

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE  
«ARBAOUI Abdellah »**

**DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU**

# **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE.**

**OPTION : Conception Des Systèmes d'Irrigation et de Drainage**

**THEME :**

**ETUDE DU TRANSFERT DES ELEMENTS  
FERTILISANTS ET PHYTOSANITAIRES VERS  
LES EAUX SOUTERRAINES ET L'IMPACT D'UN  
RESEAU DE DRAINAGE SUR LEURS  
CIRCULATION (CAS DU HAUT CHELIFF)**

**Présenté par :  
M<sup>r</sup> : BAKOUKA NAAS**

**Promotrice :  
M<sup>me</sup> D.DJOUJAR**

**Devant le jury composé de :**

**Président : M<sup>r</sup> T. KHETTAL**

**Examineurs : M<sup>me</sup> S. LEULMI**

**M<sup>me</sup> L.S. BAHBOUH**

**M<sup>me</sup> H. BOUCHAMA**

**M<sup>r</sup> M. MESSAHEL**

**Octobre /2011**

## ملخص

عرف حوض شلف الأعلى نموا اقتصاديا ملحوظا. خاصة في قطاع الفلاحة. إلا أن مصادر المياه الحالية المتمثلة في المياه الجوفية تعتبر جد محدودة وذلك راجع لتزايد الطلب على هذه المادة الحيوية. كما إن هذه النشاطات الفلاحية ساهمت بقدر كبير في تدني نوعية هذه المياه .  
إن الاختيار لهذا الموضوع كان من اجل توضيح آليات عمل المياه الجوفية مثل الخصائص الفيزيوكيميائية وتأثيرها على ملوحة المياه.  
بعد تحليل الوضعية الحالية للمياه الجوفية تم تحديد برنامج عمل ومراقبة التغيرات الخصائص والفيزيوكيميائية تلك المتابعة دامت حملتين (أفريل 2010 و أكتوبر 2010).

## RESUME

La plaine des Haut cheliff possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées, à savoir uniquement les eaux souterraines de la nappe Mio-Plio-Quaternaire. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.  
Le choix de ce thème a été guidé par le souci de mieux comprendre les mécanismes de fonctionnement de cette nappe, comme les caractéristiques et physico-chimiques et leur influence sur la salinité des eaux.  
Suite à l'analyse de la situation actuelle de la nappe et de son environnement, un programme d'action a été conçu pour mener un suivi des variations, en fonction de la lithologie et des facteurs climatiques. Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres physicochimiques au cours de deux campagnes (avril 2010 et octobre 2010).

## ABSTRACT:

The plain **high Cheliff** currently has relatively limited water resources  
In recent years, a booming economy, particularly agriculture, has occurred, which caused, firstly, the increasing need for water and caused the other hand, degradation of water quality underground.  
The choice of this line of research has been guided by the desire to better understand the operating mechanisms of this aquifer, hydrodynamic and physico-chemical and its influence on salinity of water.  
After analyzing the current situation of the water and its environment, a program Action has been designed to conduct a follow-up variations, depending on the lithology and climatic factors. We were able to study the evolution of parameters physicochemical during two campaigns (april 2010 and October 2010).

# œ Dédicace œ

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

- Mes Parents, Mes Frères, Mes Sœurs ainsi que toute Ma Famille
- *Mes amis et toutes personnes ayant participés de près ou de loin à ce modeste travail.*

# œ Remerciements œ

Avant tout, je remercie **DIEU** qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

■ Je remercie **MES PARENTS** en premier lieu qui m'on permis et facilité les choses pour accomplir mes études, mes frères, mes soeurs et toutes ma famille.

■ Je remercie fortement mon promotrise : *Madame* **DAHIA DJOUDAR**, de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

*BAKOUKANAAS*



# SOMMAIRE :

Introduction: 1

## Chapitre I

I.1 présentation de la zone.....	1
I.1.1 Les ressources hydriques.....	2
A-Grande hydraulique.....	2
B-Petite et moyenne hydrauliques.....	2
I.2 Description des systèmes d'irrigation utilisés au niveau du haut Chéelif.....	4
I.2.1 Les systèmes d'irrigation.....	4
A-L'irrigation goutte à goutte.....	4
B- L'irrigation par aspersion.....	5
C-Aspersion traditionnelle.....	6
I.2.2 Identification des aires d'irrigation.....	8
I.3 Limites géographiques et géomorphologiques.....	8
I.2.3 Situation géographique.....	11
I.3. Généralités agronomiques végétales.....	13
I.5 Etude de la population et agglomération.....	13
I.6 Réseau Hydraulique Hydrographique.....	13
I.6.1 Description des Ressources hydraulique.....	13
A-Ressources hydraulique superficielles.....	13
B-Ressources hydraulique souterraines.....	14
I.7 Etude des caractéristiques morphologique.....	14
I.7.1 Etude géomorphologiques.....	14
A-Etude Des Paramètres géométriques.....	14
B- Caractéristiques géométriques.....	15
C- Indice de compacité de Gravelius ' $K_c$ '.....	15
D- Rectangle équivalent (dépend de l'indice de compacité).....	15
I.7.2 Caractéristiques du relief.....	15
A-Détermination de la courbe hypsométrique.....	16
B- Altitude moyenne.....	16
C- Temps de concentration des eaux.....	17
D- Vitesse de ruissellement.....	17
I.8 paramètres Hydra-climatologique.....	18
I.8.1 Les températures de l'air.....	19
I.8.2 Etude pluviométrique.....	20
A-Méthode arithmétique.....	20
B-Méthodes des polygones de THIESSEN.....	22
C- Comparaison des résultats.....	24
I.8.3 Etude des vents.....	25
I.8.4 Humidité atmosphérique.....	25
A-Humidité relative.....	25

B- L'humidité absolue .....	26
Conclusion.....	26

## Chapitre II

Introduction.....	27
II.1 Cadre géologique général.....	27
A - Impact de la géologie sur l'hydrologie.....	28
II.2 Cadre local.....	30
II.2.1 Contexte géologique.....	30
II.2.2 Stratigraphie.....	33
A- Le primaire.....	33
B- Le trias.....	33
C- Le Jurassique.....	33
D- Le Crétacé.....	33
E- Le Miocène.....	33
F- Le Mio-Pliocène.....	34
G- Le Pliocène.....	34
H- Le quaternaire.....	37
II.3 Cadre structural.....	37
II.3.1 Tell méridional.....	37
II.3.2 La dépression de haut Chélif.....	38
II.3.3 Tell septentrional.....	38
A- Les calcaires jurassiques.....	38
B- Les aquifères du Miocène.....	38
C- Les aquifères du Pliocène.....	38
D- Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire.....	38
II-4 GEOPHYSIQUE.....	39
II.4.1 ECHELLE DES RESISTIVITES.....	39
II-4.2 INTERPRETATION DES CARTES GEOPHYSIQUES.....	39
A- CARTES DES RESISTIVITES APPARENTES EN LIGNES AB = 300 M... 39	
B- CARTES DES RESISTANCES TRANSVERSALES.....	41
II-4.3 INTERPRETATION DES COUPES GEO-ELECTRIQUES.....	41
A-COUBE GEO-ELECTRIQUE (CA).....	41
II.4.4 COUBE GEO ELECTRIQUE (CL).....	46
Conclusion.....	46

## Chapitre III

Introduction.....	47
III.1 Les mécanismes d'alimentation des nappes.....	47
A-Relation nappe – oued Chélif.....	47

B-Rapport entre les systèmes.....	47
III.2 Apports superficiels.....	47
III.3 Apports souterrains.....	48
III.4 Interprétation des cartes piézométriques.....	49
III.4.1 Haute Cheliff période des hautes eaux 2010 (interprétation).....	49
<b>III.4.2 Haute Cheliff période des basses eaux 2010 (interprétation).....</b>	<b>49</b>
III.4.4 Interprétation de fluctuations piézométriques des hautes Cheliff (2000-2010).....	53
III.5 La qualité d'eau.....	53
III.5.1 Interprétation de la courbe de variation.....	55
III.6 Alimentation de la nappe.....	56
III.6.1 Les sorties de la plaine.....	56
III.6.2 Paramètres hydrodynamiques du système aquifère.....	56
CONCLUSION.....	58

## Chapitre IV

Introduction.....	59
IV.1 Analyse des données chimiques.....	59
IV.1.1 Etude hydrochimique.....	59
IV.2 Analyse des caractéristiques physico-chimiques.....	60
IV.2.1 Paramètres physiques.....	60
A- Le potentiel d'hydrogène (pH).....	60
IV.3 Paramètres chimiques et interprétation des cartes hydrochimiques:.....	61
IV.3.1 Cartes d'isoteneurs $Cl^-$ en Chlorure.....	61
A- Carte de distribution de $Cl^-$ des hautes eaux mai 2010.....	61
B- Carte de distribution période $Cl^-$ des basses eaux octobre 2010 (fig IV.4).....	62
IV.3.2 Cartes d'isoteneurs en Nitrates.....	63
A- Carte de distribution $NO_3^-$ période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.5).....	63
B- B- Carte de distribution $NO_3^-$ période des basses eaux octobre 2010 (fig IV.6).....	63
IV.3.3 Cartes d'isoteneurs en potassium ( $K^+$ ):.....	64
A- Carte de distribution de $K^+$ période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.7) :.....	64
B- B- Carte de distribution de $K^+$ période des basses eaux octobre 2010 (fig IV.8) :.....	64
IV.3.4 Cartes d'isoteneurs en Sulfates :.....	64
A- Carte de distribution de $SO_4^{2-}$ période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.9) :.....	65
B- Carte de distribution $SO_4^{2-}$ période des basses eaux octobre 2010 (fig IV.10) :.....	66
IV.3.5 CARTES D'ISOTENEUR Calcium:.....	67
A- Carte de distribution de $Ca^{++}$ période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.11) :.....	67
B- Carte de distribution de $Ca^{++}$ période des basses eaux octobre 2010 (fig IV.12) :.....	68
IV.3.6 Cartes d'isoteneurs en Bicarbonates :.....	68
A- Carte de distribution de $HCO_3^-$ période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.13) :.....	68

B- Carte de distribution de $\text{HCO}_3$ période des basses eaux 2010 (figIV.14).....	69
IV.4 Classement des eaux souterraines de la nappe alluviale du haut cheliff.....	71
IV.4.1 La classification de l'U.S.S.L.....	71
A- Teneur en sel.....	71
B- Teneur en sodium :.....	72
IV.4.2Interprétation des classes correspondant aux couples risques salins - risques alcalins.....	73
IV.4.3Classification mondiale de la FAO (g/l).....	74
IV.4.4 RISQUE ET MESURE DE L'ALCALINITE.....	74
IV.4.5Les risques liés au sodium .....	77
IV.5Rapport de Todd :.....	77
IV.6Interprétation des cartes de SAR ET DE RAPPORT DU TODD :.....	78
IV.6.1Carte de distribution de SARpériode des hautes eaux mai 2010 et basses eaux 2010(FIGIV.17 ET FIGIV.18) :.....	78
. IV.6.2 Carte de distribution de rapport duTODD période des hautes eaux mai 2010 et basses eaux 2010(FIGIV.19 ET FIGIV.20) :.....	79
IV.7Classification des eaux d'après le diagramme de Piper :.....	81
IV.7.1Classification des eaux d'après le diagramme de Piper haut eaux 2010 .....	81
IV.7.2Classification des eaux d'après le diagramme de Piper basses eaux 2010 .....	81
IV.8 CLASSIFICATION DE SCHÖLLER-BERKALOFF .....	83
IV.8.1Classification des eaux d'après lediagramme de .....	83
SCHÖLLER-BERKALOF hautes eaux et basses eaux 2010 .....	83
Conclusion .....	84

## Chapitre V

Introduction.....	85
V.1Le Bilan Hydrologique.....	85
V.1.2Calcule du bilan hydrique.....	86
A-Calcul de l'évapotranspiration (ETP) par la méthode de Thornthwaite.....	86
B-Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) (d'après Turc).....	86
C-Approche du bilan hydrique.....	87
D-Estimation du ruissellement et de l'infiltration.....	88
V.1.3Détermination de l'infiltration selon Pradines.....	88
V.1.4Comparaison des resultats deux methodes.....	89
V.2Calcule des besoins.....	90

V.2.1	Calcul des précipitations annuelles.....	90
A-	Ajustement à la loi de Gauss.....	91
B-	Determination de l'année de calcul.....	94
C-	Évaluation des besoins.....	94
D-	Calcul des pluies journalières.....	95
V.2.2	Les courbes H.D.F pour le trimestre T.....	100
V.3	Durée De Submersion.....	100
V.4	Les pluies critiques.....	101
V.5	Drainage agricole.....	102
A-	Intérêt.....	102
B-	Effets positifs de l'assainissement du sol.....	102
C-	Causes de l'excès d'humidité du sol.....	102
D-	Présence prolongée d'une nappe.....	102
V.6	Calcul du débit caractéristique du réseau « q <sub>c</sub> ».....	102
V.6.1	Notion de régime permanent et régime variable.....	103
V.6.2	Description des zones à drainer.....	103
V.6.3	Cas où l'excès provient des pluies.....	104
A-	En régime permanent sans tenir compte du stockage.....	104
B-	En régime permanent en tenant compte du stockage.....	105
C-	En régime variable.....	106
V.6.4	CAS OU L'EXCES PROVIENT DE L'IRRIGATION.....	106
V.6.5	Récapitulation.....	107
V.7	Calcul des écartements des drains "E".....	107
A-	La formule de Hooghoutt : (régime permanent).....	108
B-	La formule de Glover - Dum : (régime variable).....	108
V.7.1	Choix de la profondeur des drains.....	109
V.7.2	Résultats et calculs.....	109
A-	En régime permanent.....	109
Conclusion	.....	111

## Chapitre VI

Introduction	.....	112
VI.1	définition de vulnérabilité des haut Chélif.....	112
VI.2	l'évaluation des outils de caractérisation de la vulnérabilité.....	113
VI.3	Description des méthodes.....	114
VI.3.1	Albinet et Margat (1970).....	114
VI.3.2	BRGM (1971-1983).....	114
VI.3.3	Parascandola (1980).....	115
VI.3.4	La méthode Wipp (environnement Ontario, 1982).....	115
VI.3.5	Environnement Québec Cormack (1985).....	115
VI.3.6	La méthode NRA (National Rivers Authority, 1992).....	115
VI.4	Les méthodes axées sur un système de cotation numérique.....	116
VI.4.1	Silka et Swearigen.....	116
VI.4.2	Union Carbide (1982).....	116
VI.4.3	La méthode DRASTIC (NWWA, 1985).....	117

VI.4.4	Méthode PRAST (Lallemand-Barres, 1989).....	117
VI.5	Les méthodes axées sur la caractérisation des rejets ponctuels.....	118
VI.5.1	JRB associates ( 1982).....	118
VI.5.2	La méthode de Legrand (1983).....	118
VI.5.3	La méthode du BRGM (1990).....	119
VI.6	Les méthodes générales ou mixtes.....	119
VI.6.1	La méthode de Vierhuff (1981).....	119
VI.6.2	La méthode de Villusmen et Sonderskov (1982).....	119
VI.6.3	La méthode de Haertlé (1983).....	119
VI.7	Choix des méthodes adaptables aux conditions hydrogéologiques des haut chelif.....	120
VI.8	Aspects théoriques et pratiques de la méthode PRAST.....	121
VI.8.1	Les paramètres PRAST.....	122
VI.8.2	Méthode utilisée pour l'estimation du pouvoir épurateur p.....	122
VI.8.3	Construction de la carte de vulnérabilité prast.....	123
VI.8.4	Cartographie Assistée par Ordinateur(FIG :VI.2).....	124
VI.9	Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale des haut chélif.....	125
VI.9.1	Aplication dans notre cas.....	125
VI.9.2	Résultat et interprétation des cartes thématiques.....	125
	A-Pouvoir épurateur du sol « P ».....	125
	B-Recharge nette(R).....	126
	C-Nature du matériel aquifère(A).....	126
	D-Type de sol(S).....	127
	E-Topographie.....	128
VI.10	Interpretation des cartes.....	135
	A-Paramètre «p»pouvoir épurateur(FIGVI.3).....	135
	B-Paramètre «R» recharge nette(FIGVI.4).....	135
	C-Le paramètre « A » nature du matériel aquifère(FIGVI.5).....	135
	D-Le paramètre « S » Nature du sol (FIGVI.6).....	135
	E-Le paramètre «T » topographie (FIGVI.7).....	136
VI.10.1	Carte de la vulnérabilité PRAST.....	136
	A-Interprétation de l'indice PRAST.....	136
	a- Unité hydrogéologique : 2A (124 – 127).....	137
	b-Unité hydrogéologique : 2B (99 – 124).....	137
	c-Unité hydrogéologique : 2C (83 – 99).....	137
	Conclusion.....	138

## Liste des tableaux :

<b>Tableau I.1</b> : les potentialités hydrauliques des haut chélif.....	2
<b>Tableau I.2</b> :les ressources des grands barrage.....	2
<b>Tableau I.3</b> : définition des aires d'irrigation.....	8
<b>Tableau I.4</b> :Evolution de population(2000-2010).....	13
<b>Tableau I.5</b> : Oueds régularisées et non régularisées.....	13
<b>Tableau I.6</b> : Les barrages en exploitation.....	14
<b>Tableau I.7</b> : Les principales nappes d'eaux souterraines.....	14
<b>Tableau I.8</b> : Répartition hypsométrique du bassin versant.....	16
<b>Tableau I.9</b> : Caracteristiques morphologiques du bassin verant de Haut Chelif.....	18
<b>Tableau I.10</b> : Les températures moyennes mensuelles maximales, minimales et annuelles pour la station de Barrage Harraza. (Période 1986/2010).....	19
<b>Tableau I.11</b> : Précipitation moyenne annuelle consternant des Stations pluviométriques signifie le bassin du haut Chélif (Période 1986-2010).....	22
<b>Tableau I.11</b> : Résultats de la précipitation moyenne annuelle obtenue par la méthode des polygones de Thiessen.....	24
<b>Tableau I.12</b> : comparaison des résultats obtenus par trois méthodes.....	24
<b>Tableau I.13</b> : Fréquence des vents (m/s) à barrage Harraza (1986-2010).....	25
<b>Tableau II.1</b> .Caractéristiques lithologiques de quelques bassins du Cheliff (Zaybek .O,2008).....	29
<b>Tableau II.2</b> : Echelle des résistivités (d'après la C.G.G.1969).....	39
<b>Tableau III.1</b> : representative de la conductivité électrique (station bourg emir aek).....	53
<b>Tableau III.2</b> : points d'eau et leur pourcentages d'facies chimique.....	54
<b>Tableau III.3</b> : DES MOYENS DES CATION ANIONS (haut chelliff 2010).....	55
<b>Tableau III.4</b> : Tableau récapitulatif des caractères des ouvrages de captage.....	57
<b>Tableau III.5</b> : Résultats des paramètres hydrodynamiques de la nappe du Haut Chélif.....	57
<b>Tableau IV.1</b> :Classification des eaux basée sur les valeurs de PH.....	62
<b>Tableau IV.2</b> : problème potentiel d'infiltration du au sodium dans l'eau d'irrigation.....	77
<b>Tableau V.1</b> : Calcul de l'ETP selon la méthode de Thornthwaite, application à la station du Harreza Barrage (période : 1986-2010).....	97
86	
<b>Tableau V.2</b> : Bilan hydrique de Thornthwaite ; application à la station de Harreza Barrage. (Période : 1986-2010).....	87
<b>Tableau V.3</b> : Moyennes des précipitations et des températures selon différents auteurs...	88
<b>Tableau V.4</b> : Calcul de l'infiltration selon Pradines (1971).....	89
<b>Tableau V.5</b> : Tableau récapitulatif des résultats des deux méthodes.....	89
<b>Tableau V.6</b> : Ajustement à une loi de Gauss.....	92
<b>Tableau V.7</b> : Précipitation de l'année de calcul(haut barrage de harazza 1986-2010).....	94
<b>Tableau V.8</b> :répartition des cultures dans la parcelle.....	94
<b>Tableau V.9</b> :les besoins en eau des cultures en (mm/mois) dans barrage harraza.....	95

<b>Tableau V.10:</b> des pluies maximales pour le trimestre I.....	96
<b>Tableau V.11:</b> des pluies maximales pour le trimestre II.....	97
<b>Tableau V.12:</b> des pluies maximales pour le trimestre III.....	98
<b>Tableau V.13:</b> des pluies maximales pour le trimestre T.....	99
<b>Tableau V.14 :</b> ajustement des courbes H-D-F.....	100
<b>Tableau V.15 :</b> paramètres usuelles des cultures.....	101
<b>Tableau V.16 :</b> différentes valeurs de $q_c$ .....	107
<b>Tableau V.1 :</b> interprétation pratique des classes relatives de vulnérabilité à la pollution...	113
<b>Tableau VI-2 :</b> Symbole de classification de la perméabilité des terrains.....	120
<b>Tableau VI-3 :</b> Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice PRAST....	124
<b>TableauVI.4 :</b> Unités et sous-unités hydrogéologiques et leurs indices de vulnérabilité PRAST.....	137



## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Carte des ressources en eau.....	3
<b>Figure I.2</b> : schéma des systèmes d'irrigation dans les haut chélif.....	4
<b>Figure I.3</b> : photos des systèmes d'irrigation modernes.....	7
<b>Figure I.4</b> : Station actuelle des sols irrigués dans les haut Chélif.....	9
<b>Figure I.5</b> : Carte de Situation du Bassin Versant du Cheliff.....	10
<b>Figure I.6</b> : description géographique du haut Chélif.....	11
<b>Figure I.7</b> : Situation des sous bassins et le réseau hydrographique du haut Chélif.....	12
<b>Figure I.8</b> : Courbe hypsométrique représentatives du haut Chélif.....	17
<b>Figure I.9</b> : Répartition de la température de la station de barrage Harraza (1986-2010).....	19
<b>Figure I.10</b> : Carte de situation des stations pluviométriques.....	21
<b>Figure I.11</b> : Carte d'étude des polygones de THEISSEN.....	23
<b>Figure I.12</b> : Fréquence de vent à barrage de Harrza (1986-2010).....	25
<b>Figure II.1</b> : Schéma simplifié de la structure du bassin du Chélif.....	27
<b>Fig.II.2</b> : Carte géologique synthétique de la plaine du Haut Chélif.....	31
<b>Fig.II.3</b> : Coupe géologique à travers le bassin du Haut Cheliff.....	32
<b>Figure II.4</b> : log litho stratigraphique de la région du haut cheliff.....	35
<b>Figure II.5</b> : Extrait de la carte Hydrogéologique de la région d'Alger –publiée en 1973 par l'ANRH.....	36
<b>Fig.II.6</b> : Carte de résistivité apparentes en ligne AB = 300 m dans la plaine du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1989).....	40
<b>Fig.II.7</b> : Carte des résistances transversales des alluvions de la nappe du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1989).....	42
<b>Fig.II.8</b> : Carte des résistances transversales des gés du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1969).....	43
<b>Fig. II.9</b> : Coupe géo-électrique (CA) à travers la plaine du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1989).....	44
<b>Fig. II.10</b> : Coupe géo-électrique (CL) à travers la plaine du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1989).....	45
<b>Figure III.1</b> : Carte piézométrique de la nappe du haut Cheliff hauts eaux(2010).....	50
<b>Figure III.2</b> : carte piézométrique de la nappe du haut Chélif basses eaux (2010).....	51
<b>Figure III.3</b> : Carte de fluctuation de niveau piezometrique de la nappe da haut cheliffe (2000-2010).....	52
<b>Figure III.4</b> : courbes de variation de ( $Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}$ ) du haut Cheliff(2010).....	55
<b>Figure IV.1</b> : Domaine de variation du pH des échantillons analysés (Campagne: MAI, 2010).....	60
<b>Figure IV.2</b> : Domaine de variation du pH des échantillons analysés (Campagne: OCTOBRE	60
<b>Figure : IV.3</b> : Carte de distribution de chlorure dans les hauts Chélif (hauts eaux 2010).....	62
<b>Figure : IV.4</b> : Carte de distribution de chlorure dans les hauts Cheliff (basses eaux 2010).....	62

<b>Figure IV.5</b> : Carte de distribution de nitrates dans les hauts Chélif (haut eaux 2010).....	63
<b>Figure IV.6</b> : Carte de distribution de nitrates dans les hauts Chélif (basses eaux 2010).....	64
<b>Figure IV.7</b> : Carte de distribution de potassium dans le haut Chélif (haut eaux 2010).....	65
<b>Figure IV.8</b> : Carte de distribution de potassium dans les hauts Chélif (basses eaux 2010).....	66
<b>Figure IV.9</b> : Carte de distribution de $SO_4$ dans les haut Chélif (haut eaux 2010).....	66
<b>Figure IV.10</b> : Carte de distribution de $SO_4$ dans les haut Chélif (basses eaux 2010).....	67
<b>Figure IV.11</b> : Carte de distribution de CA dans les haut Chélif (haut eaux 2010).....	68
<b>Figure IV.12</b> : Carte de distribution de CA dans les haut Chélif (basses eaux 2010).....	69
<b>Figure IV.13</b> : Carte de distribution de $HCO_3$ dans les haut Chélif (haut eaux 2010).....	70
<b>Figure IV.14</b> : Carte de distribution de $HCO_3$ dans les haut Chélif (basses eaux 2010).....	70
<b>Figure IV-15</b> : Classification des eaux d'irrigation selon l'U.S.S.L.....	73
<b>Figure IV-16</b> : Abaque donnant l'E.S.P en fonction du S.A.R.....	76
<b>Figure IV.17</b> : Carte de distribution du SAR dans les hauts Chélif (haut eaux 2010).....	78
<b>Figure IV.18</b> : Carte de distribution du SAR dans les hauts Chélif (basses eaux 2010).....	79
<b>Figure IV.19</b> : Carte de distribution du rapport de Todd sur le plein haut Chélif (haut eaux 2010).....	80
<b>Figure IV.20</b> : Carte de distribution du rapport de Todd sur le plein haut Chélif (basses eaux 2010).....	80
<b>Figure IV.21</b> : Diagramme de piper hauts eaux 2010 .....	82
<b>Figure IV.22</b> : Diagramme de piper basses eaux 2010.....	82
<b>Figure IV.23</b> : Diagramme de Choeller (hautes eaux 2010).....	83
<b>Figure IV.24</b> : Diagramme de Choeller (basses eaux 2010).....	84
<b>FIGUREV.1</b> : ajustement à la loi normale.....	93
<i>FigureV.2.</i> : Photo de logiciel de calcul (CROPWAT 8).....	94
<b>FIGUREV.3</b> : courbes H.D.F pour trimestre T.....	100
<b>FIGVI.1</b> : Classification des méthodes selon le teste Frechet (1987).....	121
<b>FIGVI.2</b> : carte synthétique de vulnérabilité obtenue à partir des cartes indicelles.....	125
<b>FIGVI.3</b> : carte du paramètre (P) pouvoir épurateur.....	129
<b>FIGVI.4</b> : carte du paramètre R recharge de la nappe.....	130
<b>FIGVI.5</b> : carte du paramètre A matériel aquifère.....	131
<b>FIGVI.6</b> : carte du paramètre S nature du sol.....	132
<b>FIGVI.7</b> : carte du paramètre T topographie.....	133
<b>FIGVI.8</b> : carte de la vulnérabilité PRAST.....	134
<b>FIGVI.9</b> : diagramme de vulnérabilité (PRAST).....	135

# Introduction

## INTRDUCTION GENERALE

L'alimentation en eau potable est souvent assurée par l'exploitation des eaux souterraines, ces dernières constitue une ressource économique importante et un patrimoine écologique sensible qu'il importe de gérer et de préserver.

Les eaux de surface est même souterraine sont exposé a toutes formes de pollution constitue un risque permanent de limitation de cette ressource.

Les eaux d'irrigation proviennent des nappes, qui contiennent d'appréciables quantités de substances chimiques en solution susceptibles de réduire les rendements des cultures et de détériorer la fertilité des sols. En plus des sels dissous, problème majeur récurrent depuis des siècles, l'eau souterraine est exposée à plusieurs formes de pollution qu'elle soit d'origine urbaine, agricole, industrielle ou simplement accidentelle. Cette pollution constitue un risque permanent de détérioration de la qualité de cette eau.

L'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation dépend des paramètres physico-chimiques, qui pourraient avoir un impact sur les sols, les plantes et l'environnement.

Dans ce travail les eaux souterraines du bassin du Haut Chélif seront étudiées et classées selon les normes d'aptitude à l'irrigation imposées par la FAO.

La cartographie de la vulnérabilité des eaux destinées à l'irrigation fera l'objet principal de notre étude. Plusieurs index seront pris en considération afin de pouvoir procéder à un classement objectif de la qualité des eaux utilisées. Ce qui nous permettra d'émettre des recommandations aux décideurs du domaine des ressources en eau et de l'agriculture.

Une étude hydrologique qui traite les caractéristiques géomorphologique et climatiques de la plaine et la détermination du bilan hydrologique qui influe directement sur la ressource hydrique du point de vue quantité.

Une étude géologique de la région ou l'on décrira la stratigraphie et la structure de la plaine, ainsi nous localiserons les réservoirs susceptibles d'être aquifère, une étude par l'établissement de la carte piézométrique pour indiquée la direction d'écoulement générale et local et par l'interprétation des pompages afin d'estimer les caractéristiques hydrodynamique a savoir transitivity le coefficient de emmagasinement et de coefficient de perméabilité.

Une étude hydro chimique qui donne la répartition spatial de la teneur des éléments chimique contenue dans l'eau des différent points sont present en considération afin de distinguer les zones qui présentent un excès ou une évolution anormale de certains éléments chimiques

En va appliquer une méthode de calcul de vulnérabilité qui détermine le taux de pollution dans la nappe alluviale des Haut Cheliff qui s'appelle la méthode PRAST

Et enfin nous allons terminer par le dimensionnement de certains paramètres d'un réseau de drainage dans un périmètre se situant à la proximité du Barrage Harraza.

# **CHAPITRE 1 :**

## ***DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE***

## Introduction:

L'Etat a tracé un programme de développement agricole et rural, afin d'assurer la sécurité alimentaire ou du moins réduire la facture d'importation. Pour ce faire, des contrats de performance ont été élaborés afin de concrétiser les objectifs assignés ; ces derniers consistent dans le développement de plusieurs filières, notamment celles stratégiques en l'occurrence la céréaliculture, pomme de terre, lait et oléiculture.

Ces filières nécessitent des ressources en eaux très importante d'où l'élaboration d'une stratégie de l'eau visant à développer les superficies irriguées tout en utilisant la ressource à bon escient.

### I.1 présentation de la zone :

La plaine centrale du Haut Cheliff occupant une superficie de 20.000 ha équipée et classée (Irriguée à partir des barrages du Ghrib et de Deurdeur ) et 8500 ha (Périmètre El –Amra-El-Abadia)irriguée à partir des barrages de Rouina et de Arib. Une agriculture semi intensive à intensive est pratiquée dans cette plaine: céréaliculture, fourrages, maraîchage, arboriculture, agrumiculture cultures industrielles et élevage laitier.

\* Superficie totale de la zone: 426.000 ha

\* Superficie agricole totale : 235.611 ha (soit 51.57 % de la station)

\* Superficie agricole utile : 181.676 ha (dont 39.600 ha irrigués en moyenne, soit 22% de la sau)

Le fleuve du haut Chélif c'est la source la plus importante qui traverse deux wilayas (AIN DEFLA.CHELLIF) d'un cours plus long fait un drainage d'une grande partie des hauts palataux

**I.1.1 Les ressources hydriques :**

Ont fait dessiner la carte de la (figure.I.1) qui représente les grandes et les petits moyens hydraulique.

**A-Grande hydraulique :**

Les potentialités hydrauliques des haut Chélif se résument en cinq (05) grands barrages distingue dans le (tableau I.1) Le quota alloue a l'agriculture pour desservir les deux périmètres (khemis et Amra –Abadia) est de l'ordre de 100Hm<sup>3</sup> courant l'année 2010.

**TABLEAU I.1 :** les potentialités hydrauliques des haut chélif

Appellation du Barrage	Capacité Théorique (HM <sup>3</sup> )
<i>GHRIB</i>	115
DEURDEUR	105
HERRAZA	76
OULED MELLOUK	119
SID AHMED BENTAIBA	75

**B-autres ressources hydriques**

Outre les ressources en eau provenant des grands barrages, la Wilaya dispose d'autres ouvrages mobilisant les eaux pour l'irrigation présentée dans le (tableauI.2)

**TABLEAU I.2 :** autres ressources hydriques

Type	Nombre	Volume (HM <sup>3</sup> )	Superficie
<b>Forages</b>	1155	114	23100
<b>Puits agricoles</b>	2650	14,8	2600
<b>Retenues collinaires</b>	05	4,78	600
<b>Sources</b>	455	1,40	200
<b>Pompage au fil de l'eau</b>	1150	58	7630

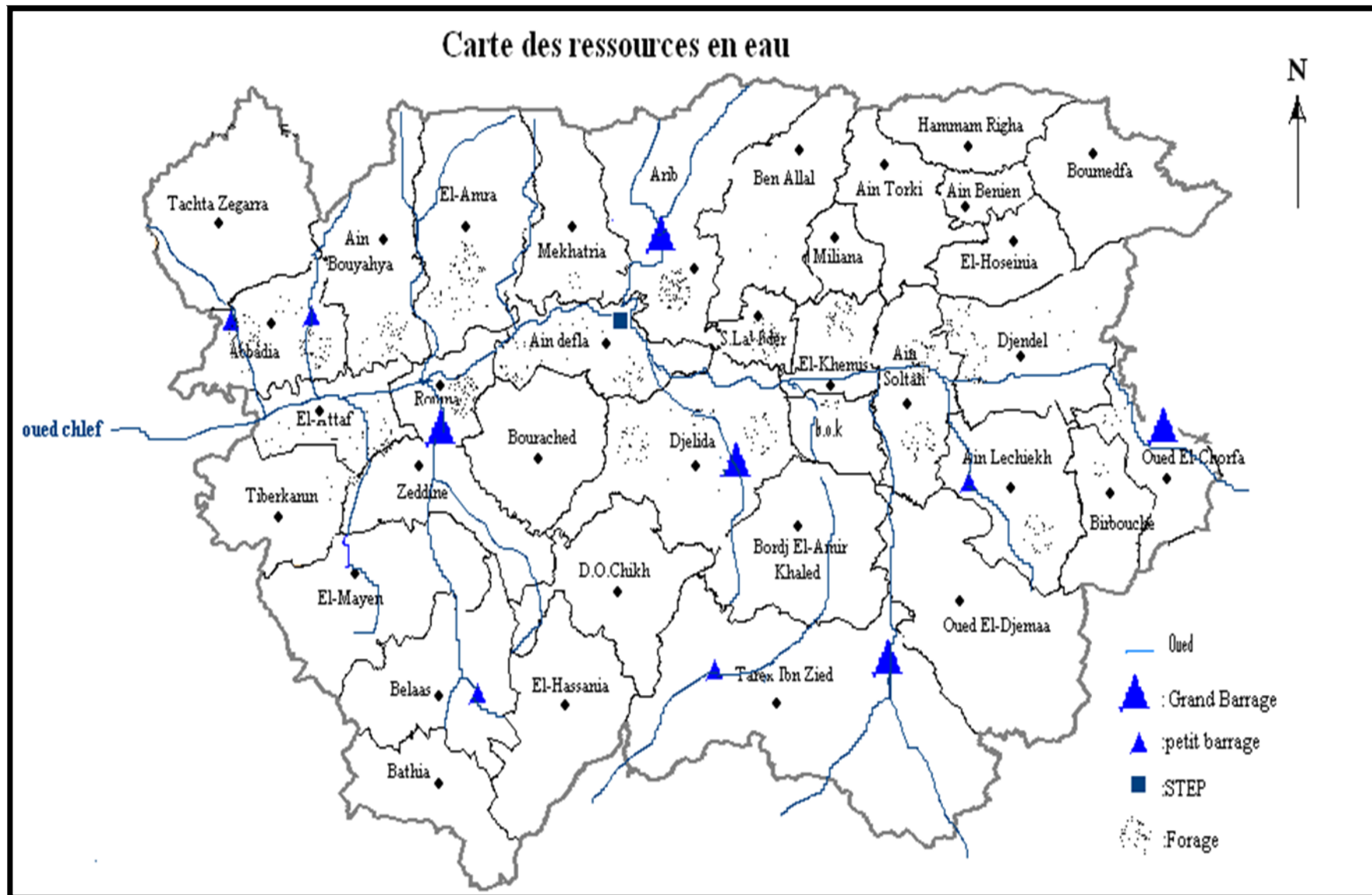
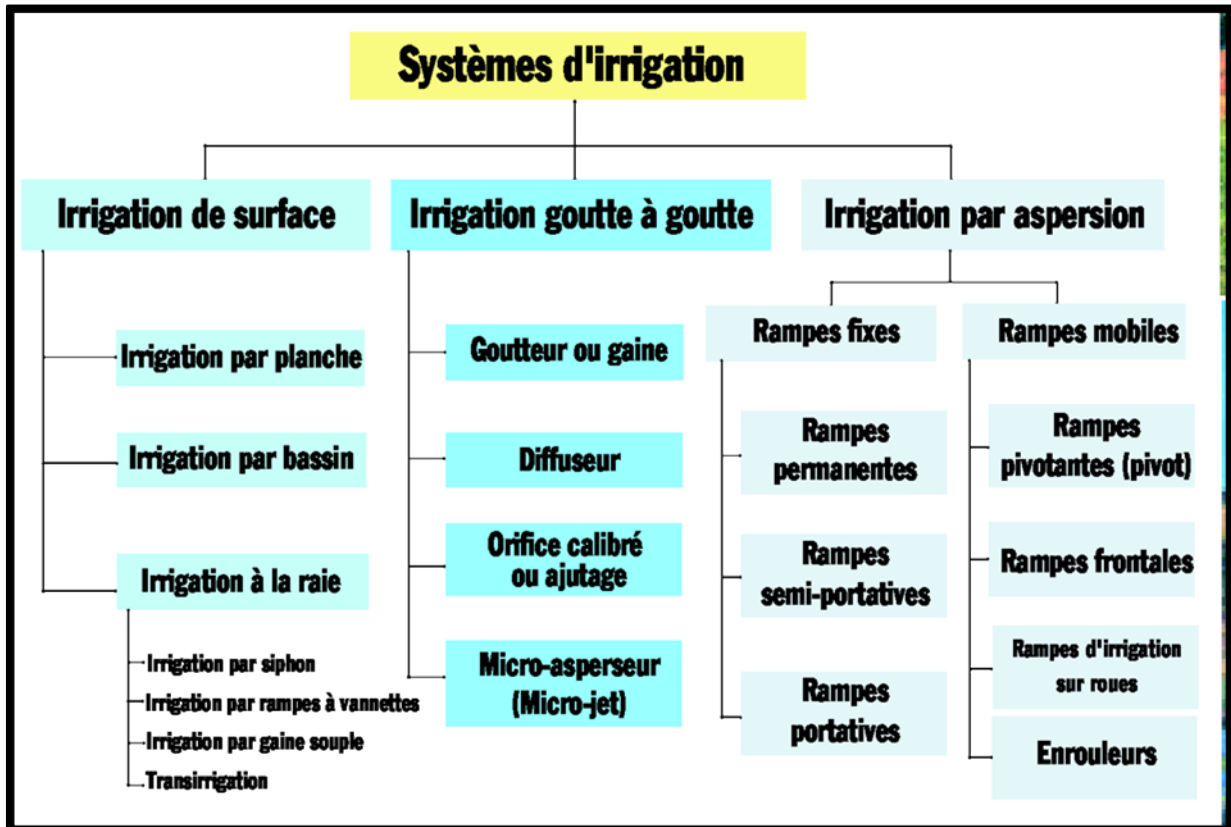


Figure I.1 : Carte des ressources en eau



I.2 Description des systèmes d'irrigation utilisés au niveau des haut Chélif :

On obtient par une enquête faite dans la plaine haute Chélif le schéma des systèmes d'irrigation On constate la (figI.2) ci dessous :



DSA (ain defla)

FIGI.2 : schéma des systèmes d'irrigation dans les haut Chélif

I.2.1 Les systèmes d'irrigation :

On distingue deux modes d'irrigation essentielle dans la zone d'étude et ont a des exemplaires d'irrigation distingue par les photos de la (figI.3) des systèmes modernes utilisés en europe.

A-L'irrigation goutte à goutte :

Dans l'irrigation goutte à goutte, l'eau est livrée à la plante a faible dose entrainant ainsi l'humidification d'une fraction du sol Ceci permet de Limiter les pertes par évaporation et percolation. Elle permet aussi de réduire le développement des mauvaises herbes. Elle met également en œuvre des équipements fixes et légers. Dans la plupart des cas, elle exige une automatisation à travers des contrôleurs associés a des vannes volumétriques et/ou hydrauliques et des électrovannes.

Les avantages et les inconvénients de l'irrigation goutte à goutte :

**a-Les avantages :**

- Économie d'eau
- Faibles pressions pour les goutteurs
- Irrigation fréquente
- Le feuillage n'est pas lavé
- Accès plus facile à la parcelle - possibilité d'automatisation - économie en main d'œuvre
- Irrigation des terrains accidentés
- Succès pour les sols lourds (2 à 4 cm/h) et sols légers (>50 cm/h)

**b-Les inconvénients :**

- Sensibilité à l'obstruction (sable, limon, matière organique, gel bactérien, précipitation d'engrais, présence du fer...)
- Salinisation (prévoir des lessivages)
- Développement racinaire des cultures limité

**B- L'irrigation par aspersion**

L'irrigation par aspersion est recommandée dans les cas suivants:

-Sols de faible profondeur, ne pouvant être correctement nivelé pour une irrigation de surface, tout en conservant une profondeur suffisante;

-Sols trop perméables, qui ne permettent pas une répartition uniforme de l'eau dans le cadre d'une irrigation avec ruissellement en surface;

-Terrains à pente irrégulière avec microrelief accidentés, ne permettant pas l'établissement d'une desserte gravitaire à surface Libre.

-Par contre, elle est à écarter dans les régions très régulièrement ventées (les vents supérieurs à 4 ou 5 m/s dégradent considérablement l'homogénéité de l'arrosage) et aussi lorsque l'irrigation se fait avec l'eau salée sur des plantes au feuillage sensible au sel.

-Une installation d'irrigation sous pression est généralement composée d'un équipement fournissant la pression nécessaire à son fonctionnement, d'appareils de mesure et de contrôle de débit, et d'une conduite principale amenant l'eau jusqu'aux conduites secondaires et tertiaires. D'autres éléments peuvent être utilisés, notamment un filtre ou une batterie de filtres et un dispositif d'adjonction d'éléments fertilisants.

-La considération des facteurs suivants est nécessaire à la conduite d'un projet de dimensionnement de tout système d'irrigation sous pression:

a) la dimension et la forme de la surface à irriguer, sa topographie et le type du sol

b) les sources d'eau disponibles ou potentielles et leurs caractéristiques.

c) Les conditions climatiques dans la région, l'accessibilité à la parcelle et la culture à irriguer.

**C-Aspersion traditionnelle :**

Les arroseurs utilisés en agriculture sont à rotation lente. Cette rotation est obtenue par le va-et-vient d'un bras de levier qui porte un seul aubage et qui oscille sous l'impact d'un jet qui s'échappe d'une buse. Les petits arroseurs ont des buses de 4 à 7 mm de diamètre. La portée de leur jet est relativement faible, leur pression de service se situe entre 2,5 et 3,5 bars et les gouttelettes d'eau obtenues sont de petite taille. Les arroseurs moyens ont des buses de 8 à 14 mm de diamètre et nécessitent une pression de service d'au moins 4 bars.

Les grands arroseurs ont des buses de 15 à 25 mm de diamètre et fonctionnent à des pressions d'au moins 4,5 bars. Ils ont une pluviométrie horaire élevée et conduisent à la formation de grosses gouttelettes. La taille des gouttelettes ne doit occasionner aucun dommage ni au sol, ni à la culture.

Une augmentation de la pression s'accompagne normalement d'une réduction de la taille des gouttelettes. L'angle idéal d'inclinaison par rapport au plan horizontal est de 32° en conditions calmes. Les perturbations causées par le vent sont influencées par le montant sur lequel repose l'arroseur ainsi que l'angle de projection du jet d'eau. La plupart des arroseurs moyens à usage agricole ont des angles compris entre 25 et 26°, alors que ceux des grands arroseurs se situent entre 23 et 24°. fonctionnement.



