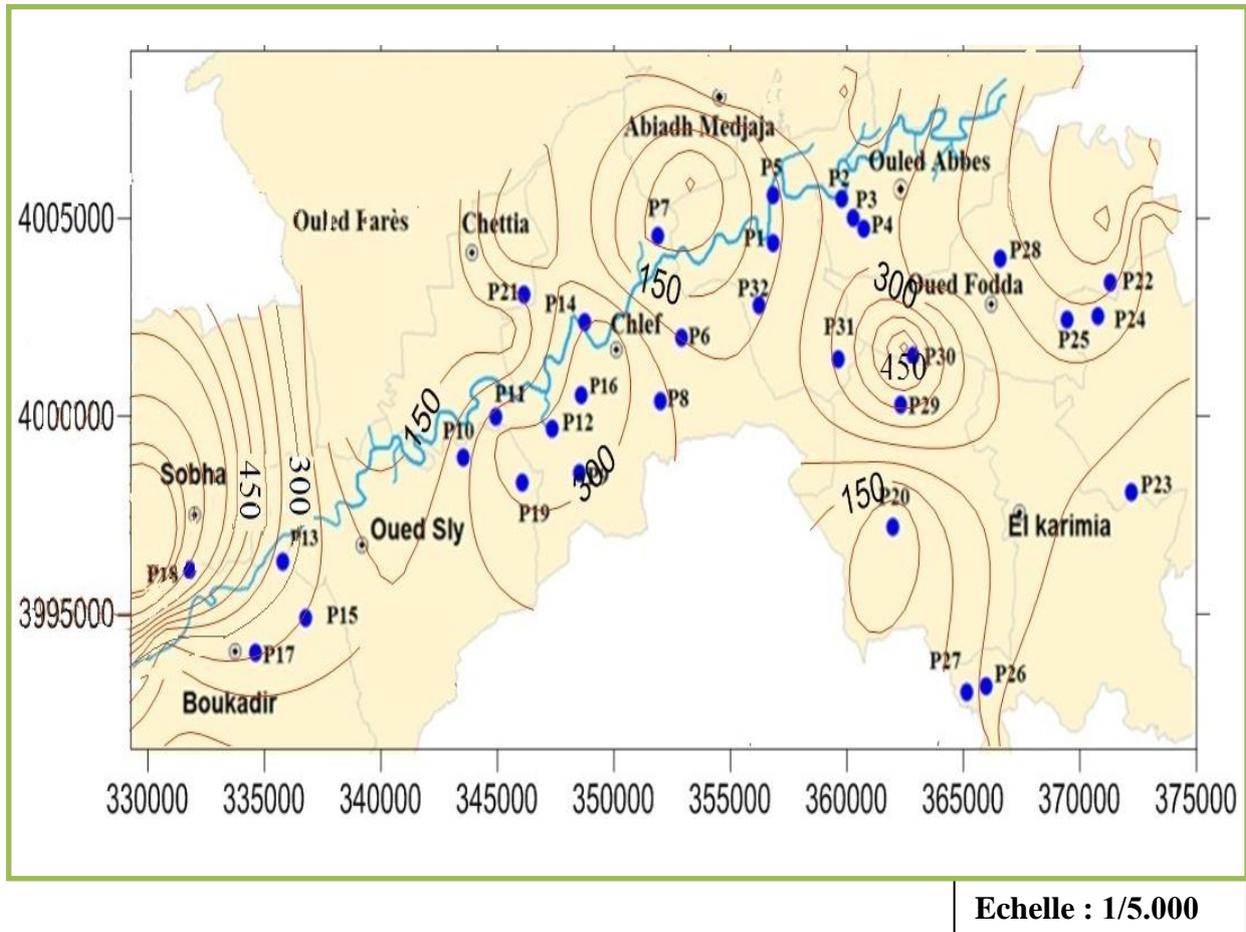
- pour les anions : Cl,  $SO_4$ ,  $HCO_3$ ,  $NO_3$  ;.....
- pour les cations : Ca, Mg, Na, K

#### II.2.2. a- Les cations :

- Calcium ( $Ca^{+2}$ ) :

D'après la carte d'isoteneur de  $Ca^{+2}$  (Fig. 26), la concentration augmente dans la partie centrale et la partie Sud Ouest et donc de l'amont vers l'aval selon le sens d'écoulement, elle atteint le maximum ( $700 \text{mg/l}$ ) dans la partie Sud Ouest de la plaine. La présence des ions  $Ca^{+2}$  dans les eaux souterraines est liée à deux origines géologiques : soit la dissolution des

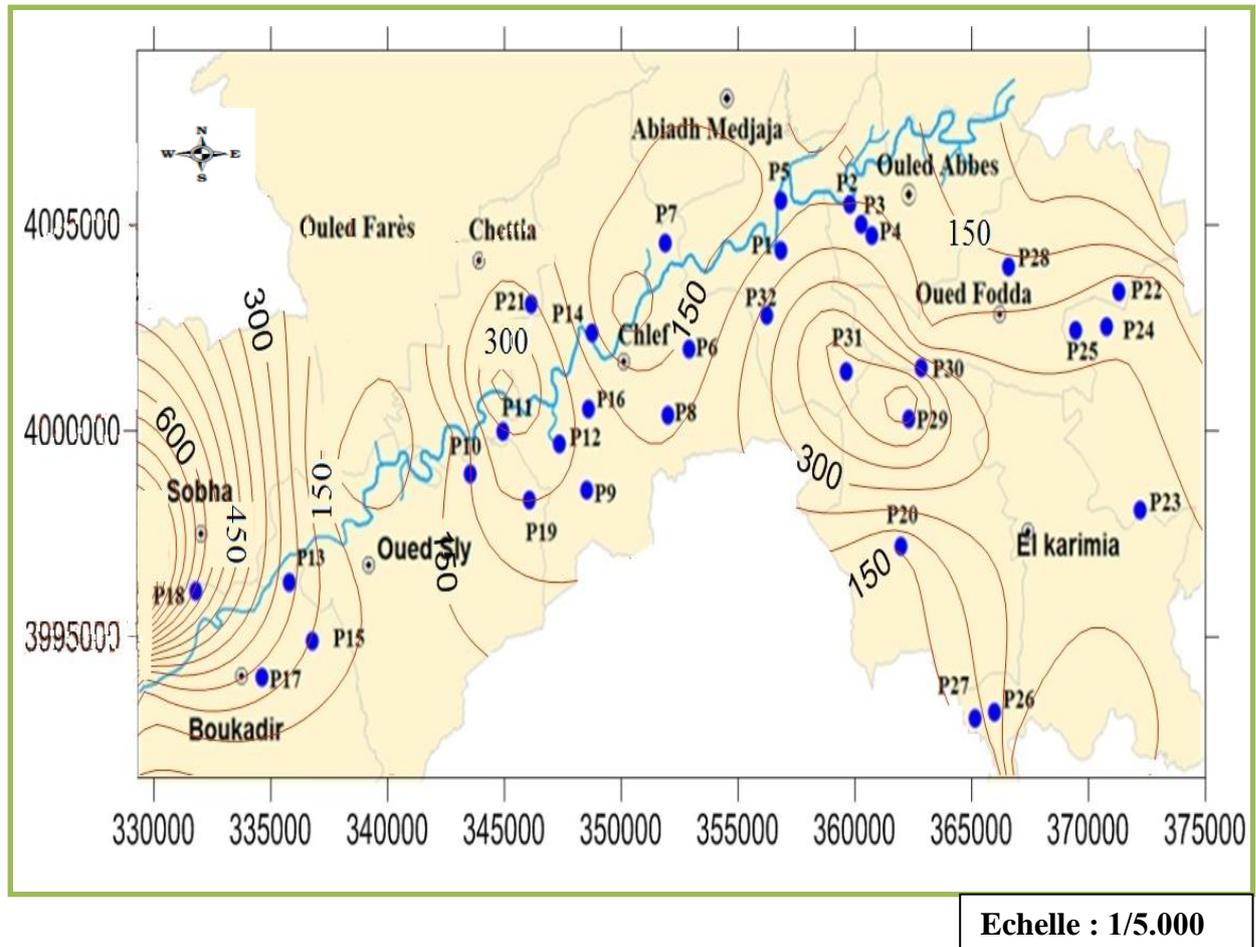
formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ) du Miocène supérieur (calcaire à lithothamnium), soit des formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4$ ) du Messinien supérieur.



**Fig. .26:** Carte d'isoteneur en  $\text{Ca}^{+2}$  (mg /l). (Établie par Zitouni N.2013)

- **Magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) :**

D'après la carte d'isoteneur de concentration en Mg (Fig.27), au niveau de notre secteur d'étude, la concentration augmente de l'amont vers l'aval, où elle atteint son maximum 800mg/l. L'origine du magnésium dans les eaux souterraines est liée à la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium.



**Fig. 27:** Carte d'isoteneurs en  $Mg^{2+}$  (mg/l). (Établie par Zitouni N.2013)

• **Sodium ( $Na^+$ ) :**

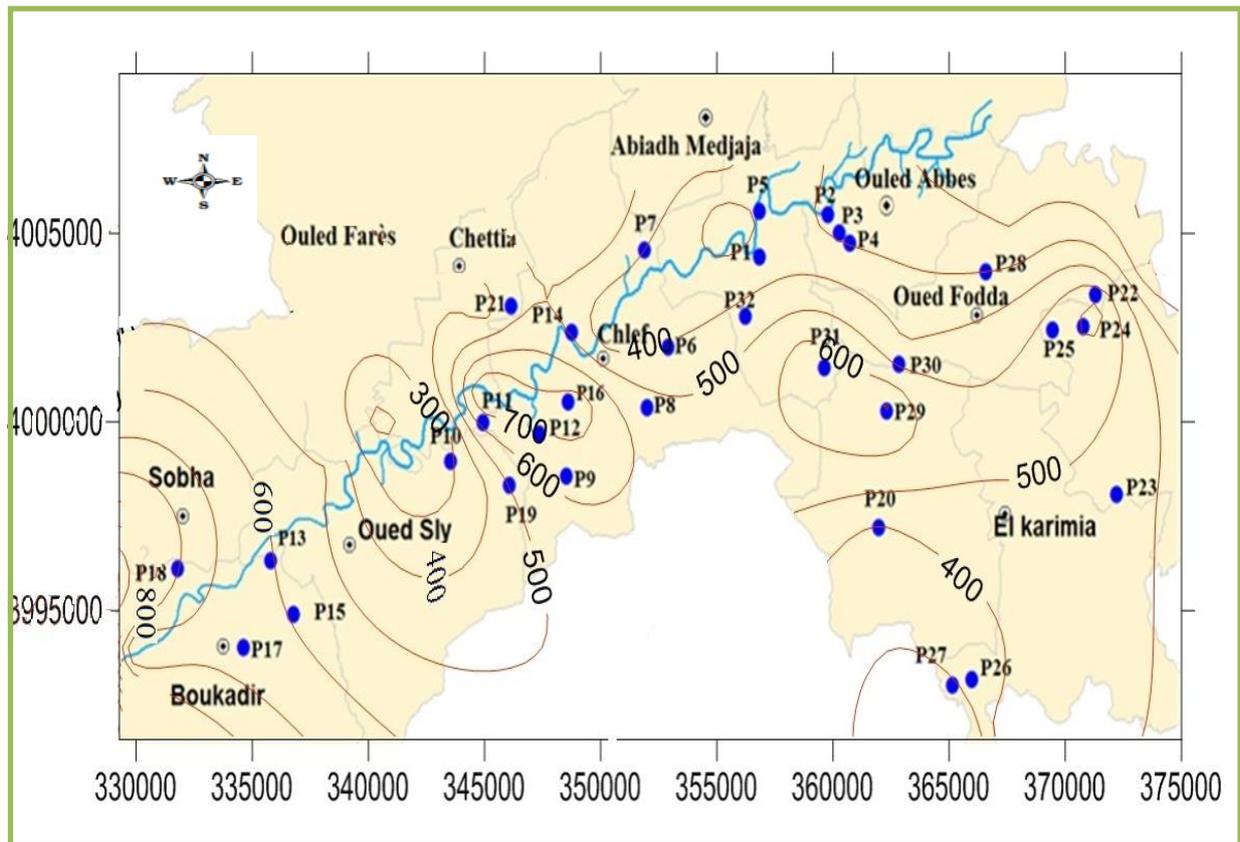
Les eaux de la nappe du Moyen Chélif sont beaucoup plus chargées en sodium, nous remarquons une forte concentration de Na dans la partie centrale (700 mg/l) et la partie Sud-Ouest du secteur d'étude où les valeurs atteintes sont 900 mg/l (Fig.28).