Figure I.3 : photos des systèmes d'irrigation modernes

**I.2.2 Identification des aires d'irrigation:**

La carte si dessous délimite les périmètres à irriguer actuelle (Figure I.4) et le( tableauI.3)  
Présente les aires d'irrigation dans les haut chélif

**Tableau I.3 : définition des aires d'irrigation**

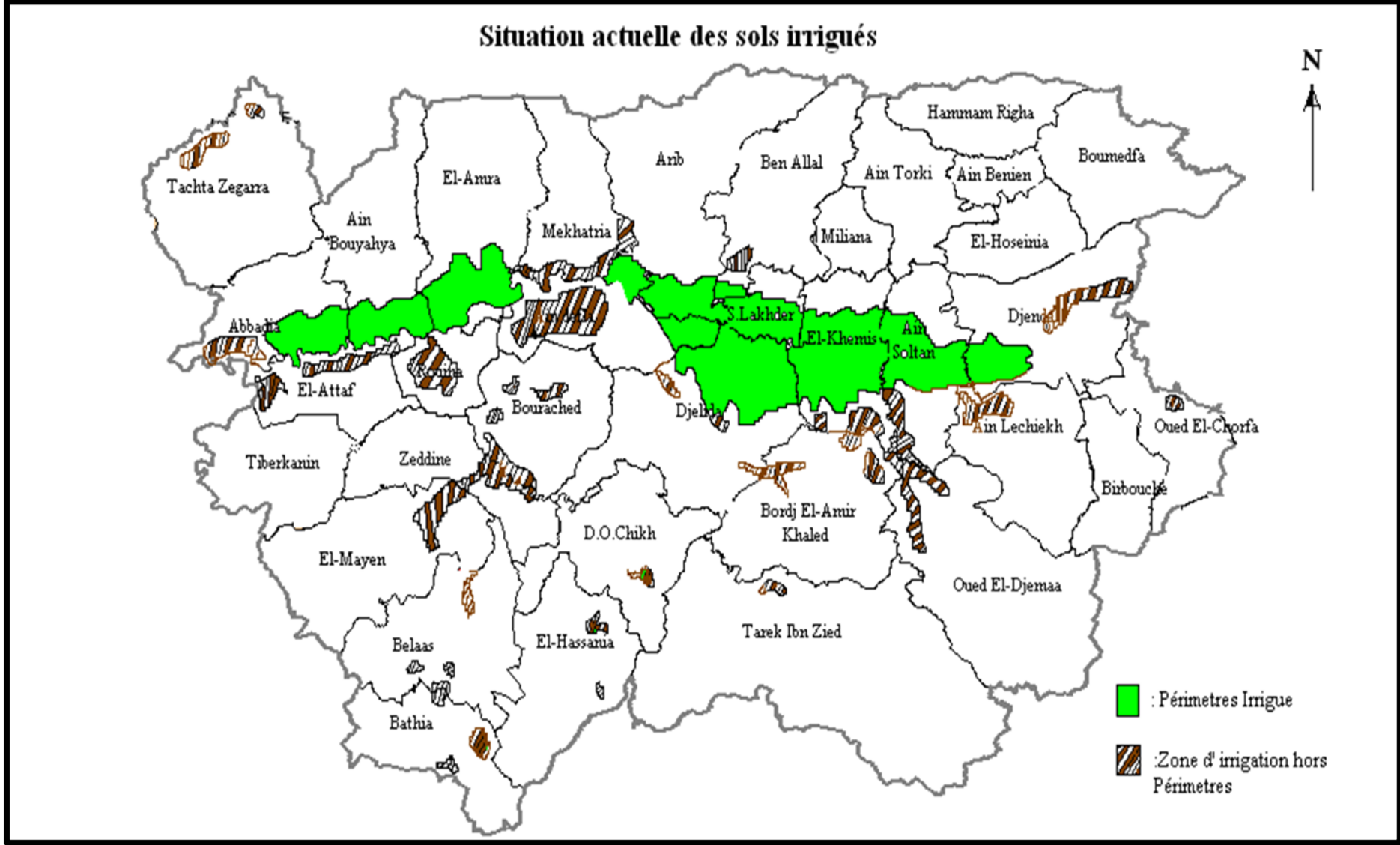
Aires d'irrigation	Cultures à irriguer		Besoins en eaux Hm <sup>3</sup>	Ressource en eaux en Hm3					Mode d'irrigation	
	sup	cultures		forage		Fil de l'eau	Puits			Total Hm3
				Nbre	Volume		Nbre	Volume		
El Barrage	85	Mar =40 PDT=35 Cer = 10	0,41	1	0,05	0,36			0,41	Asp = 85Ha
DeurDeur	200	PDT=50 Cer = 100 Cult f = 50	0,85	8	0,4	0,45			0,85	Asp = 200Ha
Mekhatria	150	Mar =50 PDT=50 Cer = 50	0,54	6	0,3	0,,24			0,54	Asp = 150 Ha
Bda	200	Mar =50 PDT=100 Cer = 50	0,79	5	0,25	0,54			0,79	Asp = 200Ha
djendel	200	Mar =100 Cer =100	0,5	13	0,65	0,05			0,7	Asp = 200 Ha
El Chorfa	75	PDT=25 Cr =25 Arbo = 25	0,935	5	0,25	0,7			0,95	G à G =100 Asp = 50Ha
Ouled omrane	50	PDT=25 Cr =25	0,7	10	0,5	0,2			0,7	Asp = 200 Ha
Melluk	200	Mar =50 PDT=50 Cer = 100	0,72	10	0,5	0,22			0,72	Asp = 200Ha
Harraza	100	PDT=50 Cr =50	0,52	6	0,3	0,22			0,52	Asp = 100 Ha
	100	Cr =100	0,2	10	0,5				0,5	Asp = 100 Ha
Ouled Nouel	50	Arbo = 20 Mar =5 PDT=10 Cr = 10 Cf=5	0,22	5	0,25				0,25	G à G =20 Asp = 130 Ha

source(DSA AIN DEFLA)

**I.2.3 Situation géographique:**

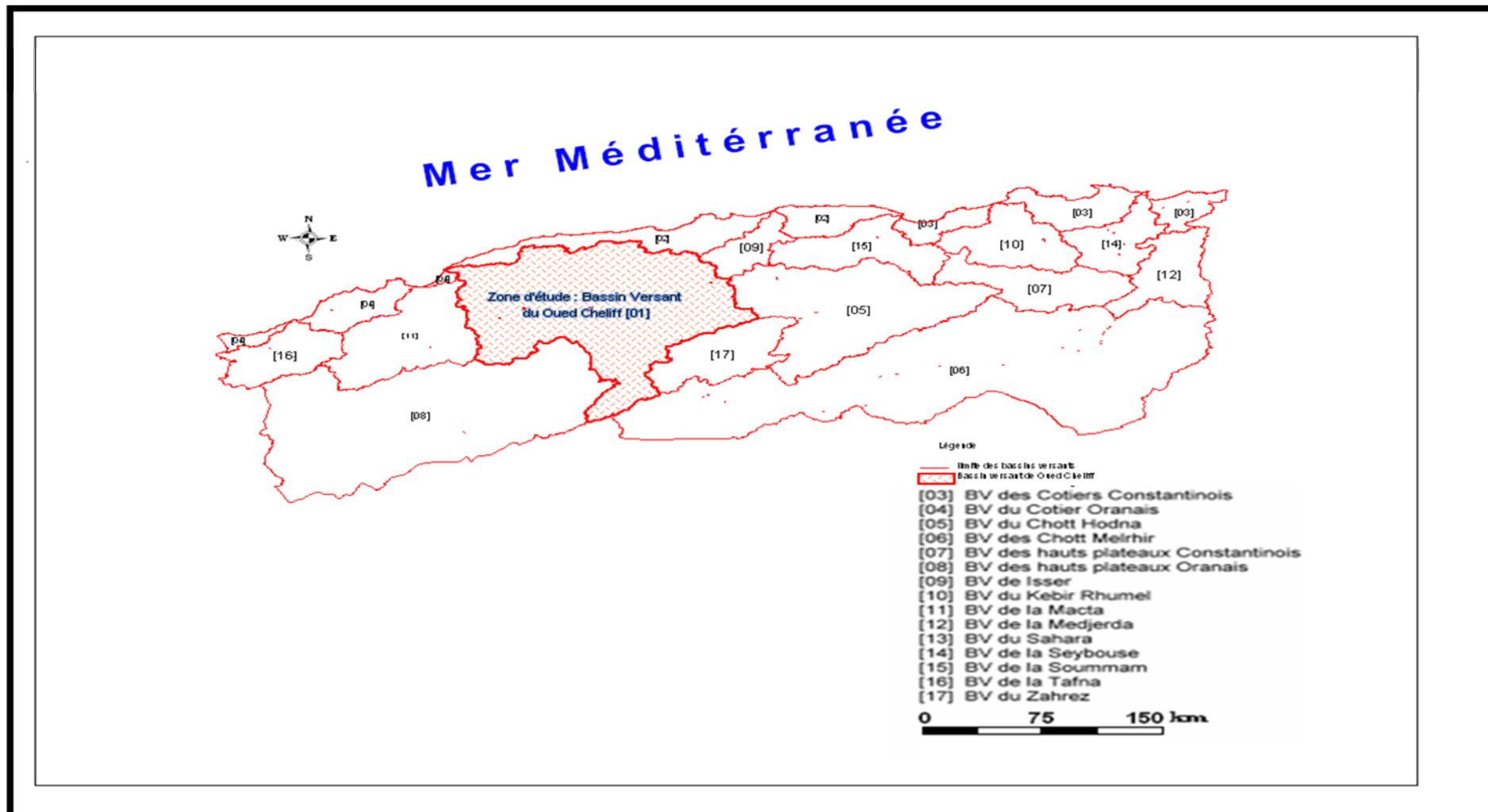
La région d'étude correspond à la haute vallée du chéllif(figure I.5) ,et situé à 100KM au Sud – Ouest d'ALGER. La continuité occidentale du djebel Zaccar(1578m d'altitude).constitue sa Nord ,au sud les contrefort de l'Ouarsenis qui culminent à 200m près de BORDJ-Bounaama,à l'Est-elle est limitée par djebel Gountas et à l'Ouest par le mont de djebel Doui.

La région d'étude comprend les communes d'EL KHEMIS, Djellida, Arib, Ain defla et Djendel; elle est à vocation agricole depuis 1930 et caractérisée par quatre grands périmètres irrigués Et par rapport au mer méditerranéenne au sud de la mer définit dans (figureI.6)



(DSA AIN DEFLA)

Figure I.4 : Station actuelle des sols irrigués dans les haut chélif



(DSA AIN DEFLA)

Figure I.5 :Carte de Situation du Bassin Versant du Cheliff



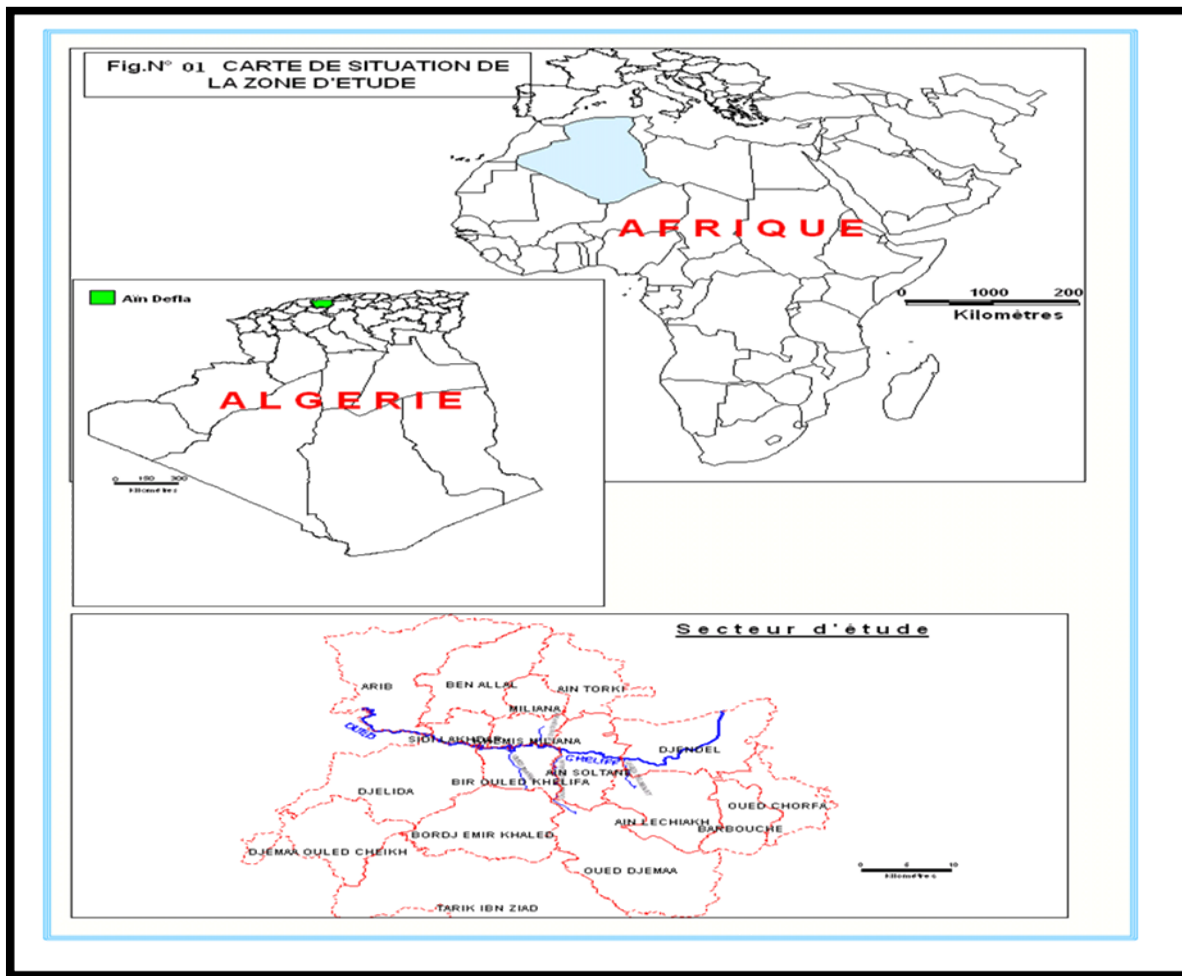


Figure I.6 : description géographique du haut Chélif

### I.3 Limites géographiques et géomorphologiques :

Les reliefs sont le plus abrupts au Nord qu'au Sud de la plaine ou les premiers contreforts de l'Ouarsenis se caractérisent par un relief relativement « mou ». Les piedmonts sont souvent couverts par des alluvions anciennes.

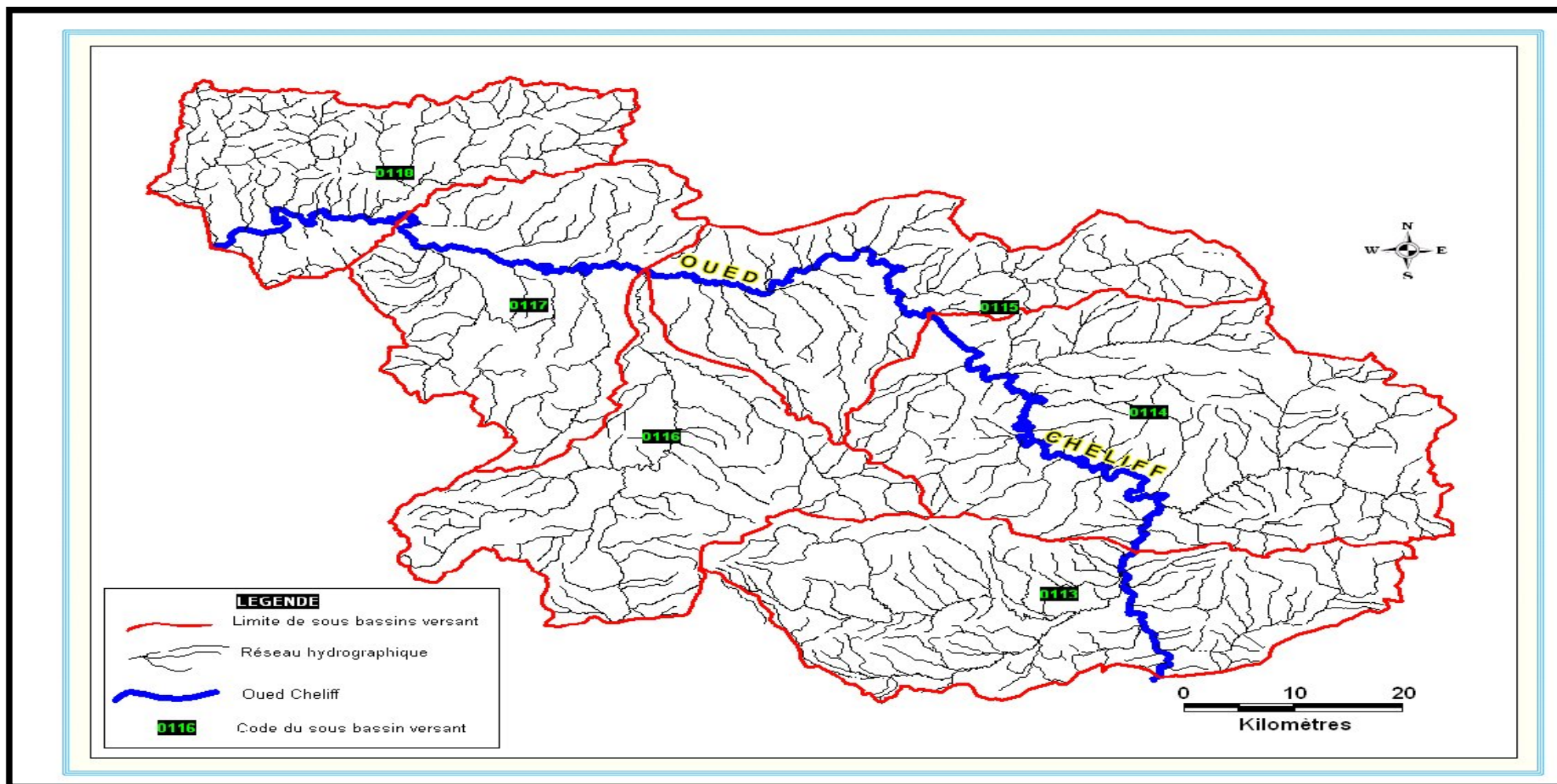
Du point de vue géomorphologique, la plaine est bordée au Nord par des cônes de déjection qui constituent la zone de transition entre la vallée et la montagne (pente de l'ordre de 15%). Ces cônes sont étendus et importants au Nord Ouest dans la région des Aribes (ex : Litteré) et au Sud Ouest au pied du massif de Doui. .

La plaine du Haut Chélif englobe six sous bassins versants occupés par des limons et des argiles (Alluvions récentes). (Figure I.7) Les alluvions anciennes s'étalent au sud de notre zone d'étude.

Les seuils de Djendel et du Doui représentent respectivement les limites Est et Ouest de la plaine. Celles –ci constituent l'axe de drainage principal ; On peut distinguer la partie Nord du bassin (70Km<sup>2</sup>) et la partie Sud (620Km<sup>2</sup>), comme deux zones distinctes d'alimentation de la plaine .L'Oued Chélif qui la traverse d'Est en Ouest reçoit de nombreux affluents :

- Les Oueds Schistiou, Rehane, Boutane, et Souffay qui descendent du massif du Zeccar.
- Les Oueds Harrza, Massine, Deurdeur et Telbent issus de la partie Sud du bassin.





(DSA AIN DEFLA)

Figure I.7 : Situation des sous bassins et le réseau hydrographique du haut Chélif

**I.4 Généralités agronomiques végétatives :**

La plaine du haut Chélif est à vocation d’une source agricole, l’arboriculture fruitière en rive droite de l’oued Chélif et cultures maraichères en rive gauche ou une irrigation intensive est importante pendant 6 mois de l’année (Mars à Août).

La végétation est particulièrement dense au Nord et au Sud de la plaine, les monts de Zeccar offrent une végétation diversifiée vergers, jardin, cyprès, frênes...etc. La forêt de Theniet El Had composée de cèdres couvre les pentes inférieures de l’Ouarsenis.

**I.5 Etude de la population et agglomération :**

D’après le recensement de 2010 l’effectif de la population qui occupe le bassin du haut Chélif est de 830369 habitants. Les agglomérations sont concentrées au niveau des bordures Nord, Sud et Est de la plaine .C’est dans ces régions que Les besoins en eau potable est essentielle, elle se fait a partir des forages et puits.

Ailleurs (au centre de la plaine), la population est moins importante et s’alimente à partir des puits et des barrages de : Ghrib, Deurdeur et Sidi M’hamedBentaiba.

L’évolution de la population sur l’ensemble du bassin est insérée dans le tableau I.2

**Tableau I.4:**Evolution de population(2000-2010)

année	2000	2001	2002	2004	2006	2008	2010
démographie	684951	697897	711087	724527	743697	784321	830369

**I.6 Réseau Hydraulique Hydrographique :**

Les eaux issues des principaux fleuves représentés par les Oueds Souffay, Boutane au Nord et Oued Derdeur, Massine et Harraza au Sud (Figure 1 /5), sont collectées au centre de la plaine de Oued Chélif qui draine toutes les eaux du bassin versant vers l’exutoire au niveau de Mostaganem.

**I.6.1 Description des Ressources hydraulique :**

**A-Ressources hydraulique superficielles :**

**Tableau I.5 :** Oueds régularisées et non régularisées

Désignation	Les Oueds régularisées (Régulateurs barrage)	Les Oueds non régularisés	
		Désignation	déversement
O.Deurdeur	Barrage Deurdeur	O.Hammam	O.Djer
O.Chélif	Barrage Ghrib	O.Nassim	O.Chelif
O.Haraza	Barrage Haraza	O.Zdedina	O.Chelif
O.Abda	Barrage Sidi Mohamed Ben - Taiba	O.Souffay	O.Chelif
		O.Djemaa	O.Chelif
		O.Khemis	O.Chelif

**Tableau I.6 :** Les barrages en exploitation

Nom du Barrage	Localisation	Capacité Théorique (Mm <sup>3</sup> )	Capacité réelle (Mm <sup>3</sup> )	Affectation de l'eau	Taux d'Envasement (%)
B.Ghrib	OuedChorfa	260	158	AEP/Irrigation	55
B.Deurdeur	TarikIbnZiad	115	115	AEP/Irrigation	-
B.Harraza	Djelida	75	75	Irrigation	-
B.SidiM'hamed Ben Taïba	Aribs	75	-	AEP/Irrigation	Nouveau

**B-Ressources hydraulique souterraines:****Tableau I.7:** Les principales nappes d'eaux souterraines

Désignation de la nappe	Localisation exacte	Disponibilité en eau (Hm <sup>3</sup> )
Nappe du Zaccar	Ain Turki Miliana Ben Allel	6
Nappe du Doui	Djelida Ain Defla	6
Nappe Phréatique du Haut Chélif	Djendel Khemis SidiLakhder Arib	80

Source( bouziane2006)

**I.7Etude des caractéristiques morphologique :**

Les paramètres morpho-métriques en le rôle de la répartition des eaux à l'échelle du bassin versant. Ils influent fortement sur l'hydrologie de ce dernier, notamment sur le régime d'écoulement, les périodes de crue ou d'étiage et le temps de concentration des eaux.

On distingue que le secteur d'étude couvre la totalité de la surface du bassin du haut Cheliff.

**I.7.1Etude géomorphologiques :****A-Etude Des Pramètres géométriques :**

**a- Surface du bassin versant :**La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apport, volume de précipitation ou infiltration...).elle peut être déterminée en utilisant le calcule par auto cad sur les cartes topographiques à l'échelle (1 /50 000), la surface du bassin versant considéré est de :  
**S=1935 Km<sup>2</sup>**

**b-Périmètre de la plaine :** Sur les cartes topographiques a l'échelle 1/50 000, nous avons suivie le contour du bassin versant au moyen d'un curvimètre.

**P=223 Km**

**B-Characteristiques géométriques :**

Selon la forme du bassin versant ont determinantl'ndice de compacité gravelius ont les presenter présenter sous deux formes :allongéou ramassé

**C-Indice de compacité de Gravelius ‘ K<sub>c</sub> ‘ :**

appelé aussi indice de forme, cet indice nous permettra de déterminer la forme du bassin versant, il est dépendant des paramètres calculés ci-dessus.

Gravelius a comparé le périmètre du bassin versant considéré à celui d'un cercle de même superficie (s) à l'aide de l'expression suivante :

$$K_c = \frac{P}{P'} = \frac{P}{2\pi R}$$

Avec S= et  $R = \frac{S}{\pi}$

Donc,  $K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$

**K<sub>c</sub> = 1.42**

Si  $K_c < 1.4$  le bassin est de forme ramassé .

Si  $K_c > 1.4$  le bassin est de forme allongé .

Dans ce cas  $k_c > 1.4$ , donc, nous dédisons que le bassin des haut Cheliff est allonge.

**D-Rectangle équivalent (dépend de l'indice de compacité) :** c'est une transformation purement géométrique. Dans laquelle, le bassin est assimilé à un rectangle de même périmètre et de même surface, donc de même indice de compacité.

Le rectangle équivalent sert à la comparaison des bassins entre eux du point de vue l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

La longueur du rectangle équivalent L en (Km) est :

$$L = \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right)$$

**L = 90.05 Km**

-La largeur du rectangle équivalent l en (Km) est :

$$l = \frac{P}{2} - L$$

**T = 21.45 Km**

**I.7.2Caractéristiques du relief :**

On va étudier les paramètres par la variation des altitudes, ces variations influent sur des facteurs comme l'écoulement, les précipitations, et la végétation, l'urbanisme.

Il est caractérisé par les hauteurs moyennes et les pourcentages des aires entre les différentes courbes de niveau et les paramètres :

- la courbe hypsométrique
- L'indice de pente globale
- L'indice de pente moyenne

**A-Détermination de la courbe hypsométrique :** cette dernière a une grande importance dans l'étude du relief d'un bassin versant. L'altitude est portée en ordonnées tandis que la surface en abscisses et elle exprimée en%.

En le but de le représenter on tiendra compte des résultats insérés dans le tableau (I.8) ou (Figure I.8).

**Tableau I.8 :** Répartition hypsométrique du bassin versant

N°	Altitude m.NGA	Hi <sub>moy</sub> (m)	Surface partielle		S <sub>i</sub> (%) cumulé	H <sub>i</sub> .S <sub>i</sub>
			H <sub>i</sub> (Km <sup>2</sup> )	S <sub>i</sub> (%) partielle		
1	200-400	300	175	46,4	100	52500
2	400-600	500	103	27,3	53,5	51500
3	600-800	700	54	14,3	26,3	37800
4	800-1000	900	29	7,7	11,9	26100
5	1000-1200	1100	10	2,6	4,24	11000
6	1200-1500	1350	6	1,6	1,6	8100

- ✓ L'altitude maximale est de : 1500m.
- ✓ L'altitude minimale est de : 225m.

**B- Altitude moyenne :** L'altitude moyenne est calculée par la relation.

$$\bar{H} = \frac{\sum S_i \cdot H_i}{\sum S_i}$$

Hi : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux consécutives

Si : surfas entre deux courbes de niveau succesives

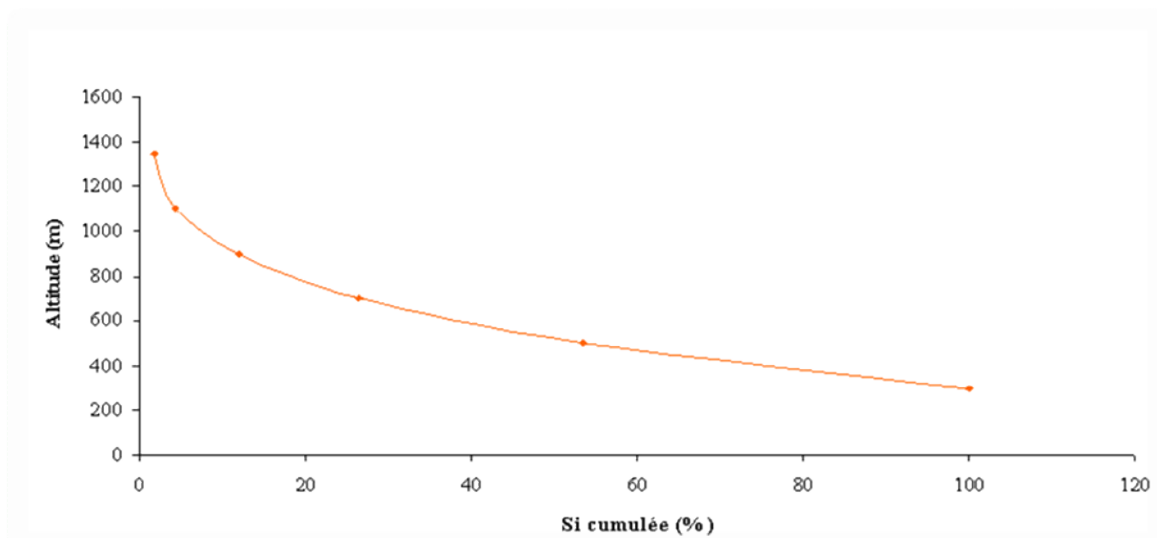
Dans notre cas l'altitude moyenne est estimé à :

$$\bar{H} = 97 \text{ m.}$$

La courbe hypsométrique du bassin versant de Haut Chélif donne :

$$H_{5\%} = 1300 \text{ m.}$$

$$H_{95\%} = 240 \text{ m.}$$



**Figure I.8 :** Courbe hypsométrique représentatives du haut Chélif

**C- Temps de concentration des eaux :** c'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée (on amont) pour arriver à l'exutoire (aval), en tiendra compte à plusieurs formules. Dans notre calcul et bassins versants qui ont une surface importante, il peut être calculé par la formule de GIAMDOTTI (1937) soit :

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

L: Longueur du cours d'eau principal du thalweg (70 km).

S: Surface totale du bassin versant (1937 km<sup>2</sup>).

H<sub>moy</sub>: Attitude moyenne (496m).

H<sub>min</sub>: Attitude minimale (225m).

Dans notre cas :

**T<sub>c</sub> = 21.4 heures.**

**D- Vitesse de ruissellement :** Elle est donnée par la formule suivante:

$$V_r = \frac{L_p}{T_c}$$

Avec :

L<sub>p</sub>: Longueur de thalweg principal en km (l<sub>p</sub> = 70 Km)

T<sub>c</sub>: Temps de concentration en (h)

Dans notre cas :

**V<sub>r</sub> = 3.27 km/h**

Les caractéristiques du bassin versant du haut Chélif sont récapitulées dans le tableau (I.9) ci-dessous :

Tableau I.9 : Caracteristiques morphologiques du bassin versant de Haut Chelif

Paramètres	symboles	Unite	résultas
Surface du bassin versant	S	Km <sup>2</sup>	1937
Perimetre du bassin versant	P	Km	221
Indice du compacite	K <sub>c</sub>	-	1.41
Longueur du rectangle equivalent	L	Km	88
Largeur du rectangle equivalent	L	Km	22
Altitude maximale	H <sub>max</sub>	m	1500
Altitude minimale	H <sub>min</sub>	m	225
Altitude moyenne	H <sub>moy</sub>	m	496
Altitude a 5% de surface	H <sub>5%</sub>	m	1300
Altitude mediane	H <sub>50%</sub>	m	590
Altitude a 95% de la surface	H <sub>95%</sub>	m	240
Longueur de thalweg principale	L <sub>p</sub>	Km	70
Indice de pente global	I <sub>g</sub>	m/km	12
Pente moyenne du bassin	I <sub>BV</sub>	%	0.18
Densite de drainage	D <sub>d</sub>	Km/Km <sup>2</sup>	3.27
Temps de concentration	T <sub>c</sub>	h	21.4
Vitesse de ruissellement	V <sub>r</sub>	Km/h	2.27

Donc, l'étude géomorphologique nous a permis de déterminer certaines caractéristiques du bassin versant du haut chelif :

- l'indice de compacité de Gravelius  $K_c = 1.41$
- le temps de concentration  $T_c = 21.4$  heures
- la vitesse de ruissellement  $V_r = 3.27$  km/h

### I.8 paramètres Hydra-climatologique :

Dans la présente des calculs, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évaluer l'ensemble des éléments hydro-climatologiques et aussi la manière dont les différents paramètres du climat se comportent l'un par rapport à l'autre.

La partie centrale du massif de Zaccar, qui correspond aux altitudes à hauteur importante de ce massif est caractérisée par un climat méditerranéen humide à hiver frais.

La vallée possède un climat méditerranéen aride à hiver tempéré. A titre d'illustration des facteurs climatiques, nous nous sommes référés pour cette étude aux données recueillies à l'ANRH (BLIDA) ci-dessous

Nous allons analyser deux paramètres essentiels climatologiques, à savoir la température et les précipitations relatives à la période 1986-2010.

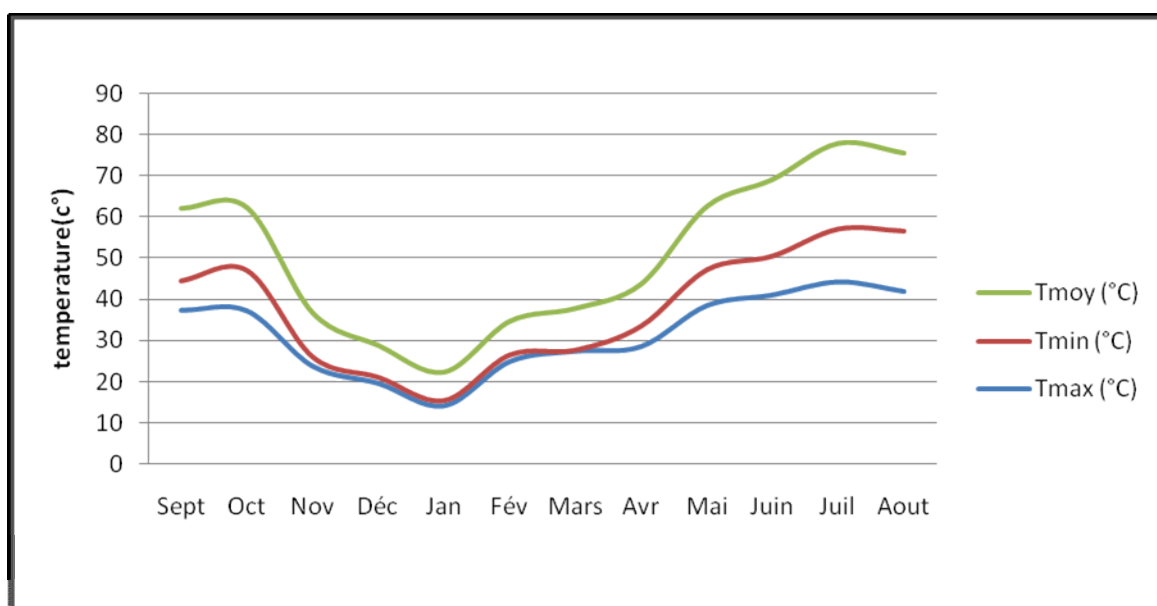
**I.8.1 Les températures de l'air :**

Le tableau ci-dessous, présente les températures moyennes mensuelles maximales et minimales, prélevées durant la période 1986/2010.

**Tableau I.9:** Les températures moyennes mensuelles maximales, minimales et annuelles pour la station de Barrage Harraza. (Période 1986/2010).

Paramètres	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Tmax (°C)	37.35	37,22	23,69	19,48	14.02	24.83	27.37	28.5	38,5	41,11	44.31	41.96
Tmin (°C)	7.21	9.86	2,39	1,64	1,46	1,73	0,36	5.07	8.76	9.47	12,84	14,7
Tmoy (°C)	17.45	15.09	10,56	7,59	6,78	8.03	9,98	10,06	15.19	18.43	20.61	18,76

D'après les valeurs moyennes mensuelles des températures mentionnées dans le (Tableau I.9) ou Figure (I.9) on constate que les mois de juin, juillet et août sont les plus chauds, par contre les mois de décembre et janvier sont les plus froids



**Figure I.9 :** Répartition du température de la station de barrage Harraza (1986-2010)



**I.8.2 Etude pluviométrique :**

Les données de précipitations ont été relevées par l'ANRH , nous avons choisi les seize stations pluviométriques (Tableau I.10) de la région en fonction de leur répartition dans la zone d'étude (Figure I.10 )

Les moyennes annuelles des précipitations dans notre région d'étude sont évaluées par les deux méthodes suivantes :

-La méthode arithmétique.

-La méthode de Thiessen.

**A-Méthode arithmétique** : c'est la méthode la plus simple et la plus rapide. La moyenne arithmétique est calculée en utilisant la formule suivante :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

Où :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

P<sub>i</sub> : Pluie moyenne annuelle à la station i (mm)

N : Le nombre des stations (i)

Nous obtenons une précipitation moyenne annuelle de **423.15mm**.

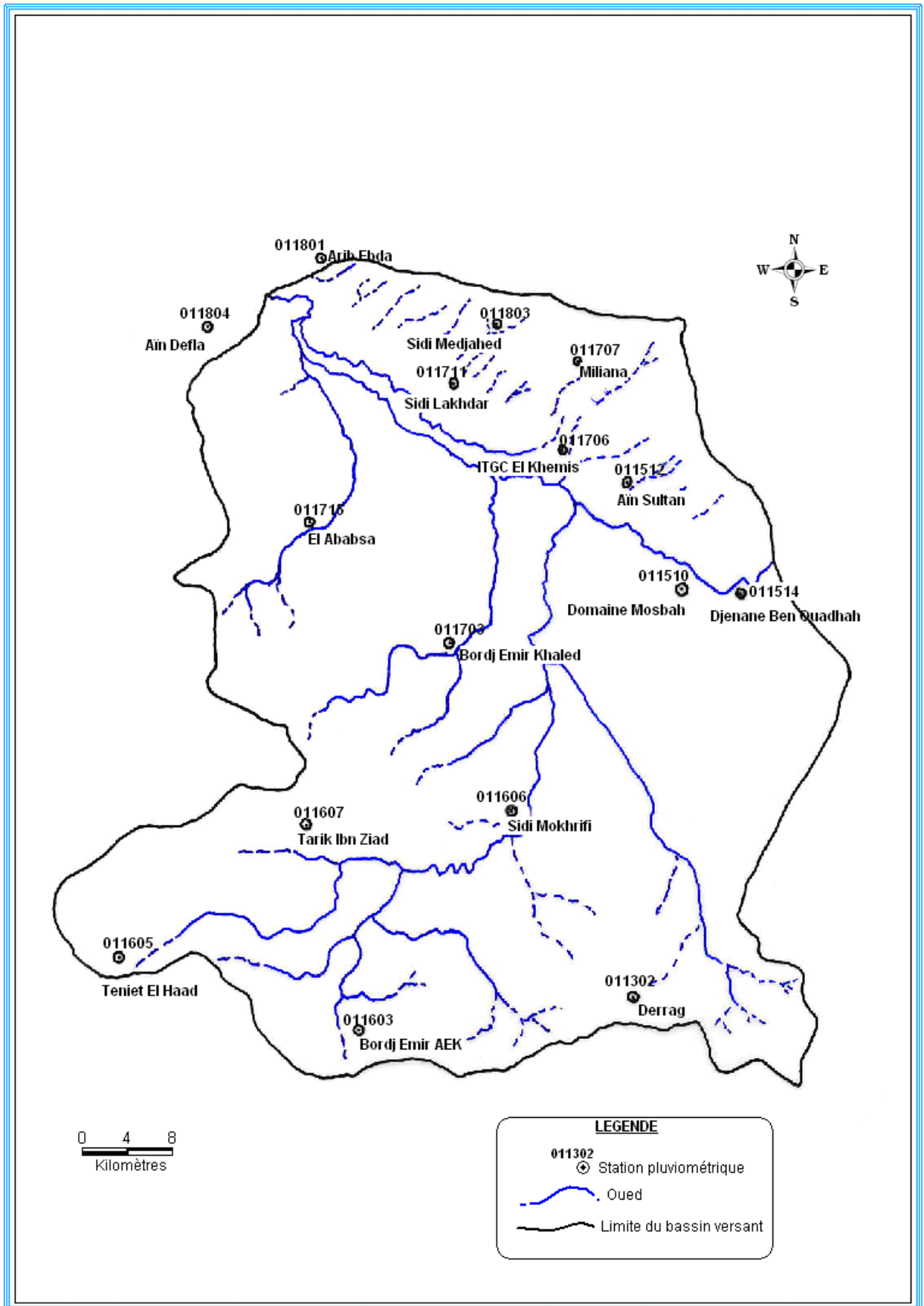


Figure I.10: Carte de situation des stations pluviométriques

**Tableau I.10 :** Précipitation moyenne annuelle consternant des Stations pluviométriques signifie le bassin du haut Chélif (Période 1986-2010)

Codes	Stations	X	Y	Z	P (mm)
01-13-02	Derrag	472.15	289.85	1150	508,39
0115-10	Domaine Mes bah	469.8	321.55	313	375,89
01-15-12	Ain sultane Pépinière	465.5	325.95	285	377.75
01-15-14	Djenane ben Ouadhah	475.65	325.2	320	396,67
01-16-03	Bordj Emir AEK	461.1	285.3	1080	423.93
01-16-05	THeniet El Had	439.8	285.65	1150	537.46
01-16-07	Tarik Ibn Ziad	450.15	299.5	660	453.79
01-17-03	Bordj EL Amir Khaled	455.85	313.8	370	307.2
01-17-06	ITGC	458.8	328.2	285	401.01
01-17-11	Sidi Lakhdar	452	329.65	250	366.48
01-17-15	ElAbabsa	443.95	318.05	320	346
01-18-01	Arib Ebda	439.65	335.55	280	463.2
01-18-03	SidiMedjahed	452.15	337.05	850	549.61
01-18-04	AinDefla	434.6	329.9	270	416.7

Source : ANRH

**B-Méthodes des polygones de THIESSEN** (figure I.11) : la pluviométrie moyenne annuelle à l’échelle du bassin est donnée par l’expression :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad \text{soit:} \quad \delta_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

On obtient :  $P = \sum_{i=1}^n \delta_i P_i$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle sur le bassin versant (mm)

Pi : Pluie moyenne annuelle de chaque station pluviométrique (mm)

Si : surface des polygones considérés (Km<sup>2</sup>)

$\delta_i$  : Coefficient de Thiessen dépend de la répartition spatiale des postes par rapport au bassin versant.

Les résultats sont regroupées dans le tableau (I.11).

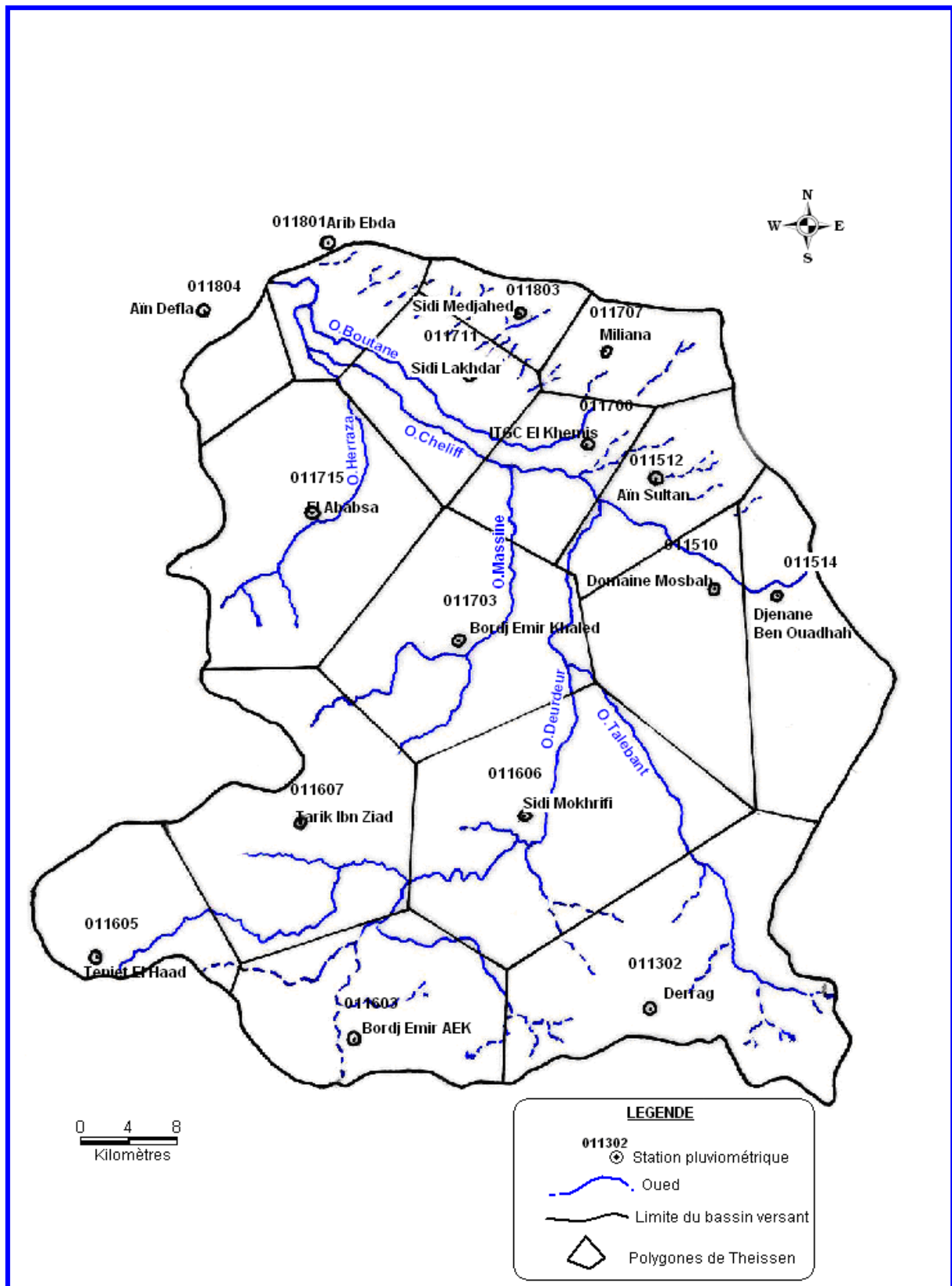


Figure I.11 : Carte d'étude des polygones de THEISSEN

**Tableau I.11** : Résultats de la précipitation moyenne annuelle obtenue par la méthode des polygones de Thiessen.

codes	stations	Précipitations Pi (mm)	Surfaces Ai (Km <sup>2</sup> )	$\partial$	$\partial \cdot P$ (mm)
01-13-02	Derrag	508.39	337,6	0,114	67.94
0115-10	Domaine Mes bah	375.89	190,4	0,064	24.28
01-15-12	Ain sultane Pépinière	377.75	125	0,042	14,03
01-15-14	Djenane ben Ouadhah	396.67	200	0,068	29.2
01-16-03	Bordj Emir AEK	423.93	220,8	0,075	36.45
01-16-05	THeniet El Had	537.46	348,8	0,118	68.87
01-16-07	Tarik Ibn Ziad	453.79	135,4	0,046	19.71
01-17-03	Bordj EL Amir Khaled	307.2	276,3	0,093	36.42
01-17-06	EL KHEMIS INRA	401.01	260,8	0,088	31.94
01-17-11	Sidi Lakhdar	366.48	116,3	0,039	14,88
01-17-15	ElAbabsa	346	100,8	0,034	17.03
01-18-01	Arib Ebda	463.2	140,8	0,047	19.11
01-18-03	SidiMedjahed	549.61	294,4	0,10	41.11
01-18-04	AinDefla	416.7	86,4	0,029	11.81
	Total	5924.08	2833.8	0.957	432.78

A partir des résultats obtenus par la méthode des polygones de Thiessen pour la période (2006-2010), la précipitation moyenne annuelle de notre bassin versant est : 432.78mm.

**C- Comparaison des résultats :** Les résultats de précipitations moyennes annuelles obtenus par les deux méthodes sont portés sur le tableau (I.12).

**Tableau I.12** : comparaison des résultats obtenus par trois méthodes.

Méthodes	arithmétique	Thiessen
P (mm) calculé	423.15	432.78

On remarque que, les deux méthodes donnent des résultats à peu près comparables. Elles tiennent compte des variations durelief,de l'altitude, en plus de la disponibilité des 14 postes pluviométriques.

En fin, la valeur de la précipitation retenue est celle obtenue par le moyen

**P=427.96mm.**

**I.8.3 Etude des vents**

La région est caractérisée par les vents dominants venant du Nord Ouest en hiver, ils entraînent une hygrométrie importante qui influent beaucoup sur l'activité végétative.

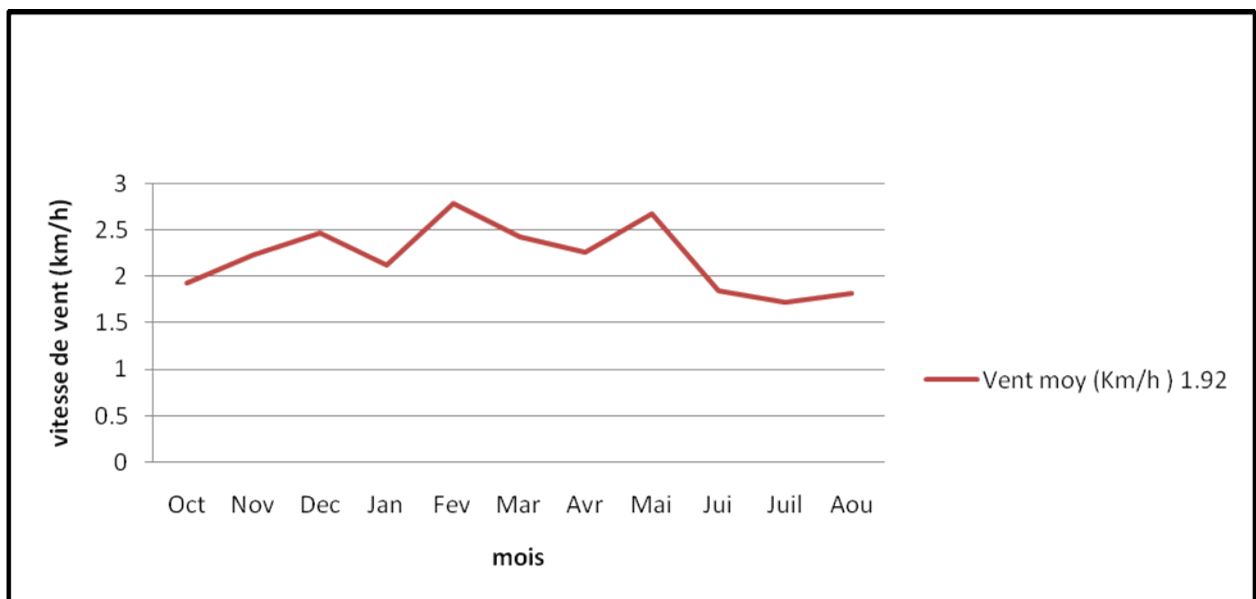
En été, les vents chauds transportent du sable, et soufflent surtout pendant la période comprise entre Mai et Août. Le sirocco (Rih El Asr) a lieu pendant la période estivale durant plusieurs jours.

**Tableau I.13:** Fréquence des vents (km/h) à barrage Harraza (1986-2010)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Vent moy(m/s)	1,92	1,93	2,23	2,47	2,12	2,78	2,42	2,25	2,67	1,84	1,72	1,82

Ces vents sont caractérisés par une vitesse supérieure à 2 Km/h.au barrage de harraza

D'après le tableau (I.13),ou (Figure I.12) du mois de décembre jusqu'au mois de Mai, on observe une fréquence importante des vents.



**Figure I.12 :** vitesse de vent à barrage de Harrza (1986-2010)

**I.8.4 Humidité atmosphérique**

l'humidité de l'air est un élément atmosphérique essentiel dans les précipitations, elle peut être exprimée par :

**A-Humidité relative :** Elle donne l'état de l'atmosphère et détermine s'il est plus ou moins proche de la condensation.