L'origine de cette concentration dans les eaux souterraines est liée à la dissolution des formations gypseuses.

• **Potassium ( $K^+$ ) :**

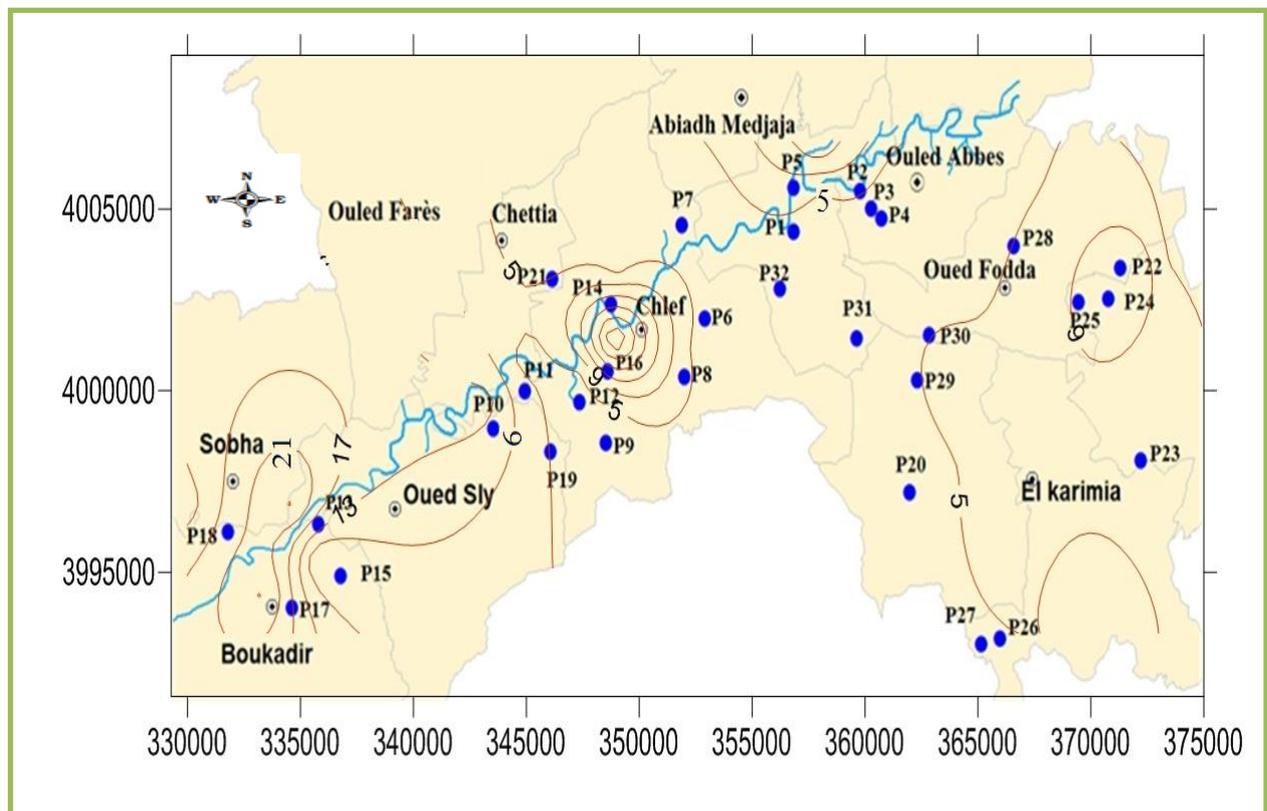
Le potassium est l'élément le moins répandu dans les eaux souterraines. Il provient de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques.

Les teneurs en potassium des eaux de cette nappe varient entre 2mg/l et 26mg/l. (Fig.29)



Echelle : 1/5.000

Fig. 28: Carte d'isoteneurs en Na<sup>+</sup> (mg/l). (Établie par Zitouni N.2013).



Echelle : 1/5.000

Fig. 29: Carte d'isoteneurs en K<sup>+</sup> (mg/l). (Établie par Zitouni N. 2013).

### II.2.2.b- Les anions :

- **Chlorures (Cl<sup>-</sup>) :**

Les chlorures sont considérés comme les migrants les plus actifs, ils sont présents dans les types géologiques des eaux souterraines (MACIOSREZYK 1987 ; in DRAMCHI et BOUKRARI 1990).

D'après la carte isoteneur du Cl (Fig.30) la concentration augmente dans la partie centrale et la partie Sud Ouest, où elle atteint le maximum (7760mg/l), et une faible concentration (81mg/l) au Nord-Est.

L'origine des chlorures dans les eaux souterraines de la plaine est diverse :

- La nature lithologique des formations qui bordent les nappes au Nord (gypses ...).
- Le contact permanent des eaux souterraines avec le substratum marneux.
- La présence de niveau argileux qui s'intercale dans les alluvions
- L'évaporation intense due à un climat semi-aride conduit à l'augmentation de la concentration en chlorures.

Les eaux météoriques qui lessivent les affleurements des bandes minces des formations évaporitiques et qui alimentent la nappe au niveau de la bordure Nord pendant la période pluvieuse.

- **Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :**

Les teneurs en sulfates des eaux de la nappe du Moyen Chélib varient considérablement, on marque une diminution de concentration de l'amont vers l'aval (Fig.31). Les fortes valeurs caractérisent les points d'eau situés à l'Est, où elle atteint 1200 mg/l. L'origine des sulfates dans la plaine est essentiellement liée à la nature lithologique des formations et la solubilité des marnes gypseuses présentes dans la région et à l'oxydation du soufre présent dans l'atmosphère.

Les rejets des eaux usées, des industries ainsi que le secteur agricole contribuent également à l'augmentation des sulfates.

- **Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :**

La carte isoteneur en HCO<sub>3</sub>(Fig.32) montre une augmentation importante de la concentration sur les bordures Sud Ouest et Nord -Est de notre secteur d'étude.

Les teneurs en bicarbonates sont relativement fortes, elles varient entre 167 mg/l et 762 mg/l Cette teneur est probablement liée à la dissolution des calcaires d'Ouarsenis.

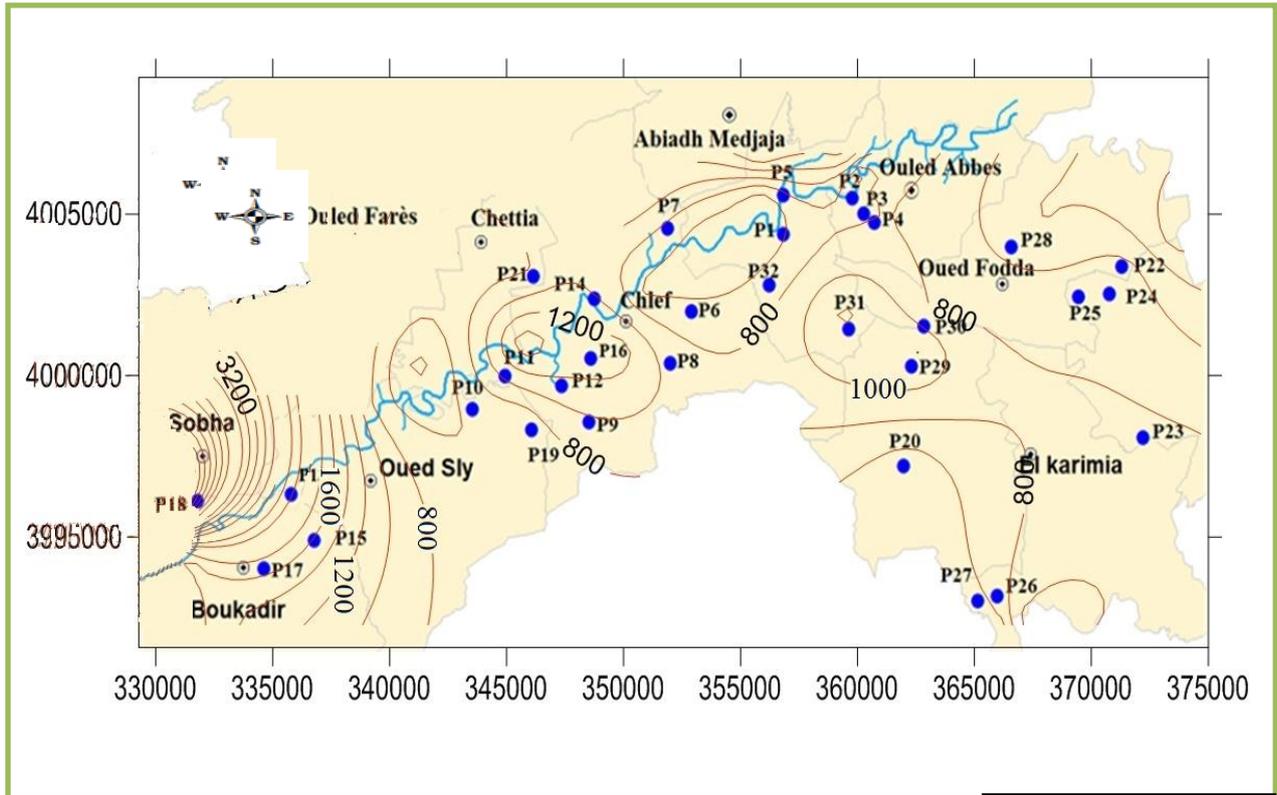


Fig. 30: Carte d'isoteneurs en  $\text{Cl}^-$  (mg/l). (Établie par Zitouni N.2013)