Cette humidité croit à partir du sol pour atteindre son maximum de 100 % au niveau des couches nuageuses si elles existent. Pour tous les mois de l'année, les moyennes mensuelles ne

descendent guère au-dessous de 40 % en août, les maxima sont atteints, durant les mois à plus faible température.

**B- L'humidité absolue :** L'humidité absolue nous renseigne sur la quantité d'eau que renferme cette atmosphère. Elle diminue à partir du sol pour arriver à une valeur faible dans les hautes altitudes

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons traité les principales données qui nous aideront à connaître la nature du climat de la zone d'étude et on a déterminé les paramètres de calculs de nature de climat de la plaine haut Chélif.

On a fait une description de la zone d'étude par des données d'agronomie et des agglomérations.

# **CHAPITRE 2 :**

## ***ETUDE GEOLOGIQUE***



## Introduction :

Par définition, la géologie est la science qui fait la recherche de l'écorce terrestre, ses constituants, son histoire et sa genèse.

Considérant la géologie de la terre en tant que réalité minérale, elle utilise elle détermine : la pétrographie, la minéralogie, la géophysique, la tectonique .....Etc.

Elle a recourt aux méthodes de datation absolue (par le carbone 14) et de chronologie relative (par la stratigraphie) ; les temps géologiques sont divisés en ères, (primaire, secondaire, tertiaire, quaternaire) elles même divisées en systèmes, en série puis en étages.

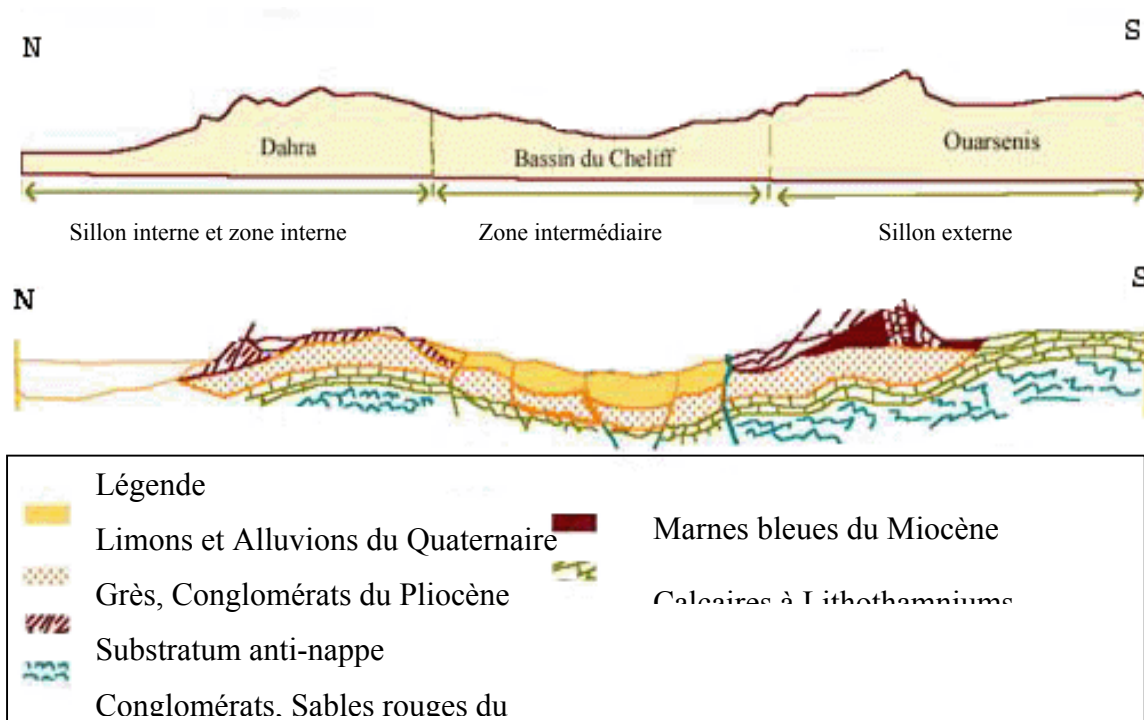
Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu géologique sur la région du haut Chelif, Cette étude synthétisée à partir des travaux et études antérieurs des géologues A-Perodon (1975), M-Mattaouer (1958), C-Lepvrier (1970) et O-Kireche (1977- 1993), a pour objectif de décrire la structure et le contenu lithologique des formations géologique qui affleurent dans le secteur d'étude.

## II.1 Cadre géologique général :

Le bassin de Chélif est un bassin relativement étendu (3000 km<sup>2</sup>). Il occupe une aire de sédimentation allongée de direction NE-SW, sur 300 km de long et 100 km de large. Les aires centrales du bassin sont subsidences avec un remplissage qui peut atteindre 6000 m d'épaisseur (marnes bleues).

Le bassin de Chélif est l'un des bassins sublittoraux de l'Algérie du centre occidental, qui s'alignent parallèlement à la côte méditerranéenne, formant des zones peu élevées par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les encadrent. C'est un bassin néogène dont l'histoire est étroitement liée aux phases ultimes et paroxysmales de l'orogénèse alpine.

Les ensembles lithologiques rencontrés dans les plaines sont (Figure II.1) :



**Figure II.1** : Schéma simplifié de la structure du bassin du Chélif.

## CHAPITRE II      ETUDE GEOLOGIQUE 2010/2011

- Les terrains néogènes et quaternaires dans la zone centrale du bassin.
- Le substratum, essentiellement secondaire sur les bordures du bassin, représenté par :
- Les monts de l'Ouarsenis au Sud, du Dahra au Nord et par les massifs épimetamorphiques à schistosités du Doui, Ruina à l'Est. (KIRECHE 1977).
- Les terrains allochtones mis en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Eocène moyen, Miocène inférieur).
  - Une stratigraphie régionale distingue cinq phases successives d'alluvionnement
- Le niveau I correspond à l'alluvionnement actuel et sub-actuel qui est en rapport avec le creusement du lit majeur des oueds.
- Le niveau II est caractérisé par un remblaiement longitudinal à dominance limoneuse qui s'est terminé à l'aurore des temps historiques et a débuté bien avant le néolithique.
- Le niveau III est formé par les apports latéraux qui constituent des glaciais d'accumulation le plus souvent recouverts par les formations postérieures, un stade de forte éolisation a été désigné.
- Le niveau IV et V sont toujours recouverts de sols décalcifiés, rubéfiés et lessivés lorsqu'ils n'ont pas été érodés. Le niveau V comporte des carapaces calcaires bien développées, le niveau IV semble formé par remaniement presque sur place, des éléments du niveau V qui n'ont pas été protégés par la carapace calcaire.

En effet, les caractères du bassin du Cheliff sont tels que ce sont surtout des causes régionales ou locales qui ont déterminé les phases d'alluvionnement et d'érosion. La persistance des mouvements tectoniques, l'existence de sels dans les eaux et dans le sol, l'action de l'homme et des changements de climat dont la nature et l'intensité restent encore obscurs ont eu sur la morphologie des conséquences plus importantes que les variations du niveau de la mer ou les alternances de périodes pluviales ou sèches.

Les conditions de vitesse et de débit imposées par la structure tectonique à l'écoulement des eaux de crues sont avec l'action de l'homme qui concentre le ruissellement, les facteurs essentiels de l'érosion et de l'alluvionnement.

### **A - Impact de la géologie sur l'hydrologie**

Le type de formations géologiques qui affleurent dans les bassins versants a une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

Citons quelques caractéristiques lithologiques de quelques sous-bassins du Cheliff:

## CHAPITRE II ETUDE GEOLOGIQUE 2010/2011

**Tableau II.1.** Caractéristiques lithologiques de quelques bassins du Cheliff (Zaybek .O,2008)

### ✓ Bassin Oued Sly

Lithologie	% de surface
Marnes et macro - calcaires du haut bassin	33
Marnes calcaires (sous couvert végétal) du bassin moyen	35
Flysch, marnes et argiles	70
Marnes et grés en faible pente du haut bassin	13
Massif de montagne	12

### ✓ Bassin de Zeddine

Lithologie	(%)de surface
Flysch de la partie est et de la bordure Sud-Oust	26
Flysch, marnes et marno - calcaire de la partie centrale ( couvert de maquis)	68
Grés du Djbel Meddad	6

### ✓ Bassin de Ebda

Lithologie	(%) de surface
Calcaires schisteux et calcair- schistes à forte pente et couvert	40
Calcaires schisteux avec marnes, marnes graisseuses à pente moyenne	25
Flysch à faible pente	35

### ✓ Bassin de Deurdeur

Lithologie	(%) de surface
Plateau calcaire	46
Marnes du Crétacé, marno - calcaires de Miocène, flysch	38
Marnes, grés marneux du Miocène	16

Après analyse de ces tableaux, nous trouvons :

L'Ebda assure par ses barres de calcaires à joint siliceux et calcschiste très imperméables (au nord) une fermeture hydrologique. Les autres bassins relèvent de la tectonique de nappe du massif Tellien.

## **CHAPITRE II            ETUDE GEOLOGIQUE 2010/2011**

Les autres formations, toutes très imperméables comprennent du flysch de l'Albo-Cénomaniens, qui couvre 68 % de la surface de Zeddine , avec pour le Fodda des pentes très fortes. Puis le complexe marnes, grés, calcaires du crétacé supérieur, fortement tectonisés, broyés, redressés formant des intercalations "couche dure -couche tendre" éminemment favorables pour l'érosion.

Un point commun entre ces bassins: le matériel transporté par les rivières consiste en sable et limons, argile et sels dissous. En constatons, les caractères lithologiques, topographiques et la structure se complètent pour favoriser un ruissellement et une érosion violente dans la zone du haut chellif.

### **II.2 Cadre local :**

#### **II.2.1 Contexte géologique**

Le bassin versant du Haut Cheliff est situé dans le domaine du Tell septentrional et correspond à un sillon intra montagneux subsident, localisé entre le massif de Boumaad et les contreforts de l'Ouarsenis [d'après Aperodon 1957, M.Mattaouer 1958] voir la figures II.2. II.3. Du point de vue litho stratigraphique, la dépression du Haut Chélif est constituée dans son ensemble par des terrains d'âge Mio-Plio-quaternaire.

Les terrains Quaternaires sont essentiellement représentés par des dépôts alluvionnaires de l'oued Chélif

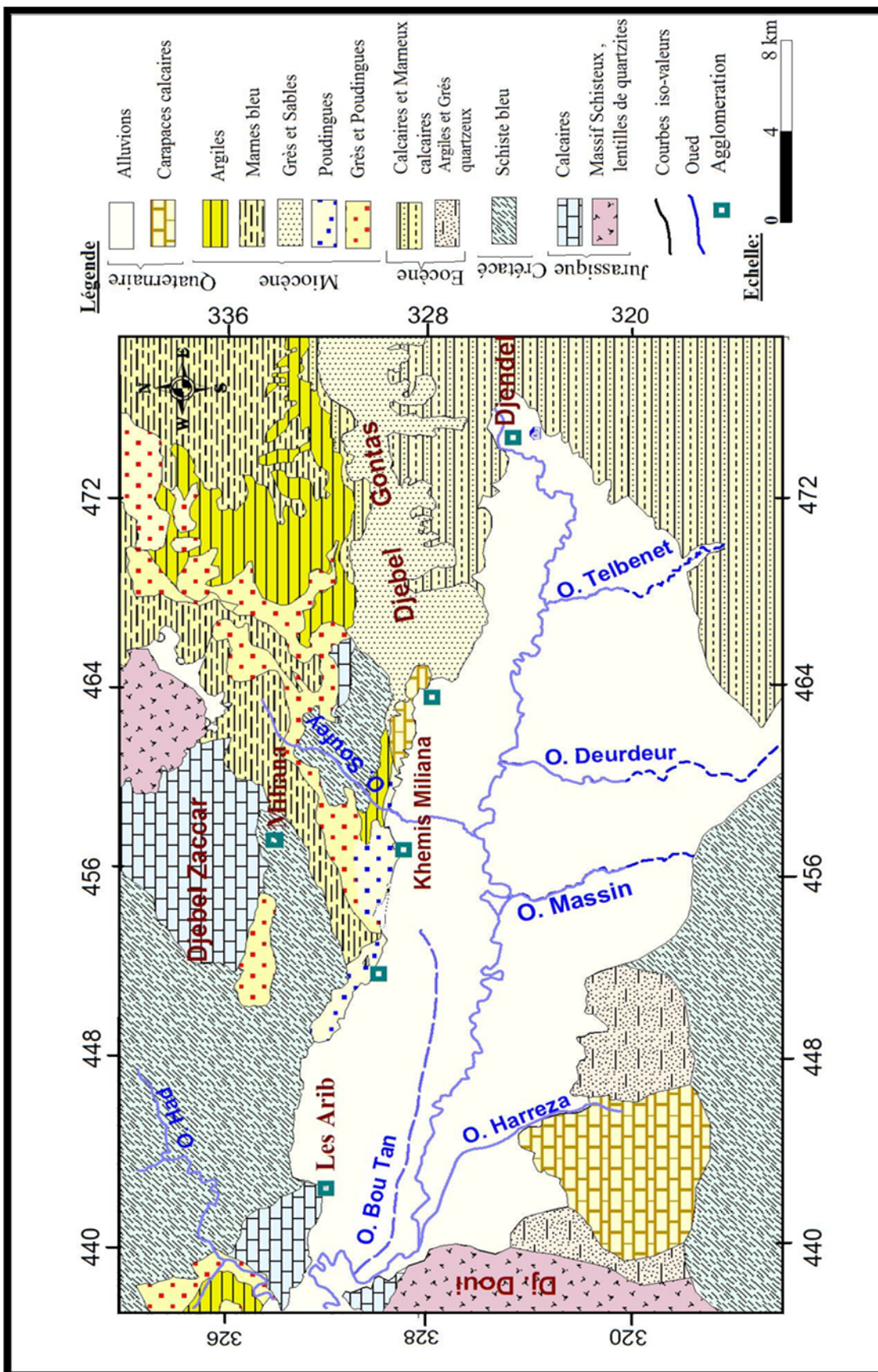


Fig.II.2 : Carte géologique synthétique de la plaine du Haut Chelif.

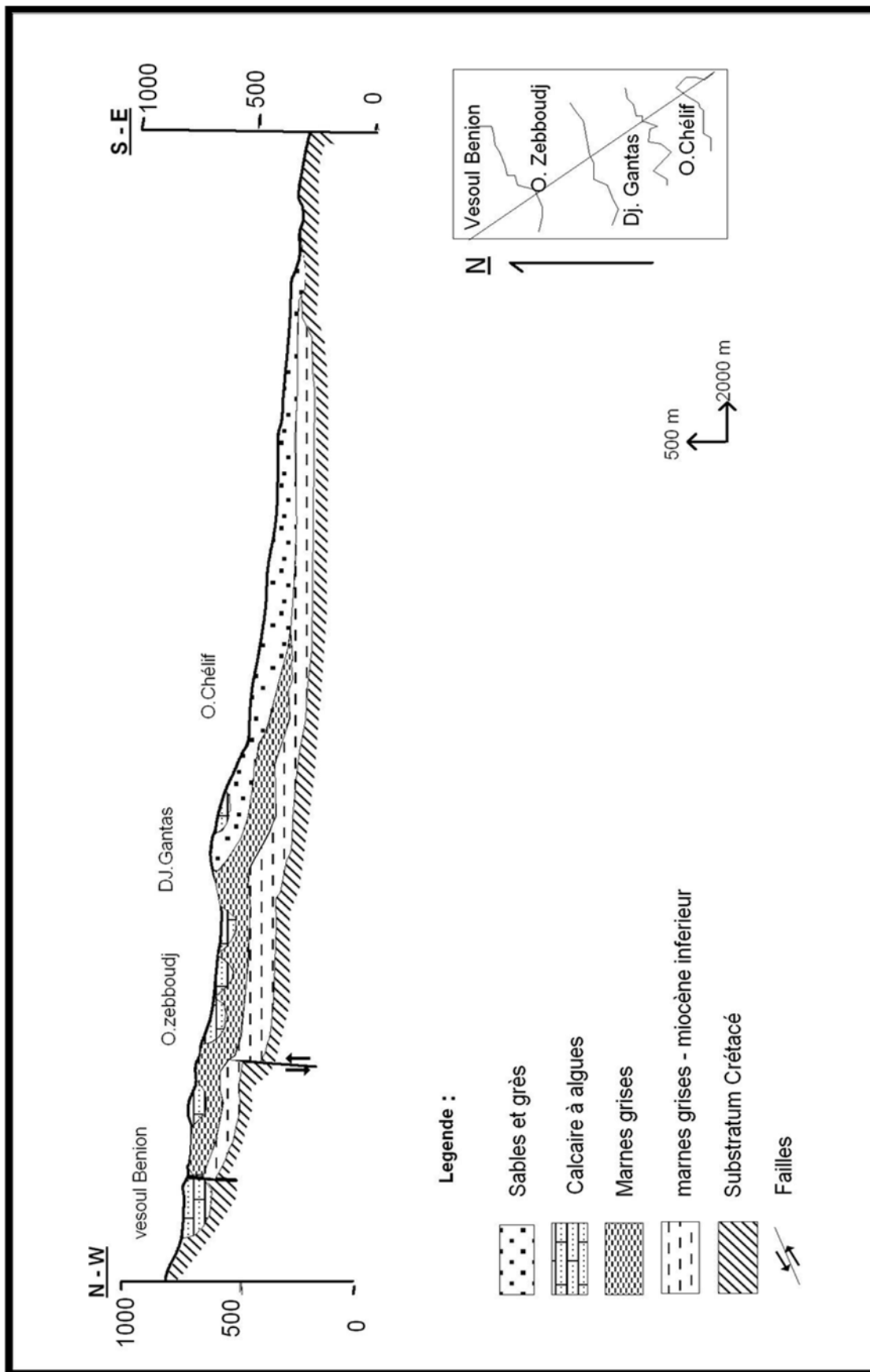


Fig.II.3 : Coupe géologique à travers le bassin du Haut Chelif

**II.2.2 Stratigraphie :** dans cette étude on s'attachera essentiellement à préciser les caractéristiques lithos stratigraphiques, des différentes formations géologiques dans le but de préciser leurs superpositions. L'éventail des séries stratigraphiques s'étale du Primaire au Quaternaire (Figure II.4 et II.5).

**A- Le primaire :** le Primaire est constitué d'une alternance de schistes noirs graphiteux et de bancs de quartzites et argiles.

**B- Le trias :** le Trias est généralement constitué par des dolomies et des calcaires dolomitiques. Il affleure dans le massif de Doui et de Zaccar.

**C- Le Jurassique :** le Jurassique est constitué, dans le massif de Zaccar par des calcaires massifs, compacts, fracturés et karstifiés et surmontés par des schistes gréseux et des marno-calcaires.

L'ensemble de la série atteint une épaisseur de 700 m environ. Dans le Djebel Doui, le jurassique est représenté essentiellement par des niveaux de calcaires dolomitiques d'épaisseur avoisinant 80 mètres.

**D- Le Crétacé :** le Crétacé affleure sur les bordures latérales de la plaine, il est représenté de la base au sommet par:

- des argiles schisteuses du Néocomien d'une épaisseur de 800 m environ au Nord et à l'Ouest de Zaccar,

- des flyschs de l'Albien qui se développent dans le massif de Boumaad ,

- des marnes avec des intercalations de bancs calcaires d'âge Sénonien.

**E- Le Miocène :** le Miocène peut atteindre 300 m d'épaisseur et il est constitué de la base au sommet par:

**a-Le miocène inférieur (Burdigalien) (Figure II.6) :** le Miocène inférieur repose sur des terrains plus anciens Eocènes et Crétacés et débute par une formation conglomératique d'épaisseur environ 220 m.

Cette formation est constituée essentiellement de conglomérats polygéniques à éléments de taille très variable, mal trié, avec des niveaux sableux ou gréseux mal stratifiés parfois gypsifères.

Au sommet, les niveaux conglomératiques deviennent plus fins et passent progressivement à des marnes gréseuses rouge à brune verdâtre.

**b-Le miocène supérieur (Vindobonien) :** le Miocène supérieur est constitué par une série représentée de la base au sommet par:

Des niveaux conglomératiques épais de 1 à 2m à ciment sablo marneux, surmontés par un niveau marneux de couleur bleu d'une épaisseur environ 50 m . Des marnes blanches alternant avec quelques bancs siliceux couronnés par un dépôt de grès et de sable d'une épaisseur d'environ 100 m

## CHAPITRE II ETUDE GEOLOGIQUE 2010/2011

Une formation marneuse de couleur bleue, présentant un faciès argileux parfois gypseux d'environ 90m d'épaisseur.

**F- Le Mio-Pliocène :** le Mio-Pliocène est constitué par des galets quartzeux, des conglomérats, des grès et des argiles détritiques ainsi que le travertin ancien déposé au niveau des sources du Zaccar.

**G- Le Pliocène :** on distingue un Pliocène continental et un Pliocène marin:

**a-Le Pliocène Inférieur (Pliocène marin) :** il est représenté par une série marneuse qui débute par des niveaux détritiques gréseux ou sableux et par fois conglomératiques, ensuite on a un passage progressif dans la partie supérieure à des marnes sableuses et sables argileux formant tous les termes de passage aux grès Astiens. Les grès, avec une épaisseur d'une centaine de mètres constituent une bande continue depuis l'Ouest d' EL-Abaddia vers le versant Sud du Dahra.

**b-L'Astien :** il est représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grès sont souvent à ciment calcaire, localement passer à des calcaires gréseux.

**c-Le Pliocène Supérieur continental (villafranchien) :** le Pliocène continental est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables, non consolidés.

Les dépôts sableux rouges à stratifications entre croisées qui succèdent aux conglomérats précédents appartiennent au villafranchien.

Ces dépôts reposent le plus souvent sur des limons gris. Parfois les conglomérats du Pliocène supérieur n'existent pas et les formations rouges du villafranchien se trouvent alors en contact des grès astiens; d'ailleurs, au Sud du Chélif sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire recouvre directement les calcaires gréseux du Miocène.



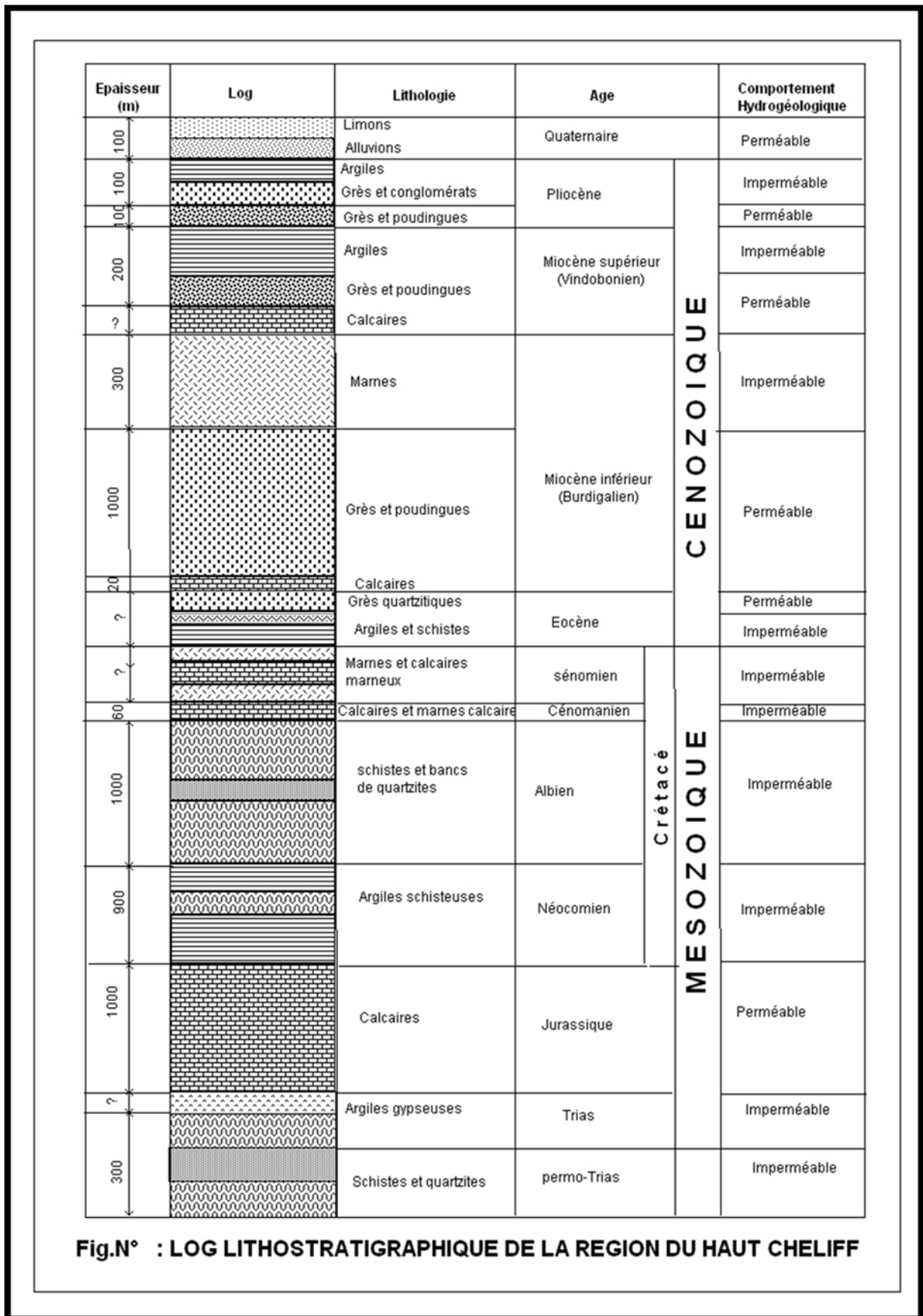
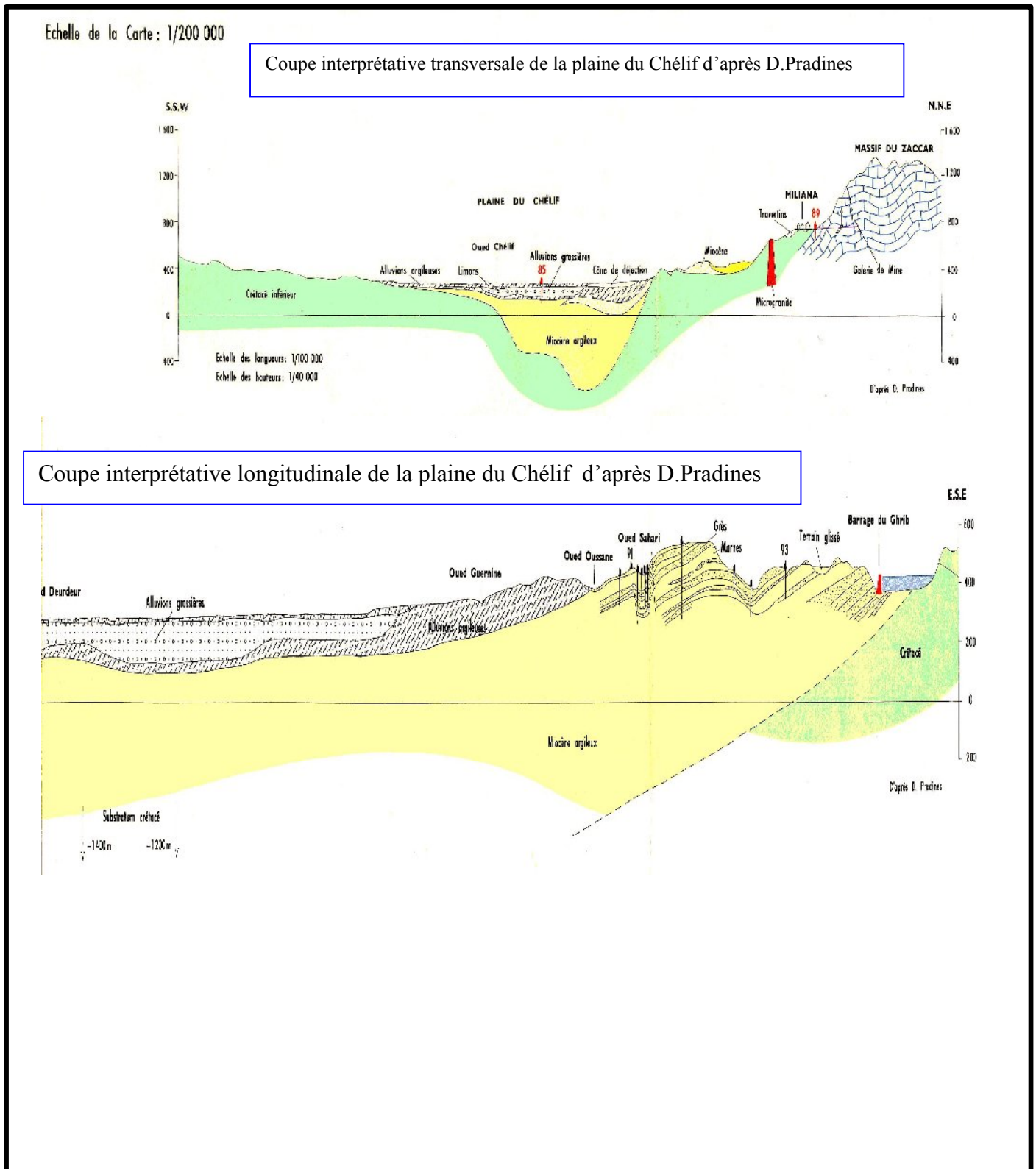


Figure II.4 : log lithostratigraphique de la region du haut cheliff



**Figure II.5:** Extrait de la carte Hydrogéologique de la région d'Alger –publiée en 1973 par l'ANRH

## CHAPITRE II ETUDE GEOLOGIQUE 2010/2011

**H- Le quaternaire :** les dépôts quaternaires sont continentaux. On distingue un Quaternaire ancien et un Quaternaire récent.

**a-Le Quaternaire ancien :** il est représenté essentiellement par des alluvions conglomératiques :

Galets, graviers et des sables. Les alluvions du Quaternaire ancien sont observées au pied du massif de Zaccar et en particulier à l'Est de Sidi- Lakhdar. Elles forment les vastes collines en bordure Sud de la plaine d'El- Khemis.

**b-Le Quaternaire récent :** le Quaternaire récent est formé essentiellement de limon, dont l'épaisseur varie de 50 à 200 m, on y distingue de bas en haut :

Des limons bruns à rouges, les niveaux les plus anciens sont discordants sur le Quaternaire ancien. Ces limons recouvrent la presque totalité de la dépression sous forme d'alternance sablo gréseuse.

Des grès, visibles surtout sur les berges des oueds, forment des accumulations de niveaux très fins dont les épaisseurs peuvent atteindre cinq mètres. Ce sont d'anciennes vases asséchées. Ces formations proviennent de l'érosion des reliefs avoisinants.

Des alluvions actuelles formés de limons, de sables, de galets et de cailloutis au fond des talwegs et dans les zones de confluence des oueds et des méandres abandonnés.

### II.3 Cadre structural

La plaine du Haut Chélif est un synclinal circonscrit entre deux grandes structures anticlinales représentées par l'Ouarsenis au Sud et le massif du (Dahra) au Nord.

#### II.3.1 Tell méridional :

Le tell méridional est représenté au niveau de l'Ouarsenis par quatre unités :

-La série Autochtone : la série autochtone est constituée par des marnes et des calcaires formant de vastes bombements recoupés par plusieurs failles, des terrains essentiellement schisto-quartzitique du crétacé et des calcaires du jurassique –néocomien.

-Le complexe A : le complexe A correspond aux calcaires, marnes et conglomérats de l'Albo-Cenomanien-turonien et aux argiles gréseuses du barremo-albo-aptien.

-La nappe B : la nappe B de tectonique assez complexe est constituée par une série de lames successives soulignées par du Trias, repose sur le complexe autochtone représenté par des terrains Crétacé et Miocène.

-La nappe C : la nappe C formée par des terrains Crétacés, Oligocène et Miocène repose sur la nappe B.

### II.3.2 La dépression de haut Chélif

La dépression du haut Chélif est constituée essentiellement d'alluvions récentes d'âge Mio-Plio-Quaternaire d'une épaisseur moyenne environ 150m. On note des alluvions anciennes de nature très diverse mais à fort pourcentage argileux en général. Enfin une carapace calcaire formée de Tufs blanchâtres, compacts ou pulvérulents et particulièrement développées au Sud de la plaine.

### II.3.3 Tell septentrional :

La nature du tell septentrional est analogue à celle du tell méridional. Les deux dernières constituent les deux nappes, B et C, ce qui repose sur l'autochtone.

De la série stratigraphique et compte tenu des caractéristiques lithologiques et structurales, il en ressort les niveaux aquifères suivants (Figure II.6) :

**A-Les calcaires jurassiques :** les calcaires d'âge jurassique constituent un important réservoir qui se particularise par la présence des fissures représentatives d'un milieu approprié pour la circulation et le stockage de l'eau souterraine. Toutefois, la densité et la répartition mal connues de ces fissures posent d'énormes problèmes pour l'implantation des puits et des forages. Leur puissance peut atteindre les 400m.

**B-Les aquifères du Miocène :** ils se présentent sous forme de conglomérats plus ou moins argileux et sableux. Les calcaires du Miocène affleurent le long de la limite Sud de la vallée. L'observation de ces affleurements et les données de forages, suggèrent la présence d'espaces vides et de fissures internes ouvertes. Cette situation est provoquée par dissolution des carbonates sous l'influence de l'infiltration de l'eau de pluie, particulièrement le long des surfaces de contact. L'aquifère c'est développé dans ces espaces vides.

**C-Les aquifères du Pliocène :** Le Pliocène se présente sous forme de grès de l'Astien. Ce sont des grès sableux jaunâtres passant à leur sommet à des sables dunaires à hélix. Son épaisseur moyenne est de 100m.

**D-Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire :** Les descriptions lithologiques des forages indiquent que plus de 20% des matériaux traversés sont décrits comme étant des sables, des graviers ou des grès. Ces données montrent également une gamme de profondeurs de forages qui va de 2 à 150m.

Toute fois, notre étude dont l'objectif consiste à évaluer les réserves en eau souterraine est axée essentiellement sur l'aquifère alluviale du haut Chélif qui constitue l'aquifère le plus important et le plus exploité dans toute la région de la plaine du haut Chélif.

### II-4 GEOPHYSIQUE :

La prospection électrique de la plaine du Haut Chélif a été réalisée par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG, 1969). Les objectifs assignés à cette étude consistent essentiellement en :

La détermination des propriétés électriques des différents horizons dans le but de définir les formations susceptibles d'être aquifère.

La connaissance de la géométrie des formations aquifères.

#### II.4.1 ECHELLE DES RESISTIVITES :

A partir de l'étalonnage des forages et sondages, le tableau ci-dessous résume l'échelle des résistivités adoptées par la CGG, dans le cadre de l'étude de la nappe alluviale du Haut Chélif.

**Tab.II.1** : Echelle des résistivités (d'après la C.G.G.1969)

Etage	Nature géologique	Résistivité (ohm m)
<b>Quaternaire</b>	Alluvions perméables	50 à 100
	Alluvions peu perméables	5 à 30
<b>Pliocène</b>	Calcaires gréseux	60 à 80
	Marnes	3 à 20
<b>Miocène</b>	Argiles quartzitiques	10 à 20
	Marnes	40 à 50

#### II-4.2 INTERPRETATION DES CARTES GEOPHYSIQUES :

##### A- CARTES DES RESISTIVITES APPARENTES EN LIGNES AB = 300 M :

La carte de résistivités apparente en ligne AB = 300 m (*Fig.II.6*), constitue un écorché géologique à profondeur constante (en moyenne 30 à 90 m). La longueur de ligne a été choisie de manière à donner une image de la répartition des alluvions grossières. Nous distinguons :

Un axe résistant de direction Est-Ouest tout le long de oued Chélif ou la résistivité est supérieur à 30 ohm.m. De part et d'autre de cet axe, les résistivités sont faibles.

Des résistivités plus élevées (90 ohm m), sont localisées dans la partie Ouest de la ville de Djendel. attribuées aux alluvions grossières du Quaternaire.

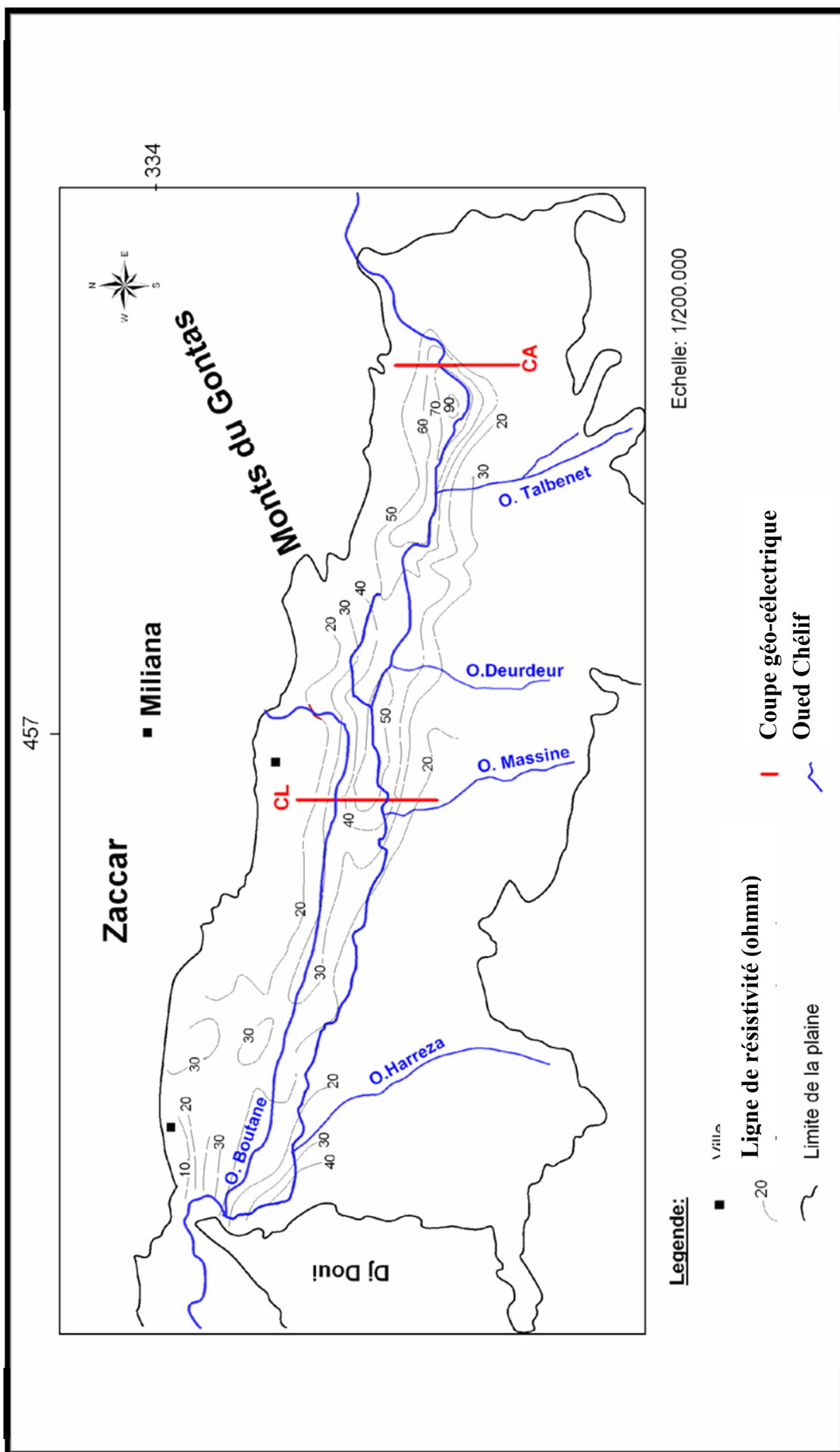


Fig.II.6 : Carte de résistivité apparentes en ligne AB = 300 m dans la plaine du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1989)

### B-CARTES DES RESISTANCES TRANSVERSALES :

La carte qui représente la répartition de la résistance transversale permet de distinguer des niveaux caractérisés par une bonne résistivité. On distingue :

**a-Un niveau alluvionnaire grossier :** La carte (**Fig.II.7**), montre Un axe résistant d'orientation Est-Ouest sur la rive droite de l'oued Chélif dont les variations sont de 5000 ohm m<sup>2</sup> à l'Ouest d'El Khemis et de 7000 à 10000 ohm m<sup>2</sup> à l'Est. Ailleurs, les résistances transversales sont de l'ordre de 1500 ohm m<sup>2</sup>.

Un axe résistant coïncide dans son tronçon Ouest (5000 ohm m<sup>2</sup>) avec l'oued Boutane et à l'Est (7000 à 10000 ohm m<sup>2</sup>) avec l'oued Miller.

**b-Un niveau grés-conglomératique :** (**Fig.II.8**.) Plongeant sous le quaternaire, le niveau grés-conglomératique affleure au Nord de la plaine au massif du Gontas. Il est constitué de grés et poudingues du Miocène supérieur.

On observe au Nord et au Nord-Ouest des grés et poudingues caractérisés par une résistance transversale de 4000 ohms m<sup>2</sup> à l'Est d' El Khemis, ce qui correspond à de fortes épaisseurs de grés (200 m). Par contre, à l'Ouest, les valeurs varient entre 5000 et 10000 ohm m<sup>2</sup>. Le sillon des grés du Miocène supérieur s'amincit progressivement jusqu'à disparaître sous les alluvions néogènes.

### II-4.3 INTERPRETATION DES COUPES GEO-ELECTRIQUES :

**A-COUBE GEO-ELECTRIQUE (CA) :** a coupe géo-électrique (CA) (**Fig.II.9**), d'orientation Nord-Sud, réalisée à l'Ouest de la localité de Djendel passe par les sondages électriques (CA3, CA2, CA1). Elle montre que :

-Dans la partie centrale au niveau du sondage électrique (CA2), les alluvions deviennent plus épaisses, atteignant des résistivités de 120 ohm m.

-Au Nord et au Sud du sondage électrique (CA2) les alluvions diminuent d'épaisseur. Le substratum des formations alluviales représenté par des argiles, affleure au Nord et au Sud de la région de Djendel avec une résistivité de 10 ohm m.

-L'épaisseur des niveaux conducteurs augmente vers le Sud où elle atteint au niveau des sondages électriques (CA3) et (CA2) plus de 100 m.

-La coupe géo électrique (CA) montre d'autre part un second niveau résistant (100 ohm m) d'une épaisseur moyenne de 100 m pouvant être attribuée aux grés sableux du Djebel Gontas.

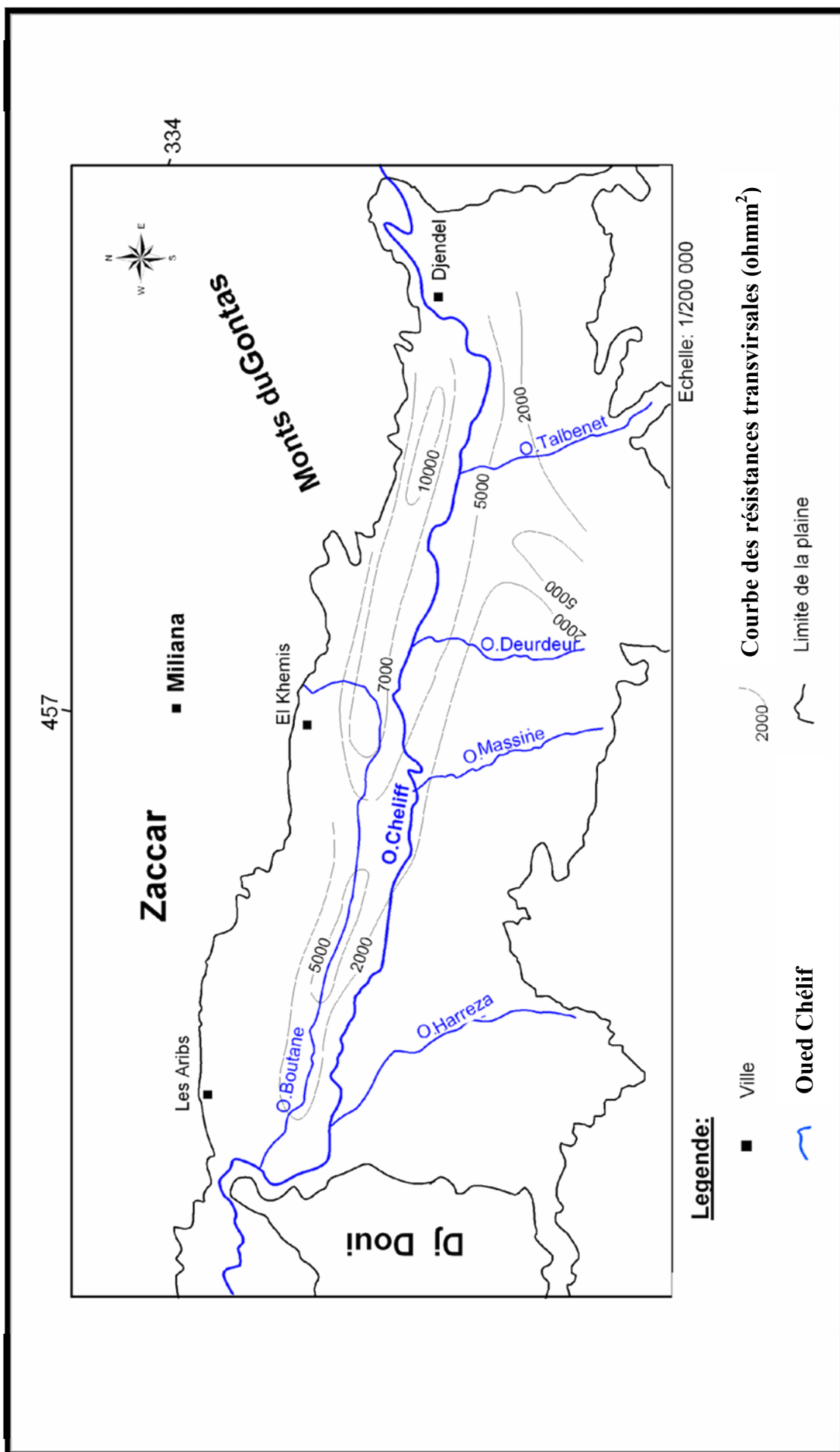


Fig.II.7 : Carte des résistances transversales des alluvions de la nappe du Haut Chelif (d'après la C.G.G 1989)



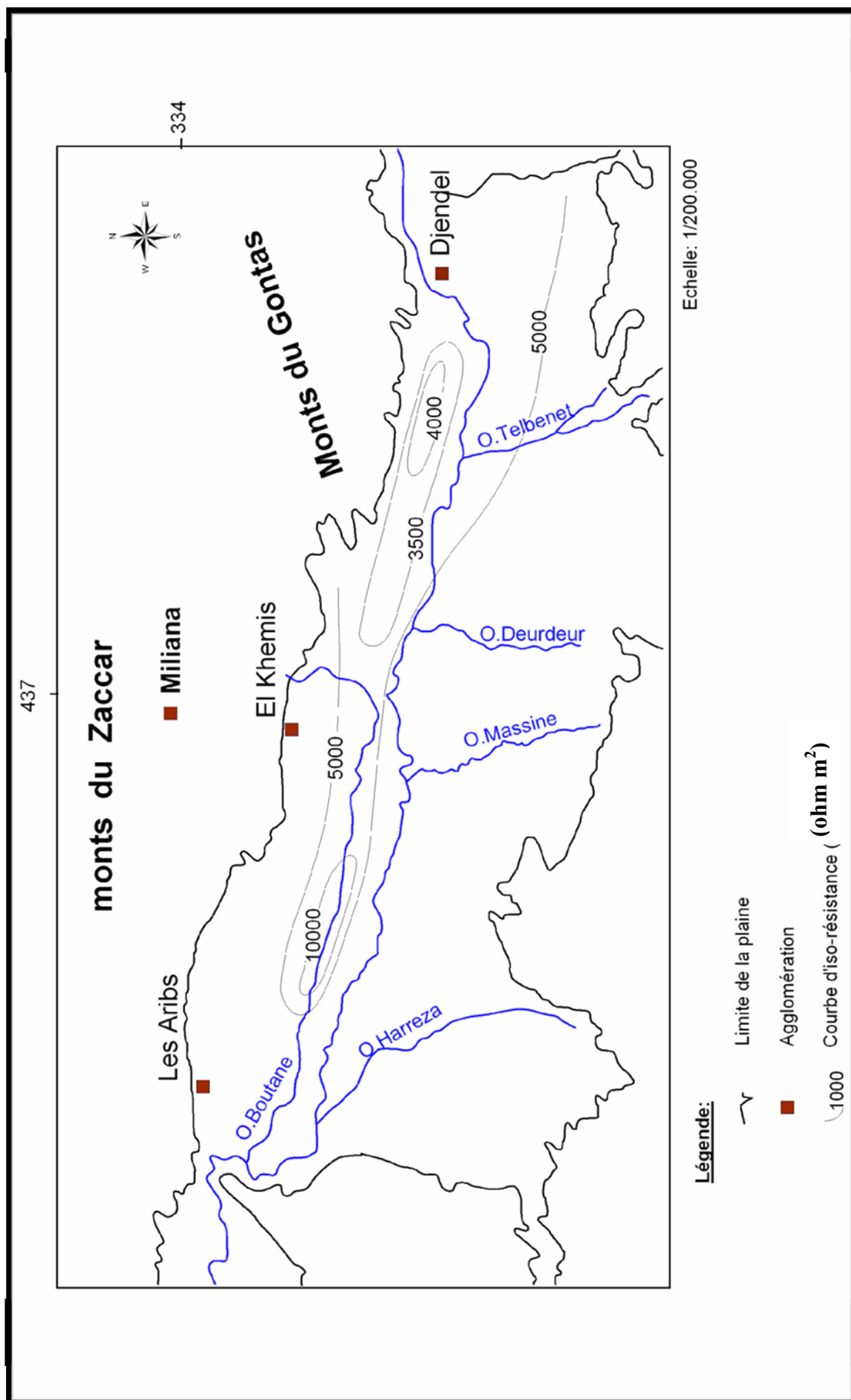


Fig.II.8: Carte des résistances transversales des gés du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1969).

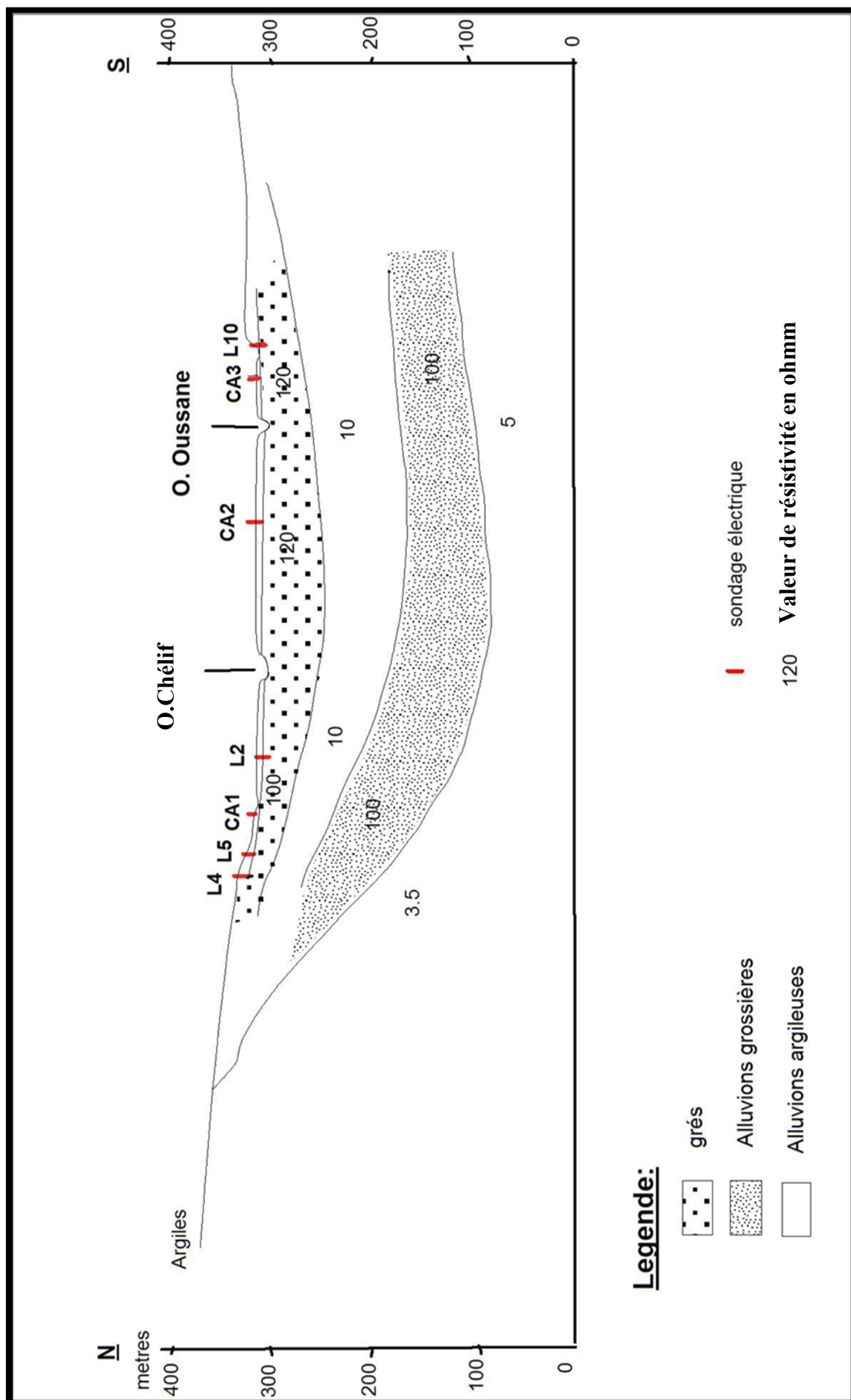


Fig. II.9 : Coupe géoélectrique (CA) à travers la plaine du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1989)

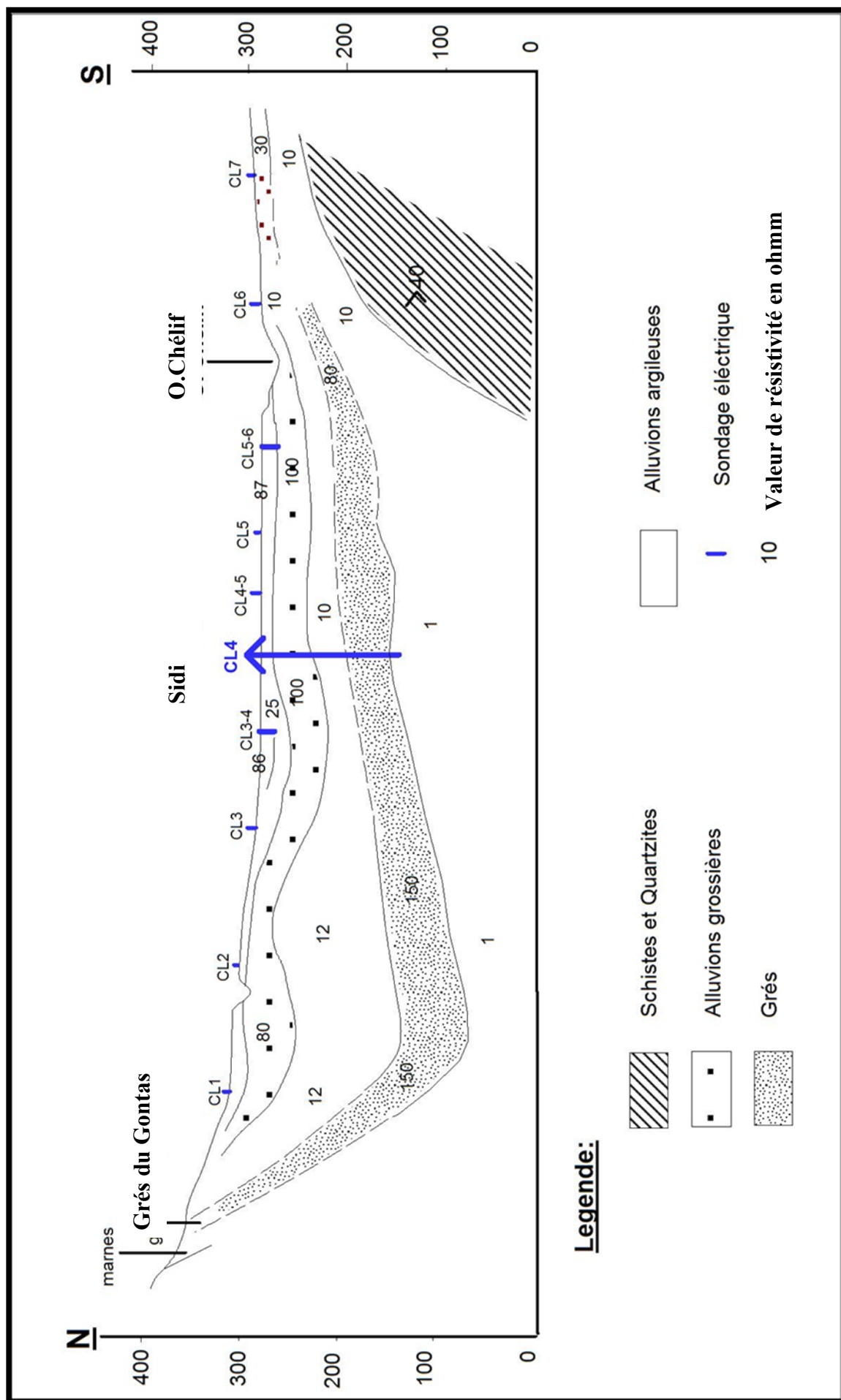


Fig. II.10: Coupe géoélectrique (CL) à travers la plaine du Haut Chélif (d'après la C.G.G 1989)

### II.4.4 COUPE GEO ELECTRIQUE (CL) : (Fjg.II.10)

Cette coupe est située à l'Ouest d'El Khemis. Elle passe par les sondages électriques (CL7, CL6, CL5, CL4, CL3, CL2 et CL1) et montre que :

Dans la partie centrale, entre les sondages électriques (CL3, CL2), les argiles deviennent plus épaisses et atteignent une épaisseur d'environ 50 m avec des résistivités de 15 ohm m. Les alluvions ont presque la même épaisseur le long de la rive droite de l'oued Chélif avec une résistivité maximale de 100 ohm m. Dans la rive gauche, on constate l'amincissement des alluvions caractérisées par une résistivité de 30 ohm m.

Le substratum des formations alluviales représenté par des argiles affleure au Sud (au niveau du sondage électrique CL6) et au Nord avec une résistivité de 10 ohm m. On remarque qu'entre les sondages électriques (CL1 et CL3), l'épaisseur du substratum est très importante et peut atteindre 150 m avec une résistivité de 12 ohm m.

La coupe géo-électrique CL montre d'autre part un second niveau résistant (150 ohm m) d'une épaisseur moyenne de 100 m attribué aux grés du Djebel Gontas.

Sur la rive gauche de l'oued Chélif, on remarque que l'épaisseur des formations alluviales diminue suite à la remontée du substratum crétacé de la formation schisto-quartzitique.

### **Conclusion :**

Le chenal résistant prouve que l'épaisseur des alluvions grossières est de 100 à 140 m au Nord. Au Sud, elle ne dépasse pas 20 m.

La nappe alluviale ne dépend pas de la nappe des grés par une couche relativement épaisse d'alluvions argileuses. Cette couche est continue sauf à l'Ouest où le contact entre les deux formations existe.

Au Nord de la plaine, les grés Mio- Pliocène atteignent les 200 m d'épaisseur. A la rive gauche, ils sont totalement absents et les alluvions Quaternaires sont discordantes sur le Miocène marneux. Ce dernier s'amincit dans la région de l'oued Massine provoquant la remontée du substratum.

# **CHAPITRE 3 :**

***ETUDE HYDROGEOLOGIQUE.***

### Introduction :

En va étudier dans ce chapitre géomorphologie potentiel ou piezométrie hydriques la plaine du Haut Chélif a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques et des essais de pompage et des données des forages ont été faite au cour des années

Ces expériences ont découvert plusieurs facteurs géologique globalement sont résolue des résultats importantes ont les résumera dans les étapes suivantes :

- identification des structures et de la forme des réservoirs.
- obtenir les coefficients géologiques d'écoulement des eaux (perméabilité, coefficients de saturation ... etc.) vers la nappe souterraine.
- l'emplacement des nappes chargé par l'élément phase Alpine Miocène inférieure
- les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère et des forages.

### III.1 Les mécanismes d'alimentation des nappes :

L'alimentation de la nappe Mio-Plio-quaternaire est assurée par les eaux d'infiltration des:

- Précipitations tombant sur la plaine.-Eaux de ruissellement des oueds (Deurdeur, Chélif, Souffay, Boutane.etc)
- Eaux d'irrigation excédentaires L'alimentation de la nappe des calcaires du Jurassique se fait par l'infiltration des eaux de précipitations au niveau des affleurements de cet aquifère dans la partie Nord de la plaine de Khemis-Miliana.

#### A-Relation nappe – oued Chélif :

La Piézométrie n'indique aucune relation entre la nappe et l'oued Chélif.

#### B-Rapport entre les systèmes :

Les relations existant entre les différents systèmes du bassin versant sont de deux types ; elles s'effectuent soit par des apports superficiels, soit par des apports souterrains.

### III.2 Apports superficiels :

Au Sud, les nombreux oueds (Deurdeur, Massine, Harreza) drainent une quantité d'eau dont l'apport à la nappe n'est certainement pas négligeable en saison humide. Au Nord, le massif schisto calcaire du Zaccar très raviné amène des eaux de ruissellement dans la plaine par les oueds Souffay, Boutane, Reyhane et Chrestiou.

En bordure nord- ouest, entre Sidi Lakhdar et les Aribis la limite plaine/montagne paraît étanche vu la forme des isopièzes, les alluvions sont d'ailleurs en contact avec les schistes crétacés imperméables.

Il existe cependant un apport à la nappe par ruissellement superficiel, la forte pente du massif schisteux provoque le débordement de nombreux oueds en période de crue, ces eaux viennent alimenter les cônes de déjection situés plus en aval (Aribis).

Dans ces cônes, la présence de lentilles d'argiles est susceptible de créer des poches d'eau dans lesquelles les paysans creusent leur puits, cela peut entraîner la formation de petites nappes superficielles n'ayant aucune liaison ou relation avec la nappe alluviale.

## CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

C'est en tenant compte de ce fait important que nous avons pu tracer les isopièzes le long de la bordure Nord de la plaine celle-ci se resserrent nettement au niveau des cônes de déjection traduisant leur faible perméabilité.

### III.3 Apports souterrains :

Les affleurements, miocènes et mio-pliocènes gréseux perméables bordent au Nord et au Nord-Est les flancs de la vallée, les grès miocènes sont d'ailleurs remarquablement étendus au Nord-Est de la plaine.

Les formations mio-pliocènes et miocènes constituent une nappe aquifère importante qui plonge sous la plaine alluviale quaternaire, il est fort probable qu'à la rupture de pente, le contact alluvions et grés serait direct et qu'une partie des eaux des grés s'écoule dans la nappe alluviale. La forme des iso pièzes tendrait à émettre cette hypothèse.

Le contact entre l'aquifère gréseux et l'aquifère alluvial se fait par l'intermédiaire d'une couche relativement épaisse d'alluvions argileuses.

Il n'est pas impossible que dans certaines zones il y ait communication entre les deux nappes par l'amincissement ou la disparition de la couche argileuse.

A quelques exceptions près (au Sud- Est) la nappe alluviale est captive sous une couche de limons ou d'argiles de 10 à 20 m d'épaisseur, celle-ci rend impossible toute alimentation dans la nappe alluviale elle peut créer en particulier à l'Est de la plaine des nappes superficielles retenues dans les zones les plus argileuses en surface.

Au Nord, de nombreuses sources émergent du flanc Sud du Zaccar. Certaines sont issues du massif calcaire du Zaccar, d'autres des grés carteniens, d'autres encore empruntent le tracé d'un contact lithologique ou d'une faille, ces sources captées sous formes de fontaines alimentent en eau la région de Miliana ces sources sont sans doute l'indice d'un apport au bassin par les eaux du massif du Zaccar.

Au Sud-Ouest, au niveau du massif du Doui les ressources en eau sont importantes. Cependant, l'écoulement souterrain se faisant essentiellement vers l'Ouest comme l'indique l'étude hydrogéologique du moyen Chélif oriental (faite par l'ANRH), nous pouvons considérer que l'apport, en eau du Doui à la nappe alluviale existe mais reste négligeable

(cite par benchrite 2010)

## CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

### III.4 interprétation des cartes piézométriques :

La mesure des niveaux piézométrique effectués en période de hautes eaux (Avril 2010) et basses eaux (Septembre 2010), dans les puits et forages nous a permis de tracer des cartes piézométriques en hautes et basses eaux de la nappe Mio-plio-quadernaire du Haut Chéelif.

#### III.4.1 haute Cheliff période des hautes eaux 2010 (interprétation) :

D'après l'analyse de la carte (*FIGURE.III.1*) ont a obtenue que :

- les courbes d'hydro isohypse coupe de part et d'autre de l'oued Chéelif, ce qui implique des apports latéraux des bordures vers le centre de la vallée (zone d'El-Khemis).
- De l'amont vers l'aval il y a une diminution des cotes piézométrique qui varient de 22 (pz3a) et 17 à (w083-48), orienté de Est vers Ouest.
- Le gradient hydraulique est assez faible, il est de l'ordre de 0,4 % pratiquement Sur toute la plaine augmentent pratiquement 1.29 dans la partie de leurdeur.
- Les côtes piézométriques les plus élevées sont observées sur les limites limitrophes de la plaine (aux piémonts des massifs) de l'est vers l'ouest.
- l'écoulement souterrain s'infiltré de l'Est vers l'Ouest (suivant l'écoulement superficiel).

#### III.4.2 haut Cheliff période des basses eaux 2010 (interpretation) :

D'après la carte (*Fig.III.2*), on remarque que :

- Les courbes d'hydro isohypse sont un peut espacées loin l'un de l'autre de cela en constate que gradient hydraulique faible de l'ordre de 0,35% dans la partie ouest et la vitesse de circulation d'eau souterraine est similaire.
- Les valeurs des cotes piézométrique d'amont vers l'aval, on remarque qu'il y a une diminution régulière ce qui indique un sens d'écoulement qui se superpose à celui de l'oued Chéelif 22 (w083-80) et 12 à (w083-48), orienté de Est vers Ouest.
- gradient hydraulique grand de l'ordre de 1.83 dans la partie ouest et la vitesse de circulation d'eau souterraine
- niveau piézométrique baisse contrairement à la période des hautes eaux.



### CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

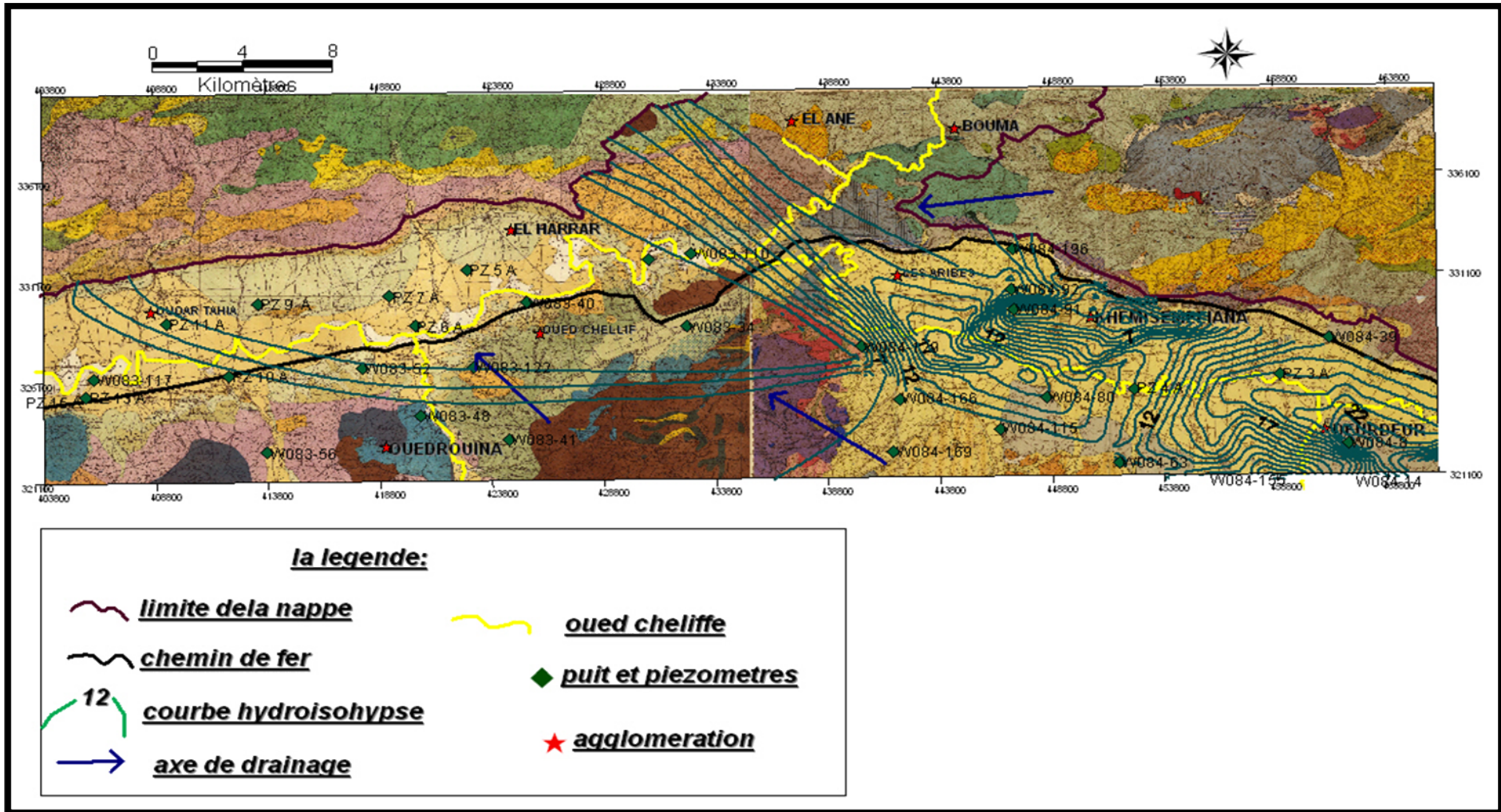


Figure III.1: Carte piézométrique de la nappe du Haut Chéiff hauts eaux(2010)

CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

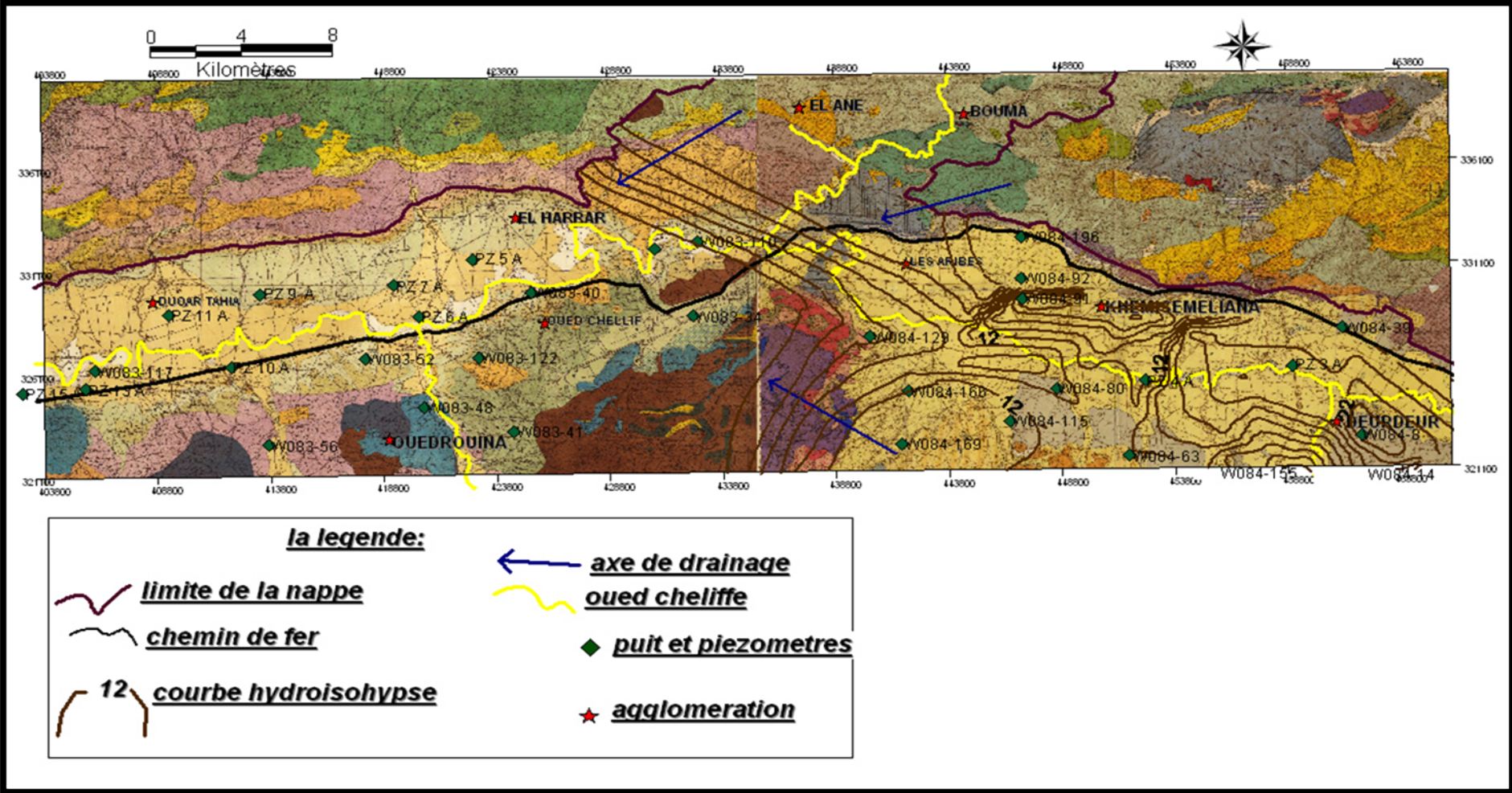


Figure III.2 :carte piézométrique de la nappe du Haut Chéiff basses eaux (2010)



CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

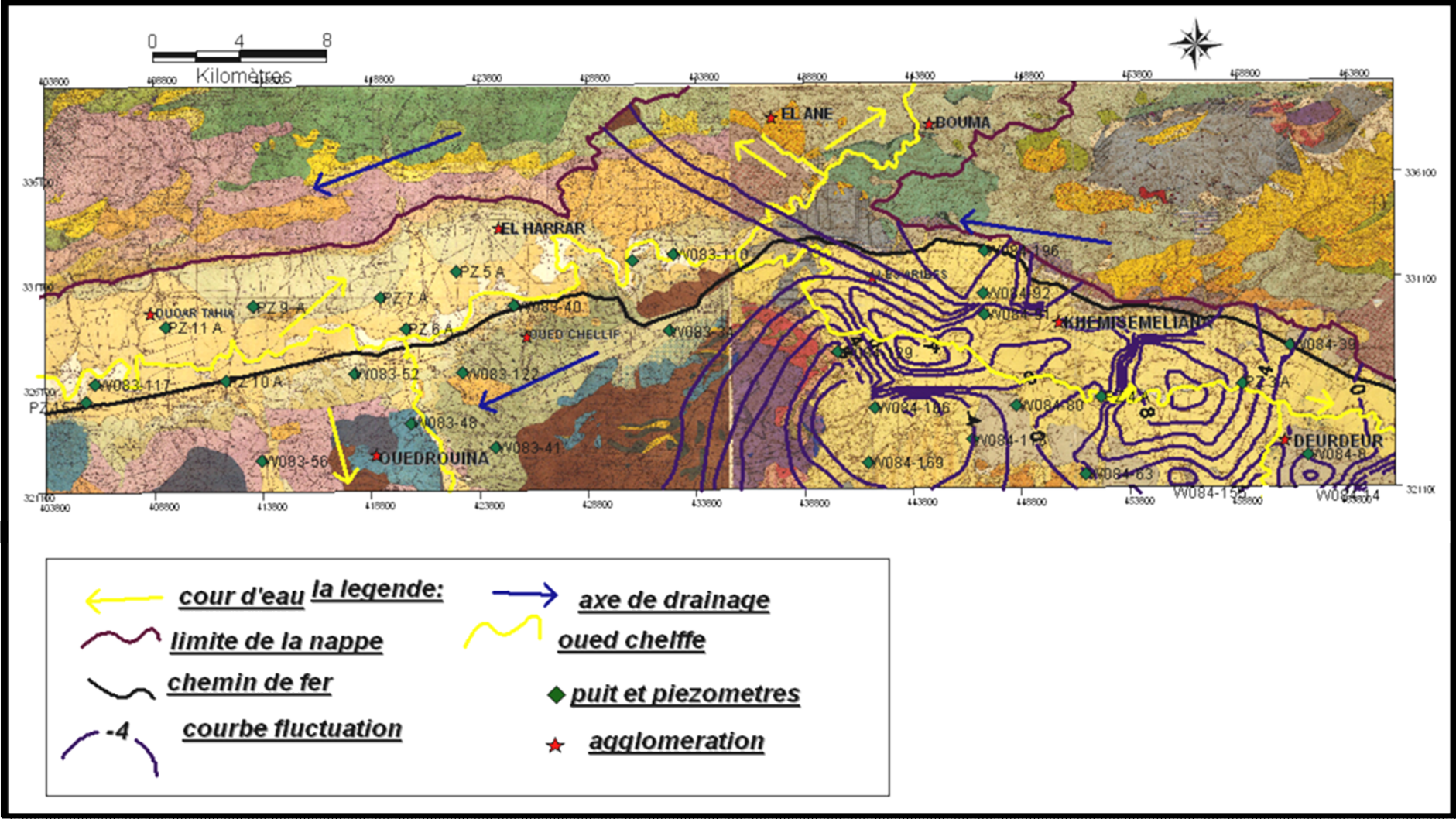


Figure III.3 : Carte de fluctuation de niveau piezometrique de la nappe da Haut Chélif (2000-2010)

## CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

### III.4.4 interpretation de fluctuations piézométriques des haut cheliffe (2000-2010):

Suite a notre calcule chematique des mesures piézométriques effectuées dans le Haut Chélif en périodes de hautes et basses eaux nous avons dressé une carte des fluctuations pendant 10 années de calculs (Fig.III.3).

**a-La plaine d'El Khemis** on constate que:

-une baisse de niveau piézométrique de 4 à 0 mètres, elle atteint -4 m au niveau du piézomètre (w084-115) Le niveau piézométrique atteint des valeurs négatives .

- Cette baisse du niveau est due à l'intense exploitation de la nappe durant la période d'étiage pour satisfaire le drainage hydraulique.

-une remontée de la nappe au niveau du piézomètre (w084-63) avec une valeur de 8m.

**b-La plaine des Aribis :**

-Les valeurs de battement et les courbes d'hydro isohypse montrent une diminution importante de niveau de la nappe.

-Une diminution du niveau piézométrique. Cela est dû à l'augmentation des essais de pompage.

**c-La plaine de oued rouina :**

-on ne remarque aucune fluctuation piézométrique au cour des 10 années derniers cela du au zone des profondeur des nappes élevés.

-l'axe du drainage et contrairement au sens d'écoulement en remarque qu'il est au sens des courbes d'hydro isohypse.

### III.5 La qualité D'EAU :

La qualité de l'eau des nappes souterraines prélevée des piézomètres de la plaine haut Cheliff est essentielle pour le rendement et la quantité des récoltes, pour l'entretien de la productivité des sols et pour la protection de l'environnement. Par exemple, les propriétés physiques et mécaniques du sol, en particulier sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans les eaux d'irrigation. En effet la qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique faite au laboratoire. Le facteur le plus important pour déterminer la convenance d'une eau pour l'irrigation est sa salinité on les représenter par les analyse suivante.

**TABLAU III.1 :** representative de la conductivite électrique (station bourg emir aek)

HATEUR(cm)	50	48	47	45	44	42	42	40	38
E <sub>CW</sub> (mmho/cm)	1.49	1.49	1.6	1.67	1.83	2.04	2.06	2.1	2.22

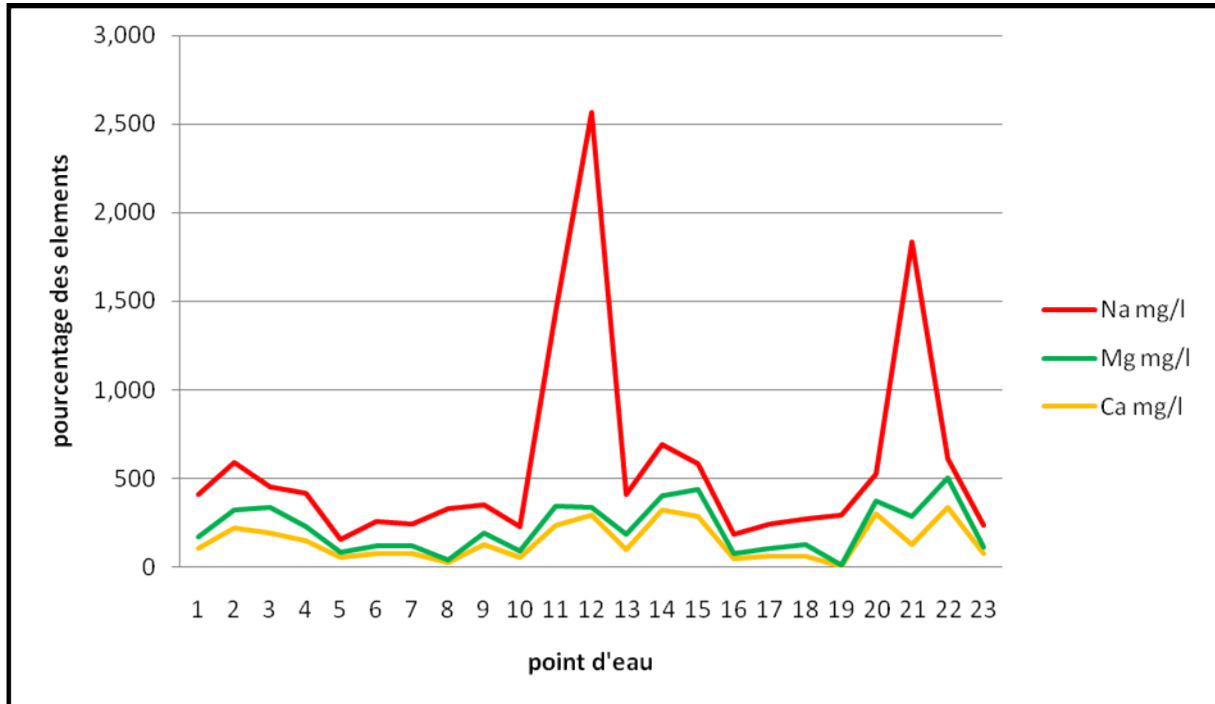
Source(ANRH)

## CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

**Tableau III.2** : points d'eau et leur pourcentages d'facies chimique

Point d'eau (piézomètres)	Les éléments chimique									
	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	CO3 mg/l	OH mg/l	NO3 mg/l
W084-129	106	64	242	3	311	371	325	0	0	0,0
W084-166	221	100	270	3	510	413	428	0	0	62,0
W084-114	192	143	121	2	445	353	427	0	0	51,0
W084-155	150	80	190	10	317	187	305	90	0	0,0
W083-48	60	25	71	16	272	0	43	0	0	10,0
W083-41	80	40	138	4	161	161	367	0	0	0,0
W083-19	80	40	121	5	340	46	175	0	0	10,0
W083-40	30	13	285	4	218	65	174	129	0	7,0
W083-34	130	62	159	7	325	197	351	0	0	89,0
W083-52	55	33	143	4	213	75	243	0	0	1,0
W083-56	242	100	1 100	17	2 060	463	59	0	0	2,0
W083-110	297	41	2 230	34	3 800	750	12	0	0	0,0
W083-126	102	79	227	7	338	343	195	0	0	2,0
W083-93	326	71	296	3	488	455	262	0	0	50,0
W084-14	289	147	147	4	588	420	263	0	0	25,0
W084-39	52	27	109	2	263	0	20	0	0	10,0
W084-40	67	40	134	3	163	144	149	45	0	2,0
W084-73	67	62	145	3	291	66	159	0	0	5,0
W084-80	6	5	280	5	255	77	43	15	0	5,0
W084-91	304	67	156	2	301	279	278	0	0	84,0
W084-110	133	151	1 550	15	3 000	500	49	0	0	3,0
W084-169	341	160	109	3	765	523	275	0	0	45,0
W084-196	77	33	126	4	249	87	227	0	0	3,0

## CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011



**Figure III.4** : courbes de variation de ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ) du Haut chéiff(2010)

**TABLAU III.3:** DES MOYENS DES CATION ANIONS (Haut chéiff 2010)

IONS	moyenne(mg/l)	moyenne(Meq/L)
$Cl^-$	681.39	19.19
$So_4^{--}$	259.74	5.41
$Co_3^{--}$	12.13	8.65
$Hco_3^-$	209.91	3.44
$No_3^-$	26.26	0.42
$Na^+$	363	15.78
$K^+$	6.87	0.17
$Ca^{++}$	148.08	7.4
$Mg^{++}$	68.78	5.63

### III.5.1 INTERPRETATION DE LA COURBE DE VARIATION :

-on remarque que le  $Na^+$  attendre des valeurs élevée 2665mg/l contrairement au  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  Qui ne dépasserons pas 500mg/l au coure de l'année 2010

## CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

### III.6 Alimentation de la nappe :

La nappe alluviale du Haut Chélif est alimentée par :

- Les précipitations :: en raison de la nature lithologique des terrains affleurant (alluvions, sables...) qui sont perméables, ainsi que les pentes très faibles de la plaine, ce qui favorise l'infiltration directe des eaux de pluies.
- Des cours d'eaux, notamment en période de basses eaux.
- Les formations aquifères tel que les calcaires du Zaccar et autres formations fissurées à l'amont de la plaine.

#### III.6.1 Les sorties de la plaine :

Les sorties naturelles ou provoquées des eaux souterraines se font par :

- Les pompages (puits ou forages), pour satisfaire les besoins de la population soit pour l'AEP ou l'agriculture ainsi que pour l'industrie.
- Drainage de la nappe par l'oued en période des hautes eaux.

#### III.6.2 Paramètres hydrodynamiques du système aquifère :

L'étude géologique et hydrogéologique montre que les aquifères principaux de la région du Haut Chélif, sont représentés par deux aquifères, séparés par un niveau imperméable

- La nappe alluviale constituée par des alluvions quaternaires à porosité d'interstice recouvert par des argiles qui peuvent rendre la nappe captive.
- Les grés du Miocène, généralement non recoupé par des forages.

Dans le but de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des formations alluvionnaires de la plaine du Haut Chélif, des essais de pompages de longue durée ont été effectués par les directions hydrauliques des wilayas de Chlef et Ain Defla (DHW), sur quelques ouvrages de production (Tableau III.4).

## CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

**Tableau III.4** : Tableau récapitulatif des caractères des ouvrages de captage

Nom du forage	Coordonnées Lambert		Altitudes (m)	Niveau statique NS (m)	Débit Q (l/s)	Date de réalisation	Observation
	X (km)	Y (km)					
Djendel 2	473 800	323 750	310	30.1	40.1	DHW (1988)	Absence de piézomètre
Ain Soltane 2	464 500	327 070	287	16.80	45	ANRH (2003)	Présence de piézomètre
Sidi Lakhdar 1	451 600	327 500	120	16.59	50	DHW	Absence de piézomètre
Sidi Lakhdar 2	450 520	327 870	/	10	12.70	ANRH (2003)	Présence de piézomètre
Ain Soltane 1	464 500	326 070	287	16.80	45	DHW (1970)	Absence de piézomètre
Aribes	442 200	331 350	251	7.15	50	DHW (1982)	Absence de piézomètre

Les résultats des paramètres hydrodynamiques (T, K et S) des différents forages cités dans le tableau III.5 précédent, sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau III.5** : Résultats des paramètres hydrodynamiques de la nappe du Haut Chélif.

Paramètre / Forages	Pente (C)	Transmissivité T (m <sup>2</sup> /s)	Perméabilité K (m/s)	Coefficient d'emmagasinement (S)
Djendel 2	0,01	7,32.10 <sup>-2</sup>	5.10 <sup>-2</sup>	-
Sidi Lakhdar 1	0,02	4,57.10 <sup>-2</sup>	9,09.10 <sup>-2</sup>	-
Aribes	0,15	6,1.10 <sup>-2</sup>	8,84.10 <sup>-2</sup>	-
Ain Soltane 2	0,05	3,66.10 <sup>-2</sup>	4,89.10 <sup>-2</sup>	0,017
Ain Soltane 1	0.28	2.94.10 <sup>-2</sup>	3.76.10 <sup>-4</sup>	-
Sidi Lakhdar 2	0,15	1,22.10 <sup>-2</sup>	8,1.10 <sup>-2</sup>	0,22

(benchriate najji 2010)



## CHAPITRE III ETUDE HYDROGEOLOGIQUE 2010/2011

### CONCLUSION :

L'étude hydrogéologique de la nappe au plaine haut Cheliff perpétrent de définirai la variation piézométriques des cartes hauts eaux ,bas eaux 2010 et la fluctuation pendant (2000-2010) par une interprétation de l'axe de drainage ,l'axe du cour d'eau ,la distribution des puits et piézomètres et essentiellement et les courbes d'hydro isohypse ,fluctuation et le sens des niveaux statique et dynamique de la piézométrie des nappes qui calcule les facteurs d'impacte de la nappe souterraine.

# **CHAPITRE 4 :**

***ETUDE HYDROCHIMIQUE.***

### Introduction

L'étude hydrochimique de la nappe de notre zone d'étude (haut cheliffe) a été entreprise afin de mieux comprendre les mécanismes d'alimentation de l'aquifère. La connaissance détaillée de la chimie des eaux de la nappe permettra également de mieux les utiliser en particulier en irrigation et en alimentation en eau potable.

A cet égard, l'ANRH effectue des prélèvements d'échantillons d'eau commandés par (Laboratoire d'hydrogéologie) dans le cadre de la préparation d'une ingénierie sur la vulnérabilité des nappes des haut cheliffe à la pollution des eaux superficielles et souterraines. La campagne d'échantillonnage a été effectuée sur des points d'eau sur l'ensemble de la plaine de haut cheliffe, ils sont répartis dans les cartes de notre chapitre suivant.

moment que leurs concentrations en différents éléments chimiques dépassent les normes de potabilité définies par l'OMS, et les valeurs sont présentées dans les cartes suivantes.

La composition en ions chimiques est certainement liée à la contamination par les rejets industriels qui se répartissent en aval et en amont de la plaine haut cheliffe au niveau de l'oued principale (Oued cheliffe).

#### IV.1 Analyse des données chimiques

Cette étude est fondée sur l'analyse complète d'échantillons d'eau prélevés lors de la campagne hydrochimique de mai 2010 et octobre 2010

##### IV.1.1 Etude hydrochimique

L'objet de cette étude, est de dresser un bilan sur l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines et superficielles. Cette approche fondée sur l'analyse des échantillons prélevés par l'équipe de l'ANRH (Blida) en mai 2010 et octobre 2010, permet d'abord une analyse globale des eaux avant l'examen des différents facteurs qui peuvent avoir une influence sur le chimisme de la nappe et l'établissement des différentes cartes (faciès chimiques)

Les analyses chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'ANRH de BLIDA, et ont porté principalement sur les éléments majeurs à savoir :

Cation :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$

Anion :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ .

IV.2 Analyse des caractéristiques physico- chimiques

IV.2.1 Paramètres physiques

A-Le potentiel d'hydrogene(pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H<sup>+</sup> de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Il doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie. Le schéma suivant montre la variation des PH suivant les points d'eaux étudiées comme le montre les figures (IV.1 et IV.2)

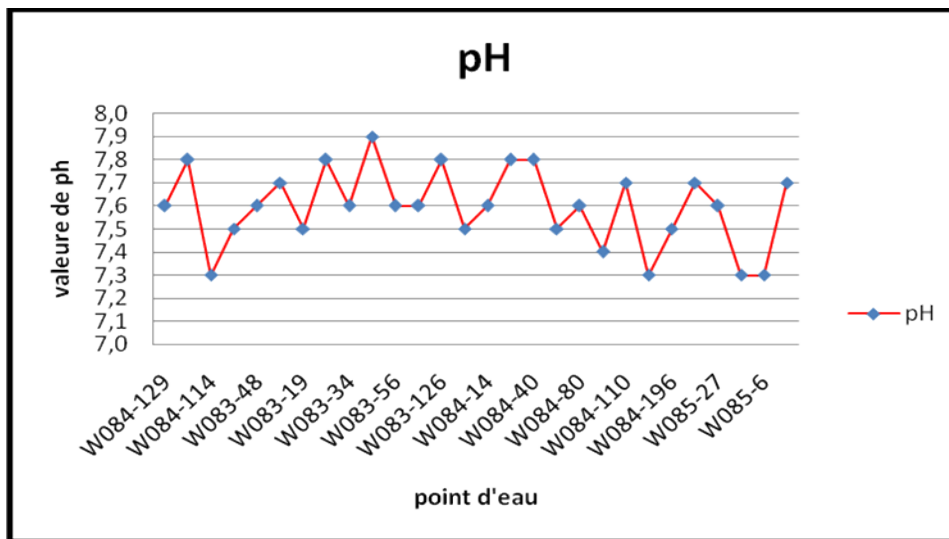


Figure IV.1: Domaine de variation du pH des échantillons analysés (Campagne: Mai, 2010)

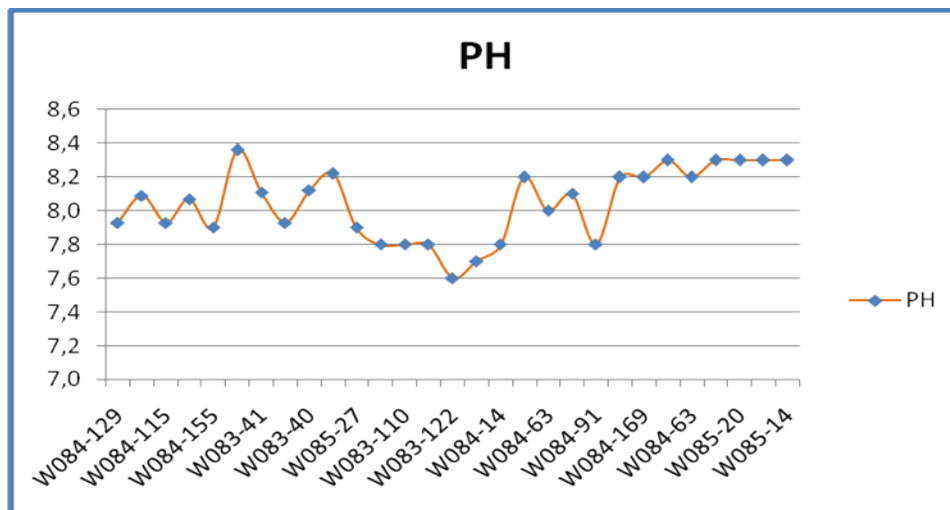


Figure IV.2: Domaine de variation du pH des échantillons analysés (Campagne: OCTOBRE, 2010)

On remarque que :

Les valeurs de pH mesurées sont généralement supérieures à 7.0 ;

-La valeur moyenne calculée sur 15 points d'eau est de 7.3 ;

-La valeur minimum est de 7.3 qui correspond au piezometre w084-114 situé à khmise meliana.

-La valeur maximum est de 8.3 qui correspond au piezomètre w083-41 situé à Deurdeur .

**Tableau IV.1:** Classification des eaux basée sur les valeurs de PH

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

### IV.3 Paramètres chimiques et Interprétation des cartes hydrochimiques :

#### IV.3.1 Cartes d'isoteneurs $CL^-$ en Chlorure

Dans la région d'étude, les teneurs en chlorures obtenues sont supérieures à elles établies par l'OMS (200 mg/l) dans certains points (pz5a, pz7a, pz10a), elles sont presque nul au niveau du centre de la plaine progressivement de l'amont vers l'aval jusqu'à atteindre des valeurs extrêmes supérieures à 700mg/l, au fur et à mesure qu'on avance vers la côte la plus élevée .