Echelle : 1/5.000

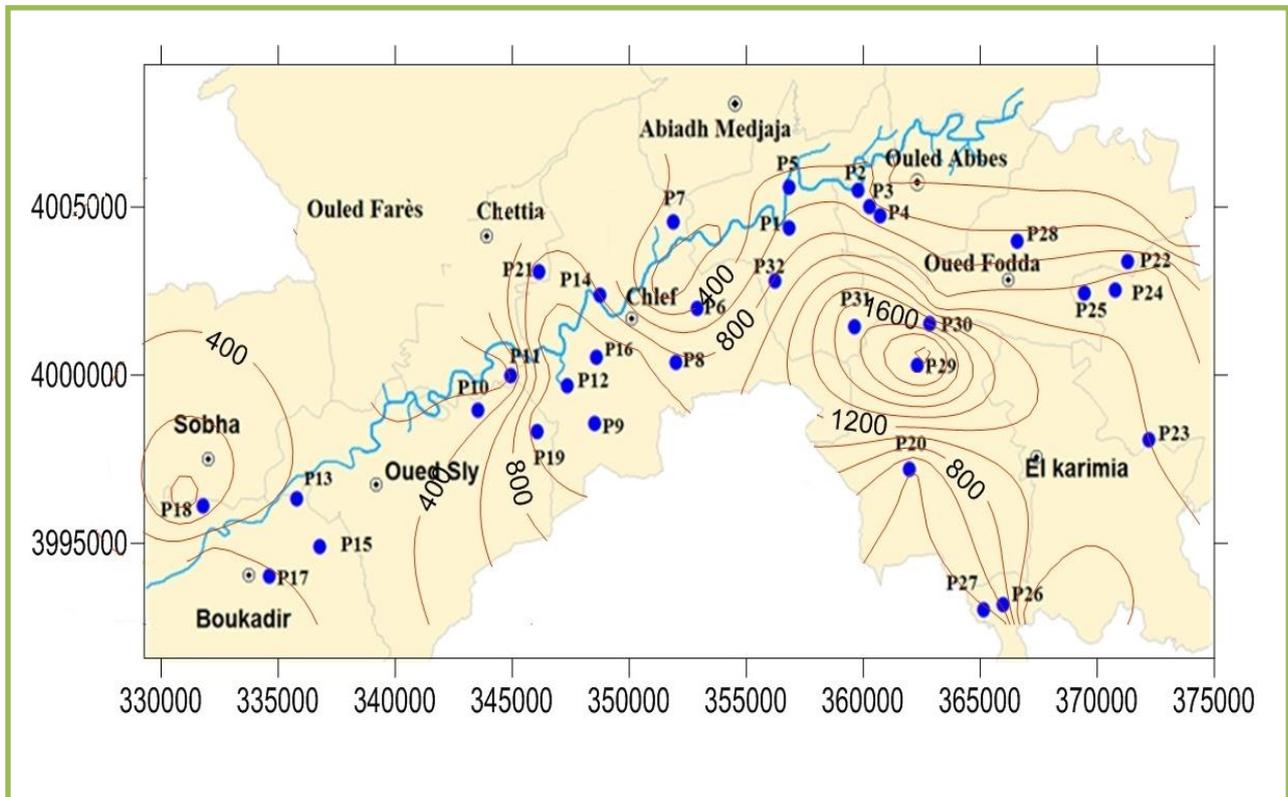
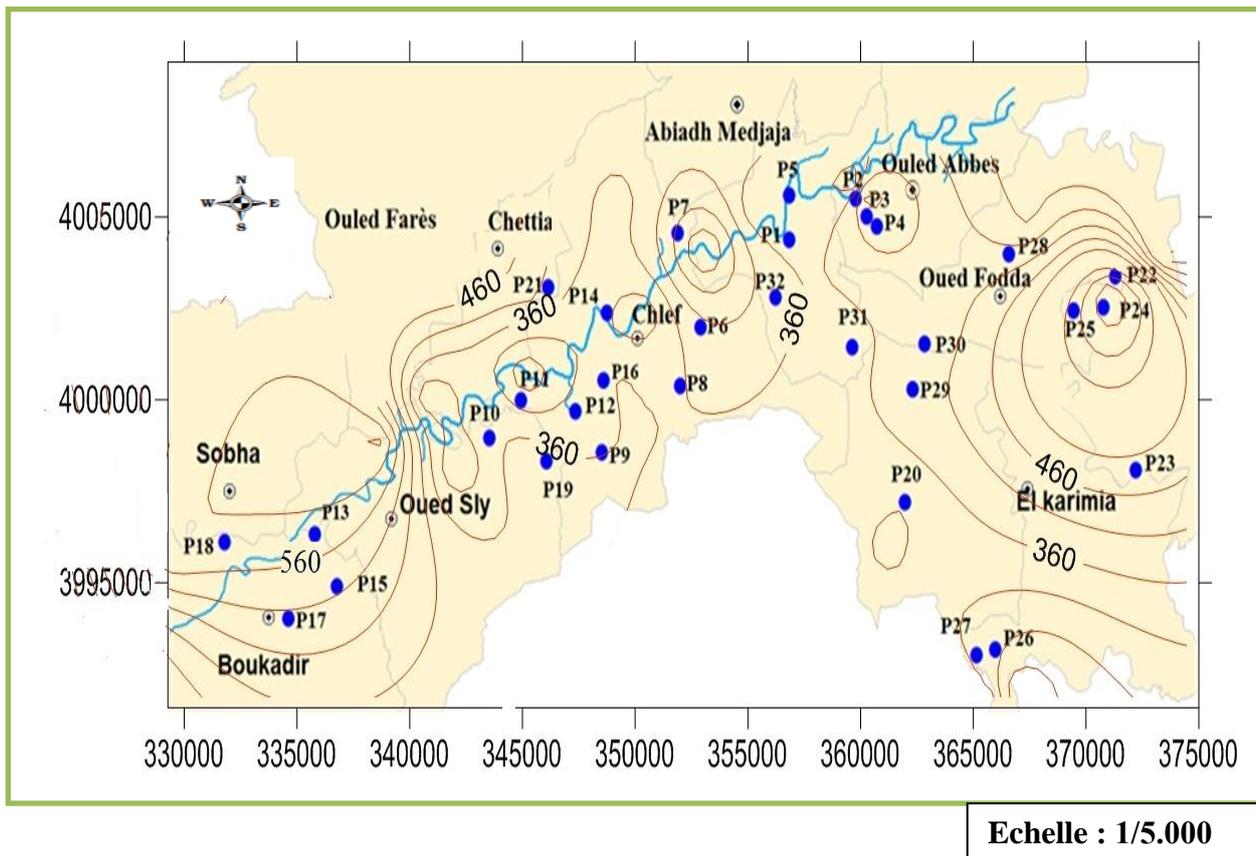


Fig. 31: Carte d'isoteneurs en  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/l). (Établie par Zitouni N.2013)

Echelle : 1/5.000



**Fig. 32 :** Carte d'isoteneurs en  $\text{HCO}_3^-$  (mg/l). (Établie par Zitouni N. 2013).

- **Les Nitrates ( $\text{NO}_3$ ) (Fig. 33):**

On peut constater l'évolution de la teneur en nitrate selon la carte de zonalité, on peut distinguer 03 zones de concentration : la première zone (50- 100 mg/l) représentée par 13 points d'eau dépassant ainsi les normes admissibles (50 mg/l). La deuxième zone (20-50 mg/l) à proximité d'Oued Chlef présentant des teneurs moyennes et la troisième zone (0-18 mg/l) marquée par une faible concentration en nitrates (11 points d'eau). (Fig. 33)

Les nitrates, en faible quantité dans les eaux souterraines proviennent de nitrification de l'azote organique des sols par les bactéries et de l'oxyde d'azote atmosphérique apporté par la pluie. Cette concentration est due à :

- l'utilisation extensive de fertilisants et engrais chimiques (minéraux de type NPK en agriculture).
- Rejets urbains et industriels sans aucune épuration dans l'oued Cheliff et ses affluents.
-

D'après la carte les points à des teneurs élevées en nitrate sont :

- la majorité des points d'eau qui sont localisés dans les zones agricoles
- les points d'eau qui sont localisés autour de l'oued

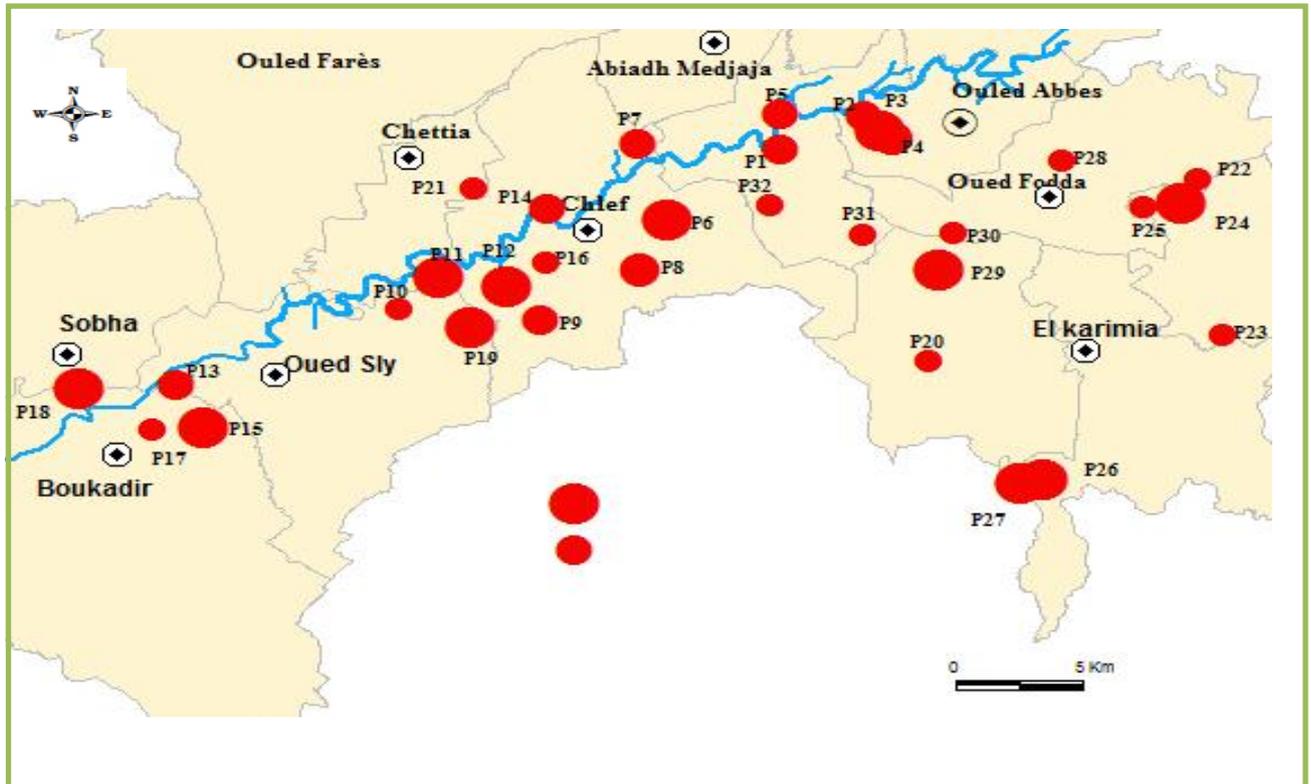


Fig. 33: Carte de zonalité des concentrations en  $\text{NO}_3^-$ , (établie par Zitouni N 2013).

### II.3-Classification des eaux :

#### a- Présentation graphique :

L'interprétation des ions majeurs exprimés en mg/l est pratique à réaliser en se référant à une représentation graphique appropriée. Les différents types de graphiques et diagrammes qui sont les plus utilisés jusqu'à l'heure actuelle, sont ceux de Piper et Schoeller-Berkaloff. Ce diagramme permet de préciser la qualité des eaux et le faciès chimique.

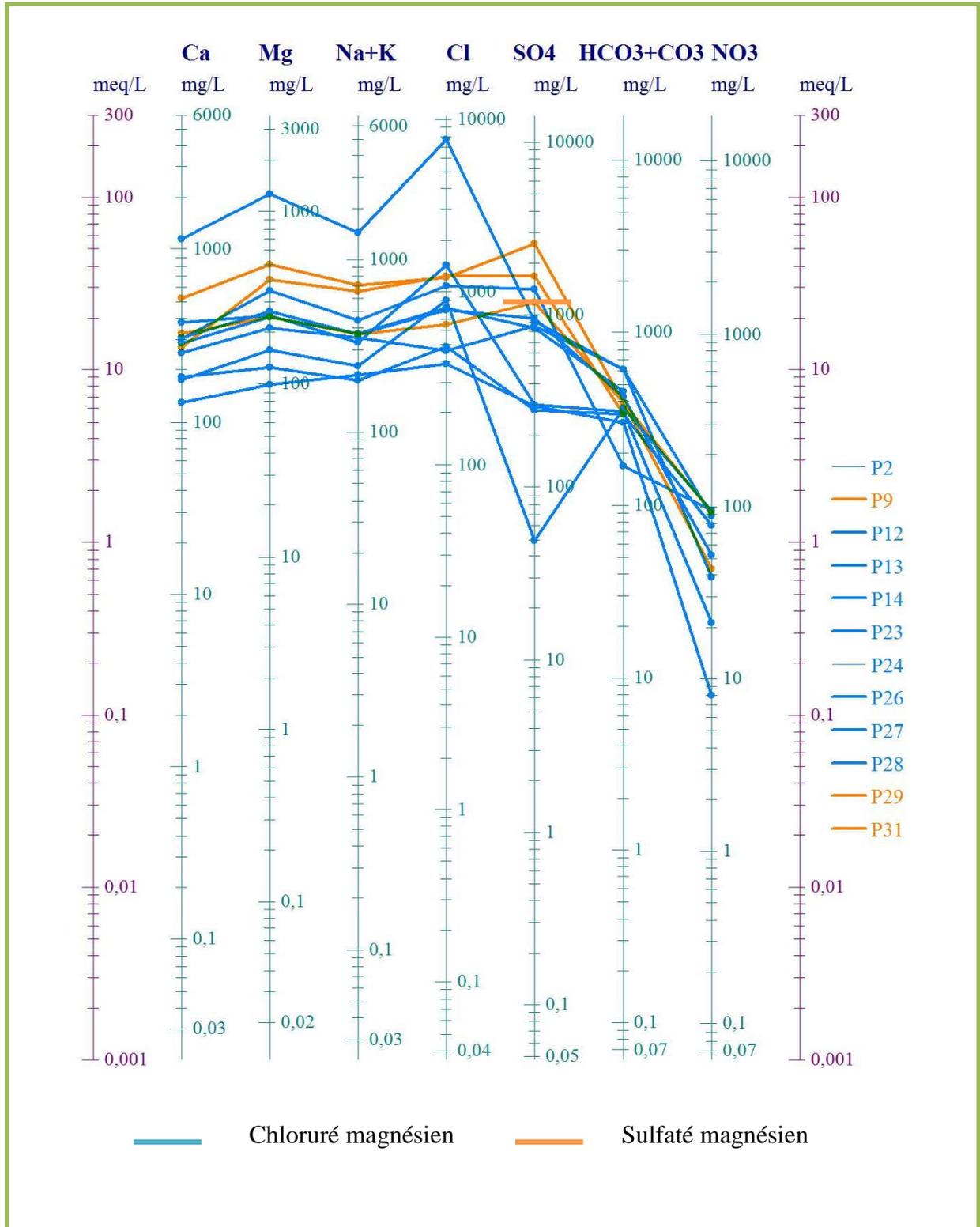
#### b - Diagramme de Schoeller-Berkaloff : (Fig34).

Ce diagramme à échelle semi- logarithmique, permet de distinguer par simple lecture des échelles, les concentrations des ions dominants et donc de déduire rapidement les différentes familles chimiques. Le report des teneurs sur le diagramme, permet de distinguer deux grandes familles d'eaux :

- \* 56% des eaux à faciès Chlorurées sodiques.
- \* 28% des eaux à faciès Chloruré magnésien.



**Fig. 34:** Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller Berkallof (Faciès chloruré sodique).



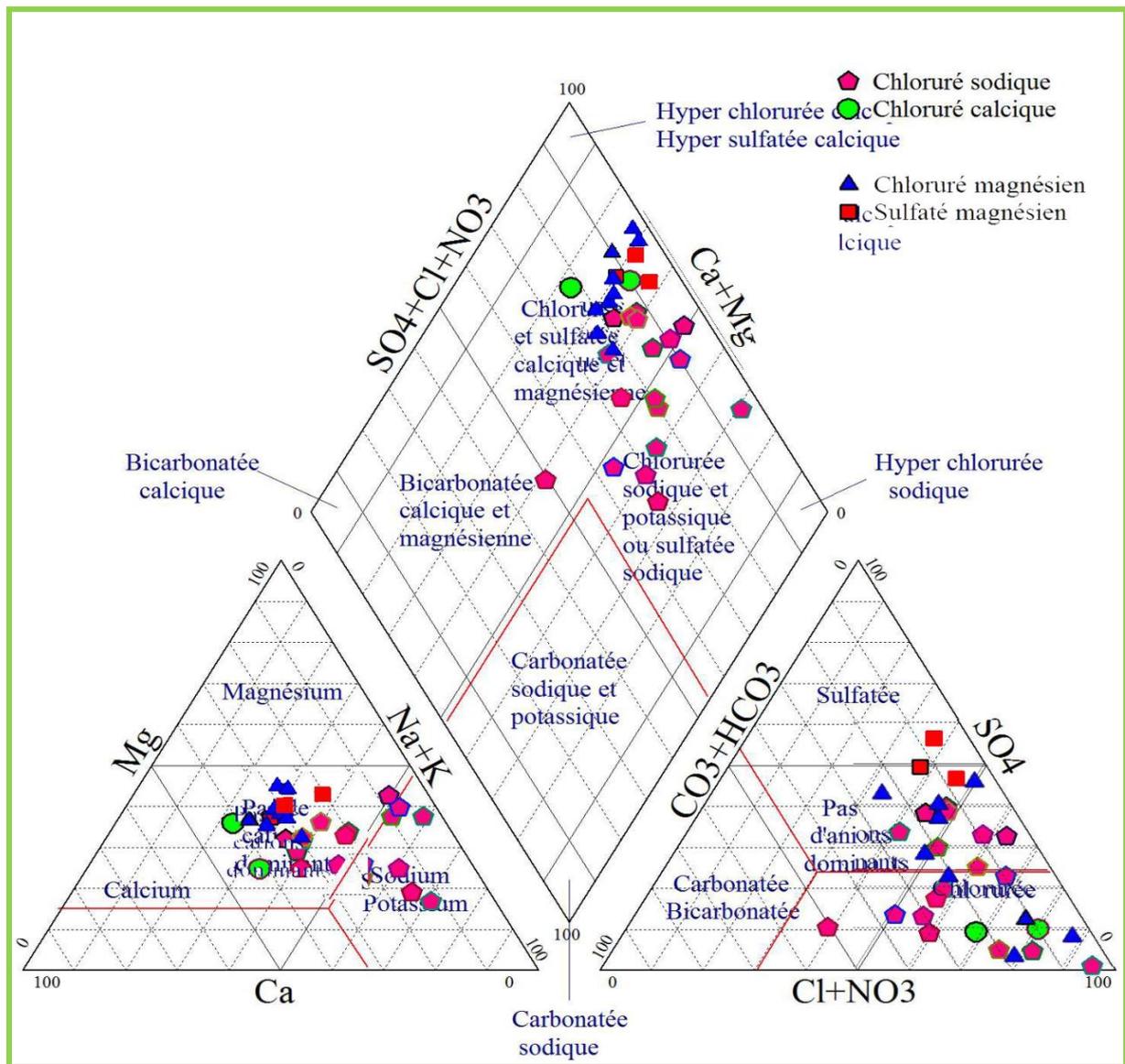
**Fig. 35:** Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller Berkallof (faciès chloruré magnésien, sulfaté magnésien).



**Fig.36:** Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller Berkallof (Faciès chloruré calcique, chloruré sodique).

**b- Diagramme de Piper :**

Cette méthode consiste à représenter sur deux triangles représentant respectivement les cations et les anions. Ce diagramme permet de déterminer un grand nombre d'analyses sans pour autant faire une subdivision précise. Ces eaux sont représentées sur le losange en un seul point qui indique la famille chimique. La plupart des eaux de la nappe du Moyen Chélif regroupés en deux principaux faciès selon le diagramme de Piper: Chloruré sodique et Chloruré magnésien.



**Fig. 37:** Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper.

#### II.4- Conclusion :

L'étude hydrochimique de la nappe du Moyen Chélif Occidental nous a permis de préciser la répartition quantitative des divers éléments dissous et de suivre leur évolution dans l'espace.

Les eaux de la nappe sont particulièrement chargées en Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>.

L'analyse chimique des eaux au niveau de la plaine du Moyen Chélif Occidental montre que les eaux sont essentiellement Chlorurées sodiques et Chlorurées magnésiennes, avec des faciès parfois bicarbonatées calciques, bicarbonatées sodiques et sulfatées sodiques.