#### A- Carte de distribution de $CL^-$ des hautes eaux mai 2010

La détermination de la carte de distribution des chlorures découvre que la variation des valeurs comprend entre 1620mg/l en piezometre (w084-155) et en minimum 70mg/l (w085-38) donc on remarque la courbe d'isoteneure 1050 est la plus dominante il se concentre dans la partie est (khmise meliana et deurdeur) puis se baisse au centre de la carte cette dernière reprend une augmentation en partie ouest (oued rouina, et douare tahia) . En revanche, les concentrations sont élevées le long des parties est et ouest de l'oued et dans les agglomérations est supérieure 365mg/l donc on a fait une description de la carte (fig IV.3)

#### B- Carte de distribution période $CL^-$ des basses eaux octobre 2010 (fig IV.4)

La description de la carte en haut, on trouvant que les fortes valeurs se trouvent sur la rive droite de l'oued chélife. la probabilité d'estimation de la moyenne des valeurs supérieure est de l'ordre 1100mg/l dans la majorité de l'analyse des échantillons de la nappe on voit une grande cumulation dans la partie de el harrar a cote du puit (pz6a), dans la partie ouest les courbes d'isoteneures se condense (où les concentrations sont supérieure à 1100mg/l.

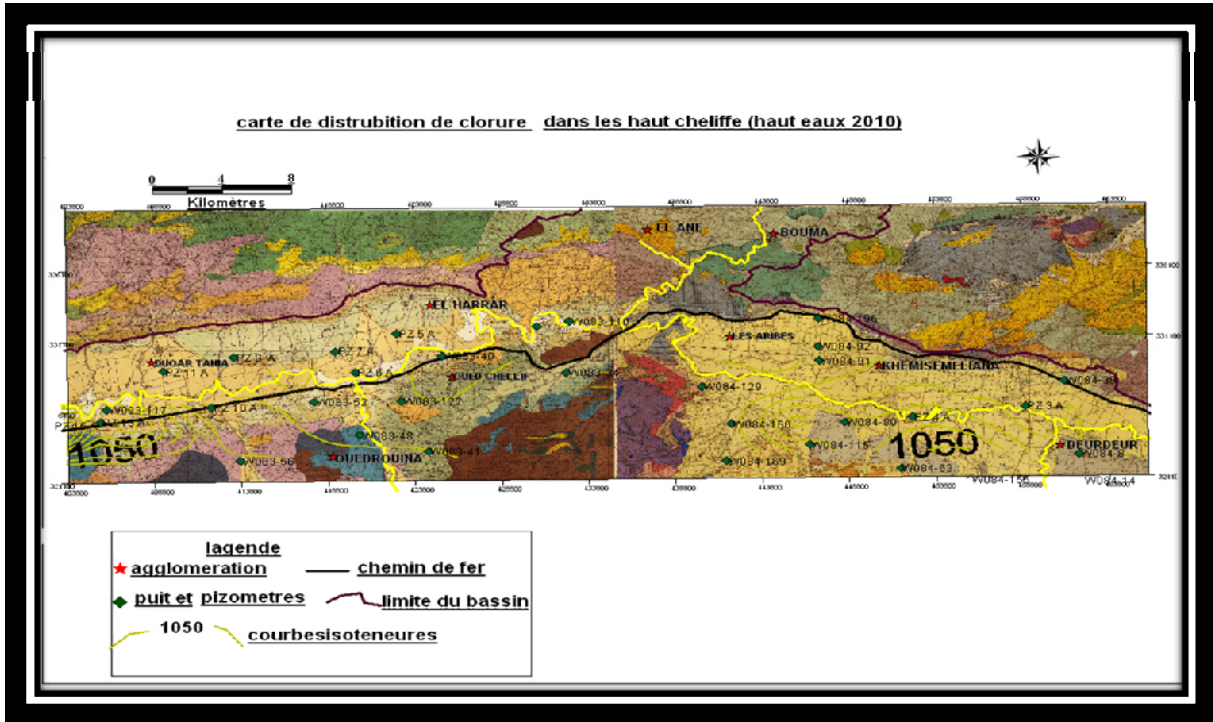


Figure IV.3 : Carte de distribution de chlorure dans les haut cheliff (hautes eaux 2010)

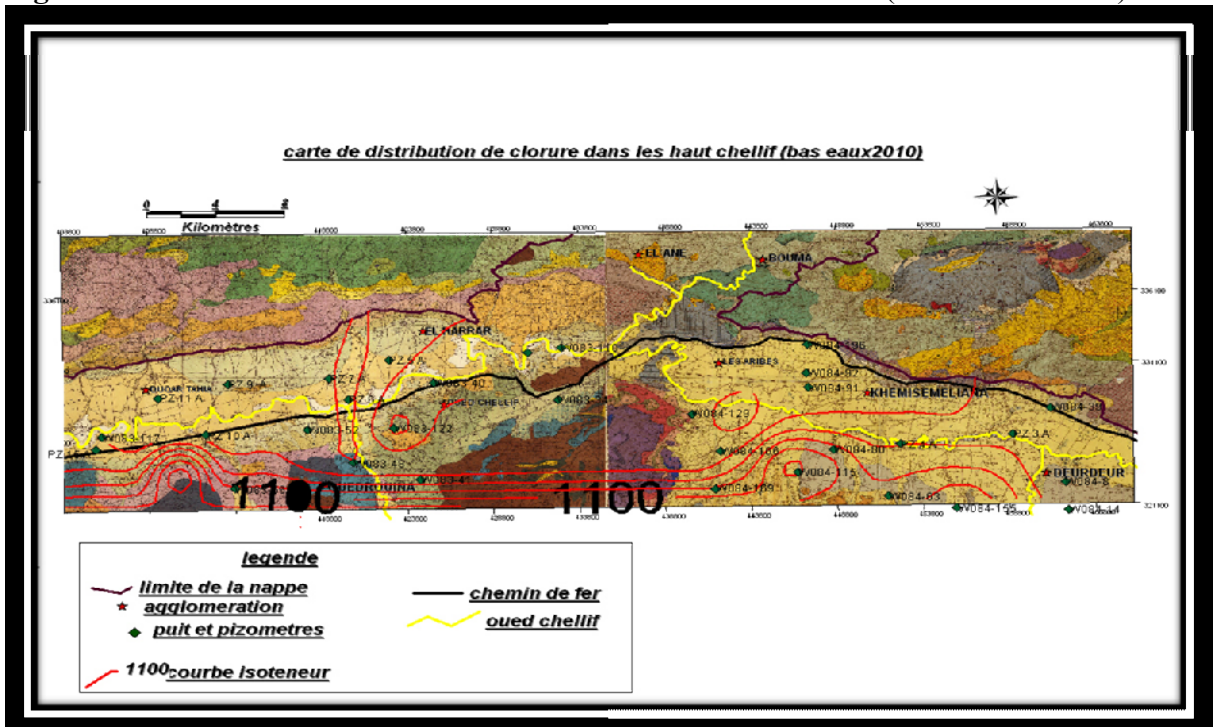


Figure IV.4 : Carte d'isoteneur en chlorure dans le Haut Chellif (basses eaux 2010)

**IV.3.2 Cartes d'isoteneurs en Nitrates**

La présence de nitrates dans l'eau peut avoir plusieurs origines :

- une origine liée aux activités humaines (rejets industriels, agricoles et urbains) ;
- une origine naturelle dans la mesure où les nitrates résultent des transformations de l'azote dans les eaux et les sols (cycle de l'azote).

**A- Carte de distribution  $\text{NO}_3^-$  période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.5)**

La carte d'isoteneurs en  $\text{NO}_3^-$  montre des valeurs oscillant de 3 à 95 mg/l. des échantillons d'eaux prélevées ont une teneur supérieure à 80 mg/l. On remarque une distribution un peu normale des courbes d'isoteneure en nitrates au niveau de la plaine et le long de l'oued chelif. Ces fortes teneurs sont dues principalement aux lessivages des engrais azotés et aux différents rejets industriels et domestiques. Elles se localisent dans la partie est au niveau des aribes (w084-196) . Les normes internationales recommandent des concentrations inférieures à 50 mg/l pour une eau destinée à l'alimentation haut chelif être surveillées.

**B- Carte de distribution  $\text{NO}_3^-$  période des basses eaux octobre 2010 (fig IV.6)**

La distribution est presque égale dans toute la carte représentative les concentrations en nitrates pour la période des basses eaux . La représentation des analyses de la campagne permet de différencier deux zones d'interprétation.

- La zone A : chargée en nitrates se situe à l'est vers l'ouest de la plaine (khmisse meliana jusqu'au oued rouina) avec des valeurs allant à 280 mg/l. Cela est dû à l'activité pendant la période de distribution des éléments fertilisants et phytosanitaires .
- La zone B : si on remarque l'axe central de la plaine (le long de l'oued principal oued chélife), bien que moins exposée à la pollution que la précédente, montre néanmoins des concentrations en nitrates qui atteignent 9 à 30 mg/l.

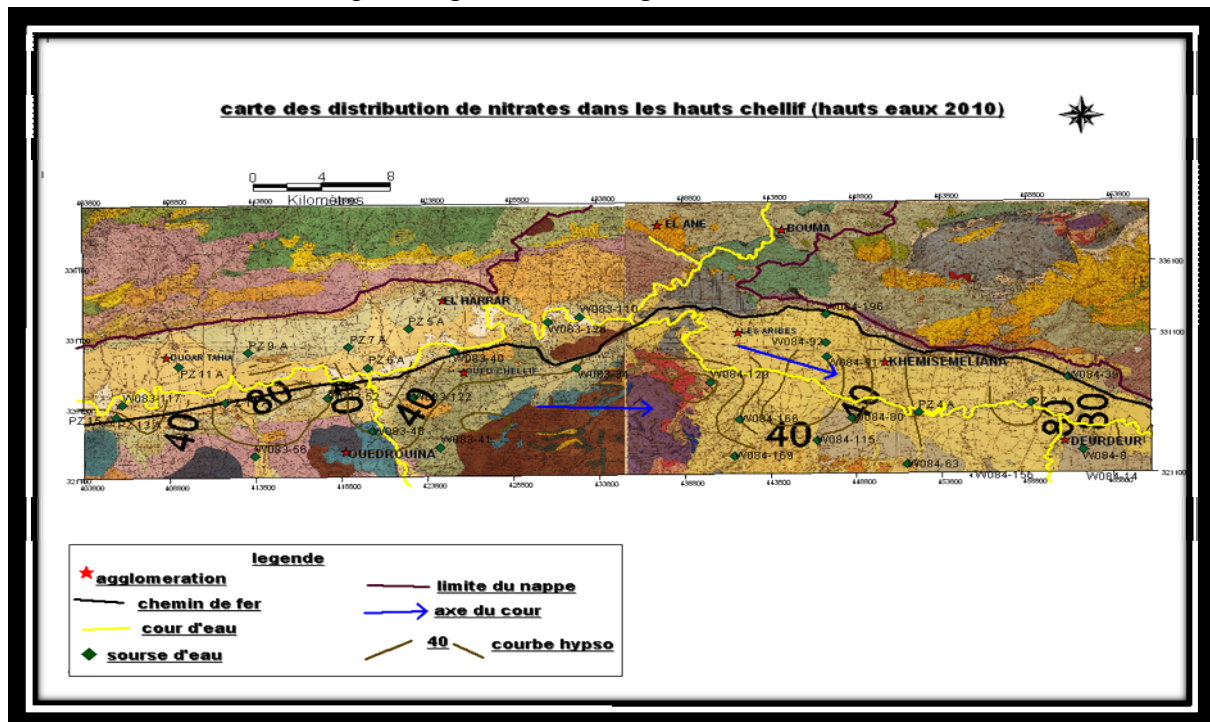


Figure IV.5 : Carte de distribution des nitrates dans les haut chelif (hauts eaux 2010)



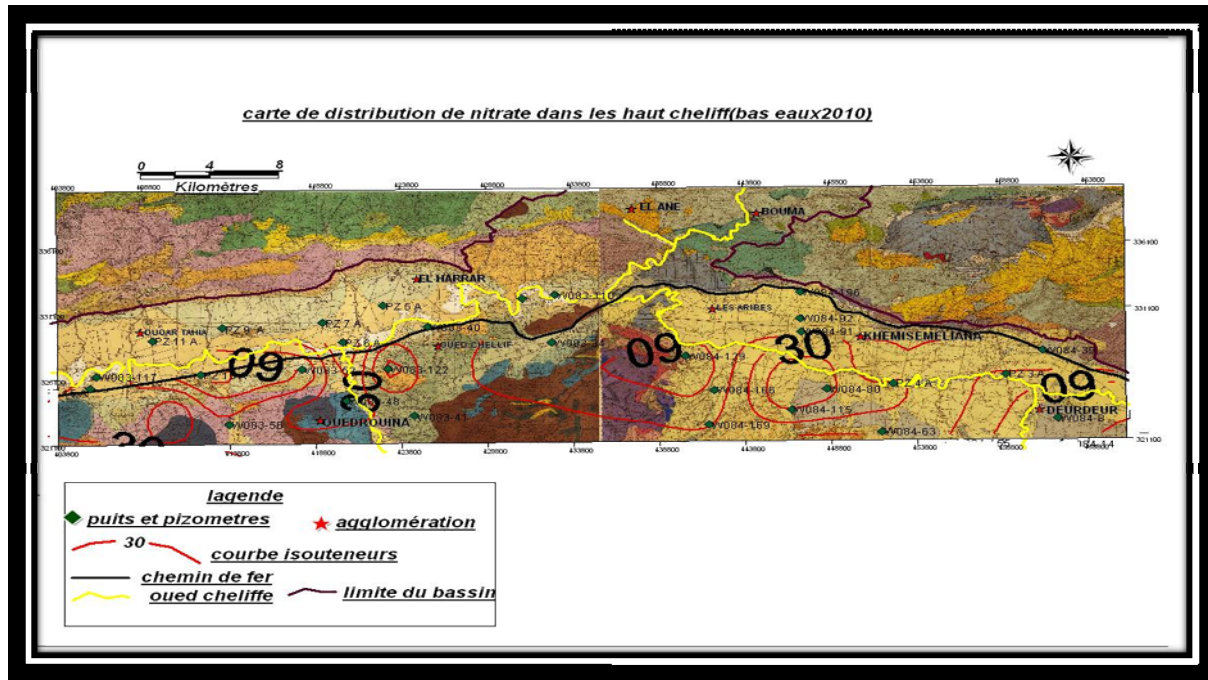


Figure IV.6 : Carte de distribution des nitrates dans le haut chelif (basses eaux 2010)

#### IV.3.3 Cartes d'isoteneurs en potassium ( $K^+$ ) :

Les teneurs en potassium, admises par l'O.M.S. sont de l'ordre de 100 mg/l, très souvent il a une très faibles quantités dans les eaux, ne présentant pas d'inconvénient majeur. Mis à part la dissolution de couches salifères, le sodium dans les eaux peut provenir :

- Du lessivage des formations riches en NaCl (argiles- marnes),
- Des eaux usées d'origine industrielle et domestique,
- De l'invasion d'eau marine.

#### A- Carte de distribution de $K^+$ période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.7) :

Les teneurs observées dans les eaux de la nappe alluviale de haut chelif s'échelonnent entre 3 à 24 mg/l. Cartes de répartition du potassium révèlent que les fortes concentrations s'observent au niveau des forages qui jouxtent l'oued chelif ou ses affluents oued el Ane et oued Deurdeur) ou qui sont implantés à proximité des agglomération (Khemis Meliana).

#### B- Carte de distribution de $K^+$ période des basses eaux octobre 2010 (fig IV.8) :

Dans la région d'étude, les teneurs en potassium période des basses eaux obtenues s'échelonnent entre 2 mg/l à 17 mg/l au niveau des haut chelif et augmentent progressivement vers l'aval jusqu'à atteindre 35 mg/l au niveau du (PZ5A) dans la région des aribes.

Les cartes d'isoteneurs en potassium montrent que les teneurs les plus importantes sont enregistrées dans la région de khemis meliana. L'évolution de ces concentrations notamment en aval est dû à l'intrusion marine et à la dissolution des formations géologiques au contact de l'eau qui séjourne. A cet effet, les courbes d'isoteneurs en potassium sont parallèles à celles des nitrates.

#### IV.3.4 Cartes d'isoteneurs en Sulfates :





On trouve le sulfate dans l'eau sous différentes valeurs cette dernière est causée par :

- De la solubilité des formations gypseuses en amont du bassin versant ou du lessivage des niveaux argileux et marneux constituant la nappe,
- Des rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ),
- L'utilisation d'engrais chimiques.

#### A-Carte de distribution de $SO_4^{2-}$ période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.9) :

Les teneurs en  $SO_4^{2-}$ , sont généralement entre 38 et 638 mg/l. Dans la partie amont, les teneurs sont comprises entre 148 mg/l et 238 mg/l dans la région de des aribes et khmise meliana aux piezomètres (w084-8, w084-63, w084-115, w084-169, w084-129) généralement elles sont stables dans cette zone.

Dans la partie centrale, on constate une grande augmentation de concentration suivant le sens de l'écoulement depuis les bordures vers les axes principaux de l'oued cheliff où elles atteignent 350 mg/l au niveau de l'embouchure et les extensions de l'Oued.

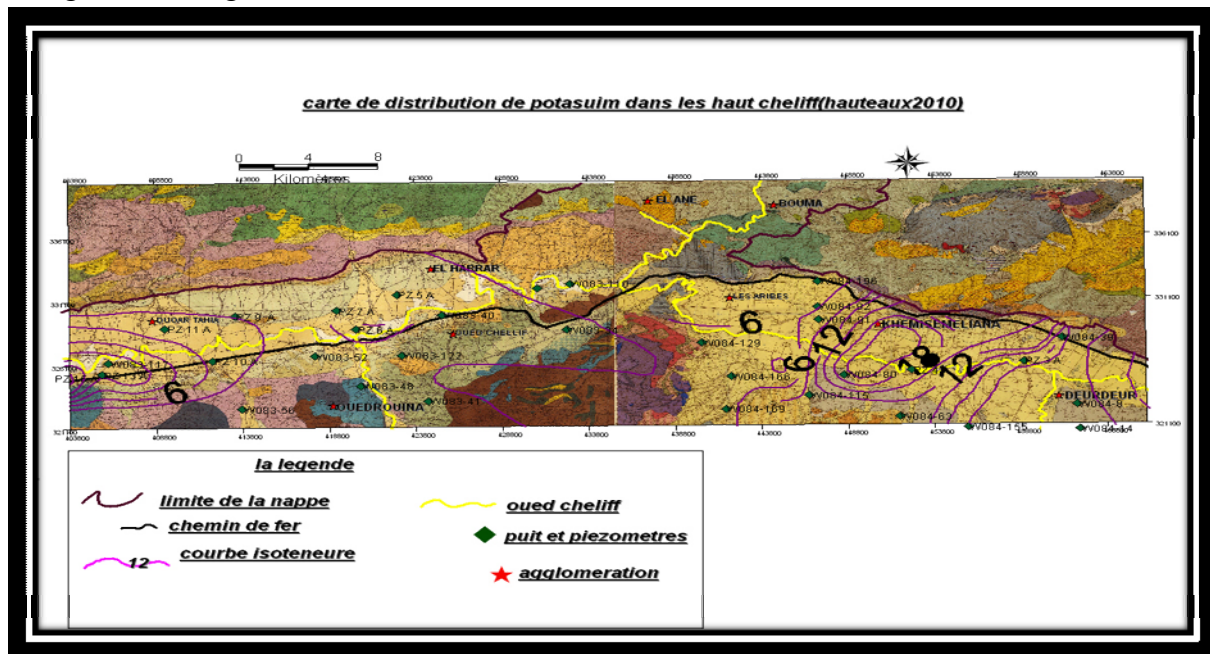


Figure IV.7 : Carte de distribution du potassium dans le haut cheliff (hautes eaux 2010)

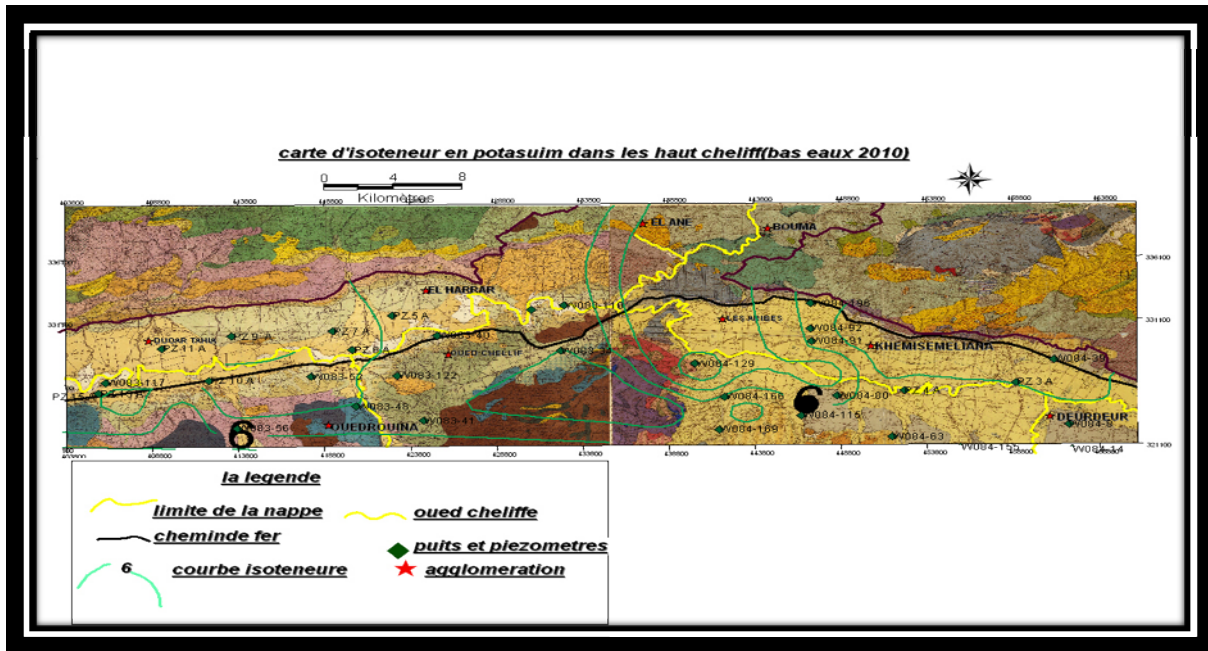


Figure IV.8 : Carte de distrubition de potaum dans le haut cheliff (basses eaux 2010)

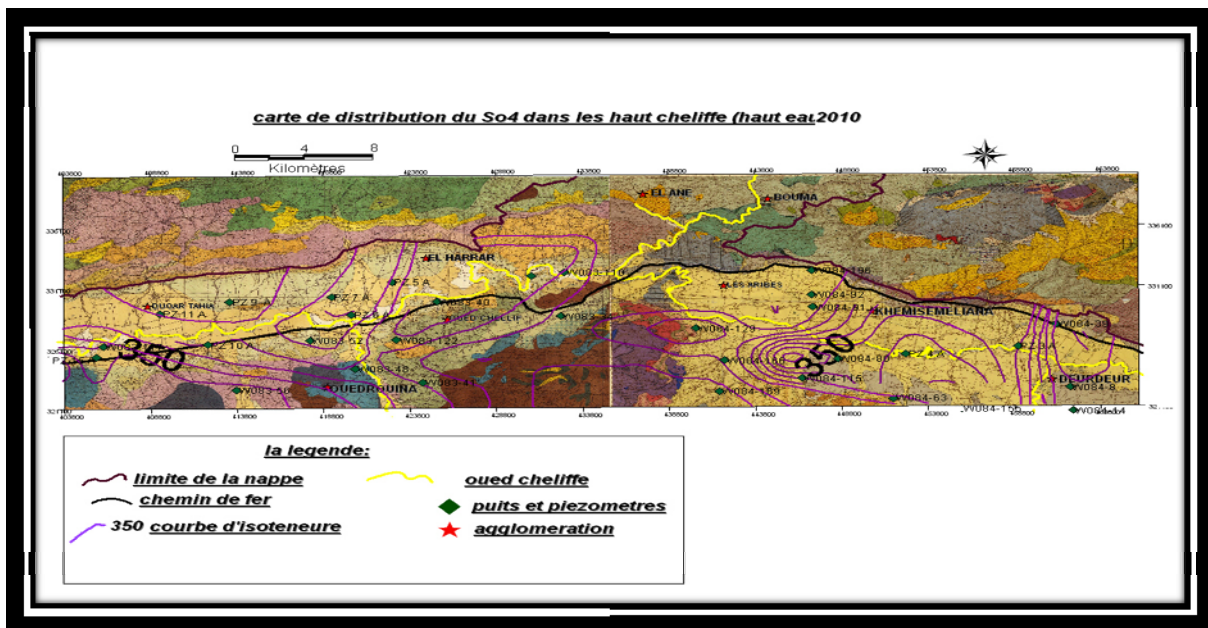


Figure IV. 9 : Carte de distrubition de SO<sub>4</sub> dans le haut cheliff (hautes eaux 2010)

**B- Carte de distribution SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> depériode des basses eaux octobre 2010(figIV.10) :**

L’interprétation de la carte de répartition des sulfates, pour la période des basses eaux montre l’existence de deux zones de fortes concentrations qui est limitée en courbes d’isoteneurs qui ont la valeur les 400 mg/l. La première se trouve dans la région ouest de la nappe , l’augmentation de la concentration est due au lessivage des niveaux marneux et argileux. La dexieume se situe dans la région centrale sur la rive gauche de l’oued Chélif. L’augmentation de la concentration est due à l’utilisation d’engrais cela due au periodes d’ependageau coure du traitement.

### IV.3.5 CARTES D' ISOTENEUR Calcium:

La plupart des puits présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux.

Les valeurs les plus élevées avec un maximum de 200 mg/l sont observées à l'ouest de la nappe pendant la période des basses eaux.

Les valeurs les plus faibles avec un minimum de 6 mg/l sont observées à l'est de la nappe. Pendant la période des hautes eaux, on enregistre une certaine dilution, avec une moyenne de 139 mg/l, alors qu'en période des basses eaux la moyenne enregistrée est de 240 mg/l.

Les valeurs d'iso teneur sont relativement importantes, ce qui traduit une grande variation des teneurs, car l'ion  $\text{Ca}^{2+}$  provient de deux origines naturelles différentes

Qui sont :

La dissolution des formations carbonatées et la dissolution des formations gypseuses selon l'équation suivante :  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{Ca}^{++} + 2 \text{HCO}_3^-$

#### A-Carte de distribution de $\text{Ca}^{++}$ période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.11) :

Les concentrations oscillent en général entre 30 et 430 mg/l. Ces dernières sont relativement faibles à l'amont de la nappe par rapport aux autres régions de l'est des hauts chlif, car les eaux souterraines ne sont pas encore minéralisées par les phytosanitaires et proviennent de la dissolution des formations calcaires de bordures. On remarque que les teneurs croissent dans le sens de l'écoulement.

Les fortes teneurs apparaissent à l'ouest, on pense qu'elles résultent de la dissolution des gypses contenus dans les marnes.

On remarque que les fortes concentrations dans notre période hautes eaux, ce qui nous laisse penser que l'élévation des concentrations est due à la consommation intensive et la faible pluviométrie après la période estivale.

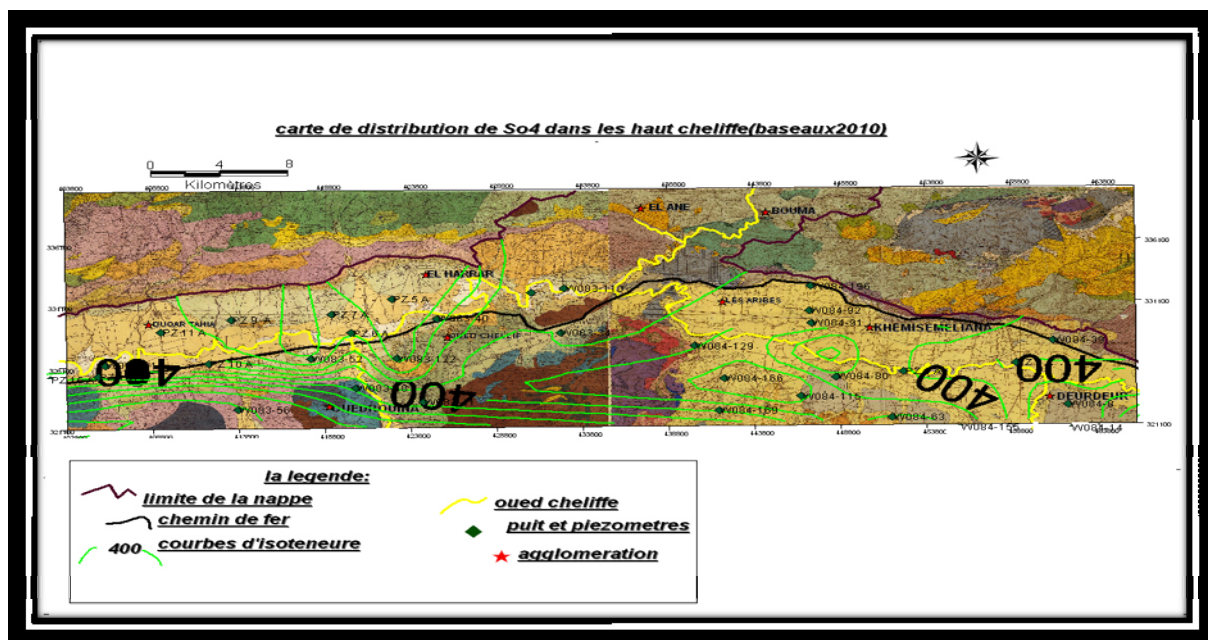


Figure IV. 10 : Carte de distribution de  $\text{SO}_4$  dans le haut cheliff (basses eaux 2010)



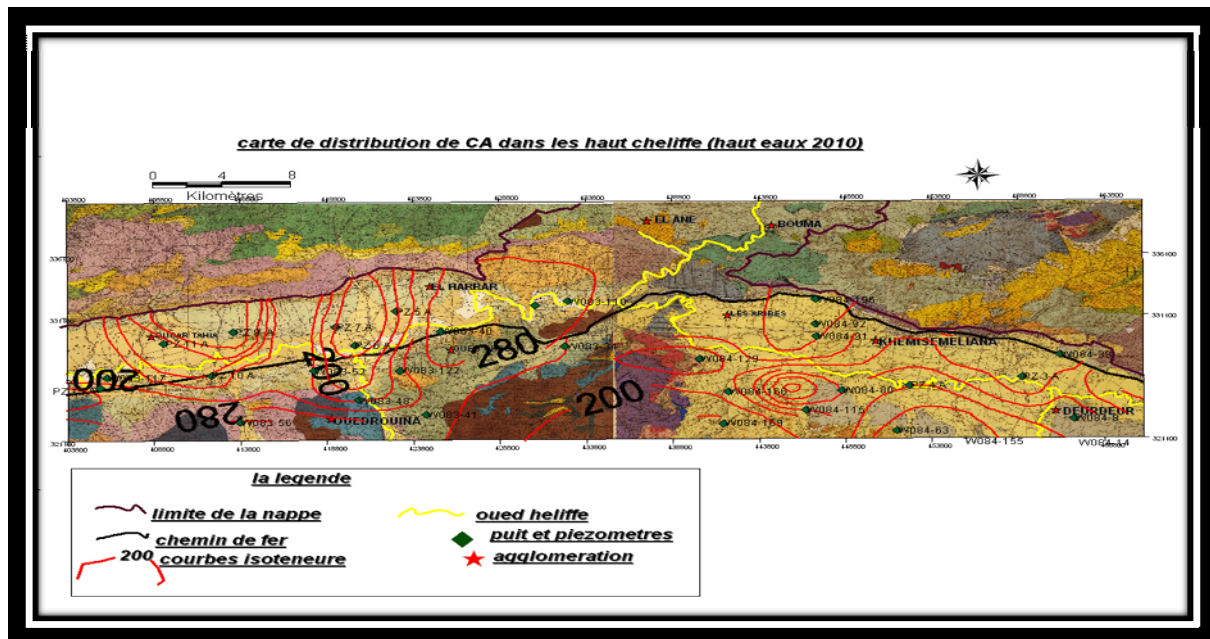


Figure IV. 11 : Carte de distribution de Ca<sup>++</sup> dans les hauts cheliff (hautes eaux 2010)

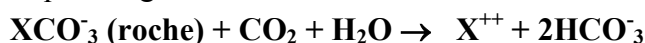
#### B- Carte de distribution de Ca<sup>++</sup> période des basses eaux octobre 2010 (fig IV.12) :

L'observation de la carte d'isotoneures en Ca<sup>++</sup> des basses eaux, fait ressortir des concentrations plus ou moins fortes, de l'ordre de 200 mg/l. Les fortes concentrations se localisent dans l'ouest (w083-112) ou à l'amont de douar tahia dans la région de oued rouina elle atteint une valeur de 269 mg/l. à l'ouest, elles sont comprises entre 205 et 269 mg/l (w084-129, w084-166, w084-115) dans les régions de l'est (deurdeur, aribes, khmise meliana). Les fortes teneurs en calcium proviennent probablement du lessivage des dépôts des formations carbonnées du piémont de l'est des hauts cheliff. On note les anomalies suivantes :

- Une, suivant l'axe de l'oued cheliff et superposée aux dépôts calcaires où les concentrations augmentent parallèlement au sens de l'écoulement de 320 mg/l.
- Une autre, se localise au centre, marnes carténiennes du Miocène.

#### IV.3.6 Cartes d'isotoneures en Bicarbonates :

Les résultats de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



- La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Température de l'eau
- Tension du CO<sub>2</sub> dissous,
- Concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

**A- Carte de distribution de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> période des hautes eaux mai 2010 (fig IV.13) :**

Dans le secteur d'étude, 50% des teneurs en bicarbonates obtenus sont supérieures à celles exigées par l'OMS (400 mg/l). Elles s'échelonnent entre 490 mg/l (w084-92) et 380 mg/l (w84-115), les valeurs décroissent de l'amont vers l'aval. La majorité des points d'eau analysés présentent des teneurs supérieures à 400mg/l, et cela dans la partie centrale et au est-ouest le long des hauts cheliffe.

**B- Carte de distribution de Hco<sub>3</sub> période des basses eaux 2010 (fig IV.14)**

La carte d'isoteneurs en bicarbonates montre que les teneurs les plus importantes sont enregistrées dans les régions de khmise meliana les aribes et le long d'oued cheliffe

Notons que les fortes concentrations des bicarbonates dans l'eau sont fonction des paramètres suivants : Tension du Co<sub>2</sub> dissous, température de l'eau et la nature lithologique des terrains traversés, elles proviennent du lessivage des formations hydrogéologiques des hauts cheliffe l'intervale de variation essentielle est entre 220mg/l et 280mg/l suivant deux zone d'égale isoteneur est-ouest .

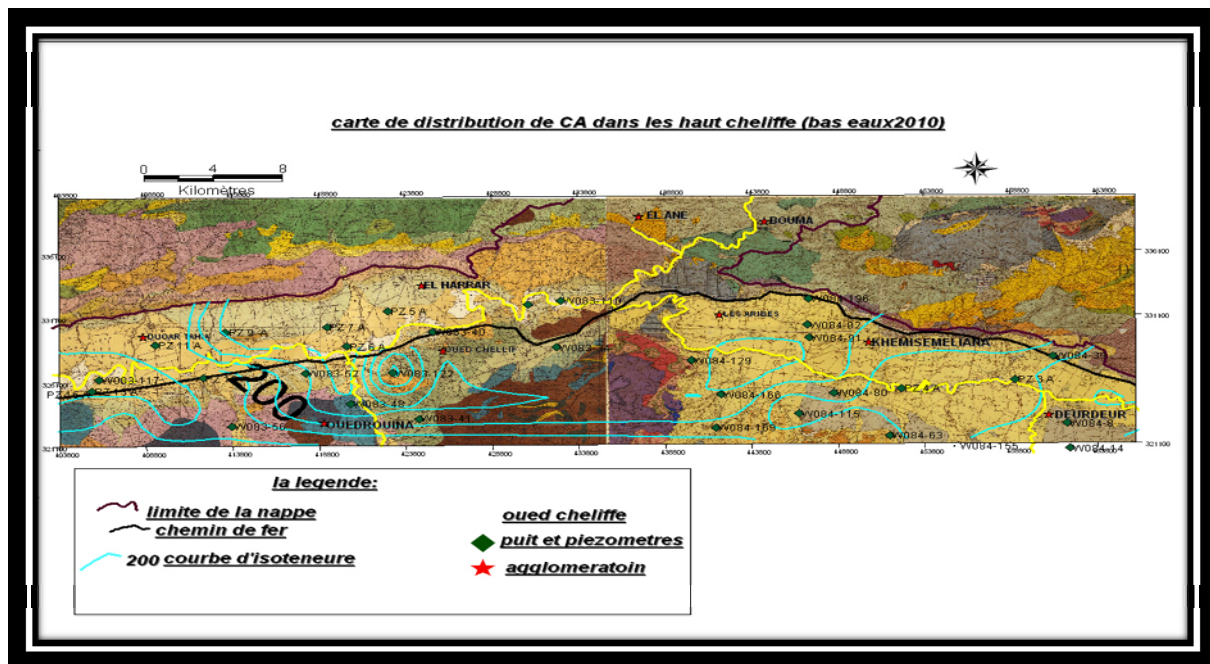


Figure IV. 12 : Carte de distrubition de Ca<sup>++</sup> dans le haut chelif (basses eaux 2010)

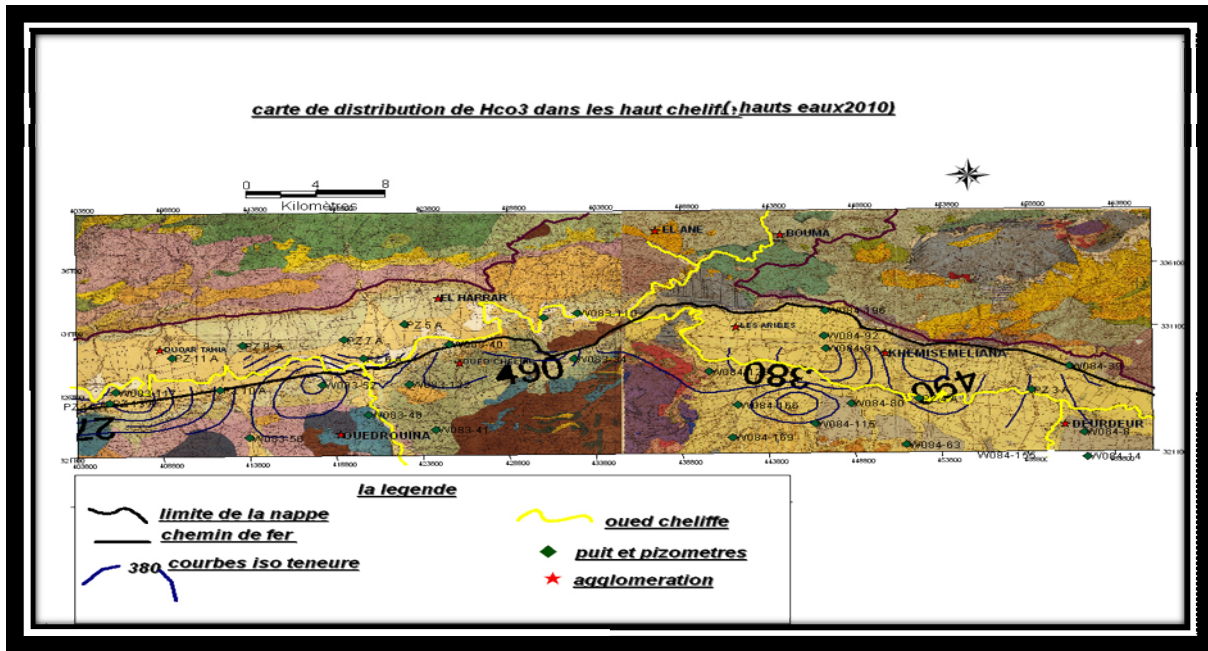


Figure IV. 13 : Carte de distrubition de HCO<sub>3</sub> dans le haut chelif (hautes eaux 2010)

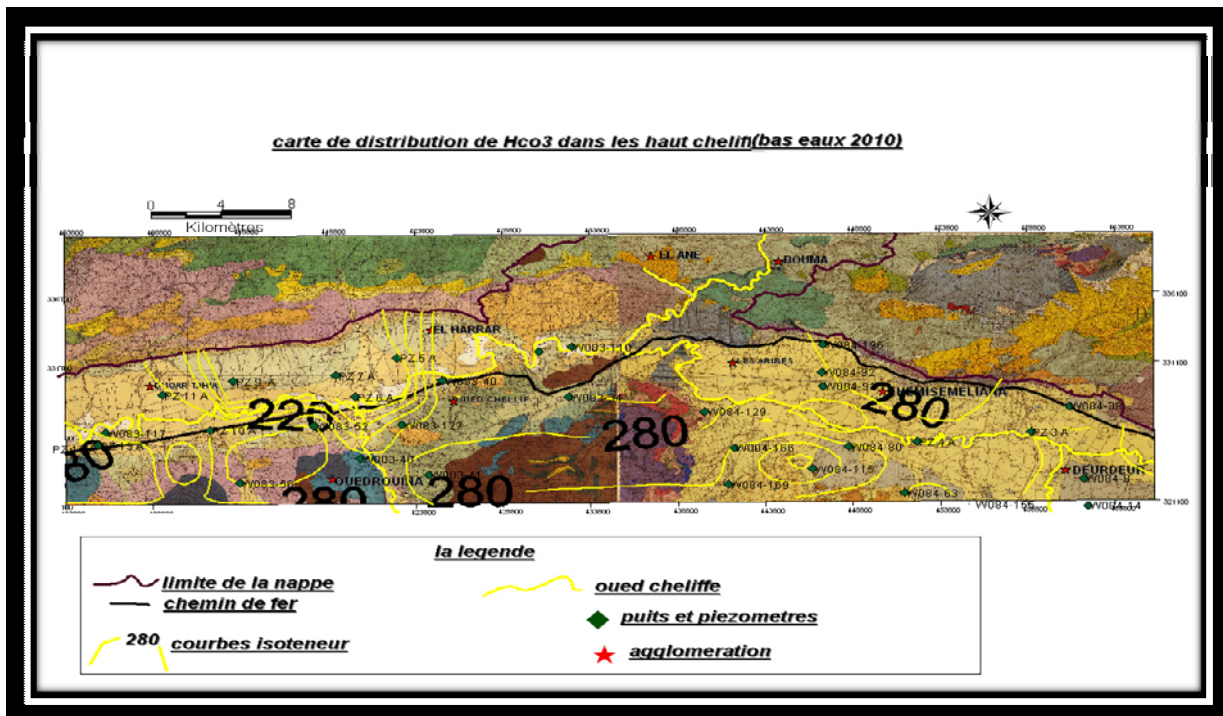


Figure IV. 14 : Carte de distrubition de HCO<sub>3</sub> dans le haut chelif (basses eaux 2010)

#### IV.4 Classement des eaux souterraines de la nappe alluviale du haut cheliff

Les eaux d'irrigation, qu'elles proviennent de sources, qu'elles soient dérivées de cours d'eau ou qu'elles soient pompées dans des forages, contiennent d'appréciables quantités de substances chimiques en solution susceptibles de réduire les rendements des cultures et de détériorer la fertilité des sols.

Toutes les eaux provenant de sources, de cour d'eau ou pompées à partir de puits contiennent d'appréciables quantités de substances chimiques en solution, dissoutes au travers des couches géologiques, et sur lesquelles les eaux se sont écoulées. Les eaux avec une forte concentration en sels peuvent provenir d'un aquifère salin.

Dans les zones d'agriculture intense, la fertilisation et la perméabilité sont deux causes majeures de salinisation des aquifères.

##### IV.4.1 La classification de l'U.S.S.L

Elle a été, probablement la plus utilisée aux U.S.A. basée sur :

- la conductivité électrique, c'est-à-dire la teneur en sel.
- le SAR.

##### A- Teneur en sel

###### Classe C1, CE < 250 $\mu\text{mhos/cm}$ :

Eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour la plus part des cultures sur la plus part des sols et il est peu probable qu'elle provoque des difficultés. Un certain lessivage est nécessaire mais celui-ci fait partie des pratiques normales d'irrigation, sauf sur les sols de très faibles perméabilités

###### Classe C2, CE entre 250 et 750 $\mu\text{mhos/cm}$ :

Eau de salinité moyenne. Elle peut être utilisée s'il se produit un lessivage modéré. Les plantes ayant une résistance modérée au sel peuvent être cultivées dans la plus part des cas, sans qu'il soit nécessaire de prendre des précautions spéciales pour abaisser la salinité.

###### Classe C3, CE entre 750 et 2250 $\mu\text{mhos/cm}$ :

Eau à forte salinité. Elle ne peut pas être utilisée sur des sols faiblement drainés. Même lorsque le drainage est suffisant, il est nécessaire de prendre des dispositions spéciales pour abaisser la salinité et on doit choisir des plantes ayant une forte résistance au sel.

###### Classe C4, CE entre 2250 et 5000 $\mu\text{mhos/cm}$ :

Eau a très forte salinité. Elle ne convient pas a l'irrigation dans des conditions ordinaires, mais peut être utilisée occasionnellement dans des conditions très particulières. Les sols doivent être perméables le drainage doit être suffisant, l'eau d'irrigation doit être appliquée a refus pour provoquer un lessivage très important, et il faut pratiquer des cultures extrêmement résistantes au sel.

**B- Teneur en sodium :****Classe S1 :**

L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.

**Classe S2 :**

L'eau contenant une quantité moyenne de sodium peut présenter quelques difficultés dans les sols a texture fine .Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols a texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

**Classe S3 :**

Les eaux contenant une quantité élevée de sodium peuvent provoquer des difficultés dans la plus part des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il n'y a pas de gypse, il faut en ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.

**Classe S4 :**

L'eau contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage du gypse ou d'amendements analogues permettent l'utilisation.



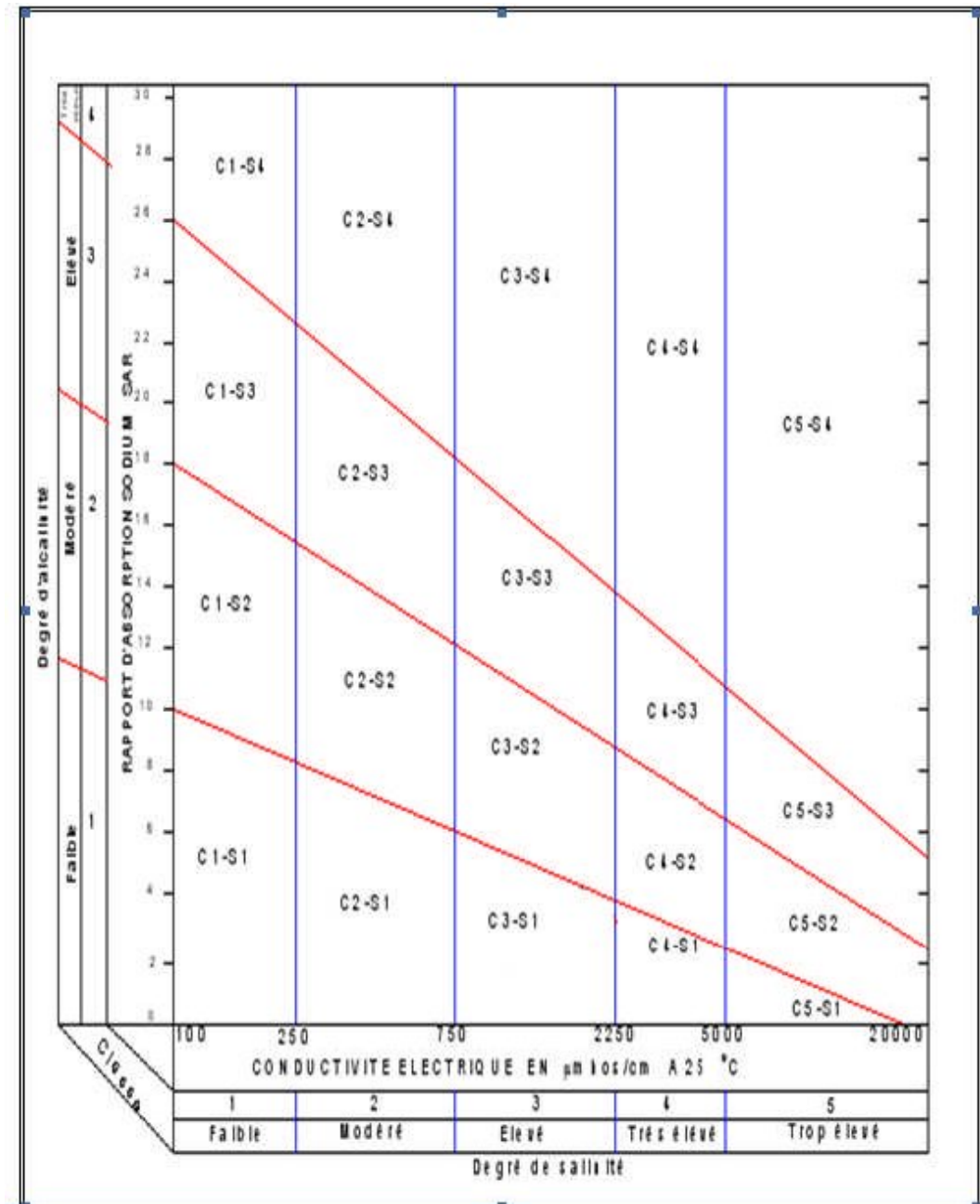


Figure IV-15: Classification des eaux d'irrigation selon l'U.S.S.L.