Ces eaux se classent donc parmi les eaux dures à caractère incrustant et potabilité douteuse. Malgré leur qualité médiocre, ces eaux souterraines sont utilisées pour l'alimentation en eau potable.

# *Chapitre III*

*Évolution de la pollution des  
eaux  
souterraines par les nitrates*

### **III.1. Généralités :**

Les eaux souterraines sont dans la plupart des cas, de meilleure qualité que les eaux de surface car elles sont moins directement exposées aux pollutions. Cependant, si les pollutions sont en général plus discrètes, elles peuvent persister beaucoup plus longtemps et il est très difficile de remédier à la contamination. Etant donné que les eaux souterraines sont souvent utilisées pour l'alimentation en eau potable, leur protection vis-à-vis des pollutions est un enjeu majeur.

### **III.2. Définition de la pollution de l'eau :**

Une eau est polluée lorsque, sous l'effet de l'activité humaine, elle devient impropre à satisfaire la demande d'utilisation ou qu'elle présente un danger pour l'environnement (Castany G., 1982). Les causes naturelles de la dégradation de la qualité de l'eau souterraine sont donc exclues de ce concept.

### **III.3. Principaux types de pollution :**

Selon l'origine de pollution, on peut distinguer trois grands groupes de pollution : urbaine, agricole et industrielle.

#### **III.3.1-Pollution d'origine urbaine :**

La pollution d'origine urbaine inclut des apports hétérogènes liés, à la fois aux activités physiologiques et domestiques qu'aux activités économiques, industrielles et commerciales pratiquées dans le milieu urbain.

La pollution urbaine liée aux activités physiologiques et domestiques est essentiellement de type organique et bactériologique.

#### **III.3.1.1- Pollution organique :**

Elle se présente sous deux aspects :

**a- La pollution organique biodégradable :** issue des eaux ménagères (toilettes, lavage divers, etc.). Ce type de pollution est facilement éliminé, soit par le pouvoir auto épuratoire au niveau du sol, soit par l'épuration biologique dans les stations d'épuration,

**b- La pollution organique difficilement biodégradable :** il s'agit essentiellement de détergents synthétiques contenus dans les produits de nettoyage domestique. Leur présence a pour conséquence l'apparition dans l'eau de mousses qui freinent l'oxygénation de l'eau et perturbent le fonctionnement des stations d'épuration.

**III.3.1.2-Pollution bactériologique :**

Due à des germes pathogènes d'origine fécale (coliformes, streptocoques fécaux, salmonelles.....). Ces germes peuvent être à l'origine de la propagation de maladies infectieuses (peste, choléra, hépatite.....).

**III.3.2- Pollution d'origine agricole :**

L'agriculture est entrée dans un stade de modernisation, où les cultivateurs font parfois recours à une utilisation abusive d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires (pesticides, fongicides, herbicides, etc.). L'utilisation irrationnelle de ces produits peut entraîner des risques graves et polluer les eaux souterraines, notamment par les nitrates. Le (Tab.11) représente les différents engrais chimiques adoptés par les agriculteurs dans notre région d'étude. Ces engrais sont dans la majorité à base d'azote (N).

L'utilisation abusive de ces produits est la principale source de pollution des eaux souterraines par les nitrates.

**Tab.11:** Les différents engrais chimiques utilisés dans la région du Chélif (DSA, 2010).

	Engrais azote N12 P18K18	Urée a 46% ou sulfate d'ammonium 21%	Engrais azote N15 P15 K15	Ammonitrates a 33.5 %
Jeune Verge	10 Qts/ha	14 Qts/ha	.....	.....
Vieux Verge	5 Qts/ha	7 Qts/ha	.....	.....
Maraichage	.....	.....	19.5 Qts/ha	12 Qts/ha
Céréale	.....	7.5 Qts/ha	.....	.....

**III.3.3- Pollution d'origine industrielle :**

Elle peut être provoquée par des rejets industriels, thermiques et chimiques. Sa nature est aussi variée que celle des industries. La pollution par les éléments toxiques est la plus dangereuse pollution incluse dans ce type.

**III.4. Les nitrate : définition et généralités**

Les nitrates sont, d'un point de vue chimique, des sels de l'acide nitrique. Ces sels sont caractérisés par la présence de l'ion nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, composé d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène. Ils existent naturellement dans les sols et les eaux. Les ions nitrates se

forment naturellement au cours du cycle de l'azote, notamment lorsque des matières organiques se décomposent, par l'action des bactéries du sol. L'azote organique se transforme par oxydation en composés ammoniacaux puis en nitrates. Les nitrates sont également fabriqués de manière industrielle, à partir de l'azote de l'air et de gaz naturel, car ce sont des engrais, très solubles dans l'eau, ils ne sont pas retenus par le sol.

**De façon générale, les sources de pollution par les nitrates dans les eaux souterraines sont:**

- Une culture dans des secteurs où la couche de sol est relativement mince, ou si le sol a une capacité tampon nutritive pauvre, ou s'il y a des changements d'utilisation de la terre ;
- Une sur-fertilisation des récoltes pour l'intensification de l'activité agricole ;
- Une grande répartition des récoltes qui exige de hautes doses d'engrais et qui laissent un excédant dans les sols durant de longues périodes ;
- Des systèmes de drainage qui mènent au drainage des engrais ;
- Les cycles de rotation agricole intensifs impliquant un labourage fréquent et des étendus de sols nus pendant l'hiver ;
- Les engrais organiques provenant de la production animale.

### **III.5. Cycle de l'Azote :**

L'azote suit un cycle particulièrement complexe dans les sols (Fig. 38), pour deux raisons :

- Avec le carbone, c'est le nutriment de base de tous les organismes vivants ;
- Avec des degrés d'oxydation variés, il peut être présent sous de très nombreuses formes.

Dans les écosystèmes, l'azote est présent sous forme gazeuse, dissoute et liée à des solides.

L'azote atmosphérique représente 80% de l'atmosphère, il n'est utilisable que par certaines plantes (les légumineuses) qui accueillent en symbiose dans leurs racines des bactéries telles que le rhizobium qui fixent directement  $N_2$ . Les autres apports se font sous forme d'engrais chimiques (généralement des nitrates  $NO_3^-$ ) ou d'amendement organique tels que fumier et lisier. Les amendements organiques contiennent de l'azote sous forme de Norganique ou ammonium ( $NH_4^+$ ).

Les résidus de récolte restituent aussi de l'azote sous forme de Norganique. Dans le sol, trois formes d'azote prédominent : les nitrates solubles, le Norganique présent principalement dans les horizons superficiels des sols et l'ammonium qui est en grande majorité fixé sur l'argile. (Olivier A., 2005).

#### **III.5.1.Nitrification :**

La nitrification est une réaction d'oxydation de  $NH_4^+$  à  $NO_3^-$  qui s'effectue en deux étapes :

- La nitrification qui conduit aux nitrites  $\text{NO}_2^-$  suivie de la nitration qui transforme ceux-ci en nitrates. Les deux réactions sont réalisées en présence d'oxygène et sont effectuées par des bactéries connues (principalement Nitrosomonas et Nitrobacter).
- La nitrification a lieu lorsque des teneurs élevées d'ammonium sont présentes dans un sol aéré, ce qui advient dans deux situations : ajout d'engrais (organiques ou minéraux) ou minéralisation de matière organique qui libère de l'ammonium. (Olivier A., 2005).

### III.5.2. Dénitrification :

La dénitrification, réaction de réduction des nitrates, a lieu en milieu anaérobie, le produit final n'étant pas toujours le même. La présence de nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) dans cette chaîne de réaction n'est pas certaine car c'est un composé extrêmement instable et la réaction de réduction de  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{N}_2\text{O}$  est plus rentable énergétiquement.

### III.5.3. Minéralisation et réorganisation :

La minéralisation est une suite complexe de réaction de dégradation de chaînes carbonées qui permettent aux micro-organismes du sol de puiser leur énergie et leurs constituants. Lors de l'évolution de la matière organique, l'azote joue un rôle spécifique puisqu'il est recherché aussi bien par les micro-organismes que par les plantes.

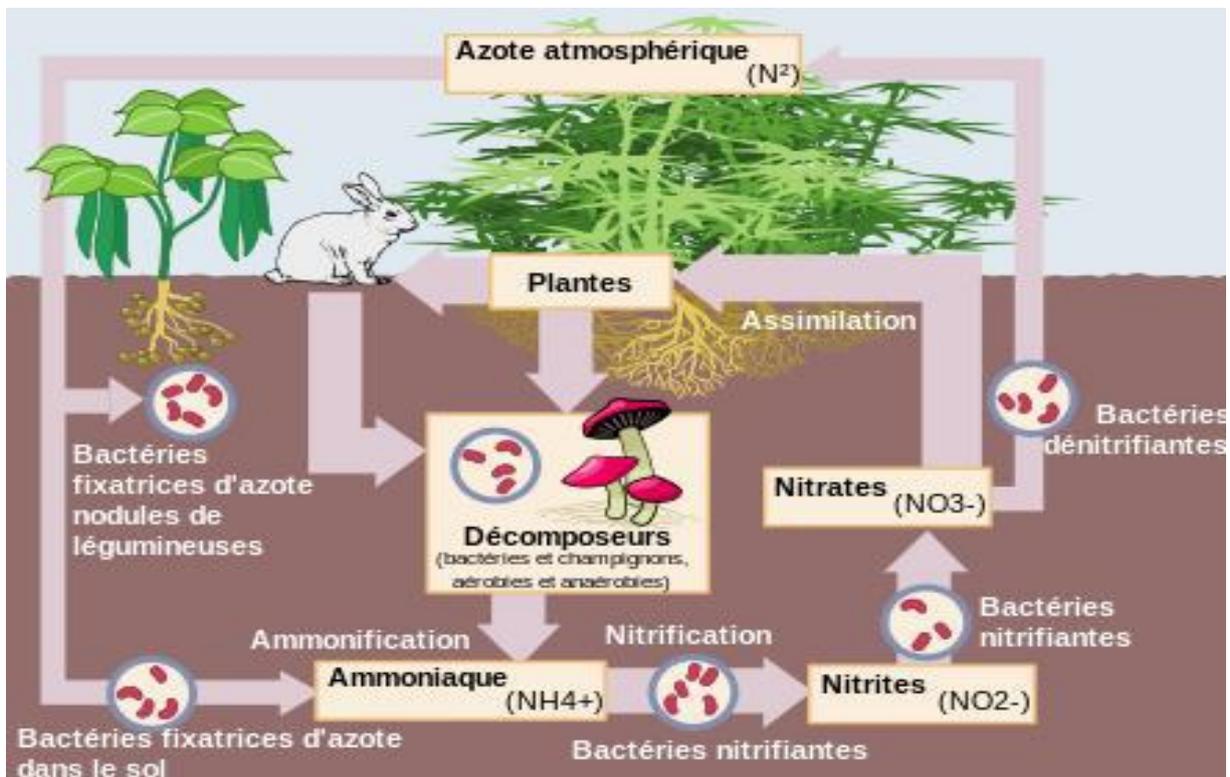


Fig.38 : Cycle de l'Azote

**III.6. Normes de potabilité :**

L'organisation mondiale de la santé (O.M.S) a défini pour les eaux destinées à la consommation humaine, un ensemble de normes ; on examine la qualité chimique des eaux prélevées en comparant ces dernières aux normes internationales retenues par l'O.M.S, mais également aux normes régionales relatives au pays concerné.

Pour les eaux de consommation, les normes algériennes indiquent comme bonne qualité une eau dont la dureté est entre 20 °F et 50 °F. (NA752 Séminaire sur la qualité de l'eau, 1996).

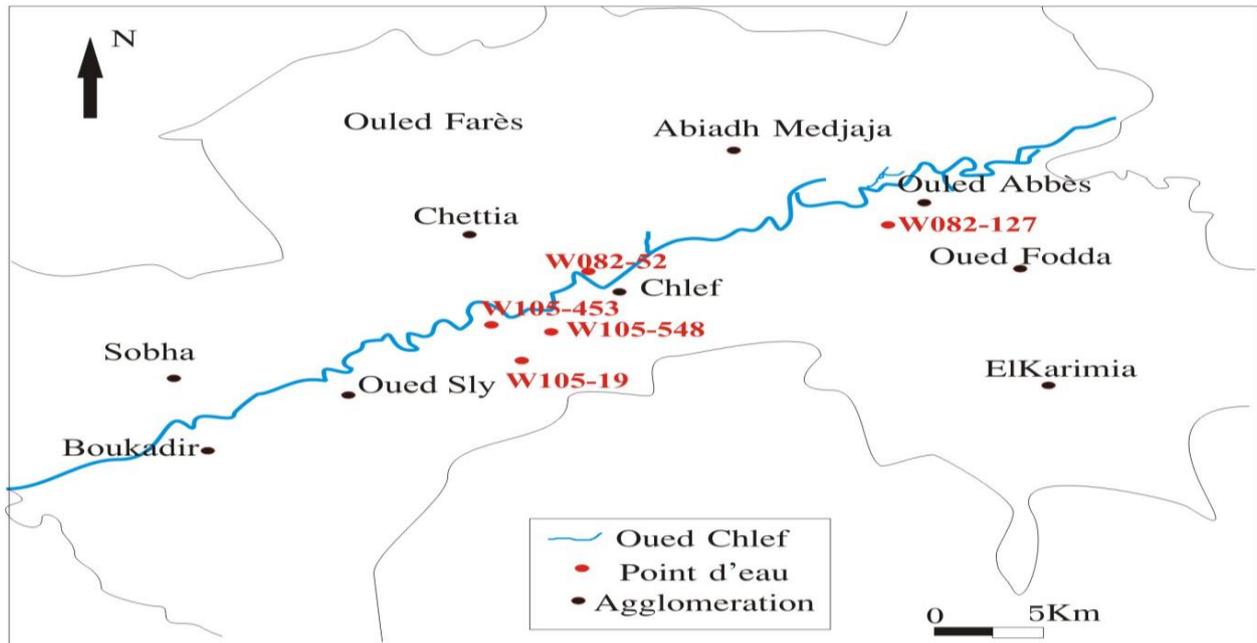
(Tab.12).

<b>Paramètres</b>	<b>Unité</b>	<b>Niveau guide</b>	<b>Concentration maximale admissible</b>
Ph		6.5	9
Conductivité	µs/cm	200	1000
Résidu sec	mg/l	500	1500
Dureté totale	°F	-	50
Calcium	mg/l	75	100
Magnésium	mg/l	50	50
Sodium	mg/l	-	150
Potassium	mg/l	-	12
Sulfates	mg/l	200	250
Chlorures	mg/l	200	600
Nitrates	mg/l	-	50
Nitrites	mg/l	-	0.1
Ammonium	mg/l	-	0.5
Phosphate	mg/l	-	5
Oxydabilité (K, Mn, O4)	mg/l	-	5
Oxygène dissous	mg/l	-	5
Aluminium	mg/l	-	0.2
Température	°C	-	25

**Tab.12:** Normes O.M.S de potabilité.

**III.7. Etude de la pollution par les nitrates des eaux souterraines dans le secteur d'étude :**

Une enquête réalisée par l'ANRH de Blida portant sur les années 2005/2017 sur cinq (05) points (Fig.39).



**Fig.39 :** Carte de situation des points d’eaux contrôlés sur le secteur d’étude.

**III.7.1. Présentation des résultats d’analyse des nitrates :**

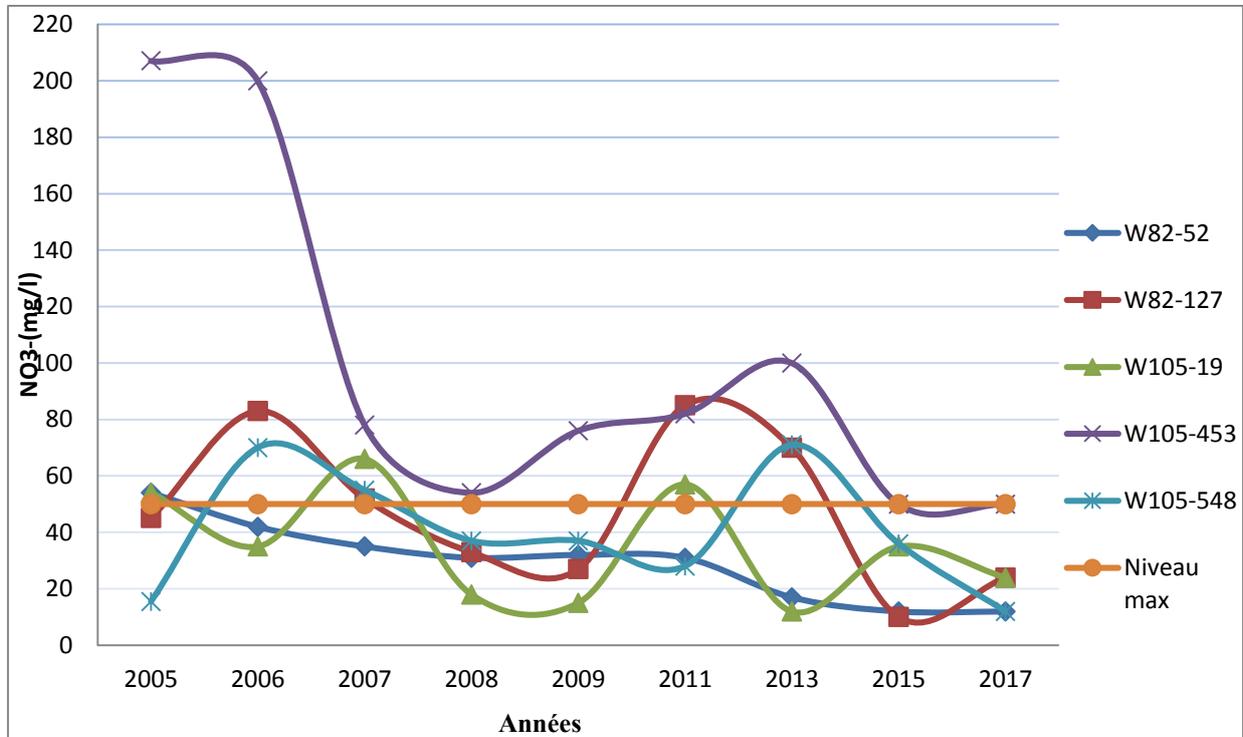
Dans le (Tab.13), nous avons présenté les teneurs en nitrates pour chaque échantillon d’eau souterraine (2005-2017).

Points d’eau	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2013	2015	2017
<b>W82-52</b>	54	42	35	31	32	31	17	12	12
<b>W82-127</b>	45,1	83	52	33	27	85	70	10	24
<b>W105-19</b>	54,1	35	66	18	15	57	12	35	24
<b>W105-453</b>	207,1	200	78	54	76	82	100	50	50
<b>W105-548</b>	15,5	70	55	35	37	28	71	36	12

**Tab.13 :** Résultats d’analyse des nitrates en mg/l (source ANRH, période 2005/2017).

**III.7.2. Evolution des nitrates entre 2005 – 2017(Fig.40) :**

Pour le graphe ci dessous nous avons pris les 05 piézomètres (W105-548, W105-453, W105-19 W082-127, et W082-52) dont les analyses hydro chimiques sont les plus complètes entre 2005 et 2017.



**Fig.40:** Evolution des nitrates période (2005 / 2017).

D’après le graphique, nous remarquons que les teneurs en nitrates dépassent le seuil des 50mg/l pour le piézomètre W105-453durant toute la période2005/2013, après cette date les teneurs sont globalement stabilisées au-dessous du niveau maximum, cela explique que la pollution est due par les produits agricole et les rejets de la zone industrielle d’Oued Sly.

Pour les autres points on remarque une alternance d’augmentation et diminution des teneurs en nitrates durant la période (2005/2017).

La variation brusque des teneurs en nitrate dans cette zone est due essentiellement à l’utilisation des engrais à des fins agricoles.

**III.8- Apports d’azote sur le périmètre de la zone d’étude**

**III.8.1-Apports naturels**

- **Apport d’azote atmosphérique**

Ce sont les apports issus des précipitations. Selon les analyses effectuées par l’ADE Ain Defla en 2003, le taux de nitrate des précipitations tombant sur la plaine du Haut Chélib ne dépasse pas 2 mg/l (Ikhlef, 2008). Ce taux, assez faible n’influençant pas les entrées, devrait

être de même ordre de grandeur pour la plaine du Moyen Chélif Occidental, caractérisée par le même régime pluviométrique.

- **Apport d'azote par minéralisation**

Bien que le rapport C/N (carbone/azote) pour les différents types de sols de la vallée du Chélif (entre 8 et 13) dénote d'une bonne minéralisation, l'apport d'azote par minéralisation reste faible, à cause de la faible teneur en matière organique (< 2%) (Bettahar, 2008).

En absence d'apport de matière organique sur les sols de la zone d'étude, cette dernière continuera à diminuer dans le temps en parallèle avec une augmentation de la vitesse de minéralisation par effet du climat semi-aride. Les deux phénomènes diminuent donc la capacité du sol à fournir de l'azote par minéralisation (Bettahar, 2008).

Ces deux apports (précipitation et minéralisation) semblent négligeables dans la zone d'étude et n'auraient donc pas d'effet sur l'apport des nitrates fourni.