**IV.4.2 Interprétation des classes correspondant aux couples risques salins - risques alcalins**

- C1 S1 Eau de bonne qualité. Précautions avec les plantes sensibles.
- C1 S2 Qualité moyenne à bonne. A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal
- C2 S1 drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers).
- C2 S2 Qualité moyenne à médiocre. A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage

- C1 S3, C3 S1 avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
- C1 S4 Qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds
- C2 S3 Utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés
- C3 S2, C4 S1 avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
- C2 S4 Qualité mauvaise. A n'utiliser, avec beaucoup de précautions, que dans
- C4 S2 les sols légers et bien drainés et pour des plantes résistantes.
- C3 S3 Risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables.
- C3 S4, C4 S3 Qualité très mauvaise. A n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles.
- C4 S4 Eau déconseillée pour l'irrigation.

#### IV.4.3 Classification mondiale de la FAO (g/l)

Pour la CE égale ou comprise entre :

- 1g/l bonne pour l'irrigation
- 1g/l-3g/l faiblement salée
- 3g/l-5g/l moyennement salée
- 5g/l-10g/l fortement salée
- >10 g/l extrêmement salée

Si le sol et l'eau d'irrigation sont pauvres en calcium (Ca), une alcalinisation du sol peut se produire du fait de l'absorption de  $\text{Na}^+$  par le complexe absorbant du sol surtout dans les proportions dépassant 3 g/l.

Généralement au-delà de 1 g/l il est nécessaire d'avoir un bon drainage du sol, un régime de lessivage et une technique élevée des travaux agro-techniques du sol.

D'autres classifications peuvent être citées celles de Ayers (1977), Rijtima (1981).

Les études réalisées par Durand (1958) sur la qualité des eaux en Algérie montrent que :

- 5% des eaux en classe C1
- 28% des eaux en classe C2
- 28% des eaux en classe C3
- 21% au delà de 6 mmho/cm.

#### IV.4.4 RISQUE ET MESURE DE L'ALCALINITE

Il fait référence à la proportion de sodium par rapport aux autres cations (particulièrement  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ ) en solution

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

C'est le rapport du Sodium par rapport aux autres cations.

Ce terme est très utilisé et exprime le niveau d'alcalinité de l'eau selon les conditions suivantes :

- Si le SAR < 6

L'eau n'est pas alcaline ,

- Si 6 < SAR < 9

L'eau est alcaline et peut avoir un effet important sur la structure du sol (réduction importante de l'infiltration), et ce phénomène est d'autant plus important si le sol est argileux.

Un problème de perméabilité du sol se produit lorsque l'eau d'irrigation présente une teneur en sodium élevée. Dans l'eau salée, le sodium a une plus grande concentration que tout autre cation, ses sels étant très solubles. Chargés positivement, les ions sodium sont attirés par les particules du sol chargées négativement, remplaçant les cations dominants du calcium et du magnésium. Le remplacement des ions calcium par des ions Sodium entraîne la dispersion des agrégats du sol et la détérioration de sa structure, rendant ainsi le sol imperméable à l'eau et à l'air. L'augmentation en concentration du sodium échangeable peut entraîner une augmentation du pH du sol au-dessus de 8,5 et une réduction de la disponibilité de certains micro-nutriments, par exemple le fer et le phosphore. Le degré d'absorption des particules d'argile dépend de son magnésium. Concentration dans l'eau et de la concentration en ions de calcium et de la réaction, appelée échange de cations, constitue un processus réversible.

-La capacité du sol à adsorber et à échanger les cations est limitée. Le pourcentage de la capacité du sodium à adsorber est défini comme le sodium échangeable. Les sols qui présentent un sodium échangeable supérieur à 15 sont sérieusement affectés par le sodium adsorbé.

-Le problème du sodium est diminué si la quantité de calcium plus magnésium est élevée par rapport à la quantité de sodium. Cette relation est nommée taux d'adsorption du sodium (SAR),

-L'utilisation d'eau avec une valeur de taux d'adsorption du sodium élevée et une salinité basse à modérée peut être risquée et réduit le taux d'infiltration du sol. Le taux d'adsorption

du sodium de l'eau d'irrigation indique approximativement le sodium échangeable d'un sol avec l'eau.

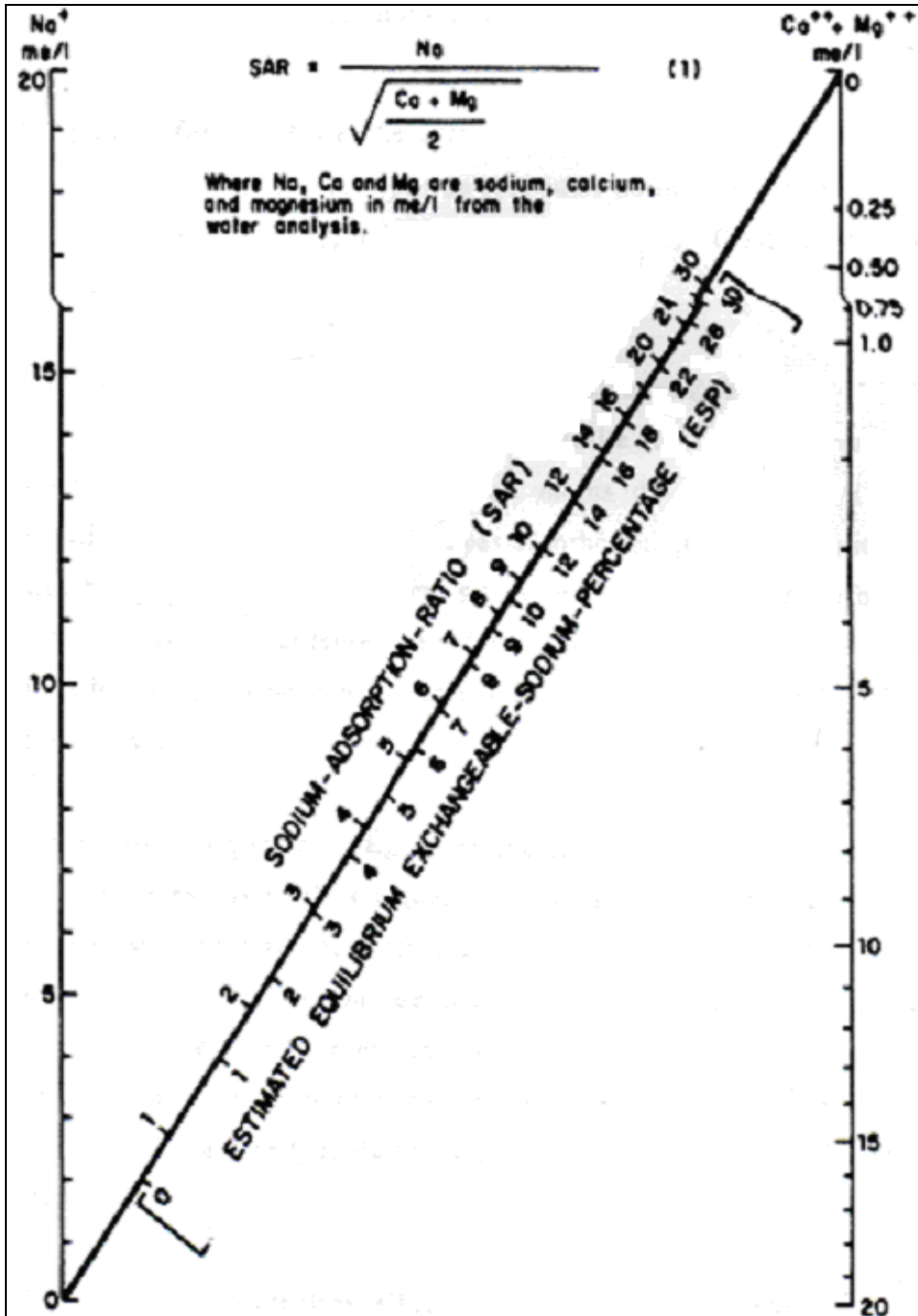


Figure IV-16: Abaque donnant l'E.S.P en fonction du S.A.R

Selon le F.A.O (1984), la limite de classe pour le taux de sodium échangeable est comme suit :

-ESP<5% : légère alcalinité,

-5%<ESP<20% : alcalinité modérée,

-20%<ESP<45% : alcalinité grave,

-ESP>45% : alcalinité très graves empiriques reliant ces deux termes.

#### IV.4.5 Les risques liés au sodium

Le taux d'adsorption du sodium est couramment utilisé comme indice des risques liés au sodium dans les eaux et les sols, et comme un substitut du sodium échangeable du sol. Le taux d'adsorption du sodium (SAR) d'une eau donnée définit, dans une certaine mesure, la quantité relative de sodium susceptible d'être adsorbée par le sol. L'effet des ions de sodium dans l'eau d'irrigation sur la réduction du taux d'infiltration et de la perméabilité du sol est fonction de la concentration totale en sels, comme le montre le tableau VI.1.

**Tableau VI.1:** problème potentiel d'infiltration du au sodium dans l'eau d'irrigation

Niveaux de salinité de l'eau d'irrigation (dS/m)	Réductions			
	Aucune	Légère	Moyenne	Sévère
EC <sub>w</sub> = 0,7	SAR < 1	SAR 1-5	SAR 5-11	SAR > 11
EC <sub>w</sub> = 0,7-3,0	< 10	10-15	15-23	> 23
EC <sub>w</sub> = 3,0-6,0	< 25	> 25	Pas d'effet	Pas d'effet
EC <sub>w</sub> = 6,0-14,0	< 35	> 35	Pas d'effet	Pas d'effet
EC <sub>w</sub> > 14	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet

Source: extrait de Rhoades, Oster et Schroer.

#### IV.5 Rapport de Todd :

$$r = \text{Cl}^- / (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$$

- Le rapport de Todd est supérieur à l'unité au niveau de la nappe alluviale de l'oued cheliff en allant d'Est en Ouest.
- Une progression des eaux salées de Khmise Meliana et les Aribes , et se prolonge à l'intérieur du continent sur une distance avoisinant les 5km.

#### IV.6 Interprétation des cartes de SAR ET DE RAPPORT DU TODD :

##### IV.6.1 Carte de distribution de SAR période des hautes eaux mai 2010 et basses eaux 2010 (FIGIV.17 ET FIGIV.18) :

On remarque qu'il y a une distribution vis-à-vis constante dans la plaine des hauts chelifiens entre les deux cartes de distribution de rapport du SAR des hautes eaux 2010 et la carte des basses eaux 2010 dans la partie des hauts eaux en remarque que la courbe d'isoteneur 24 mg/l est concentrée dans la partie est des hauts chelifiens (les aribes et leur défilé) et la partie ouest de la plaine des douars tahia et oued rouina et sa diminue dans le centre aussi dans les basses eaux 2010 en voit que la courbe de distribution 35 mg/l donc en a une répartition de SAR rapport entre ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ) est presque équivalente sauf qu'on a un pourcentage des valeurs de rapport qui sont différentes.

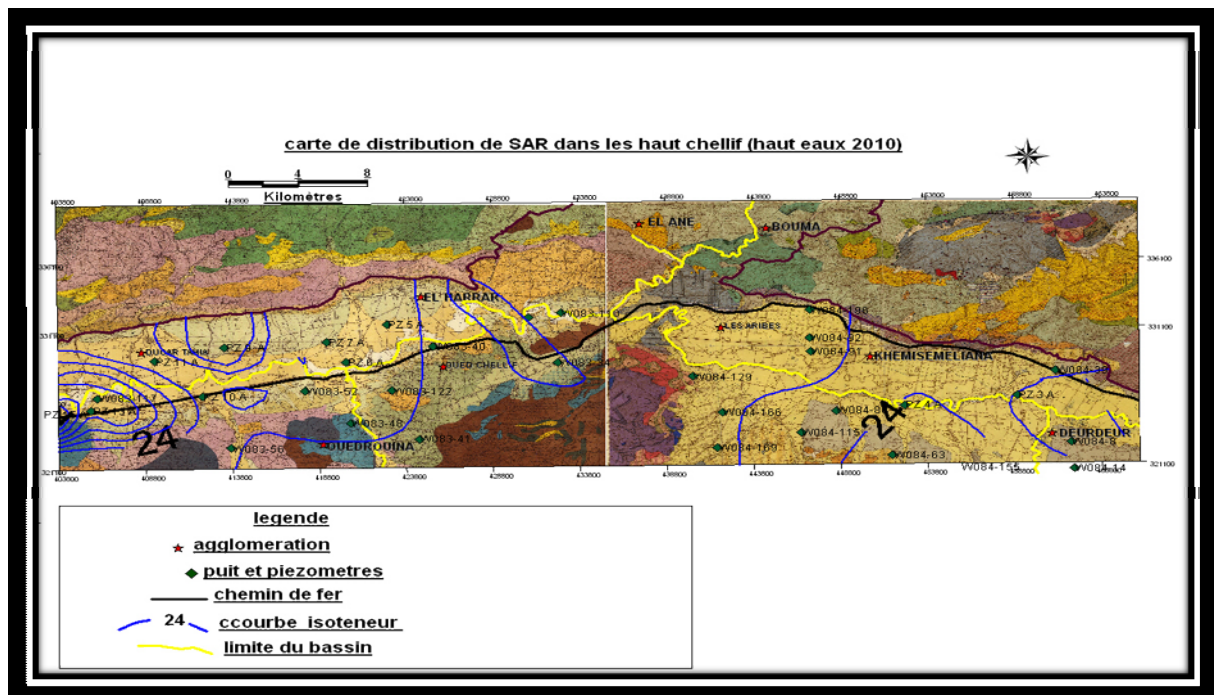
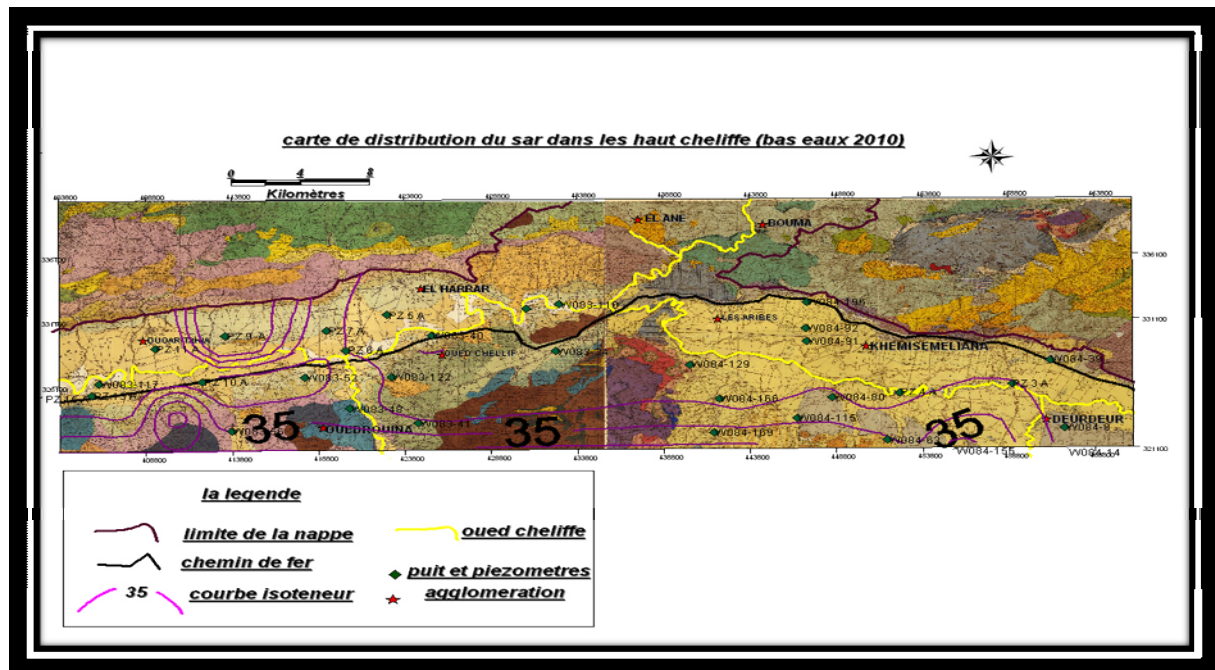


Figure IV.17 : Carte de distribution du SAR dans les hauts chelifiens (hautes eaux 2010)



**Figure IV.18 :** Carte de distribution du SAR dans le haut chelif (basses eaux 2010)

#### IV.6.2 Carte de distribution de rapport du TODD période des hautes eaux mai 2010 et basses eaux 2010 (FIGIV.19 ET FIGIV.20) :

D'après la remarque des cartes des rapport de TODD on voit qu'on a une diminution dans les deux cartes (figIV.19 et figIV.20) c'est à cause des valeurs de  $Co_3$  qui sont nulles dans le rapport et qui sont presque nulles entre 0 et 3 mg/l dans la plaine de la nappe du haut chelif selon les analyses prises de L'ANRH dans la carte des hautes eaux on a la courbe isoteneure 50 mg/l et dans la carte des basses eaux on a la courbe d'isoteneure 8 dans la partie de l'ouest ce sont les courbes et la partie centre et est on n'a rien des courbes donc on n'a pas de  $Co_3$  dans ces deux parties dernières on propose une alimentation des éléments fertilisants dans les régions agricoles.



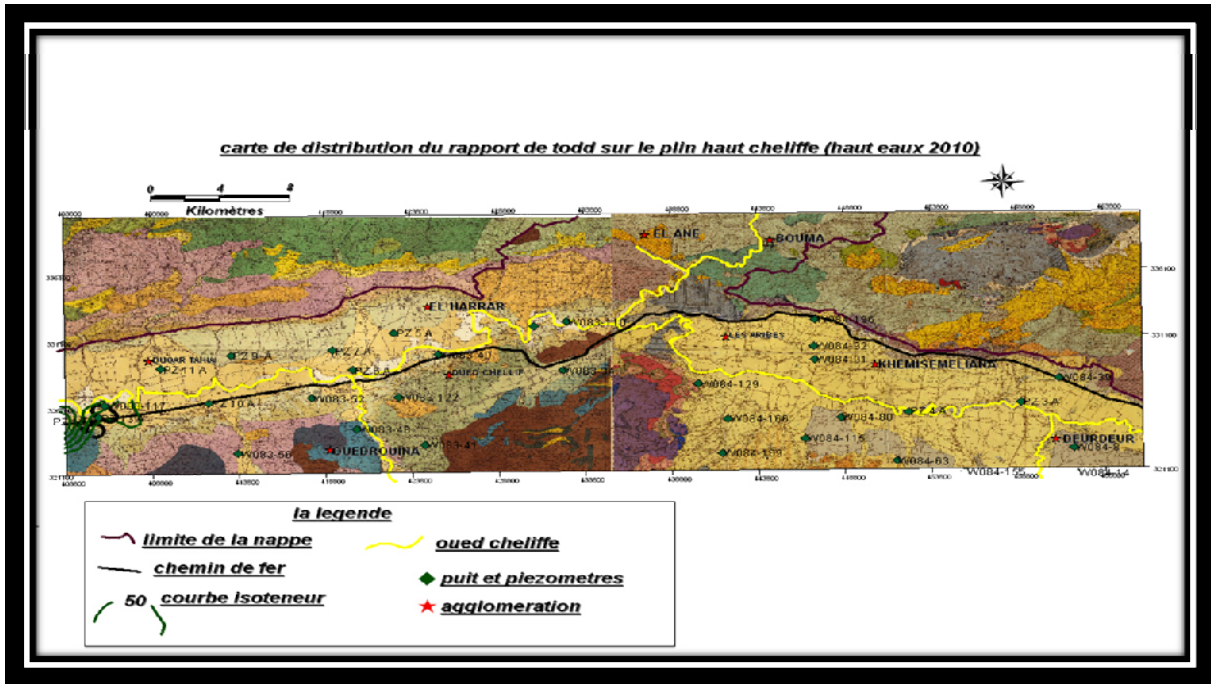


Figure IV.19 : Carte de distrubition du rapport de todd dans la plaine du haut cheliff (hautes eaux 2010)

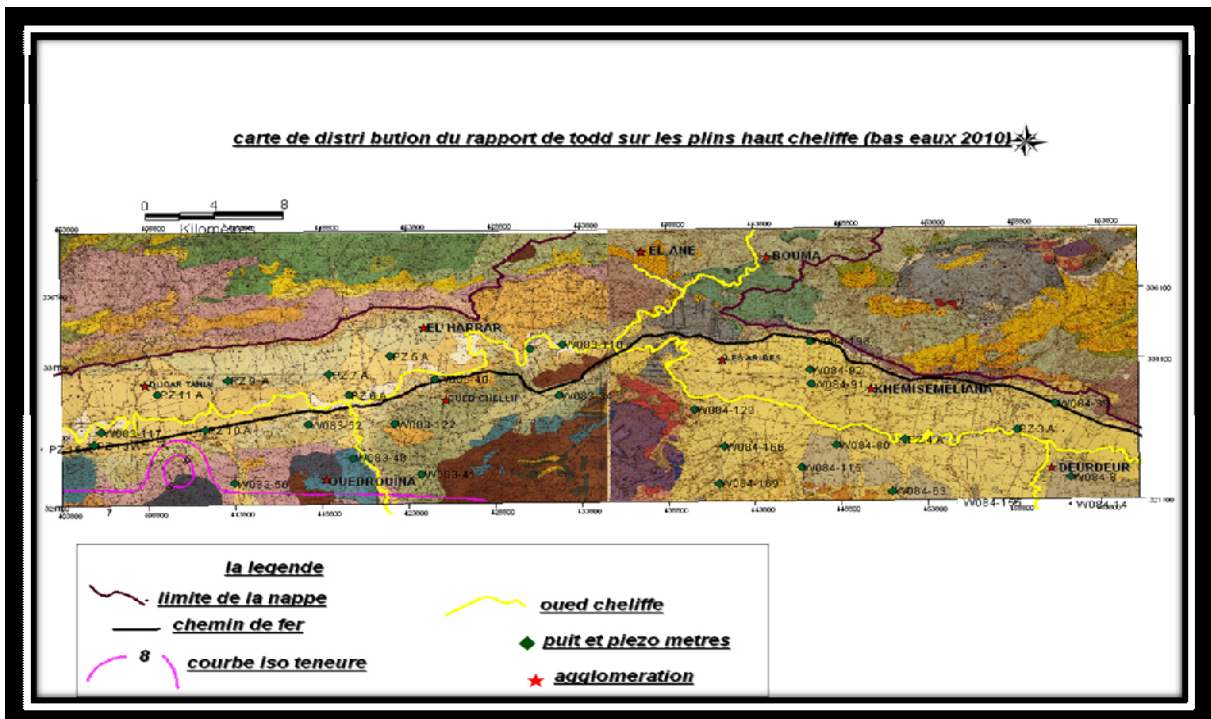


Figure IV.20 : Carte de distrubition du rapport de todd dans la plaine du haut cheliff (basses eaux 2010)



#### **IV.7 Classification des eaux d'après le diagramme de Piper :**

Il existe une classification chimique qui est donnée par le diagramme de piper, il permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux.

Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès anionique et le faciès cationique et d'un losange synthétisant le faciès global.

Ce type de diagramme est particulièrement adapté pour étudier l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralité augmente ou bien pour distinguer des groupes d'échantillons. Dans cette représentation, l'utilisation est voisine de celle d'un plan factoriel de l'analyse en composantes principales.

Cette représentation chimique nous permet d'évaluer globalement la composition en éléments majeurs des eaux souterraines.

##### **IV.7.1 Classification des eaux d'après le diagramme de Piper hauts eaux 2010**

Au niveau du diagramme on distingue hauts eaux 2010 quatre familles: (Figure VI-21) on prend 28 points pour l'analyse

Eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes 96.43%

Eaux chlorurées 46.43 %

Eaux carbonatées et bicarbonatées 3.58 %

Eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes 3.58 %.

##### **IV.7.2 Classification des eaux d'après le diagramme de Piper basses eaux 2010**

Au niveau du diagramme Figure VI-22 ,on distingue quatre familles: (on prend 28 points pour l'analyser

-Eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes 89.2 %,

-Eaux chlorurées 71.42 %,

-Eaux calcium 20%,

-Eaux chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique 10.71 % .

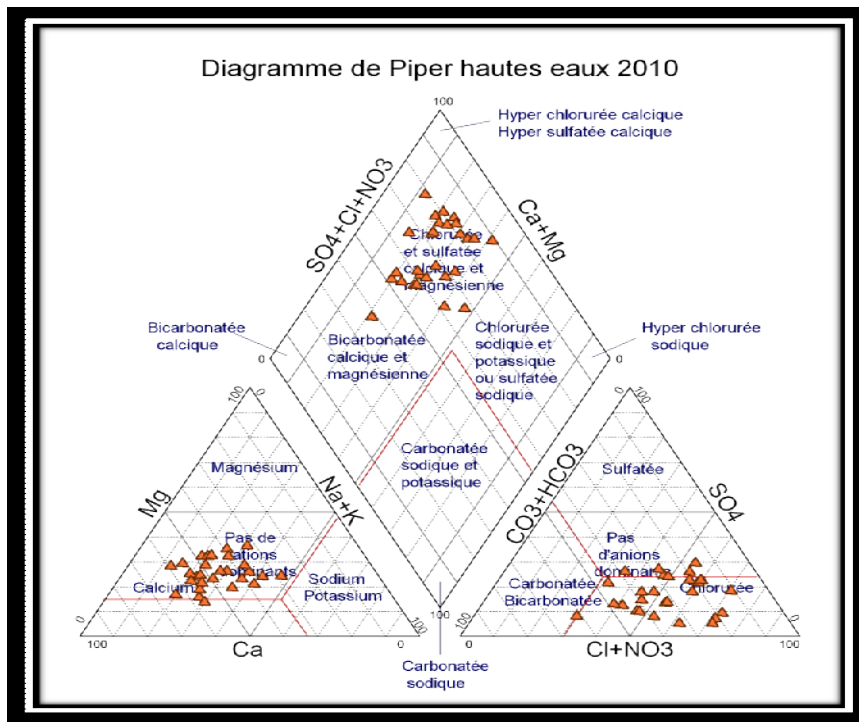


Figure IV.21 : Diagramme de piper hautes eaux 2010

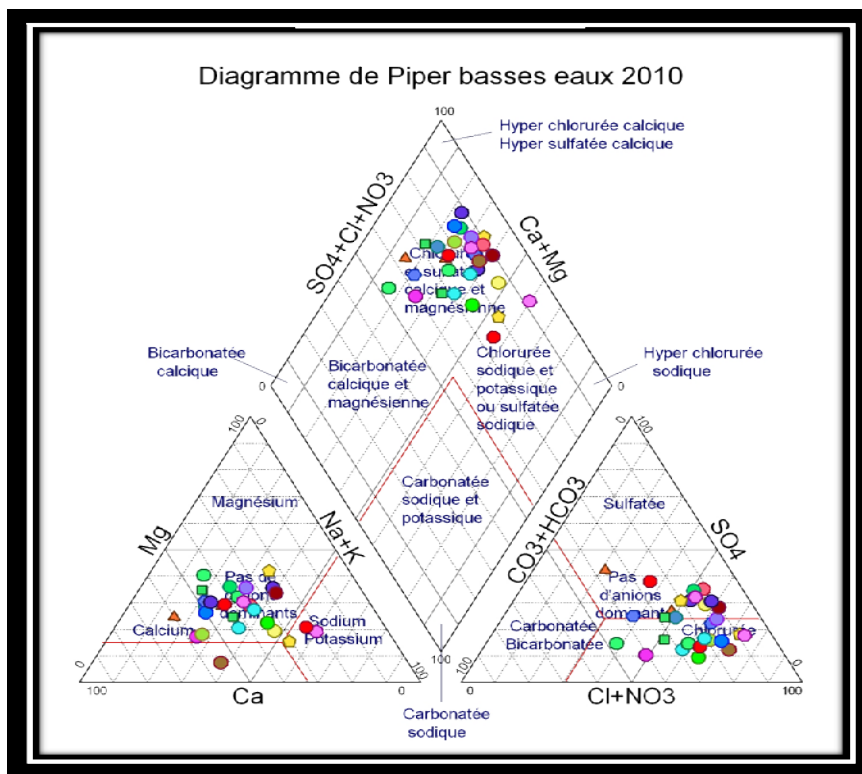


Figure IV.22 : Diagramme de piper basses eaux 2010

## IV.8 CLASSIFICATION DE SCHÖELLER-BERKALOFF

## IV.8.1 Classification des eaux d'après le diagramme de

## SCHÖELLER-BERKALOFF hautes eaux et basses eaux 2010

Après avoir représenté les analyses chimiques sur les diagrammes semi-logarithmique de Schöeller -Berkaloff Figure 23 et Figure 24 ,on constate que :

-Les faciès chimiques dominants sont les suivants :

-Chloruré calcique.

-Sulfaté calcique

-Chloruré magnésien

Les diagrammes semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff, montrent que la majorité des échantillons présentent un faciès chimique de type Chloruré calcique.

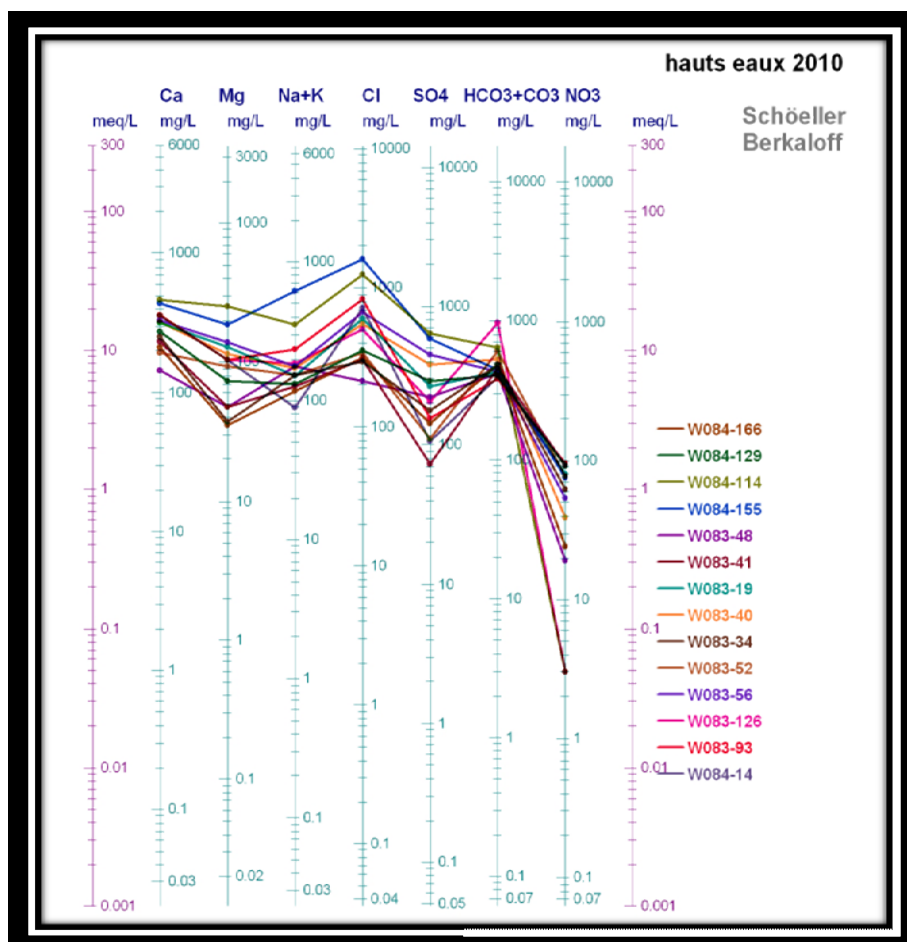


Figure IV.23: Diagramme de Schöeller-Berkaloff (hautes eaux 2010)

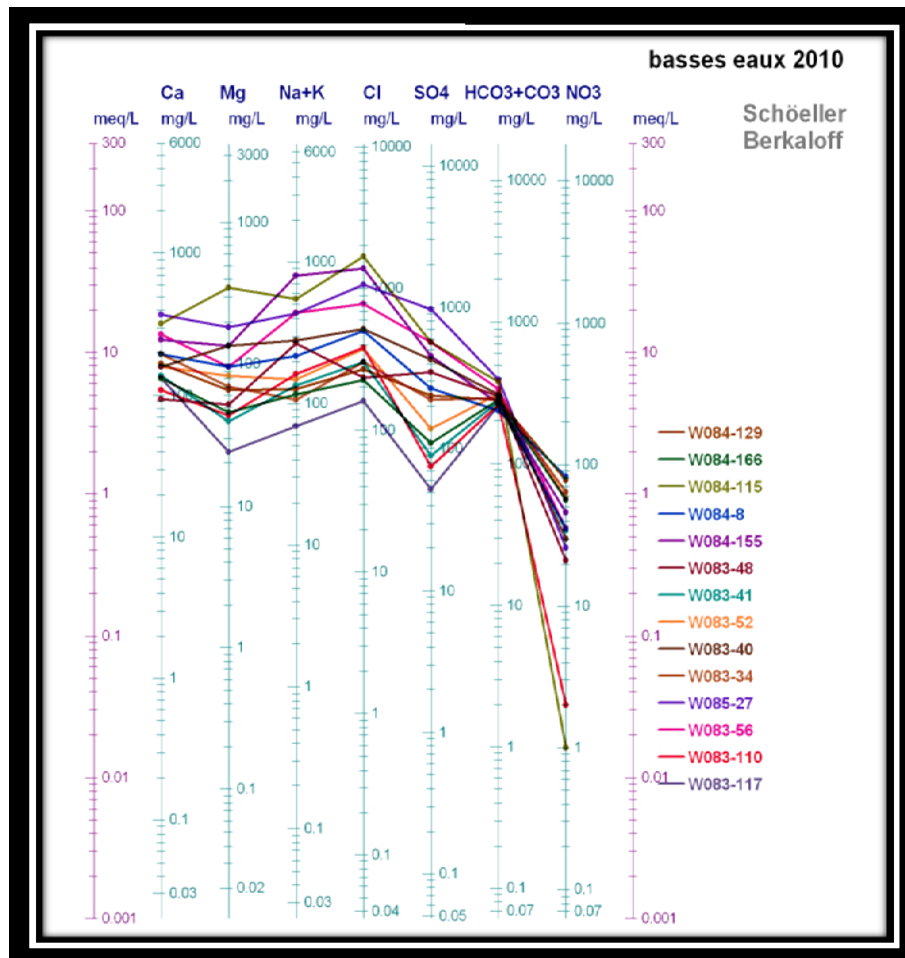


Figure IV.24 : Diagramme de choeller-Berkaloff (basses eaux 2010)

## Conclusion

De cette étude hydrochimique nous retiendront que les eaux de la nappe alluviale du haut chelif se caractérisent par un pH des eaux souterraines variant entre 7.3 et 8.3, ce qui correspond aux normes de potabilité. Les valeurs de sodium et du chlore sont plus concentrées à l'Est et l'Ouest du haut chelif, présentent une allure des courbes d'iso teneurs en ces éléments superposables, qui sont dû principalement à la même source de contamination qui est l'avancement du biseau salé.

Les éléments chimiques dominant dans la contamination des eaux du haut chelif, sont les nitrates, pollution engendrée par les industries, les rejets d'eaux usées et aux engrais chimiques.

# **CHAPITRE 5 :**

***ETUDE DE DRAINAGE.***

## Introduction :

Dans notre étude de cas ont faire définir une solution pour diminuer les sels qui sont les factures essentielle dans l'alimentation des racines et sont excès prouvaient une asffixie racinaire des plantes

Les excès d'eau présentent plusieurs inconvénients en agriculture.

Ce surplus peut être dû au mauvais drainage, à la présence d'une nappe phréatique peu profonde ainsi que le ruissellement de cours d'eau environnants. Un sol saturé en eau s'avère un milieu défavorable pour la végétation (*exp* : asphyxie des racines). L'activité biologique s'y trouve réduite; la matière organique se décompose mal, la minéralisation de l'azote est perturbée. Les éléments nutritifs sont mis en solution et risquent d'être lessivés. Un excès d'eau contraint également la mise en valeur des sols; les sols saturés se réchauffent plus lentement au printemps, leur structure se dégrade plus facilement et ils supportent mal le passage de la machinerie agricole (risque de compactage). Aussi, le but des travaux de drainage est d'évacuer le surplus d'eau dans le sol. Ceci permet d'allonger la saison de croissance et assurer une meilleure croissance des plantes et de meilleures conditions de travail du sol.

### V.1 Le Bilan Hydrologique :

De la pluie critique qui tombe sur une région, il y a seulement une partie qui doit être évacuée. Une partie s'évapore (E), une autre partie s'infiltré dans le sol (I), et une troisième partie (R) ruisselle superficiellement.

Le Bilan hydrologique quantifie le sort des eaux de précipitations :

$$P = E + I + R$$

Divisant par P, on trouve les fractions :

$$\frac{E}{P} = E \quad \frac{I}{P} = I \quad \frac{R}{P} = R \quad E + I + R = 1$$

-E : coefficient d'évaporation.

-I : coefficient d'infiltration.

-R : coefficient de ruissellement.

On a constaté, que pour une parcelle, la répartition de la pluie parmi ces trois fractions est plus ou moins constante à long terme.

La valeur de chaque coefficient dépend du climat, type de sol et type de végétation sur la parcelle.

L'évaporation est fonction de différents facteurs du climat (température, humidité, vitesse du vent) et de la végétation.

Comme il s'agit du bilan hydrologique d'une parcelle, on considère l'évapotranspiration, c'est l'évaporation du sol et la transpiration des plants ensemble.

La végétation influence directement sur la quantité évaporée par transpiration des plantes, mais elle joue aussi un rôle de régulateur indirect des pluies, la végétation diminue le Ruissellement direct et augmente l'infiltration, ainsi elle augmentera l'évapotranspiration après l'averse.

Il existe plusieurs formules empiriques pour déterminer l'évapotranspiration, pendant la pluie, l'évaporation momentanée est minimale. Néanmoins, pour un délai de quelques jours, le bilan

d'eau d'une parcelle peut montrer une certaine évaporation des eaux récemment tombées. Cette évaporation semble se produire pendant les périodes inter-pluviales.

Il existe plusieurs méthodes de calcul d'ETP : comme nous l'avons vu précédemment.

-Méthodes basées sur le traitement des données statistiques des observations de plusieurs années, telles que les méthodes de Blaney-Criddle, Thornthwaite, Turc...etc.

-Méthodes basées sur le bilan énergétique des champs, ce sont les méthodes de PENMAN

**V.1.2 Calcul du bilan hydrique :**

**A-Calcul de l'évapotranspiration (ETP) par la méthode de Thornthwaite :**

L'ETP s'estime à l'aide d'une formule empirique qui permet de calculer le pouvoir évaporant en mm pour chaque mois selon le tableau (V.1).

$$ETP = 1.6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$$

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

I : indice thermique annuel (°C) ; (I = ∑ i) ; I = 92.09

i : indice thermique mensuel ; ( i = 1.514  $\frac{t}{5}$  )

t : température moyenne mensuelle du mois considéré (°C)

a : composant climatique : a = 0.016 (I + 0.5) = 1.97

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus par la formule de Thornthwaite :

**Tabl.V.1** : Calcul de l'ETP selon la méthode de Thornthwaite, application à la station du Harreza Barrage (période : 1986-2010)

mois	Sep	Oc	No	Dé	Ja	Fé	Ma	Av	Ma	Jui	Juil	Août
T (°C)	17.45	15.09	10.56	7.59	6.87	8.03	9.98	10.06	15.19	18.43	20.61	81.76
I	11,4	8,4	4,9	3,1	2,5	3,1	4,3	5,2	7,9	11,6	14,2	15,4
ETP (mm)	11,16	7,39	3,57	1,95	1,48	1,93	3,02	3,88	6,79	11,45	15,09	16,79
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16
ETP cor	115	72	31	17	13	16	31	42	82	139	186	195

**B-Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) (d'après Turc) :**

L'évapotranspiration réelle (ETR) se calcule généralement par la formule du Turc à l'aide de l'équation suivante :

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

ETR : évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm)

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

L : pouvoir évaporant de l'atmosphère, (L = 300+0.05T3 +25T)

T : température moyenne annuelle (°C)

L'ETR estimée est de 317.5 mm, ce qui représente 99% des précipitations.

**C-Approche du bilan hydrique :**

L'établissement du bilan hydrique consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les composantes suivantes selon le tableau(V.2) :

Evapotranspiration réelle (ETR), Ruissellement (R) et infiltration (I).

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

P : précipitation moyenne annuelle en mm;

R : ruissellement en mm

I : infiltration moyenne en mm ;

Wa: variation des réserves (négligeable)

**Tableau V.2:** Bilan hydrique de Thornthwaite ; application à la station de Harreza Barrage.

(Période : 1986-2010)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	An
P (mm)	20	34	55	59	62	60	57	44	33	9	1	4	438
ETP (mm)	115	72	31	17	13	16	31	42	82	139	186	195	938
ETR (mm)	23	23	27	12	10	13	25	35	60	30	4	6	318
RFU (mm)	0	0	4	29	61	89	91	83	21	0	0	0	378
Excédent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit (mm)	92	49	0	0	0	0	0	0	0	107	182	189	619

D'après le tableau :

-Les précipitations sont supérieures à l'ETP du mois de novembre jusqu'au mois de mars. C'est au cours de cette période que les réserves en eau du sol ont été reconstituées. La valeur maximum du RFU est calculée au mois de mars (91mm).

-La région ne connaît pas d'excédent au cours de la période qui s'étend de 1986 jusqu'à 2010 ; L'ETR calculée est de 318 mm, se qui présente 99 % des précipitations (proche des résultats obtenues par la formule de Turc).

- Le déficit agricole est de 619 mm ; Il débute en mois de juin et se poursuit jusqu'au mois d'octobre.



***D-Estimation du ruissellement et de l'infiltration :***

- Le ruissellement (R): peut être estimé à partir de la formule de Tixeront Berkaloff

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

R : ruissellement en mm ;

P : précipitation en mm ;

ETP : évaporation potentielle en mm.

Le ruissellement calculé est de 12 mm ; soit 4 % des précipitations. Cette valeur obtenue reste discutable puisqu'elle ne tient pas compte de la nature lithologique et de la perméabilité des terrains traversés

- L'infiltration (I) : on peut déduire la valeur de l'infiltration à partir de la formule du bilan hydrique :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

L'infiltration obtenue par cette relation est nulle sur la période qui s'étend de 1986 jusqu'au 2010.

**V.1.3 Détermination de l'infiltration selon Pradines:**

Pour déterminer l'évapotranspiration réelle, Pradines (1971) utilise la formule annuelle de Turc qui ne nécessite que la connaissance des précipitations et températures annuelles moyennes. Pour la pluviosité, il a utilisé trois séries de mesures : celle du livre « Le climat de l'Algérie du Nord » de P. Seltzer relative à la période 1913 – 1937, une brochure du S.E.S. pour la période 1913 – 1953, et enfin la carte des précipitations au 1/50.000ème de Gausse pour les années 1913 – 1947.

Les résultats de cette étude dans la plaine du Haut Chélif sont donnés dans le tableau qui suit :

**Tabl.V.3** : Moyennes des précipitations et des températures selon différents auteurs

Stations	A (m)	P (mm)			Moyenn e
		SELZE R	S.E.S	GAUSSE N	
Djendel				481	
El Khemis	300	473	457	471	
Beni Zoug Zoug	500	420	450	422	
Ghrib	435	439	613		
Moyenne Haut Chélif		444	454	458	452

A : altitude de la station en m; P : précipitation moyenne annuelle en mm,

Pradines retient que pour les trois séries de mesures, les hauteurs des précipitations sont approximatives. Il retient que pour les alluvions, la précipitation moyenne annuelle est de 452 mm sur l'ensemble de la nappe alluviale.

Pour le calcul de l'infiltration et le ruissellement, Pradines a appliqué la formule de Turc pour évaluer l'ETR annuelle moyenne à partir de la température et de la précipitation; les résultats des calculs sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau V.4** : Calcul de l'infiltration selon Pradines (1971).

Zone	T (°C)	P (mm)	ETR (mm)	I+R (mm)	I+R (l/skm <sup>2</sup> )	I (mm)	R (mm)	I/P (%)
Alluvions	18	450	432	18	0.57	15.84	2.16	3.52
Reste du Haut Chélif	17	550	497	53	1.68	9	9	1.63

Le tableau ci dessus montre que pour la zone des alluvions qui occupe le fond presque plat du bassin, le ruissellement est faible (2.16 mm) ce qui favorise certainement l'infiltration qui atteint les 15.85 mm. En effet, la partie supérieure des alluvions est formée par des limons ou des sédiments argileux peu perméables et ils sont drainés par le réseau des affluents du Chélif; donc le ruissellement n'est pas rigoureusement nul.

Le reste du bassin présente des pentes appréciables et n'est pas très perméable. Les terrains les plus perméables sont les massifs calcaires ou des formations gréseuses. Etant les plus résistants, ils ont tendance à constituer des escarpements ou des barres en relief au sein des couches encaissantes plus argileuses et plus tendres. Dans ces conditions, le ruissellement est de même ordre que l'infiltration (9mm).

#### V.1.4 COMPARAISON DES RESULTATS DEUX METHODES :

Les résultats de l'infiltration obtenus par les deux méthodes sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

**Tabl.V.5** : Tableau récapitulatif des résultats des deux méthodes

Méthode	Equation du bilan	Pradines (1971)
T (°C)	18.5	17.5
P (mm)	320	500
ETR (mm)	318	464.5
R (mm)	12	5.58
I (mm)	0	12.42
I/P (%)	0	2.54

**Remarque :**

On remarque que pour la desiem méthode, le résultat de l'infiltration; contrairement au résultat calculé par l'équation du bilan qui est nul. Les travaux anciens de Pradines montrent que la part des pluies qui se ruisselle est de 5.58 mm,

**V.2 Calcule des besoins :****V.2.1 Calcule des précipitations annuelles :**

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions homogénéité-stationnarité sont réunies parmi les quelles :

- Loi de Laplace-Gauss, loi normal, et loi de Galton ou loi log-normale.
- Loi de Fuller ou loi Exponentielle.
- Loi Gamma, loi de Pearson I et III.
- Loi de Gumbel ou loi doublement exponentielle.
- Ces lois comportent deux à trois paramètres estimés par différentes méthodes :
- Méthode des moments.
- Méthode du maximum de vraisemblance.
- Méthode du maximum d'entropie.

Les critères de choix sont liés à un ajustement graphique d'abord, et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à prime abord d'accepter ou de rejeter la loi. Le problème posé : Quelle loi choisir lorsque plusieurs d'entre elles sont adéquates ?

Donc les critères de choix pouvant être retenus sont :

- A qualité égale, la loi qui a le moins de paramètres est à retenir.
- A qualité égale et nombre de paramètre égal, il faut comparer les estimations des deux lois ; si ces estimations sont voisines, il faut retenir la plus simple, si elles sont nettement différentes, il faut prendre une nouvelle loi quitte à prendre un paramètre supplémentaire.

**A-Ajustement à la loi de Gauss:**

Le procédé de calcul consiste à :

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées.
- Calculer la fréquence expérimentale par la formule de Hazen.

$$F(x) = \frac{n - 0.5}{N}$$

Avec :

n : Numéro d'ordre.

N : Numéro d'années observées.

Calculer les caractéristiques empiriques de l'échantillon.

-La moyenne arithmétique.  $\bar{X} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{X_i}{n}$

-L'écart type.  $\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}$  Si n < 30 ans

-  $\delta = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}$  Si n > 30 ans

-Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (V.6) et on obtient la figure (V.1)

Tableau V.6 : Ajustement à une loi de Gauss

2

(moyenne=441,18 écart-type=100,41 taille 40 et I.C. à 80%)

**Ajustement  
à une loi de  
Gauss**

Taille  
n=40

Moyenne= 441,18

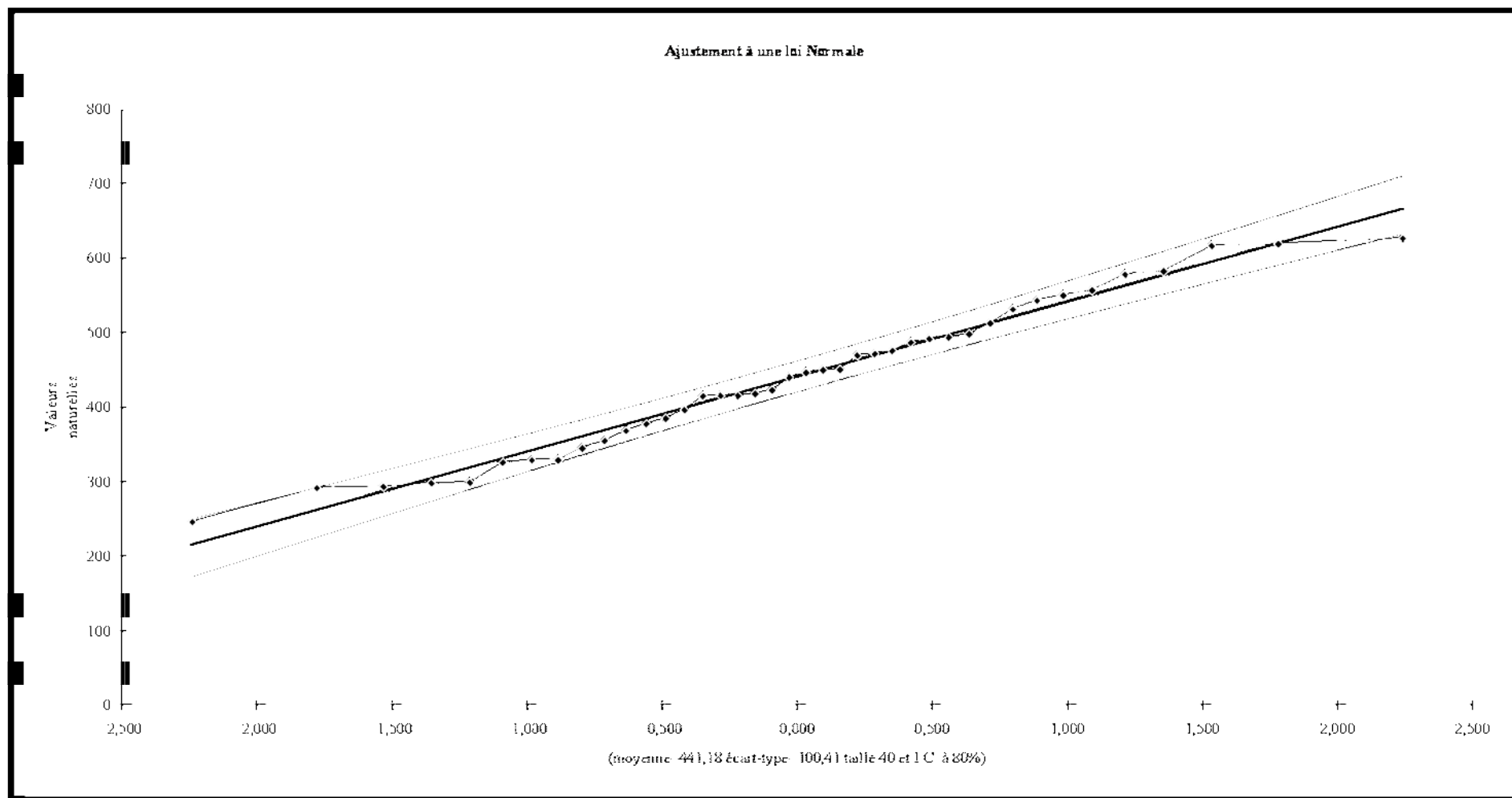
Ecart-

type= 100,4052793

I.C. à (en%)= 80

U Gauss= 1,2817

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
369,2	246,9	1	0,0125	-2,242	246,9	216,08694	172,4301	250,3052
617,1	292,3	2	0,0375	-1,781	292,3	262,37201	225,217	292,0293
620	294,3	3	0,0625	-1,534	294,3	287,11465	253,2305	314,5386
550,9	299,1	4	0,0875	-1,357	299,1	304,97673	273,3342	330,908
476,6	299,5	5	0,1125	-1,213	299,5	319,3411	289,4125	344,1608
578,9	326,7	6	0,1375	-1,092	326,7	331,57136	303,0292	355,5174
543,8	329,8	7	0,1625	-0,984	329,8	342,36208	314,98	365,6006
423,6	329,9	8	0,1875	-0,887	329,9	352,11845	325,7283	374,7741
583	346	9	0,2125	-0,798	346	361,09922	335,5695	383,271
557,6	355,9	10	0,2375	-0,714	355,9	369,48081	344,7047	391,2505
447,2	369,2	11	0,2625	-0,635	369,2	377,38973	353,2776	398,8271
346	378,6	12	0,2875	-0,560	378,6	384,92045	361,3951	406,0868
419,1	386	13	0,3125	-0,488	386	392,14599	369,1395	413,0964
440,5	396,9	14	0,3375	-0,419	396,9	399,12449	376,5761	419,9095
513,4	415,7	15	0,3625	-0,351	415,7	405,90357	383,7578	426,5701
487,5	416	16	0,3875	-0,285	416	412,5232	390,7289	433,1159
532,1	416	17	0,4125	-0,221	416	419,01783	397,527	439,5794
294,3	419,1	18	0,4375	-0,157	419,1	425,41786	404,1851	445,9897
329,9	423,6	19	0,4625	-0,094	423,6	431,75081	410,7327	452,3735
292,3	440,5	20	0,4875	-0,031	440,5	438,04223	417,1967	458,7562
329,8	447,2	21	0,5125	0,031	447,2	444,31777	423,6038	465,1633
416	450,8	22	0,5375	0,094	450,8	450,60919	429,9865	471,6273
299,1	451,2	23	0,5625	0,157	451,2	456,94214	436,3703	478,1749
246,9	470,3	24	0,5875	0,221	470,3	463,34217	442,7806	484,833
451,2	472,2	25	0,6125	0,285	472,2	469,8368	449,2441	491,6311
494,6	476,6	26	0,6375	0,351	476,6	476,45643	455,7899	498,6022
396,9	487,5	27	0,6625	0,419	487,5	483,23551	462,4505	505,7839
492,2	492,2	28	0,6875	0,488	492,2	490,21401	469,2636	513,2205
355,9	494,6	29	0,7125	0,560	494,6	497,43955	476,2732	520,9649
299,5	498,7	30	0,7375	0,635	498,7	504,97027	483,5329	529,0824
416	513,4	31	0,7625	0,714	513,4	512,87919	491,1095	537,6553
326,7	532,1	32	0,7875	0,798	532,1	521,26078	499,089	546,7905
415,7	543,8	33	0,8125	0,887	543,8	530,24155	507,5859	556,6317
378,6	550,9	34	0,8375	0,984	550,9	539,99792	516,7594	567,38
386	557,6	35	0,8625	1,092	557,6	550,78864	526,8426	579,3308
450,8	578,9	36	0,8875	1,213	578,9	563,0189	538,1992	592,9475
470,3	583	37	0,9125	1,357	583	577,38327	551,452	609,0258
498,7	617,1	38	0,9375	1,534	617,1	595,24535	567,8214	629,1295
627,1	620	39	0,9625	1,781	620	619,98799	590,3307	657,143
472,2	627,1	40	0,9875	2,242	627,1	666,27306	632,0548	709,9299
	Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq.théo.	Pér. Ret.
	0,2	-0,841	356,6933033	330,748036	379,095891	356,6933	0,200	1,3
	0,8	0,841	525,6666967	503,264109	551,611964	525,6667	0,800	5,0
	0,5	0,000	441,1800101	420,405351	461,95467	441,18001	0,500	2,0
	0,2	-0,841	356,6933033	330,748036	379,095891	356,6933	0,200	1,3



FIGUREV.1 : ajustement a la loi normale

**B- Détermination de l'année de calcul :**

La probabilité pour la quelle on assure l'irrigation est donnée pour la fréquence  $P(\%) = 80\%$  ; d'après la courbe théorique on a trouvé  $X(80\%) = 356.6933 \text{ mm}$

On a :

$$-P_{\text{men } 80\%} = p_{\text{men, moy}} \times (p_{80\%} / p_{50\%})$$

- $P_{\text{men } 80\%}$  : Précipitation mensuelle de l'année de calcul.

- $P_{\text{men, moy}}$  : Précipitation mensuelle moyenne de 40ans.

$$-P_{80\%} = 356.6933 \text{ mm}$$

$$-P_{50\%} = 441.18 \text{ mm}$$

- $(p_{80\%} / p_{50\%}) = 0.8$  les résultats obtenus par l'ajustement donner par le tableau suivant :

**Tableau V.7:** Précipitation de l'année de calcul (haut barrage de harazza 1986-2010)

mois	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	dec	annuel
$p_{\text{men, moi}}$	62.88	60.91	54.75	44	33.11	9.53	1.61	4.66	20.52	34.6	55.35	59.22	441.19
$p_{\text{men } 80\%}$	50.3	48.72	43.8	35.2	26.48	7.62	1.28	3.73	16.42	27.68	44.28	47.38	332.89

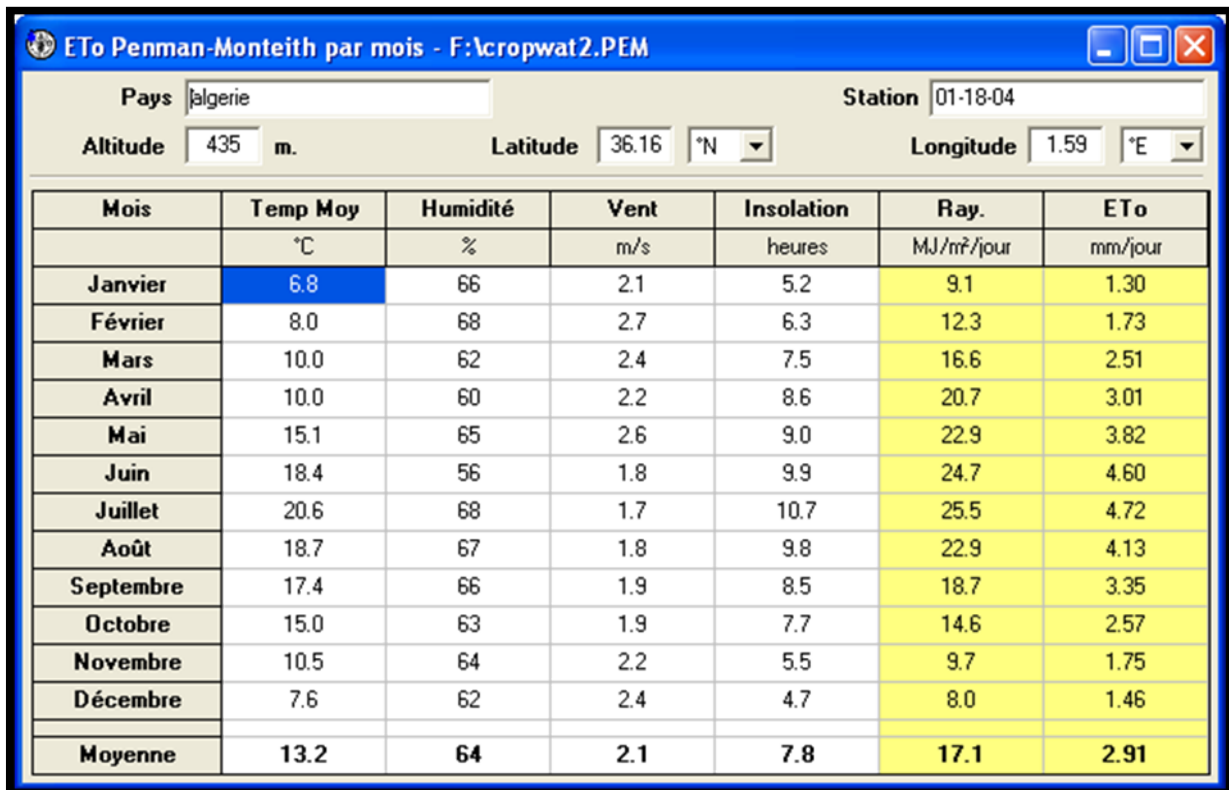
**C-Évaluation des besoins :**

Pour tenir compte des pertes, le programme **CROPWAT8.0**, nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins On a : (barrage harazza) on choisissant une tranche de 450Ha repartis comme suit tableau ( V.8) :

**TABLEAU V.8 :** répartition des cultures dans la parcelle

cultures	répartition	Espace de drainage
Tomate	Zone1	50Ha
Mais	Zone2	100Ha
Pomme de terre	Zone3	80Ha
Blé dur	Zone4	70Ha
Arboricultures	Zone5	150Ha

-Les résultats obtenus par le logiciel sont représentés dans la figure (V.2) et le tableau (V.9)



FigV.2.: Photo de logiciel de calcul (CROPWAT 8)

Tableau V.9: les besoins en eau des cultures en (mm/mois) dans barrage harraza :

mois Cultures	mois											
	jan	fev	mar	avr	mai	juin	jui	aout	sept	oct	nov	dec
tomate				2	50,4	100	142,4	123,2	49			
mais			1,5	48,6	100,3	93,8	4,9					
Pomme det					39.7	110.1	143.7	110,7	13,2			
Ble dur	0,5	00								18.1	11	8,8
arboricultures			5,5	51,3	100,5	116,8	23,9					
somme	0,5	0	7	101,9	290,9	420,7	314,9	223,9	62,2	18,1	11	8,8

Les besoins du mois de pointe sont : 420,7 mm correspondent au mois de juin  
 Donc B=420,7mm =4207 m³/ha

**D-Calcul des pluies journalieres :**

Les pluies maximales journalières dans barrage Harraza (partie de la zone d'étude) ont été analysées et traité statistiquement afin d'obtenir des courbes hauteur-durée-fréquence, les résultats de calcul sont résumé dans les tableaux qui suit tableaux(V.10,V.11 ,V.12) et le trimestre maximum dans le tableau(V.13) :



Tableau V.10: des pluies maximales pour le trimestre I

T1	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
1979	23,6	28,1	0	9,3	35,5	0	0
1980	6	0	10	0	0	0	0
1981	0	5,4	8,6	0	0	0	0
1982	3,3	4,3	3,4	40,7	112,2	0	0
1983	0,8	22,5	0	55,5	0	0	0
1984	5,5	21,5	57,3	0	0	0	0
1985	8,1	28,2	22,5	0	0	0	0
1986	22,2	3,3	27,9	33,7	0	0	0
1987	31,2	4,8	10,4	0	23,3	0	0
1988	6,3	7,8	17,5	0	0	0	0
1989	9	5,9	0	0	0	0	0
1990	16,4	2,4	0	17	0	0	0
1991	5,3	17,6	30,7	0	0	0	0
1992	10,2	15,3	14,1	0	0	0	0
1993	8,4	16	0	0	0	0	0
1994	40,4	59,1	8,7	0	0	0	0
1995	3,2	32,2	16,1	0	0	0	0
1996	12,5	6,6	8,2	0	0	0	0
1997	18,6	46,5	0	20,2	0	0	0
1998	13,5	11,4	0	0	0	0	0
1999	10,4	8,1	18,8	0	0	0	0
2000	16,1	11,7	30,2	79,8	0	0	0
2001	11,4	8,2	0	51,6	0	0	0
2002	21,6	20,2	0	0	0	0	0
2003	13,9	0	28	0	0	0	0
2004	16,5	41,8	0	0	0	0	0
2005	19,2	19,1	0	0	0	0	0
2006	6,8	7,6	0	0	0	0	0
2007	22,1	42,6	43,8	66,2	0	0	0
2008	22,6	12,4	0	0	0	0	0
2009	2,5	21,2	16,9	0	33,8	0	0
2010	14,6	8,2	0	0	26,4	0	0

Tableau V.11: des pluies maximales pour le trimestre II

T2	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
1979	42,4	10,5	0	38,7	42,3	0	0
1980	20,7	13,5	22,4	11,9	0	73,9	0
1981	6,5	20,3	49,3	0	0	0	0
1982	2,6	12,5	0	53,3	0	0	0
1983	9,6	18,2	0	53,9	0	0	0
1984	4,9	17,5	15,7	0	0	26,2	0
1985	4,8	75	76,9	27,3	0	0	0
1986	48,6	3,5	36,1	34,6	54,2	0	0
1987	6,5	5,3	22,5	0	0	0	0
1988	5,9	46,9	0	0	5	0	0
1989	5,2	5,6	20,3	0	0	0	78,8
1990	6,9	13	14,9	44,5	26,6	0	0
1991	2,8	2,2	8	10,2	0	0	0
1992	16,1	2,7	14,5	0	0	0	0
1993	16,4	18,5	46,5	0	0	0	0
1994	24,7	26,3	0	0	0	0	0
1995	20,7	46,9	49,3	53,9	54,2	73,9	0
1996	8,1	8,1	27,3	0	24,7	0	0
1997	26,3	20,8	11,1	0	0	0	0
1998	11	10,5	40	40		0	0
1999	9,6	35,1	40	0	0	47,7	0
2000	8,3	9,1	32,1	43,8	34,8	0	0
2001	8,1	15,1	14,8	0	0	0	0
2002	15,2	15	0	43,4	0	0	0
2003	14,7	0	27,3	0	0	0	0
2004	12,3	33,8	29,4	0	0	39	0
2005	9,9	4,4	6,7	25	56,6	0	0
2006	20,4	6,7	12,9	0	32,7	0	0
2007	12,1	12,1	9,7	43,8	0	0	0
2008	8,5	4,3	16,5	67,7	29,3	80,2	36,5
2009	23,1	26,5	0	0	0	0	32,4
2010	23,1	29,8	13,3	25	0	0	0

Tableau V.12: des pluies maximales pour le trimestre III

T3	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
1979	18,7	13,9	32,6	5,8	18	55,3	18,7
1980	9,8	21,6	9,2	25,9	0	0	0
1981	0,5	9,7	0	14,9	0	0	0
1982	2,1	2,9	24,5	24,5	0	0	0
1983	20,7	31,3	8,8	0	0	0	26,7
1984	6,9	8,5	24,4	21,8	0	0	0
1985	37,7	16,5	0	0	0	0	0
1986	4	5,1	0	0	0	0	0
1987	3,8	12,5	0	31,5	45,7	0	0
1988	8,7	10,2	59,6	0	0	0	0
1989	16,7	16	0	13,9	14,3	36,8	0
1990	10,6	11,4	15,3	0	43,8	0	0
1991	10,6	9,2	0	29,1	0	0	0
1992	7,7	9,7	7,2	16,8	0	0	0
1993	3,1	11,5	0	0	0	0	0
1994	13,2	17,1	0	0	0	0	0
1995	4,2	10,9	25,5	0	51,6	0	0
1996	6,1	19,8	0	49,8	0	0	0
1997	11,4	27,9	49,8	0	0	0	0
1998	4,5	35,1	44,5	0	0	0	0
1999	5,5	0	0	0	0	0	0
2000	20,4	46,2	13,8	0	0	0	0
2001	14,2	15,3	14,3	0	0	0	0
2002	15,7	19,7	14,1	0	0	0	0
2003	6,6	19,4	20,5	0	0	0	0
2004	10,8	12,6	0	0	0	0	0
2005	8,1	3,2	41,8	0	0	0	0
2006	13,7	43,4	32,8	21,2	0	0	0
2007	8,5	31,5	0	0	0	0	0
2008	7,7	47,3	41,9	0	0	0	0
2009	1,4	0	12,8	0	0	0	0
2010	13	0	0	16,3	0	0	0

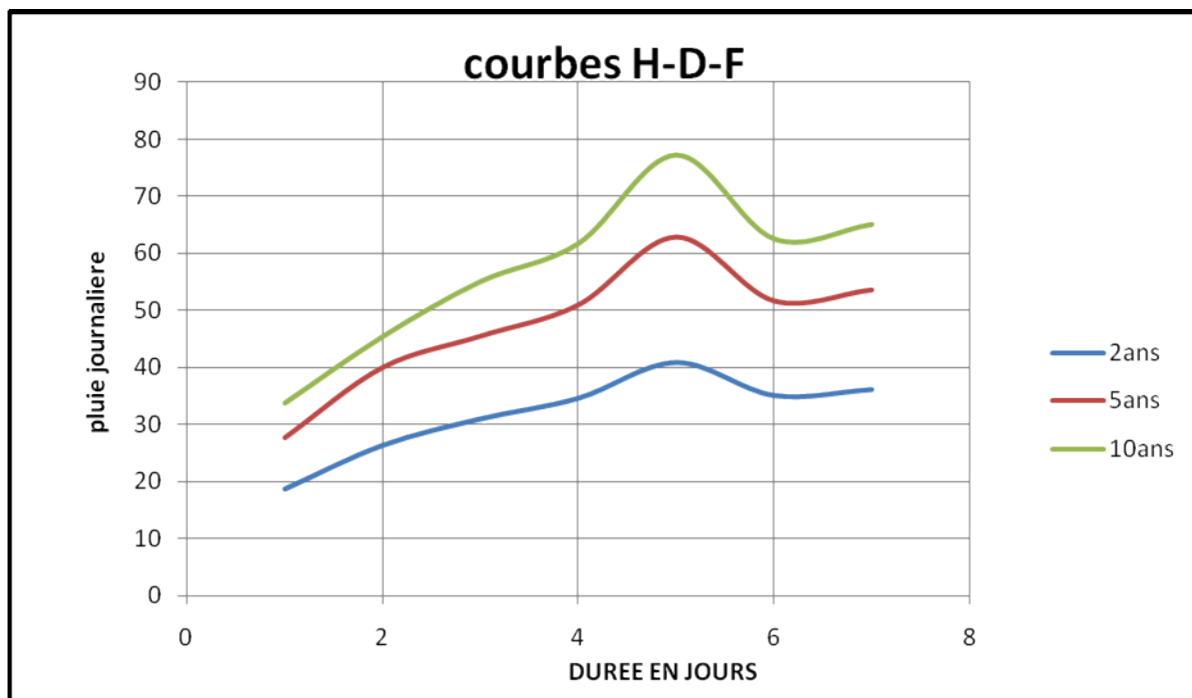
Tableau V.13: des pluies maximales pour le trimestre T

T	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
1979	42.4	28.1	32.6	38.7	42.3	55.3	18.7
1980	20.7	21.6	22.4	25.9	0	73.9	0
1981	6.5	20.3	49.3	14.9	0	0	0
1982	3.3	12.5	24.5	53.3	112.2	0	0
1983	20.7	31.3	8.8	55.5	0	0	26.7
1984	6.9	21.5	57.3	16.8	0	26.6	0
1985	37.7	75	76.9	27.3	0	0	0
1986	48.6	5.1	36.1	34.6	54.2	0	0
1987	31.2	12.5	22.5	31.5	45.7	0	0
1988	13.6	46.9	59.6	0	5	0	0
1989	16.7	16	20.3	13.9	14.3	36.8	78.8
1990	16.4	13	15.3	44.5	43.8	0	0
1991	10.6	17.6	30	29.1	0	0	0
1992	16.1	16.1	14.5	16.8	0	0	0
1993	16.4	16.4	46.5	0	0	0	0
1994	40.4	40.4	8.7	0	54.1	73.9	0
1995	20.7	49.8	49.3	53.9	0	0	0
1996	12.5	19.8	27.3	48.8	24.7	0	0
1997	26.3	46.5	49.8	20.2	0	0	0
1998	13.5	35.1	44.5	40	0	0	0
1999	10.4	35.1	40	0	0	47.7	0
2000	20.4	46.6	32.1	79.8	34.8	0	0
2001	14.7	15.3	14.8	51.6	0	0	0
2002	21.6	20.2	15	0	0	0	0
2003	14.7	19.4	29,4	0	0	39	0
2004	16.5	41.8	29.3	0	0	0	0
2005	19.2	13.1	41.8	25	56.6	0	0
2006	20.4	43.4	32.8	21.2	32.7	0	0
2007	22.1	42.6	43.8	66.2	0	0	0
2008	22.6	47.3	41.9	67.7	80.2	0	36.5
2009	23.1	23.5	41.9	0	33.8	0	32.4
2010	23.1	29.1	13.3	25	26.4	0	0

**V.2.2 Les courbes H.D.F pour le trimestre T :** on va de construire les courbes hauteur –durée- fréquence on fait l’ajustement a la loi normale de trimestre maximum correspondant au printemps (mars, avril, mai) les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (V.14) et la courbe H-D-F représentée dans la figure (V.3)

**TABLEAU V.14 :** ajustement des courbes H-D-F :

periode	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
2ans	18.61	26.28	30.93	34.54	40.81	35.03	36.07
5ans	27.76	40.03	45.49	50.93	62.77	51.64	53.57
10ans	33.82	45.49	55.14	61.79	77.31	62.62	65.16



**FIGURE V.3 :** courbes H.D.F pour trimestre 3

### V.3 Durée De Submersion :

En pratique, le niveau d’eau optimal est difficile à maintenir sans aucune fluctuation. Une pluie forte de quelques jours fait remonter la nappe temporairement à un niveau supérieur à l’optimum. Cette remontée cause des chutes de rendements importants, qui dépendent d’ailleurs du moment de la submersion, du type de culture et évidemment, de la durée de submersion.

La prairie peut supporter une submersion de plusieurs semaines en hiver, lorsque le cycle végétatif est presque arrêté. Pendant la période de végétation par contre, les périodes d’inondation qui provoquent de pertes, sont de 24 à 36 heures.

Les céréales sont très sensibles pendant leur germination et floraison (comme par ailleurs, la plupart des cultures annuelles).

Au cours de la saison, elles deviennent de moins en moins sensibles jusqu'à la récolte.

Ce sont les cultures fruitières, qui souffrent le plus de la submersion, mais les dégâts varient beaucoup avec la variété et la saison. Les abricotiers par exemple meurent après 15 jours de submersion.

Les données existantes ont été regroupées par SALAMIN, à l'occasion du III<sup>e</sup> congrès international (ICID) en Hongrie. Le tableau (en pourcents de la récolte optimale) pendant la saison, en fonction d'une durée de submersion respectivement de 3, 7, 11 et 15 jours.

- La culture : par exemple les pertes pour la pâture ne dépassent pas les 50%, pour 15 jours (En Mai, Juin, Juillet), tandis que les betteraves subissent déjà une perte de 100% en 11 jours (En mars).
- La durée de submersion : une perte de 80% est subie par le tournesol en 11 jours, et seulement de 40% en 7 jours.
- Le stade de culture : par exemple, le maïs aura une perte de 100% en Avril (Germination) et de 30% en septembre (Vers la récolte).

Pour le calcul d'un réseau de drainage, on se fixera un dommage toléré, basé sur des critères économiques, par exemple 20%.

Avec le tableau de SALAMIN, on déduit la durée admissible d'inondation  $\theta$ , qui provoque cette perte fixée. En termes de drainage, cela veut dire qu'une pluie doit être évacuée dans un délai de  $\theta$  jours après d'être tombée.

**V.4 Les pluies critiques** : on a le tableau (V.15) qui définit les paramètres usuelles des cultures tableau de SALAMIN :

**TABLEAU V.15** : paramètres usuelles des cultures

Type de culture	Hopt(mm)	$\theta$ : durée de submersion en jour	T(années)	Valeur du coefficient(1-e)
arboricultures	0.8	5	5	0.5
Culture maraichère	0.5a0.6	2	2	0.8a0.9
céréale	0.6	3	2	0.6a0.8

On a les durées de submersion :

-Arboré culture  $\theta=5j$  pour  $T=5ans$ , donc d'après la courbe H-D-F :

du trimestre T ;  $P_C=63.5mm$

-Culture maraichères concernant les tomates et les pommes de terre  $\theta =2j$  pour  $T=5ans$ , donc d'après la courbe H-D-F :

du trimestre T :  $P_C=40.3mm$

-Céréale, concernant les maïs et le blé dur  $\theta =3j$  pour  $T=2ans$ , donc d'après la courbe H-D-F :

du trimestre  $T$  ;  $P_c = 31.8 \text{ mm}$

### V.5 Drainage agricole:

#### A- Intérêt :

Sous nos latitudes, si les terres agricoles ne disposent pas d'un bon drainage naturel, elles sont presque saturées en eau, la terre se gorge d'eau, surtout durant la période hivernale, et il faut impérativement installer un système de drainage artificiel. Ce qui retient l'eau dans les couches supérieures de la terre peut être de diverses natures : des zones d'accumulation d'argile ou des couches imperméables, par exemple de grès. Par ailleurs, les argiles dites gonflantes « capturent » l'eau et empêchent son évacuation. Afin de pallier les inconvénients du mauvais drainage naturel d'un sol, on installe des dispositifs adaptés.

Pour valoriser un terrain ou un territoire, on recourt à deux techniques de drainage principales : le drainage par fossés et le drainage par canalisations, auxquels il convient d'ajouter des opérations de pompage dans des cas particuliers, et notamment lorsque les sols à assécher se trouvent sous le niveau des voies d'évacuation des eaux. Afin qu'une installation de drainage soit d'un prix abordable, il vaut mieux que la surface à traiter soit d'un minimum de 2 000ha.

#### B- Effets positifs de l'assainissement du sol :

- Meilleure aération du sol.
- Amélioration de la structure du sol
- Pénétration plus profonde des racines.
- Échauffements plus rapide du sol.
- Augmentation des processus de nitrification.
- Diminution des mauvaises herbes et des maladies des cultures.
- Travail du sol facilité.
- Accès possible aux parcelles en temps opportun.
- Augmentation du rendement des cultures et amélioration de la qualité des récoltes

#### C- Causes de l'excès d'humidité du sol :

On distingue 3 causes essentielles :

- Apports externes d'eau
- Présence prolongée d'une nappe peu profonde ;
- Stagnation temporaire des eaux de précipitation.

#### D- Présence prolongée d'une nappe

- Drainage par tuyaux enterrés
- Eventuellement, drainage par fossés
- Dans certains cas, drainage par puits
  - En présence d'apports latéraux importants: interception préalable

### V.6 Calcul du débit caractéristique du réseau « $q_c$ » :

La première phase du dimensionnement d'un réseau de drainage consiste en la détermination du débit caractéristique.

Le débit caractéristique d'un réseau de drainage est le débit à véhiculer par le réseau pour évacuer la pluie critique.

La pluie critique c'est la quantité de pluie maximale qui tombe en un délai fixe, avec un temps de récurrence déterminé que le réseau de drainage doit être capable d'évacuer.

Il existe plusieurs procédés de calcul, en fonction du régime hydraulique (permanant ou variable) ainsi que les conditions culturales.

#### V.6.1 Notion de régime permanant et régime variable :

- Dans les régions où les pluies se caractérisent par de longues durées, ne laissant entre elles que des intervalles trop courts pour permettre un ressuyage du sol suffisant sur une profondeur convenable, on adaptera, alors un régime **permanant** d'évacuation d'eau qui maintiendra la nappe en dessous d'un niveau maximal à ne pas dépasser

- Par contre, dans les régions où les pluies ont une forte intensité mais de courtes durées, laissant entre elles des intervalles de temps suffisamment longs, on adoptera un régime **variable** pour le rabattement du niveau de la nappe à un niveau voulu en un délai bien déterminé après l'arrêt de la pluie.

#### V.6.2 Description des zones à drainer :

Le choix des zones à drainer (selon l'aptitude culturale), ce choix s'est fait de telle sorte à avoir une zone classée parmi les zones salées où le niveau la nappe est proche de la surface du sol, c'est-à-dire des zones nécessitant une projection d'un réseau drainage

**a-La zone I et III** : les propriétés sont données comme suit :

- Texture: limono-argileuse.

-  $K = 5 \cdot 10^{-6}$  m/s.

- Niveau statique De la Nappe : 0.6 m

- Profondeur des drains  $p_d = 1.2$  m la superficie à irriguer  $S = 130$  Ha

- La porosité efficace (ou de drainage) :  $\mu = 9$  %.

- L'îlot à drainer est cultivé en maraichère tomate et pomme de terre, et selon le tableau de SALAMIN on a une durée de submersion admissible  $\theta = 2$  jrs.

- La période de calcul de la pluie critique :  $T = 2$  ans (Période de retour).

- Salinité : les sols de la zone d'étude ont une salinité **(2.8) mmhos/cm**

**b-La zone II et IV** : les propriétés sont données comme suit :

- Texture : argilo- limoneuse

-  $K = 5 \cdot 10^{-6}$  m/s.

- Niveau De la Nappe : 0.6 m

- profondeur des drains  $P_d = 1.5$  m la superficie à irriguer  $S = 170$  Ha

- La porosité efficace (ou de drainage) :  $\mu = 7$  %.

- L'îlot à drainer est cultivé en céréales, maïs et ble dur

et selon le tableau de SALAMIN on a une durée de submersion admissible  $\theta = 3$  jrs.

- La période de calcul de la pluie critique :  $T = 2$  ans (Période de retour).

- Salinité : les sols de la zone d'étude ont une salinité **(2.8) mmhos/cm**



**c-La zone V:** les propriétés sont données comme suit :

- Texture: limono-argileuse.
- $K_2 = 5.10^{-6}$  m/s.
- Niveau De la Nappe : 1.1m
- profondeur des drains  $P_d = 1.8$  m la superficie a irriguer  $S = 150$  Ha
- La porosité efficace (ou de drainage) :  $\mu = 5$  %.
- L'îlot à drainer est cultivé en arboriculture, et selon le tableau de SALAMIN on a une durée de submersion admissible  $\theta = 5$  jrs.  
 La période de calcul de la pluie critique :  $T = 5$  ans (Periode de retour).
- Salinité : les sols de la zone d'étude ont une salinité **(2.8) mmhos/cm**

**V.6.3 Cas où l'excès provient des pluies :**

**A- En régime permanent sans tenir compte du stockage :**

C'est le débit par unité de surface à recueillir et évacuer de la parcelle qui sera donc directement en fonction de l'intensité « i » de la pluie critique.

Le débit caractéristique du réseau sera donnée par :

-  $q_c = (1 - e) \times i_p$  .  $q_c$  : en mm/h

-  $q_c = \frac{1 - e}{0.36} \times i_p$        $q_c$  : en l/s/ha

Avec :

- (1-e) : coefficient d'évaporation
- (1-e) : Fraction de pluie non évaporé
- Céréales                                      (1-e) = 0,6
- Culture maraichère                      (1-e) = 0,5 ÷ 0,6
- arborai culture                              (1-e) = 0,8
- i : Intensité de la pluie en (mm/h) avec :

$i =$

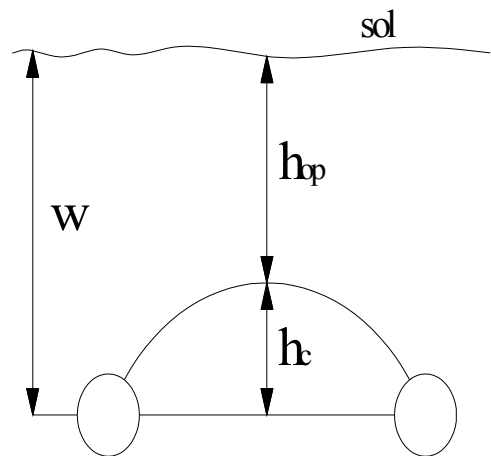
Résultats et calculs :

**a-Zone I et III :** maraichère (tomate et pomme de terre)

- (1-e) = 0.5-0.6 on prend 0.6;
- $P_c = P_{2j5ans} = 40.3$  mm (d'après l'étude fréquentiel des pluies).

$i_p = \frac{P_c}{2 jrs} = \frac{40.3}{2 \times 24} = 0,84$  mm/h       $i_p = 0,84$  mm/h

Donc :  $q_c = \frac{0.6}{0.36} \times 0.84 = 1.40$  l/s/ha



b- **Zone IIetIV** : Céréales(mais et ble dur)

-  $(1-e) = 0,6$  ;

-  $P_c = P_{3j2ans} = 31.8 \text{ mm}$  (d'après l'étude fréquentiel des pluies).

$$i_p = \frac{P_c}{2 \text{ jrs}} = \frac{31.8}{2 \times 24} = 0,62 \text{ mm/h} \quad i_p = 0,62 \text{ mm/h}$$

$$\text{Donc : } q_c = \frac{0,6}{0,36} \times 0,62 = 1,03 \text{ l/s/ha}$$

c- **Zone V**: arboriculture

-  $(1-e) = 0,8$

-  $P_c = P_{5j5ans} = 63.5 \text{ mm}$  (d'après l'étude fréquentiel des pluies).

$$-i_p = \frac{P_c}{2 \text{ jrs}} = \frac{63.5}{2 \times 24} = 1,33 \text{ mm/h} \quad i_p = 1,33 \text{ mm/h}$$

Donc :

$$-q_c = \frac{0,8}{0,36} \times 1,33 = 2,95 \text{ l/s/ha}$$

### B- En régime permanent en tenant compte du stockage :

On a dans ce cas :

$$q_c = \frac{P - E - S}{\theta} \quad \text{avec}$$

$q_c$  : débit caractéristique en (mm/jours)

-  $P$  : pluie critique en (mm).

-  $E$  : l'évaporation en (mm).

- durée de submersion admissible égale à : zone IetIII : 2 jours, zone IIetIV : 3 jours, zone V : 5 jours

-  $W$  : profondeur des drains.

-  $S$  : le stockage du sol en (mm) avec  $S = h_c \times \mu$

Pour le choix de la profondeur des drains «  $W$  » D'après TCHESKQSSOV URSS (cours 2010), cette dernière donne les profondeurs optimale des drains en fonction du type de culture, texture du sol, et du régime de calcul (permanent ou variable).

Pour notre cas maraichère : on optera pour une profondeur des drains égale à  $0,9m$  c'est -à - dire  $W = 0,8m$ ; Céréales :  $W = 1m$ , arborai culture :  $w = 1,2m$

Ce qui nous donne des profondeurs critique  $h_{cIetIII} = 0,3 \text{ m}$ ,  $h_{cIIetIV} = 0,3m$ ,  $h_{cV} = 0,1m$  et des profondeurs optimale de la nappe  $h_{opI} = 0,6m$ ,  $h_{opII} = 0,7m$ ,  $h_{opIII} = 1,10m$

Donc on aura :

$$-S_{IetIII} = h_c \times \mu = (0,3 \times 1000) \times 0,09 = 27 \text{ mm} \quad S = 27 \text{ mm}$$

$$-S_{IIetIV} = h_c \times \mu = (0,3 \times 1000) \times 0,07 = 21 \text{ mm} \quad S = 21 \text{ mm}$$

$$-S_V = h_c \times \mu = (0,1 \times 1000) \times 0,05 = 5 \text{ mm} \quad S = 5 \text{ mm}$$

Donc :

$$a- q_{cIetIII} = \frac{P - E - S}{\theta} = \frac{40,3 - 4,21 - 27}{3} = 3,03 \text{ mm/jours.}$$

$$b- q_{cIIetIV} = \frac{P-E-S}{\theta} = \frac{31.8-4.21-21}{2} = 3.29 \text{ mm/jours.}$$

$$c- q_{cV} = \frac{P-E-S}{\theta} = \frac{63.5-4.21-5}{5} = 5.42 \text{ mm/jours}$$

**c-En régime variable :**

On a :  $q_c = \frac{S}{\theta}$

Avec :

- $q_c$  : débit caractéristique en (mm/jours).

- $S$  : le stockage du sol

- $\theta$  : durée de submersion admissible

Donc :

$$a-q_{cIetIII} = 9 \text{ mm/jour} = 1.04 \text{ l/s/ha}$$

$$b-q_{cIIetIV} = \frac{21}{2} = 10.5 \text{ mm/jour} = 1.21 \text{ l/s/ha}$$

$$c-q_{cV} = \frac{5}{5} = 1 \text{ mm/jour} = 0.115 \text{ l/s/ha}$$

#### V.6.4 CAS OU L'EXCES PROVIENT DE L'IRRIGATION :

A- Les besoins nets en mois de pointe sont estimés à :  
pour le maraichère zone IetIII

$$B_{\text{net}} = 286.1 \text{ mm/mois}$$

-Pour le mois de pointe, juillet  $B_{\text{net}} = 286.1/15 = 19.07 \text{ mm}$

-On propose un système d'irrigation par aspersion Efficience de l'irrigation : 0.75

$$- B_{\text{brut}} = \frac{B_{\text{net}}}{0.75} = \frac{19.07}{0.75} = 25.42 \text{ mm}$$

-Les pertes totales sont estimées a 0.25 donc :

$$- \text{Pertes tot} = 25.42 * 0.25 = 6.35 \text{ mm}$$

$$- \text{Les pertes par percolation} : 6.35 * 0.1875 = 1.19 \text{ mm/2j}$$

$$- q_c = 1.19/2 = 0.59 \text{ mm/j} \quad q_c = 0.075 \text{ l/s/h}$$

B- Les besoins nets en mois de pointe sont estimés à :  
pour les Céréales zone IIetIV

$$- B_{\text{net}} = 66.7 \text{ mm/mois}$$

-Pour le mois de pointe, avril  $B_{\text{net}} = 66.7/15 = 4.43 \text{ mm}$

On propose un système d'irrigation par aspersion Efficience de l'irrigation : 0.75

$$-B_{\text{brut}} = \frac{B_{\text{net}}}{0.75} = \frac{4.43}{0.75} = 5.91 \text{ mm}$$

-Les pertes totales sont estimées à 0.25 donc :

$$-Pertes \text{ tot} = 5.9 * 0.25 = 1.49 \text{ mm}$$

-Les pertes par percolation :  $1.49 * 0.1875 = 0.27 \text{ mm/2j}$

$$-q_c = 0.27/2 = 0.14 \text{ mm/j} \quad q_c = 0.017 \text{ l/s/h}$$

C-Les besoins nets en mois de pointe sont estimés à : pour l'arboriculture zone V

$$-B_{\text{net}} = 116.8 \text{ mm/mois}$$

$$-Pour \text{ le mois de pointe, juillet} \quad B_{\text{net}} = 116.8/2 = 58.4 \text{ mm}$$

-On propose un système d'irrigation par aspersion Efficacité de l'irrigation : 0.75

$$B_{\text{brut}} = \frac{B_{\text{net}}}{0.75} = \frac{58.4}{0.75} = 77.86 \text{ mm}$$

-Les pertes totales sont estimées à 0.25 donc :

$$-Pertes \text{ tot} = 77.86 * 0.25 = 19.46 \text{ mm}$$

Les pertes par percolation :  $19.46 * 0.1875 = 3.65 \text{ mm/15j}$

$$-q_c = 3.65/15 = 0.24 \text{ mm/j} \quad q_c = 0.031 \text{ l/s/h}$$

### V.6.5 Récapitulation :

Tableau V.16 : différentes valeurs de  $q_c$

Régime de calcul	R .P sans stockage	R.P avec stockage	R .V	Irrigation
$q_c$ (zone I et III) (l/s/h)	1.4	0.36	1.04	0.075
$q_c$ (zone II et VI) (l/s/h)	1.03	0.39	1.22	0.017
$q_c$ (zone V) (l/s/h)	2.951	0.65	0.115	0.031

### V.7 Calcul des écartements des drains "E" :

Les différentes méthodes peuvent faire intervenir soit l'un ou tous les facteurs suivants:

- Les sols (profondeur, conductivité hydraulique, porosité...)
- Régime d'écoulement (permanant ou variable).
- Les cultures projetées.

Pour cela on aura la :

- Méthode proposée par **Hooghoutt** au régime permanent.
- Méthode proposée par **Glover - Dum** au régime variable.

**A-La formule de Hooghoutt : (régime permanent) :**

- Cas où les drains reposent sur la couche imperméable:

$$E^2 = \frac{4 \times h_c^2 \times k}{q_c}$$

Avec :

$E$  : Ecartement des drains en (m).

$k$  : Conductivité hydraulique du sol (en m/j).

$h_c$  : Hauteur critique (en m).

$q_c$  : Débit caractéristique (en mm.10<sup>-3</sup>).

- Cas où les drains ne reposent pas sur la couche imperméable:

$$E^2 = \frac{4 \times h_c^2 \times k_s + 8 \times k_i \times d \times h_c}{q_c}$$

Avec :

$E$  : Ecartement des drains en (m).

$k_s$  : Conductivité hydraulique du sol en dessous des drains (en m/j).

$k_i$  : Conductivité hydraulique du sol au dessus des drains (en m/j).

$d$  : Profondeur effective de l'imperméable par rapport au niveau des drains (en m).

$h_c$  : Hauteur critique (en m).

$q_c$  : Débit caractéristique (en mm.10<sup>-3</sup>).

**B-La formule de Glover - Dum :(régime variable)**

$$\frac{h_t}{h_0} = 1.16 \times e^{-\alpha.t}$$

$$E^2 = \frac{10 \times k \times d \times t}{\mu} \left[ \ln(1.16 \cdot \frac{h_0}{h_t}) \right]^{-1}$$

$$\alpha = \frac{10 \times k \times d}{\mu \times t^2}$$

Avec:

$E$  : Ecartement des drains en (m);

$k$  : Conductivité hydraulique du sol (en m/j);

$\mu$  : Porosité de drainage (en %);

$d$  : Profondeur effective de l'imperméable par rapport au niveau des drains (en m);

$t$  : Temps (en jr);

$h_0$  : Niveau initial de la nappe (en m);

$h_t$  : Niveau de la nappe au temps  $t$  (en jr);

$\alpha$  : Facteur de réaction (en  $j^{-1}$ )

$q_c$  : Débit caractéristique (en  $mm \cdot 10^{-3}$ ).

### V.7.1 Choix de la profondeur des drains :

Le coût d'installation et de l'entretien d'un système de drainage par tuyaux enterrés horizontaux est étroitement lié à la profondeur des drains choisie. Les profondeurs de drains sont comprises entre **1** et environ **2m**. Du point de vue hydraulique, une augmentation de la profondeur de drainage conduit à l'augmentation des écartements, et à la réduction proportionnelle des linéaires de drains. L'augmentation de la profondeur des drains nécessite cependant la construction d'émissaires plus profonds et plus coûteux, ou parfois la construction de stations de relevage ; l'entretien de ces émissaires est également plus difficile et plus onéreux.

Un compromis entre profondeur et coût du drainage est en conséquence à trouver en fonction des contraintes techniques et économique locales.