### **III.8.2-Appports anthropiques**

- **Impact de l'activité agricole**

L'azote est l'élément nutritif le plus déficient dans les systèmes de production agricole. La croissance de la plupart des cultures exige l'apport d'azote, particulièrement les variétés modernes à haut rendement. Les sources d'azote pour ces cultures peuvent être :

- Les amendements organiques comme le fumier et les autres déchets ;
- Les engrais azotes.
- Les eaux d'irrigation

Ces derniers donnent naissance aux nitrates par les processus de nitrification qui correspondent à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique  $\text{NO}_3$  (Fig. 38).

- **L'influence de la pollution d'origine domestique et urbaine**

La région d'étude compte plusieurs agglomérations de plus de 142.000 habitants, dont la quasi-totalité possède un réseau d'assainissement de type unitaire ou chaque habitant utilise en moyenne 150 litres d'eau par jour pour les rejeter après dans ces réseaux.

Les agglomérations qui ne sont pas raccordées à un réseau d'assainissement utilisent des fosses septiques individuelles ou collectives.

L'Oued Chélif constitue le principal cours d'eau drainant les eaux de pluie et ces eaux usées domestiques, et tous les rejets urbains y déversent une charge polluante considérable.

Ce collecteur naturel possède des échanges hydrauliques permanents avec la nappe d'eau souterraine, ce qui permet la migration des contaminants vers cette dernière.

Les rejets urbains, qui se déversent dans la plaine sans subir de traitement préalable, sont chargés de matières organiques et produisent des nitrates. Les eaux usées domestiques regroupent les eaux « ménagères » qui représentent les deux tiers du total des eaux usées domestiques contenant notamment des graisses, des savons, des détergents, des matières en suspension et des matières dissoutes organiques ou minérales.

Suite aux analyses effectuées sur les eaux usées des différents rejets d'agglomérations appartenant à notre secteur d'étude, et après la détermination des débits journaliers de ces rejets (valeurs estimées par l'ABH-CZ), on a pu estimer l'apport annuel de nitrates qui se déverse dans la plaine de Boukadir (Tab.14). Cet apport est estimé à 56.434 T/an (sans tenir compte des agglomérations non raccordées aux réseaux d'assainissement).

<b>Agglomération</b>	<b>Taux de Raccordement (%)</b>	<b>(C) moy de NO3- (T/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Débit (m<sup>3</sup> /j)</b>	<b>Volume annuel (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Apport annuel NO3- en T/an</b>
<b>Boukadir</b>	90	0,12.10 <sup>-3</sup>	2528	922720	11.073
<b>Oued Sly</b>	90	0,14.10 <sup>-3</sup>	7776	2838240	39.735
<b>Sobha</b>	60	0,125. 10 <sup>-3</sup>	1233	450045	5.626
Total apport NO3- en T/an					<b>56.434</b>

**Tab.14:** Apport annuel en nitrates provenant des eaux usées domestiques

- **Impact de l'industrie (Fig.41)**

Il ya lieu à signaler que sur notre plaine d'étude est installée une grande zone industrielle celle de Oued Sly. Le volume des eaux usées provenant de cette zone est estimé à 1369.95 m<sup>3</sup>/j. Selon les types des industries pratiqués au sein de la zone, l'apport d'azote produit est très infime (ABH-CZ, 2010).

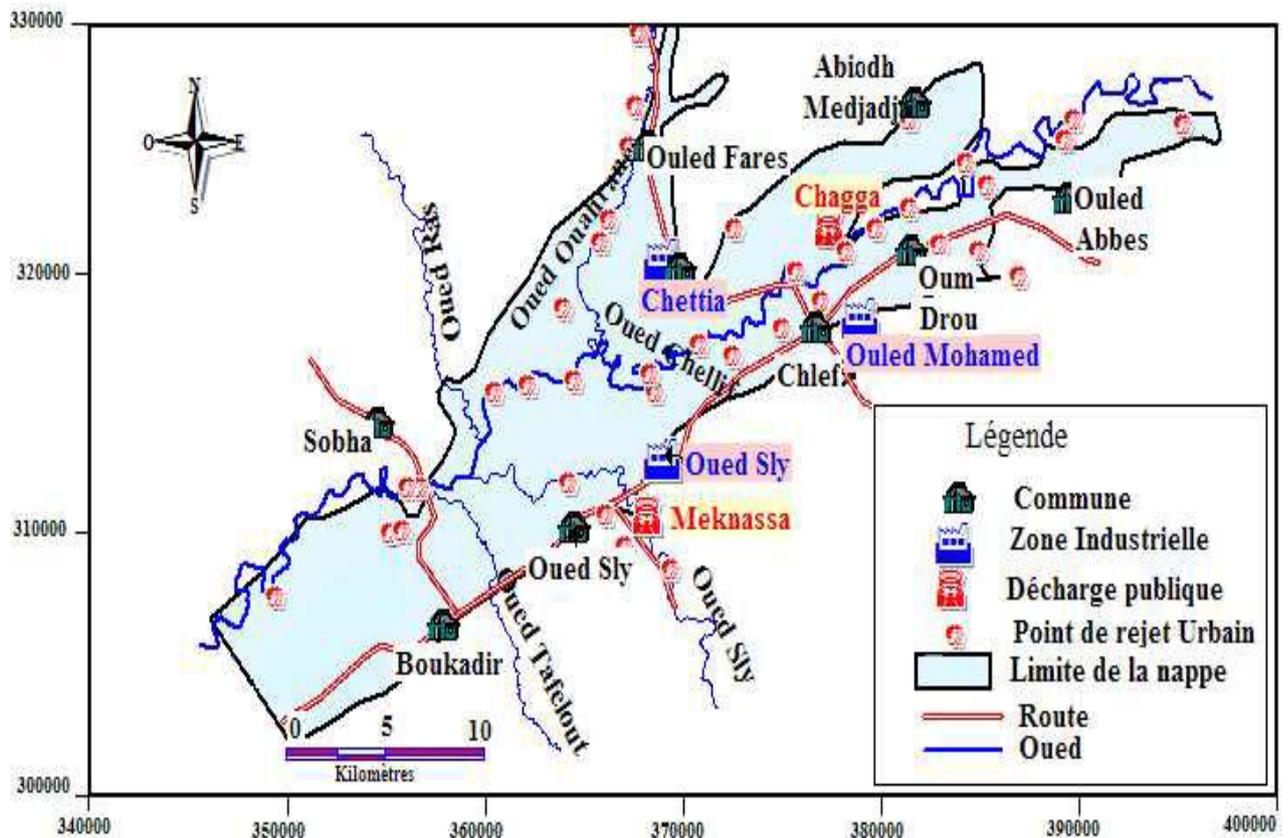


Fig.41: Position des unités industrielles et de rejet urbains (source ABH-CZ).

- **Décharges d’ordures ménagères**

Une autre source de pollution urbaine ne peut être ignorée, c’est celle liée aux décharges d’ordures ménagères. En général, les lixiviats des décharges se composent essentiellement de matière organique, de matières en suspension, d’azote (ammoniaque qui pourrait transformer en nitrates), de métaux lourds, de traces d’hydrocarbures et de divers sels.

Au niveau de la zone d’étude, le centre d’enfouissement technique de (Meknassa) est la plus importante décharge destinée aux déchets solides urbains de la ville de Chlef.

Géographiquement, la décharge de Meknassa se situe à huit (08) kilomètres au Sud- Ouest du chef-lieu de la wilaya de Chlef, sur une plate-forme appartenant a la commune d’Oued-Sly (Fig. n°42).

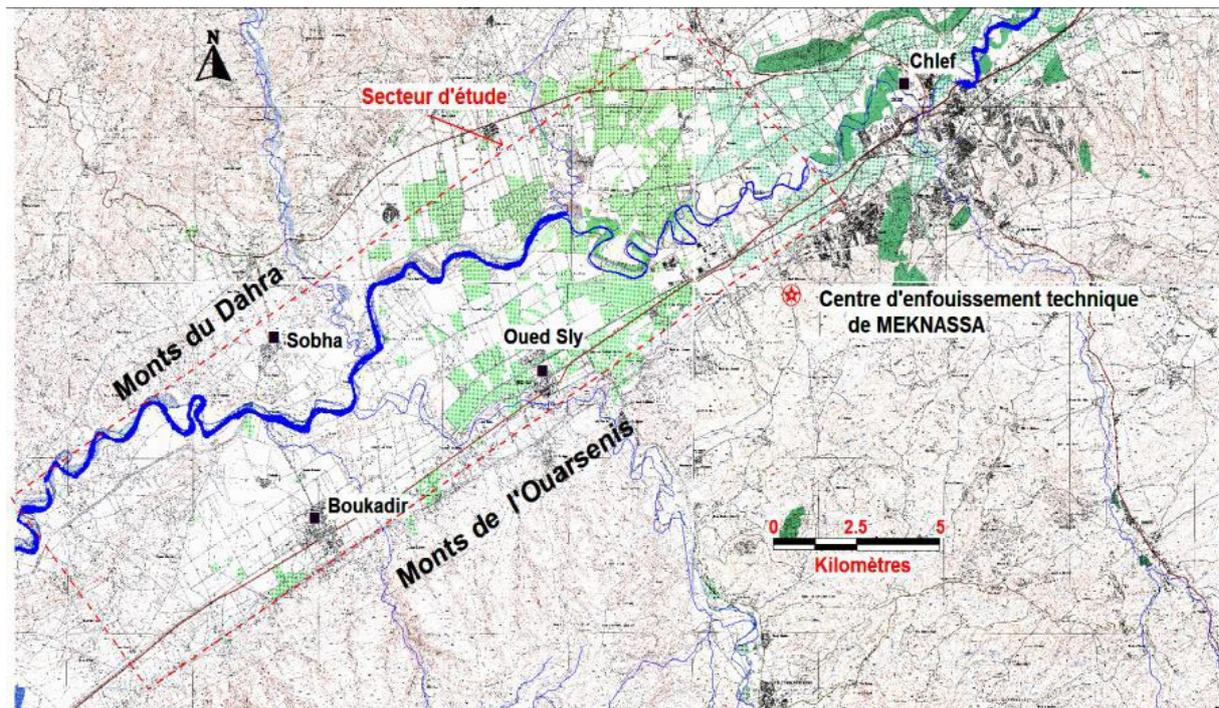


Fig. n° 42 : Situation du centre d'enfouissement technique de Meknassa.

Une étude expérimentale a été menée au sein de la décharge, dans le cadre de la préparation d'une thèse de Magistère au niveau du département de Génie des Procédés par Tahraoui Douma (2006), dont le but est d'analyser le lixiviat produit par percolation dans les déchets de la décharge par détermination de ses caractéristiques physiques et chimiques.

La présence de l'azote, sous ses différentes formes polluantes ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$ ) a été mise en évidence dans le lixiviat. Leurs teneurs moyennes respectives sont 9,5mg/l et 317,5 mg/l. Ce sont des indices révélateurs de leur forte mobilité pour être entrainés vers les nappes, car elles dépassent de loin les concentrations maximales admissibles (CMA) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ou des directives de la comite européenne (CEE).

Toutes formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

Si nous considérons que les caractéristiques de la lixiviation de cette décharge sont typiques à celles de toute autre décharge, nous pourrions, dès lors imaginer les effets négatifs des décharges réparties au sein du secteur d'étude sur la qualité des eaux souterraines.

**III.9. Conclusion :**

La nappe alluviale de Moyen Chélif Occidental se trouve exposée à diverses sources de pollution liées principalement à l'agriculture (la zone est à vocation agricole), à l'élevage aux pratiques urbaines (rejets domestiques, rejets industriels et décharges d'ordures) et aux cimetières.

Les points d'eau échantillonnés sont implantés pour la majorité des cas, dans des zones à cultures céréalières et parfois à cultures maraichères ou arboricole qui rend possible la contamination des eaux souterraines par les nutriments déposées au sol comme fertilisant. La majorité des points d'eau faisant objets d'échantillonnage présentent des teneurs élevées en nitrates dépassant les normes de potabilités (50 mg/l).

L'évolution des concentrations en nitrate pour la période (2005-2017) des eaux de la nappe alluviale traduit une dégradation temporelle progressive de la qualité de ces eaux destinées pour la consommation et/ou pour l'irrigation.

L'évaluation des quantités d'azote déposées au sol selon différentes sources de pollution a montré l'importance de l'influence des engrais azotés et des fertilisants organiques utilisés dans la contamination de la nappe par les nitrates. Les quantités d'engrais azotes apportées semblent irrationnelles.

L'absence de stations d'épuration en aval des unités industrielles et au niveau des points de rejet ne fait qu'accentuer les apports en azote dans les eaux souterraines et superficielles.

### Recommandations :

Pour parer au risque sanitaire présenté par la consommation humaine d'eaux souterraines contenant des quantités élevées en nitrates, certaines actions et mesures de protection devraient être prises par les autorités publiques :

- L'installation d'un réseau d'assainissement efficient sur l'ensemble des secteurs non encore équipés. Le raccordement de l'ensemble des habitations devrait se faire parallèlement à l'éradication des fosses perdues existantes,
- Pour les eaux des puits présentant des quantités élevées en nitrates, il est préférable qu'elles soient destinées à d'autres usages que la consommation humaine,
- La mise en œuvre des périmètres de protection des captages dans les secteurs où cela reste possible.
- Encourager les agriculteurs à améliorer leurs pratiques agricoles, puisqu'un lien significatif a été établi entre la présence de nitrates dans l'eau des puits et la zone d'agriculture intensive. Ce résultat est un avertissement, puisque le seuil qui a été révélé atteste de l'influence indéniable des activités anthropiques.
- Maîtriser le stockage et l'utilisation des matières organiques résultantes de l'élevage animal.
- Arrêter le déversement direct des rejets urbains et industriels au niveau de l'Oued Chélif et ses affluents, en réalisant un traitement préalable de ces effluents avant qu'ils atteignent les oueds et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de l'oued.
- Réétudier l'emplacement des décharges ménagères des agglomérations en les installant loin des zones vulnérables à la pollution, et ce pour éviter leurs effets sur les ressources hydriques.
- Une étude de modélisation des écoulements souterrains est souhaitable pour connaître les mécanismes de transfert des polluants, ce qui peut beaucoup contribuer à la protection de la nappe contre la pollution.
- Comme la nappe Mio-Plio-Quaternaire de Boukadir constitue une importante réserve hydrique actuelle pour la région, il est recommandé de la recharger artificiellement avec les eaux de surface. Ceci pourrait parer au risque de pompages intensifs qui favorise le transfert des nitrates des eaux de la nappe phréatique vers la nappe profonde.

# *Conclusion générale*

### **Conclusion générale :**

La synthèse d'évolution des nitrates dans le Moyen Chélif Occidentales, conditionnée par les données disponibles, que nous avons menée dans le cadre de ce travail permet les conclusions suivantes :

Sur le plan géomorphologique, La région étudiée appartient à trois sous bassins versants de la plaine du Moyen Cheliff : Oued Ras-Ouahrane, Oued Sly et Oued Cheliff- Ouarizane dont les caractéristiques principales traduisent un comportement qui pourraient favoriser l'infiltration des eaux superficielles au détriment du ruissellement.

L'étude hydroclimatologique permet de caractériser les principaux éléments du climat, en revanche, dans toute étude hydrogéologique, dans ce cadre de définir le type de climat par l'étude de température et les précipitations.

L'étude lithostratigraphique complétée par la description structurale a permis de distinguer les formations susceptibles d'être aquifères de celles qui auront un rôle de formations imperméables. Les formations perméables ainsi définies sont :

- Les calcaires à lithothamnium.
- Les grés Astiens marins et les sables dunaires à Hélix.
- Les grés, conglomérats et sables du Villafranchien (couche rouges).
- Les alluvions grossières du Cheliff et de ses affluents ainsi que le complexe quaternaire ancien.

Les formations qui jouent le rôle de substratum imperméable ou de limite étanche correspondent aux marnes bleues du Miocène supérieur et du Pliocène qui affleurent sur les bordures Nord et Sud de la plaine.

Sous l'angle hydrogéologique et après avoir défini les formations susceptibles de constituer des aquifères exploitables, identification fondée sur l'analyse lithostratigraphique et structurale du bassin, nous avons précisé les principales caractéristiques des aquifères en portant un intérêt particulier à la nappe Plioquaternaire afin de mieux comprendre son fonctionnement hydrodynamique.

Au niveau de l'ensemble alluvial du Quaternaire, deux nappes sont reconnues dans la plaine de l'Oued Cheliff, l'une superficielle et l'autre profonde. Elles constituent une seule et même unité hydrogéologique à caractère captif devenant libre sur les bordures de la plaine.

## *Conclusion générale*

---

Les cartes piézométriques (hautes eaux) montrent globalement la même morphologie de la surface piézométrique qui se caractérise par :

- Des écoulements qui s'effectuent des bordures vers l'axe central de la vallée puis prennent une direction Est - Ouest à SE-NW parallèlement à l'axe principal de l'oued Cheliff.
- A l'Est, une pente croissante de la surface piézométrique où la vitesse de circulation de l'eau y est maximale.
- Au Nord - Est, des dépressions hydrauliques liées à des pompages intensifs.
- Au centre de la plaine, un écoulement lent.
- A l'Ouest, un ralentissement (seuil).
- L'existence de dômes piézométriques liés au rehaussement du substratum et au ré infiltration des eaux d'irrigation.
- une alimentation de la nappe alluviale à partir des calcaires à lithothamnium.

L'étude hydrochimique de la nappe alluviale montre que le faciès prédominant des eaux souterraines est de type chloruré. Les eaux sont incrustantes, se classent parmi les eaux dures et ont un degré de potabilité chimique généralement médiocre à passable. Elles acquièrent une potabilité mauvaise à cause de leurs teneurs en nitrates dans les zones agricoles et les régions rurales.

La contamination de la nappe d'eau souterraine par les nitrates est très accentuée a de faibles profondeurs et l'éventualité de la contamination des eaux profondes est envisageable sérieusement, surtout avec l'exploitation systématique actuelle de cette nappe.

L'évaluation des quantités d'azote apporte au sol de différentes sources de pollution a montre l'importance de l'influence directe des engrais azotes et des fertilisants organiques utilises dans la contamination de la nappe par les nitrates. Les quantités d'engrais azotes apportées semblent irrationnelles.

La répartition anarchique des décharges ménagères et l'absence de station d'épuration à l'aval des unités industrielles et au niveau des points de rejet ne font qu'accroître les apports en azote dans les eaux souterraines et superficielles.

## *Références bibliographiques*

---

- **ABH. CZ** : Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Cheliff-Aval du barrage de Boughazoul – première partie : Haut et moyen Cheliff.
- **ANRH. 2004.** - Annuaire Hydrogéologique de la nappe alluviale du haut et moyen Chélif.
- **BETTAHAR N. 2009.** -Pollution d'origine azotée dans les plaines du moyen Chélif .Thèse doctorat, univ –U.S.T.O Oran.
- **BRADAI A. 2006.** - Evolution de la qualité des eaux souterraines de la plaine de moyen Chélif occidental. Application de la géostatique. Thèse. Magister, Univ –khemis-Melliana.
- **BOUCHENOUK I. 2013.-** Processus d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines dans les zones semi –arides, cas de la plaine de Bouadir (Nord-Ouest Algerie). Thèse. Magister, Univ –Oran.
- **CASTANY. G.1982-** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunord. Paris.
- **CHEROUAG B. 2014.-** Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale du Moyen Chélif Occidental. M. Ing Univ- Oran
- **Données :** Office National de Météorologie (ONM) Chlef et Agence Nationale de Ressources Hydraulique de Chlef et de Blida.
- **DR DASS. (2001).** - La qualité des eaux destinées à la consommation humaine” Direction Régionale et Département des affaires sanitaires et sociales de Poitou –Charente, France.
- **EL MEDDAHI Y. 2009.** - Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du moyen Chélif Occidental. Algérie. Thèse Magister. Univ - Chlef.
- **GUICHE S. 2012.** - Contribution à l'étude hydrogéologique de la région comprise entre Oum Drou et Boukadir (Moyen Chélif Occidental).
- **HENNIA K. 2006.** - Contribution à la gestion qualitative des eaux souterraines dans les zones semi-arides Application au moyen Cheliff occidental Thèse Magister. Univ - Chélif.
- **KIRECH O. 1977.** - Etude géologique et structural des massifs de la plaine du Cheliff (Dom, Rouina – Temoulga). Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. - Alger.
- **KOUACHI A. 2016.** -Synthèse hydrochimique et teneurs en nitrates des eaux de trois nappes de la région d'Oran. Thèse Master Univ-Oran.
- **MECHLOUF H; et ZITOUNI N. ; 2013.** - Contribution à l'étude hydrochimique de la nappe du Moyen Chélif occidental.
- **POLVÊCHE J.1960.** - Contribution à l'étude géologique de l'Ouarsenis Oranais.
- **Rapport finale. 2011.** – Mission d'une surveillance de la nappe du moyen Cheliff (ABH-CZ).

## *Références bibliographiques*

---

- **PRADINES D. 1977.-** Etude hydrogéologique du Moyen Cheliff Occidental ; compte rendu de forage.
- **SCHRAMBACH M .1966-** Exploitation et conservation des nappes souterraines des plaines du haut, moyen, le bas Cheliff et la Mina inférieure.
- **Yahiaoui. A et Zaghtou. A (2007).** -Etude hydrochimique des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental. Algérie. Mémoire d'ingénieur Univ-Oran.
- **ZIDANE et ATTOUI. ; 2004.** - Pollution azotée de la nappe alluviale du moyen Chélif occidental.