### V.7.2 Résultats et calculs :

Pour tous les calculs qui suivent, on prendra le débit maximal, donc celui du régime

permanent sans tenir compte le stockage :  $q_c = 2.95 l / s / h$

#### A-En régime permanent:

- Les drains reposent sur la couche imperméable donc on utilise la formule:

$$h = q \left( \frac{Dv}{Kt} + \frac{E^2}{8KbDb} + \frac{E}{\pi Kb} \ln \frac{Dr}{u} \right)$$

Avec:

- Type de culture : arboricultures

- K: Conductivité hydraulique équivalente

$$\text{On a } K_{eq} = \frac{\sum(h_i \times K_i)}{\sum h_i}$$

$$K_{eq} = \frac{(5 \times 0,4) + (0,69 \times 0,5)}{0,5 + 0,4} = 2,6 m / jr \quad K_{eq} = 2,6 m / jr$$

-  $q_c = 11,66 mm / jr$

a- Pour les maraichères  $h_{opp} = 0,6 m$   $h_c = 0,3$

$$E^2 = \frac{4 \times (0,3)^2 \times 2.6}{11.66.10^{-3}} = 886.95 \quad E = \sqrt{886.95} = 29.78 \approx 30m$$

$$E = 30m$$

b-Pour les Céréales  $h_{opp} = 0,7 \text{ m} \Rightarrow h_c = 0.3m$

$$E^2 = \frac{4 \times (0,3)^2 \times 0.69}{8.33.10^{-3}} = 617.55 \quad E = \sqrt{617.55} = 24.85 \approx 25m$$

$$E=25m$$

On remarque que l'espacement entre les drains est très faible, autrement dit, pas économique. Donc, il faut prévoir une amélioration des propriétés physiques du sol à savoir un travail du sol (un sous-solage) visant à augmenter la conductivité hydraulique du sol.

c-Pour les arborai culture :  $h_{opp} = 1.1 \text{ m} \quad h_c = 0.1m$

$$\text{On a} \quad K_{eq} = \frac{\sum(h_i \times K_i)}{\sum h_i}$$

$$K_{eq} = \frac{(345 \times 0,7) + (0.69 \times 0.5)}{0.5 + 0.7} = 201m / jr \quad K_{eq} = 201m / jr$$

$$E^2 = \frac{4 \times (0,1)^2 \times 345}{24.58.10^{-3}} = 1232.01 \quad E = \sqrt{1232} = 35m$$

$$E=35m$$

**Conclusion :**

Réseau de drainage n'a pas permis la prise en compte des théories classiques Traditionnelles d'une étude de drainage la difficulté principale était le choix du débit caractéristique, et quelles formules adapter.

La formule classique utilisée généralement en zone humide étude fréquentiel qui ne prend en compte que les pluies critiques l'aurait surdimensionnée

Et par conséquence non économique.

D'après ce qu'on a vu un simple travail de sol on a fait calculer les courbes

Hauteur durée fréquence et calculé les besoins des assolements en fin on a tiré les écartements un tel travail permet d'économiser du coût d'investissement.



# **CHAPITRE 6 :**

***ETUDE DE VULNERABILITE.***

### Introduction :

La difficulté d'utilisation des modèles mathématiques basés sur des calculs complexes a contraint les chercheurs à proposer un outil de caractérisation simple et efficace, répondant aux aspirations des gestionnaires de l'eau souterraine.

Les modèles mis en évidence, depuis une vingtaine d'années, à travers le monde (Europe, USA, Canada, Japon) permettent une caractérisation plus précise de la vulnérabilité des aquifères face aux risques de pollution on étudier le model prast.

### VI.1 définition de vulnérabilité des haut Chélif :

La définition vulnérabilité, liée au risque de pollution des eaux souterraines, englobe à la fois celle d'agression et de défense (Suais et al, 1983 ; Brelot et al, 1996 ; in Touileb, 1997).

La vulnérabilité liée au risque de pollution est déterminée par la facilité de pénétration des substances polluantes s'infiltrant à partir de la surface du sol vers la nappe (Robins et al, 1989 ; in Touileb 1997).

La vulnérabilité des nappes correspond à leur sensibilité aux différents facteurs physiques stables dans la mesure où elles sont plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation du polluant dans le sol (Albinet, 1989).

Les divers facteurs affectant la propagation du polluant peuvent être classés en quatre catégories :

- Etat et caractéristiques physiques et chimiques du sol et du sous-sol. Le facteur principal est la lithologie.
- Profondeur de la surface piézométrique, laquelle impose le temps de séjour en zone non saturée.
- Paramètres de l'écoulement de l'eau souterraine : coefficient de perméabilité ou transmissivité, direction et vitesse de déplacement ;
- Conditions d'alimentation et d'écoulement, facteurs de renouvellement de la réserve totale moyenne (Castany, 1982).

Pour une étude rigoureuse, le concept de vulnérabilité est limité voir relatif car non qualifiable en raison de :

- La multiplicité et de l'incertitude des facteurs à prendre en compte qui demeurent souvent subjectifs et indépendants ;
- La nécessité de tenir compte du passé, du présent et du futur.

Il a été suggéré que la représentation cartographique de la vulnérabilité est plus intéressante, surtout pour un grand territoire, la présélection des sites par des classes de vulnérabilité (Tableau 1) représente un outil de décision très puissant pour un aménagement éventuel (Robins et al, 1989 ; in Touileb 1997).

**Tableau V.1 : Interprétation pratique des classes relatives de vulnérabilité à la**

- extrême	Forte vulnérabilité pour la majorité des types de polluants
- élevée	Vulnérabilité pour beaucoup de polluants
- modérée	Vulnérabilité pour quelques types de polluants
- faible	Vulnérabilité pour quelques types de polluants à long terme
- négligeable	Protection naturelle contre la pollution

## VI.2 l'évaluation des outils de caractérisation de la vulnérabilité :

Les premiers efforts, visant à caractériser la vulnérabilité des aquifères, furent tentés par des chercheurs français au début des années soixante dix (Albinet et Margat, 1970). Les problèmes mondiaux de pollution des aquifères étant en croissance accélérée, il se produisit, au cours de la décade suivante, une prolifération des efforts dans ce domaine.

Le Ministère de l'Environnement de l'Ontario publie toute une série de cartes à l'échelle 1/50000, visant à caractériser la vulnérabilité de plusieurs aquifères de la province ontarienne. Les premiers documents cartographiques se voulaient la synthèse de quelques paramètres ayant une importance majeure dans la vulnérabilité des aquifères.

Les américains produisent plus de publications pertinentes que tout autre pays (Frechette, 1987). Des efforts importants ont également été menés par les pays européens en particulier le bureau de recherche géologique et minière qui a tenté ainsi d'améliorer son système cartographique.

L'ensemble de ces travaux, qui avaient une application et une précision limitée, offraient toutefois une vue d'ensemble des conditions hydrogéologiques des territoires étudiés. Moins de dix ans après, un raffinement des méthodes s'était opéré petit à petit suite à l'apparition de la première carte de vulnérabilité des aquifères.

On précisa la caractérisation en ajoutant un index numérique de vulnérabilité, permettant ainsi une sélection des sites les uns par rapport aux autres Frechette, 1987. Les méthodes se précisèrent davantage au moment où le poids relatif des paramètres fut pris véritablement en considération.

## VI.3 Description des méthodes :

A la lumière des commentaires émis précédemment et pour une question de commodité, les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sont regroupées en quatre groupes Principaux :

- Méthodes axées sur les documents cartographiques.
- Méthodes axées sur un système de cotation numérique.
- Méthodes axées sur la caractérisation des rejets ponctuels.
- Méthodes générales ou mixtes.
- Méthodes axées sur les documents cartographiques

La cartographie est un outil de compréhension qui permet de représenter rapidement des phénomènes ayant une structure spatiale. La plupart des propriétés intervenant dans le processus de la pollution des eaux souterraines se prête bien à ce type de représentation.

#### VI.3.1 Albinet et Margat (1970)

Cette méthode consiste à représenter une vue générale des paramètres qui conditionnent la vulnérabilité, tels que :

- La nature géologique du sous sol .
- La profondeur de la nappe .
- Le drainage de surface.

Cette méthode se fait en quatre étapes :

- Présentation d'une vue générale des paramètres qui conditionnent la vulnérabilité sur une carte au 1/1000000 ;
- Regroupement schématique en six (06) classes de vulnérabilité représentées par six (06) couleurs ;
- Réalisation d'une carte au 1/250.000 (pour élever le niveau de précision régional de représentation ;
- Réalisation d'une carte au 1/50.000 (constituant un préalable aux études à caractère local).

#### VI.3.2 BRGM (1971-1983)

Une carte de vulnérabilité au 1/50000 des nappes d'eau de la région lyonnaise (France) a été réalisée en 1971 par Lichardt et Collin en reprenant la méthode proposée par Albinet et Margat. Le document, qu'ils ont obtenu, résulte de la superposition de trois cartes de même échelle.

La première carte traduit l'aptitude des terrains à se laisser traverser par un contaminant et s'appuie sur la géologie et le faciès des réservoirs .

- La deuxième portait sur les ressources exploitées et exploitables .
- La troisième concernait les contraintes d'aménagement.

#### VI.3.3 Parascandola (1980)

Parascandola pense que la mise à jour fréquente de la représentation de la vulnérabilité est nécessaire, car elle tient compte de chaque type de pollution des eaux souterraines à des fins d'intervention sur le milieu. La difficulté d'estimation et de mise en relation des paramètres de vulnérabilité relatifs à la nature des contaminants et des conditions du milieu, a poussé Parascandola et Albinet (1983) à suggérer que seule la vulnérabilité en liaison avec la structure hydrogéologique et physiographique du milieu peut être rendue de façon synthétique.

#### VI.3.4 La méthode Wipp (environnement Ontario, 1982)

Une série de carte de vulnérabilité de plusieurs aquifères à l'échelle 1/5000 a été publiée par le Ministère de l'Environnement de l'Ontario en 1982, s'appuyant sur les paramètres suivants :

- La perméabilité du sol de surface.
- Le mouvement de l'eau souterraine.
- La profondeur de la nappe.
- L'utilisation de l'eau souterraine régionale.

-Pour une région particulière, trois types de vulnérabilité peuvent être associés : fort, moyen et faible.

#### VI.3.5 Environnement Québec Cormack (1985)

A partir d'une étude pilote menée sur la région de Granby, deux cartes de vulnérabilité ont été publiées sur la base de :

- La composition du matériel de surface.
- La topographie.
- La perméabilité.
- Le degré de vulnérabilité est représenté par un dégradé de couleur dont la teinte passe du blanc (vulnérabilité faible) au gris foncé (vulnérabilité forte). Des symboles complémentaires ont été ajoutés pour identifier certaines activités humaines (carrières, industries, ... etc.) pouvant influencer le degré de vulnérabilité d'un site ont été ajoutés.

#### VI.3.6 La méthode NRA (National Rivers Authority, 1992)

Le concept de vulnérabilité défini par cette méthode est fonction de :

- La nature du sol ; La présence d'une couche potentielle de pollution .
- La nature géologique des couches formant la zone non saturée .
- L'épaisseur de la zone non saturée ou l'épaisseur du substratum supérieur dans le cas d'une nappe captive (NRA, 1992).

Les informations obtenues permettent l'établissement des cartes à l'échelle 1/100000, incluant trois classes de milieu (majeur, mineur et pas d'aquifère) ainsi que trois classes de potentiel de lessivage des sols en fonction des considérations hydrogéologiques du milieu.

#### VI.4 Les méthodes axées sur un système de cotation numérique :

L'objectif principal visé par les concepteurs est de rehausser l'importance relative des paramètres physiques d'un aquifère pour la classification relative des régions considérées et de donner un cadre plus rigoureux aux méthodes cartographiques.

##### VI.4.1 Silka et Swearigen

L'approche, simple et peu coûteuse, se fait en huit étapes :

- Description de la zone non saturée : selon la composition lithologique on affecte une côte entre 1 et 10 exemple : le Gravier a une côte = 9 .
- Détermination de l'extension de l'aquifère : une côte maximale de 6 est attribuée à une nappe à grande extension verticale et une côte minimale de 1 pour un aquifère de faible extension verticale (Côte = 7) .
- Caractérisation de la qualité physico-chimique de l'eau : une eau impropre à la consommation nécessite un degré de protection moindre (Côte = 1), alors qu'une eau potable nécessite une plus grande protection (côte = 5) .
- Concernant les pesticides : une côte variable de 5 à 8 que l'utilisateur aura à fixer sur la base des critères suivants : toxicité, mobilité, persistance, volume et concentration du polluant .
- Dans cette étape, une sommation des côtes évaluées dans les quatre premières étapes précédentes sera effectué. Alors une côte maximale de 29 peut être obtenue, ce qui signifie une vulnérabilité élevée .
- Une côte est attribuée pour désigner la distance d'une région vulnérable à un utilisateur d'eau situé à proximité d'un puits en contact directe avec une région affectée (côte = 9).
- Evaluation du degré de confiance pour chacune des estimations des paramètres en introduisant une lettre d'appréciation (exemple A = bonne estimation) .
- L'étape finale consiste à présenter les résultats de chacune des étapes sous forme de tableau permettant de visualiser l'importance de chaque paramètre.

L'index de vulnérabilité permet une classification rapide des régions mais aucun outil cartographique n'est envisagé pour cette méthode. (Djouidar, 2003)

##### VI.4.2 Union Carbide (1982)

La compagnie Union Carbide, producteur de l'aldicarbe, un insecticide intensivement utilisé dans la culture du tabac et de la pomme de terre, a mis au point une méthode spécialement adaptée à la prévention d'une éventuelle pollution des aquifères par l'aldicarbe. Les paramètres utilisés sont regroupés en trois catégories :

- Catégorie: comprend le taux d'épandage, superficie traitée, état de culture.
- Catégorie : en particulier les conditions de dégradation du pesticide
- Catégorie reflétant les conditions de transport en particulier la précipitation, l'Irrigation, le type de sol, l'évapotranspiration potentielle, la profondeur de la nappe et le type d'approvisionnement.

Des scores sont attribués à chaque paramètre. Par la sommation de chacun des scores d'une même catégorie, l'index de vulnérabilité est alors obtenu en effectuant le produit des côtes à l'intérieur des trois catégories. Nous remarquons que cette méthode n'accorde pas beaucoup d'intérêt aux caractéristiques hydrogéologiques.

#### VI.4.3 La méthode DRASTIC (NWWA, 1985)

Elle permet l'évaluation comparative de certaines régions en tenant compte du potentiel de pollution des eaux souterraines. Cette méthode qui n'accorde pas d'importance à la nature du polluant, a été testée par la NWWA (National Water Well Association) et expérimentée sur douze bassins hydrogéologiques différents des Etats Unis d'Amérique.

Sept paramètres sont pris en considération :

- D : La profondeur de la nappe d'eau.
- R : La recharge nette ou infiltration efficace.
- A : La nature de l'aquifère.
- S : Les matériaux du sol.
- T : La topographie .
- I : L'impact de la zone vadose ;
- C : La conductivité hydraulique de l'aquifère.

Chaque paramètre est assigné d'un poids allant de 1 à 5 et d'une côte allant de 1 à 10 qui définit le degré de vulnérabilité .Dans le cas où des pesticides sont utilisés, on attribue un poids différent, pour refléter les conditions en milieu agricole.

Enfin, un index DRASTIC est calculé en faisant la somme pondérée des poids par les côtes des sept paramètres pour chaque région hydrogéologique.

#### VI.4.4 Méthode PRAST (Lallemand-Barres, 1989)

Le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée empêche la propagation d'un polluant en direction des nappes aquifères.

C'est une méthode empirique mise au point par Rehse en 1977 et qui consiste à estimer dans quelle mesure un polluant déversé en surface du sol, verra sa teneur diminuer après un parcours vertical jusqu'à la nappe puis un parcours horizontal dans la nappe jusqu'au point de prélèvement.

Alors Rehse a calculé le pouvoir épurateur par la formule suivante :

$M_x = (M_d + M_r)$  avec  $M_x$  = pouvoir épurateur sur la totalité du transfert.

$M_d$  = pouvoir épurateur sur le trajet vertical.

$M_r$  = pouvoir épurateur sur la distance horizontale.

$M_x = 1$  (signifie une épuration complète).

#### VI.5 Les méthodes axées sur la caractérisation des rejets ponctuels :

Etant donné la superficie limitée et les impacts violents qu'imposent des aménagements comme dépotoirs, les remblais de mines et les réservoirs supposés étanches, l'élaboration de méthodes spécifiques à ces régions s'avère indispensable.

##### VI.5.1 JRB associates ( 1982)

JRB fait appel à une dizaine de paramètres, regroupés en quatre catégories distinctes et qui sont :

- Les facteurs récepteurs (distance d'un point d'utilité, population, ...etc.)
- Les sites comme tels (profondeur de la nappe, perméabilité, ...etc.)
- Les caractéristiques des rejets (toxicité, persistance, ...etc.)
- Les modes d'aménagement (quantité de rejets, ...etc.).

A chaque paramètre on attribue une côte de 0 à 3. plus le chiffre est élevé, plus sévère est la vulnérabilité du site face à ce paramètre. A chacun des éléments est associé un poids relatif, indicateur de l'affectation relative de chacun de ces éléments. Ensuite, la somme de chacun des éléments pondérés dans chacune des catégories de paramètres. Enfin, l'addition des scores obtenus dans chaque groupe distinct nous donne la vulnérabilité du site considéré.

#### VI.5.2 La méthode de Legrand (1983)

C'est la classification relative des régions affectées par les dépotoirs et les sites d'enfouissement sanitaires. Le système de Legrand (1983) spécifique aux nappes libres, associe un poids relatif à chacun des paramètres suivants :

- La distance à des points d'utilisation .
- La profondeur de la nappe .
- Le gradient hydraulique .
- La perméabilité et l'adsorption.

A chaque paramètre est affectée une côte de 0 à 3, dont la plus élevée correspond aux conditions hydrogéologiques les moins favorables. L'addition des quatre côtes obtenues, nous permet d'évaluer le degré de vulnérabilité. (source djoudar halale 2003)

#### VI.5.3 La méthode du BRGM (1990)

M.F. SUAIS (1990) utilise des formules de pondération des paramètres du sol qui constituent la principale barrière et souvent la plus efficace pour empêcher le transfert des polluants vers la profondeur. Ces formules sont basées sur les paramètres qui interviennent dans les processus (physique, chimique et biologique) d'atténuation des polluants. Ils sont choisis en fonction de la nature de la substance contaminante. Les métaux lourds (chrome, cadmium) la capacité d'échange ionique, la saturation, le Ph du sol et les micro-polluants organiques ont un poids relatif plus fort que celui de la matière organique.

#### VI.6 Les méthodes générales ou mixtes

##### VI.6.1 La méthode de Vierhuff (1981)

C'est une technique de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines avec des cartes à l'échelle 1/1000000.

Elle se base sur les paramètres suivants :

- la caractérisation du régime hydrologique.
- la composition du sol.
- la zone non saturée.
- la profondeur de l'eau.

Les paramètres sont regroupés selon cinq classes de vulnérabilité, de la forte à la très faible.

##### VI.6.2 La méthode de Villusmen et Sonderskov (1982)

Quatre paramètres sont retenus pour l'élaboration des cartes de vulnérabilité :

-La

Epaisseur et nature lithologique	Perméabilité	Symbole
Plus de 10m de dépôts grossiers	Forte	*
Entre 5 et 10m de dépôts grossiers	Moyenne	+
Moins de 5m de dépôts grossiers et plus de 5m d'argiles ou de silts	Faible	-

charge piézométrique : une cote de 0,5 et de 3,5 est attribuée lorsque la différence de charge est respectivement supérieure à 30m et inférieure à 5m;

-La variation de la perméabilité dans la zone vadose ;

-La capacité de réduction et d'adsorption (reliée au temps de rétention).

Ces deux derniers paramètres sont assignés chacun d'une cote variant entre 0 et 4 .

L'index de vulnérabilité permet une cartographie selon quatre classes différentes.

#### VI.6.3 La méthode de Haertlé (1983)

Cette méthode s'appuie sur deux principaux paramètres : La perméabilité et l'épaisseur des couches de la zone non saturée. Pour un terrain donné, la cartographie de la vulnérabilité est obtenue grâce à la juxtaposition de symboles (Tableau VI-2) sur une carte où sont délimités trois types d'aquifères à perméabilité : forte, moyenne et faible.

Tableau VI-2 : Symbole de classification de la perméabilité des terrains

#### VI.7 Choix des méthodes adaptables aux conditions hydrogéologiques des haut chelif :

Les premiers travaux sur la vulnérabilité des aquifères en Algérie, ont été réalisés par Touleb (1997). Ils ont porté sur la carte N°21 d'Alger suivis d'une application aux aquifères du haut Chélif et à l'aquifère plio-quadernaire du bas et moyen Chélif occidental (Draïara et Maouni ; 2000).

La sélection d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité parmi celles que nous venons de citer, a nécessité le développement d'un test qui permet leur classification selon leurs niveaux d'efficacité.

Cette sélection nous permet de distinguer deux types de méthodes :

-Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité « générale », c'est à dire celles qui intègrent uniquement les paramètres qui caractérisent la défense ou la sensibilité d'un aquifère devant un polluant déversé en surface.

-Les méthodes dites spécifiques, c'est à dire celles qui tiennent compte de la nature du polluant et des différents processus de pollution. Ce type de méthode permet en fait de répondre à des problèmes de pollution spécifique d'une région donnée.

-Le but recherché est de proposer un document de base, utile pour les gestionnaires de l'eau en tant qu'outil d'aide à la décision, dont les caractéristiques sont :

-Simple d'utilisation.

-Précis dans les résultats obtenus.

-Possédant un large spectre d'utilisation.

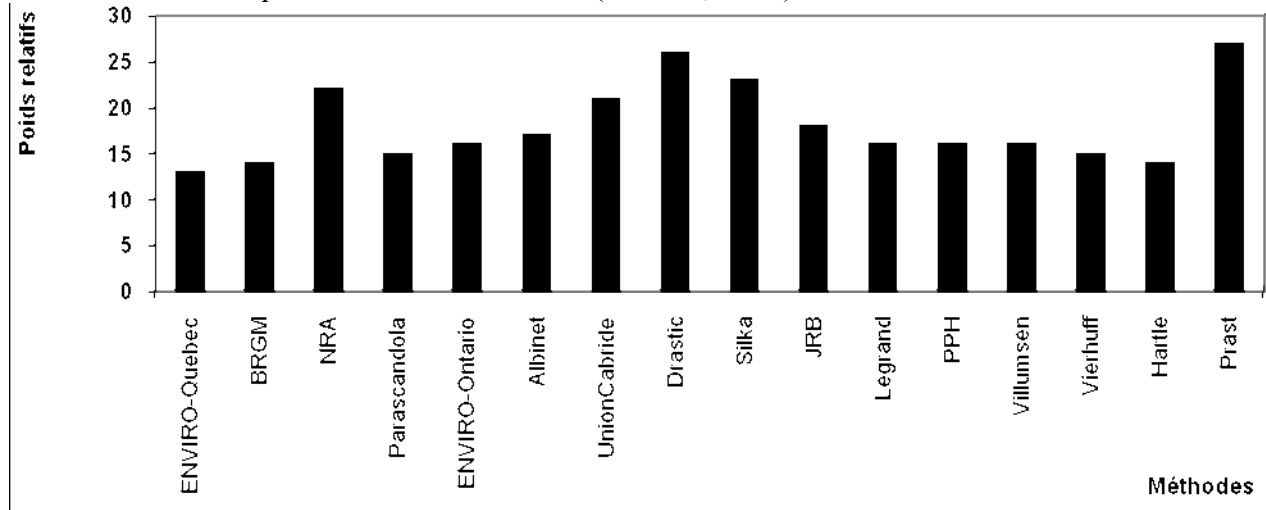


-Hautement interactif .

-Peu coûteux et répondant aux besoins immédiats des gestionnaires.

Surtout actualisable, modulable et révisable en fonction de l'évolution des conditions hydrogéologiques.

-Le test d'évaluation des outils de caractérisation de la vulnérabilité tel que décrit précédemment, a été appliqué de façon systématique à l'ensemble des méthodes. Les résultats obtenus sont présentés sous forme d'histogramme (FigVI.1) où figure la performance individuelle de chaque méthode d'évaluation (Touileb, 1997).



FIGVI.1 : Classification des méthodes selon le teste Frechett (1987)

Le test d'évaluation montre que la méthode PRAST est la procédés la plus fiables de caractérisation de la vulnérabilité des aquifères Pour confirmer l'efficacité de cette méthode, nous proposons une nouvelle application sur le site choisi, en l'occurrence les haut Chélif .

#### VI.8Aspects théoriques et pratiques de la méthode PRAST :

La méthodologie PRAST est une version simplifiée de la méthode DRASTIC. Elle consiste en un remplacement des trois paramètres (D), (C) et (I), difficile à acquérir ou à quantifier, par un seul paramètre qui est le pouvoir épurateur vertical (P) définie par Rehse (1977).

Le pouvoir épurateur du sol et celui de la zone non saturée, sont importants pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes. Ils jouent un rôle particulièrement déterminant vis-à-vis des problèmes d'assainissement individuel, de pollution par les décharges et les épandages.

Dans le cas des captages des nappes alluviales, implantés près d'une rivière l'effet filtre des berges, peut limiter la pollution de la nappe par le cours d'eau. Cependant, il semble que dans le cas d'une pollution par les métaux lourds, le pouvoir épurateur des sédiments des berges ne suffise pas et que certains métaux soient remis en circulation par désorption ne sont pas retenus.

La concentration du polluant peut avoir considérablement diminué à son entrée dans la nappe si le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée est efficace.

A noter à ce propos, qu'en Allemagne et en Suisse, le pouvoir épurateur du sol n'est pas pris en compte pour la délimitation des périmètres de protection que si l'épaisseur de la zone non saturée est supérieure à 4m. Cette épaisseur est considérée comme la marge de sécurité permettant des travaux de fouilles, d'excavations et de tranchées.

## VI.8.1 Les paramètres PRAST :

Dans cette méthode, le paramètre le plus important utilisé est le pouvoir épurateur vertical du sous-sol (P) qui intègre la nature du matériel de la zone non saturée, son épaisseur, sa perméabilité verticale et la profondeur de la nappe. Elle utilise également quatre (04) paramètres de la méthode DRASTIC, en l'occurrence :

- La recharge nette (R) ;
- Le type d'aquifère (A) ;
- Le type de sol (S) ;
- La topographie (T).

Les initiales de ces cinq paramètres constituent l'acronyme PRAST.

## VI.8.2 Méthode utilisée pour l'estimation du pouvoir épurateur p :

Une méthode empirique mise au point par Rehse (1977) consiste à estimer dans quelle mesure un polluant déversé à la surface du sol verra sa teneur diminuer après un parcours vertical jusqu'à la nappe, puis un parcours horizontal dans la

Nappe jusqu'au point de prélèvement ou de détection. Pour ce faire, des indices sont attribués aux différents types de roches, sur la base de :

- Leur perméabilité et de leur porosité.
- La surface spécifique et du pouvoir de rétention des grains qui les constituent.
- du temps de parcours nécessaire pour une auto épuration.
- du volume utilisé (épaisseur de la couche) pour une épuration.
- leur teneur en matière organique.

Les différentes catégories de sols pouvant être rencontrées ont été classées en fonction de leur granulométrie. De plus, l'auteur a défini les épaisseurs de sol nécessaires, en condition non saturée, pour une épuration des eaux polluées.

Le pouvoir épurateur des terrains est calculé par la formule :

$$-M_x = M_d + M_r \quad \text{avec :}$$

- $M_x$  : pouvoir épurateur de la totalité du transfert .

- $M_d$  : pouvoir épurateur sur le trajet vertical .

- $M_r$  : pouvoir épurateur sur la distance horizontale.

L'épuration est complète si :  $M_x = 1$

Sur le trajet vertical, le pouvoir épurateur est égale à :  $M_d = h_1 I_1 + h_2 I_2 + h_3 I_3$  avec  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_3$  hauteur des différentes catégories de terrains rencontrées et  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$  index correspondants.

-Si  $M_d \geq 1$  : l'épuration est totale dans les couches de couverture et la délimitation d'un périmètre de protection rapprochée n'est pas nécessaire selon Rehse.

-Si  $M_d < 1$  : la dépollution n'est pas totale. Elle doit se poursuivre dans la roche aquifère lors du transfert horizontal.

Soit  $M_r = 1 - M_d$ , le pouvoir épurateur dans l'aquifère, la distance  $l$  à parcourir horizontalement pour une épuration totale sera  $l = M_r / I_a$

- $I_a$  : index correspondant au matériau aquifère.

- $l$  : correspondrait dans ce cas à la limite de la zone de protection rapprochée.

S'il n'y a pas de couverture, toute l'épuration doit se faire horizontalement et  $M_r$  doit être égale à 1.  $L = 1/I_a$

Bolsenkotter (1984) complète la méthode de Rehse, en considérant que l'épuration est très faible dans les milieux fissurés que dans le milieu poreux. Dans la roche fissurée, le pouvoir épurateur est supposé égale à 0,5 ; d'où  $l = 0.5 / H$ .

## VI.8.3 Construction de la carte de vulnérabilité PRAST

La méthodologie PRAST est axée sur une cotation numérique de la vulnérabilité. Elle permet l'établissement des cartes de vulnérabilité qui forment une synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région.

L'établissement d'une carte de vulnérabilité selon la méthode PRAST se fait selon les étapes suivantes :

- Constitution d'une banque de données, de la région d'étude, sur la base d'un inventaire du patrimoine documentaire par une bonne recherche bibliographique permettant d'évaluer tous les paramètres.
- Des investigations éventuelles de terrains pour compléter ou actualiser certaines données telles que la profondeur de l'eau qui varie en fonction des saisons.
- Attribution d'une cote à chaque paramètre, ensuite la cote de chaque paramètre propre à chaque méthodologie est multipliée par un poids relatif.
- Une carte thématique réalisée pour chacun des paramètres considérés par la méthode
- Sur chaque carte sont délimitées les zones en fonction des intervalles établies par le système de cotation PRAST.
- Réalisation d'une série de superpositions de cinq couches afin de visualiser les intersections des grandes unités hydrogéologiques ainsi que les intersections des grandes unités hydrogéologiques et les unités correspondantes .
- Calcul de l'indice de vulnérabilité général pour chaque unité hydrogéologique obtenue et chaque sous-unité déduite .
- Représenter les limites des différentes unités hydrogéologiques sur un fond topographique et porter à l'intérieur de ces unités leurs numéros d'identification ainsi que la valeur de l'indice général de vulnérabilité correspondant .
- L'identification des unités qui se fait par une lettre et des chiffres (exemple : 2A<sub>3</sub><sup>21</sup>) qui représentent le code du bassin versant (2), l'unité hydrogéologique (A), la sous-unité hydrogéologique (3) et l'indice global de vulnérabilité (21) ;
- L'attribution des couleurs conventionnelles (Tableau VI-3) aux différentes unités hydrogéologiques, permettra de lire la carte synthétique de vulnérabilité ainsi qu'une visualisation graduelle du degré de vulnérabilité : les couleurs rouge, orange, et jaune indiquent les sites à fort potentiel de vulnérabilité et les couleurs bleu, indigo et violet caractérisent les zones moins sensibles.

Tableau VI-3 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice PRAST

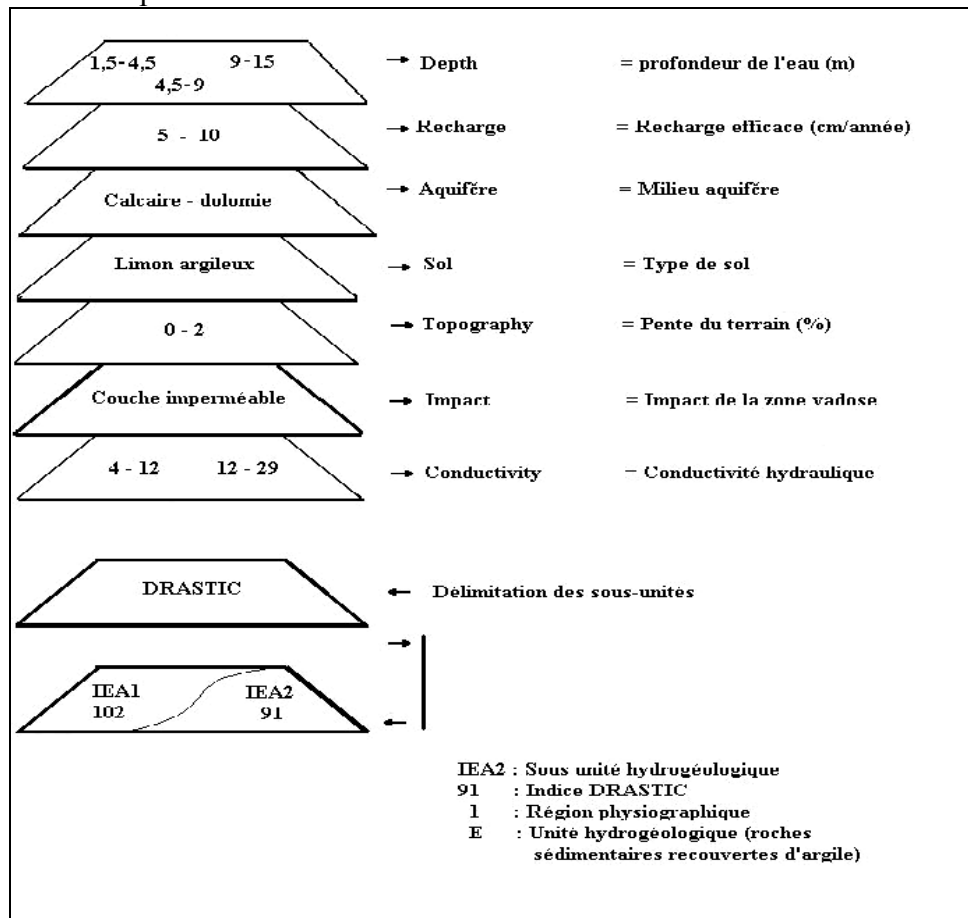
Intervalles de vulnérabilité Méthode PRAST	Couleurs
< 30	Violet
030 – 039	Indigo
039 - 049	Bleu
050 – 069	Vert foncé
070 – 099	Vert clair
100 – 109	Jaune
110 – 129	Orange
> 129	Rouge

VI.8.4 Cartographie Assistée par Ordinateur (FIG : VI.2)

Les Systèmes d'Information Géographiques sont des outils créés pour aider la gestion du territoire. Un SIG peut être perçu comme un outil d'analyse, de Structuration et de synthèse de données dans un contexte global.

L'analyse et l'expression de la vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions ont été, dès le départ, indissociables de la représentation cartographique. L'image est le support de communication le plus efficace et la carte étant par définition le mode d'expression privilégié des distributions des caractères dans l'espace.

Pour appliquer la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe des alluvions des haut Chélif nous utiliserons le logiciel MapInfo 6.5 avec l'incorporation de VerticalMapper (1.51) pour l'établissement des grilles. Ces logiciels fonctionnent sous environnement Windows, ils permettent de représenter des données d'une base sous forme d'entités spatiales.



FIGVI.2 :carte synthétique de vulnérabilité obtenue a partir des cartes indicielles

### VI.9 Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Haut chélif

#### VI.9.1 Application dans notre cas :

L'application de la méthode PRAST nécessite une collecte importante de données ayant trait à l'hydrogéologie, à la géologie, à la morphologie et à la pédologie du milieu naturel.

Pour chaque paramètre PRAST, nous avons élaboré une carte paramétrique (carte de vulnérabilité à la pollution, tenant compte d'un seul paramètre), en se basant sur les notations et les coefficients de pondération accordés aux critères choisis pour étudier, classer et

représenter dans le plan horizontal, le rôle protecteur de l'interface séparant la ressource en eau de la source de pollution.

VI.9.2 Résultat et interprétation des cartes thématiques :

A-Pouvoir épurateur du sol « P » :

L'estimation du pouvoir épurateur du sol et du sous sol ainsi que le tracé de la carte le représentant, ont été réalisés par le biais de la méthode de Cotation numérique (Rehse, 1977). Pour ce faire, les différents index des terrains constituant la zone non saturée, ont été calculés sur la base de l'étude d'une centaine de coupes lithologiques de forages.

Sachant que le pouvoir épurateur des terrains est calculé par la formule :

$-M_x = M_d + M_r$  Avec :

- $M_x$  : pouvoir épurateur de la totalité du transfert ;

- $M_d$  : pouvoir épurateur sur le trajet vertical ;

- $M_r$  : pouvoir épurateur sur la distance horizontale.

Afin de pouvoir faire une extrapolation à toute la zone d'étude, nous avons eu recours à la table de cotation PRAST . qui attribue un poids égal à 8 au pouvoir épurateur vertical du sous-sol avec une cote (c) égale à 5, ceci nous a permis d'obtenir  $IP = p * c = 40$  qui se généralise à toute la région des Hauts chéliffe

B-Recharge nette(R) :

La recharge nette correspondant à l'infiltration efficace est le seul paramètre responsable de la réalimentation des nappes. Elle représente aussi le moyen de transfert du polluant de la surface du sol vers le milieu aquifère.

La vulnérabilité des nappes augmente alors avec l'accroissement des infiltrations. Cette conclusion porte à confusion dans la mesure où une recharge importante saturerait le sol et la zone vadose provoquant ainsi une dilution des polluants.

Par ailleurs, ce paramètre reste lié à plusieurs facteurs climatologiques, géologiques, topographiques et hydrologiques.

Il peut être estimé à partir des équations du bilan hydrologique ou peut être déduit de la différence de charge des nappes entre les périodes de hautes et basses eaux.

Pour un aquifère donné, la recharge nette ne correspond pas seulement à la part de l'infiltration des précipitations, il faut inclure aussi les eaux d'infiltration des eaux d'irrigation, les eaux de ruissellement (relation oued- nappe), de l'alimentation artificielle des nappes et des eaux provenant d'autres horizons aquifères situés en profondeur ou latéralement à la nappe concernée.

C-Nature du matériel aquifère(A) :

Le milieu aquifère est le lieu où peuvent être stockées des quantités d'eau importantes. Son rôle dans l'atténuation du polluant dépend de la nature lithologique et texturales des formations qui constituent le milieu aquifère. Le potentiel de pollution augmente ainsi selon que l'aquifère renferme des terrains poreux ou non.

Les concepteurs de la méthodologie paston arrêté une liste des formations aquifères de nature lithologique différente :

**-Argiles massives** : ce sont des roches sédimentaires à grains très fins (lutites) contenant au moins 50% de minéraux argileux. Ces roches ne peuvent en aucun cas être définies comme

aquifères. En effet, la structure très fine des grains réduit considérablement leur perméabilité. Le potentiel de pollution est généralement faible.

**-Roches métamorphiques et ignées :** ce sont également des roches à faible porosité. Cependant, des aquifères peuvent se former dans les niveaux superficiels de ce type de roches qui sont généralement altérées, mais également dans les horizons fracturés. De ce fait, le degré de vulnérabilité de ces roches est sensiblement lié à leur degré de fracturation ou d'altération.

**-Till :** on désigne par ce terme les dépôts morainiques non consolidés : sables, graviers, et argiles. Leur potentiel de pollution est lié à la proportion des particules d'argiles.

**-Grès massifs :** ce sont des roches sédimentaires détritiques formées essentiellement de grains de quartz. Leur degré de vulnérabilité est lié à la perméabilité qui est fonction de la densité de la fracturation et la nature du ciment.

**-Calcaires massives :** ce sont des roches sédimentaires carbonatées formées essentiellement de calcites. Leur perméabilité qui détermine leur sensibilité aux polluants, est strictement liée à leur densité de fissuration.

**-Sables et graviers :** Ils forment généralement les remplissages des vallées ou de piedmonts et constituent généralement d'excellents réservoirs d'eaux souterraines. Leurs degrés de vulnérabilité dépendent en fait de la répartition des pourcentages de gravier et de sable ainsi que la présence ou non d'argiles qui sont souvent associés à ces dépôts.

**-Calcaires karstiques :** ce sont des calcaires à fissures élargies par l'action corrosive des eaux souterraines. Ces fissures larges sont les sièges de circulation importantes d'eaux à très grande vitesse, ce qui augmente leur vulnérabilité à la pollution.

D-Type de sol(S) :

On s'intéresse à la couche végétale du sol de 1 à 2.5 m d'épaisseur, siège d'une activité biologique et chimique intense.

Le sol au sens pédologiques résulte de l'altération des roches mère. Le «soil conservation service» a établi en 1984 une classification des sols selon un potentiel de pollution croissant :

-Peu épais ou absent.

-Graviers.

-Sables.

-Tourbe matières organiques non décomposées.

-Couches très minces et, ou en association de couches d'argiles.

-Terres grasses limono sableuses.

-Terres grasses équilibrées en argiles, limono et sables.

-Terres vaseuses, limoneuses.

-Terres argileuses, limono- argileuses

-Matières organiques décomposées.

-Argiles non épaisses et non en association.

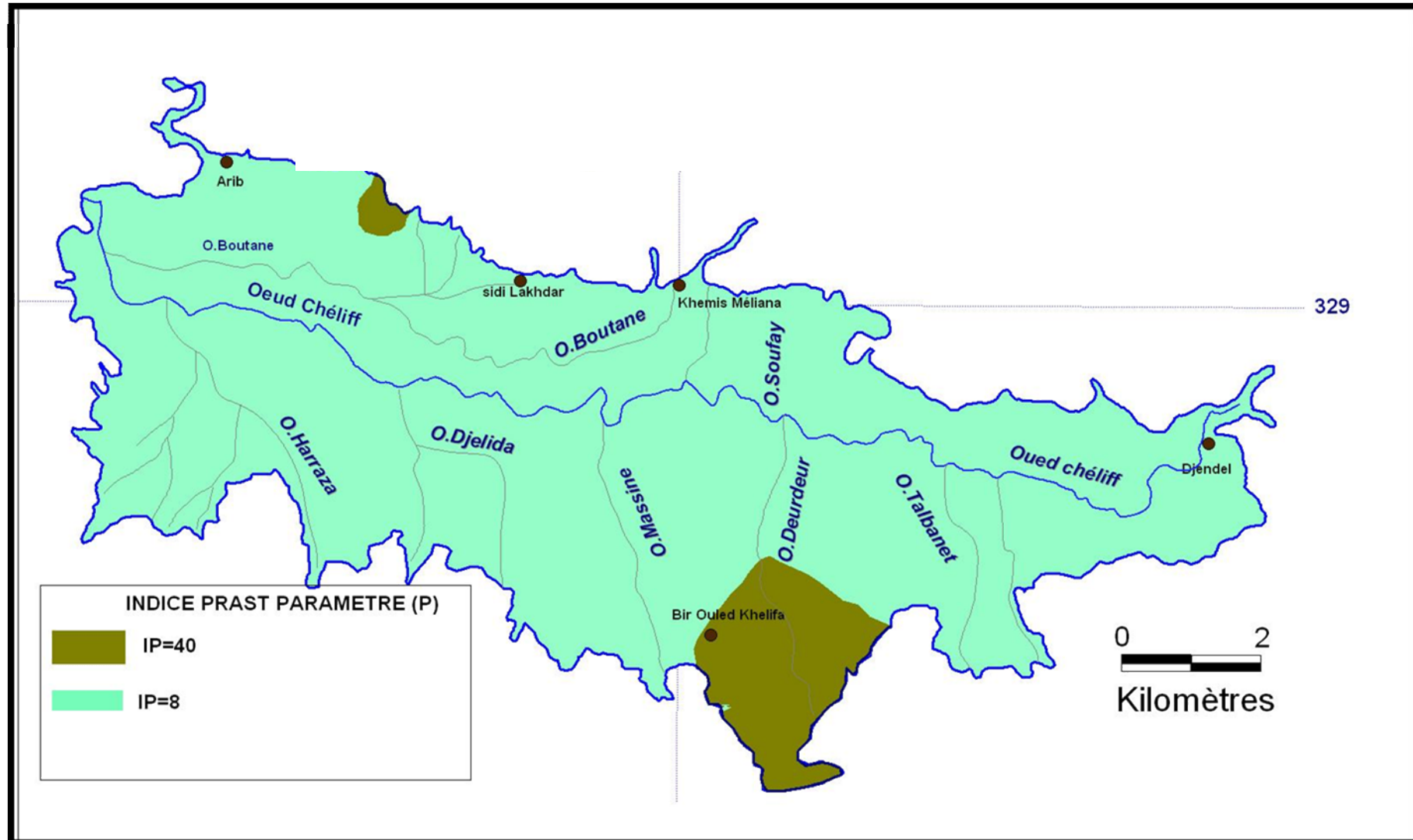
L'attribution d'une cote standardisée pour le type de sol repose essentiellement sur la granulométrie. Une cote élevée, reflétant des conditions de haute vulnérabilité.

La classification d'un sol dépend des capacités de l'utilisateur, car le sol est formé par différents horizons qui ne sont décrits que par l'analyse des profils pédologiques

E-Topographie :

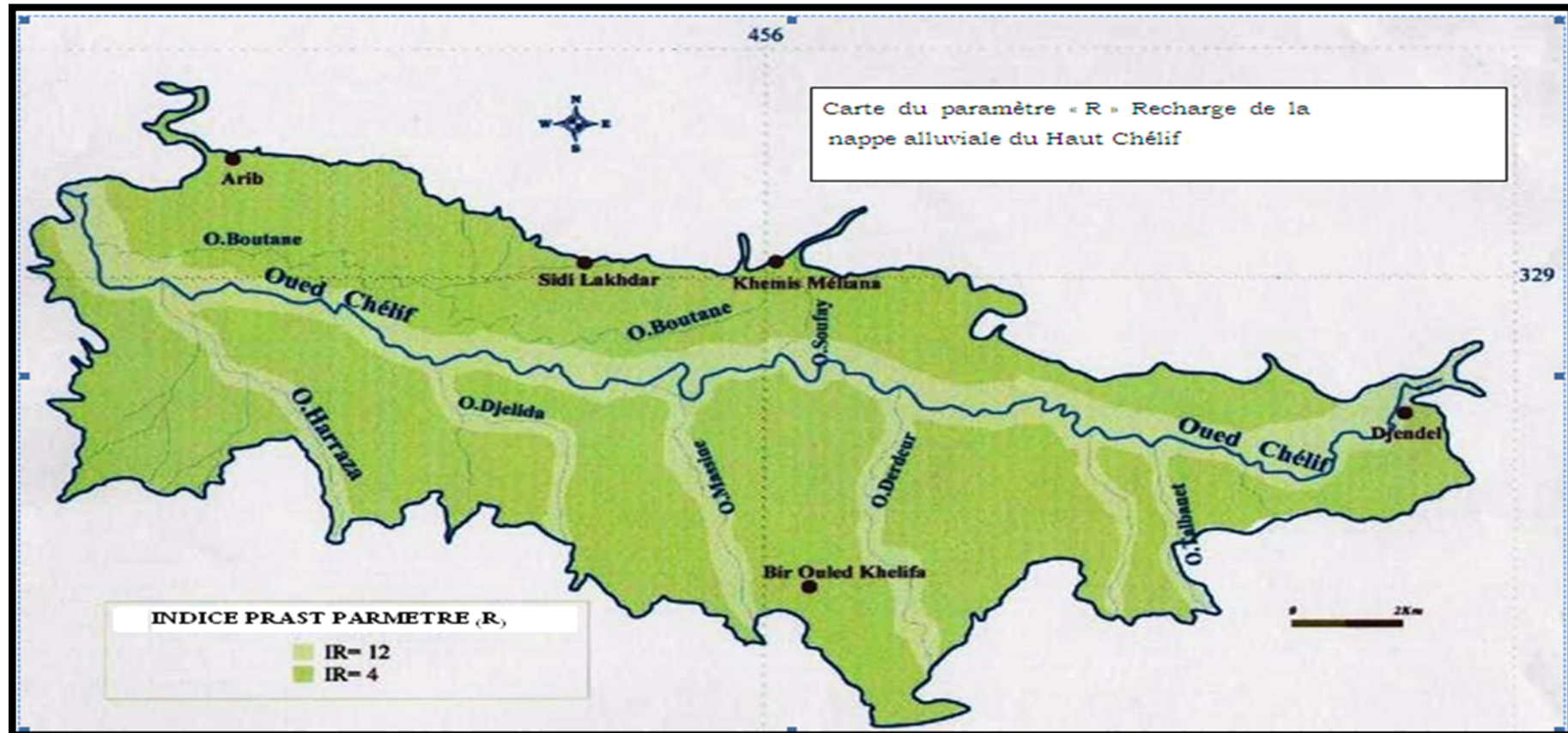
La variation de la pente des terrains contrôle la possibilité d'infiltration des polluants. On considère que les terrains dont la pente est supérieure à 18% sont caractérisés par une

prédominance des ruissellements permettant une évacuation des substances polluantes vers l'aval. Tandis que, les secteurs de pente compris entre 0 et 6% favorisent l'infiltration



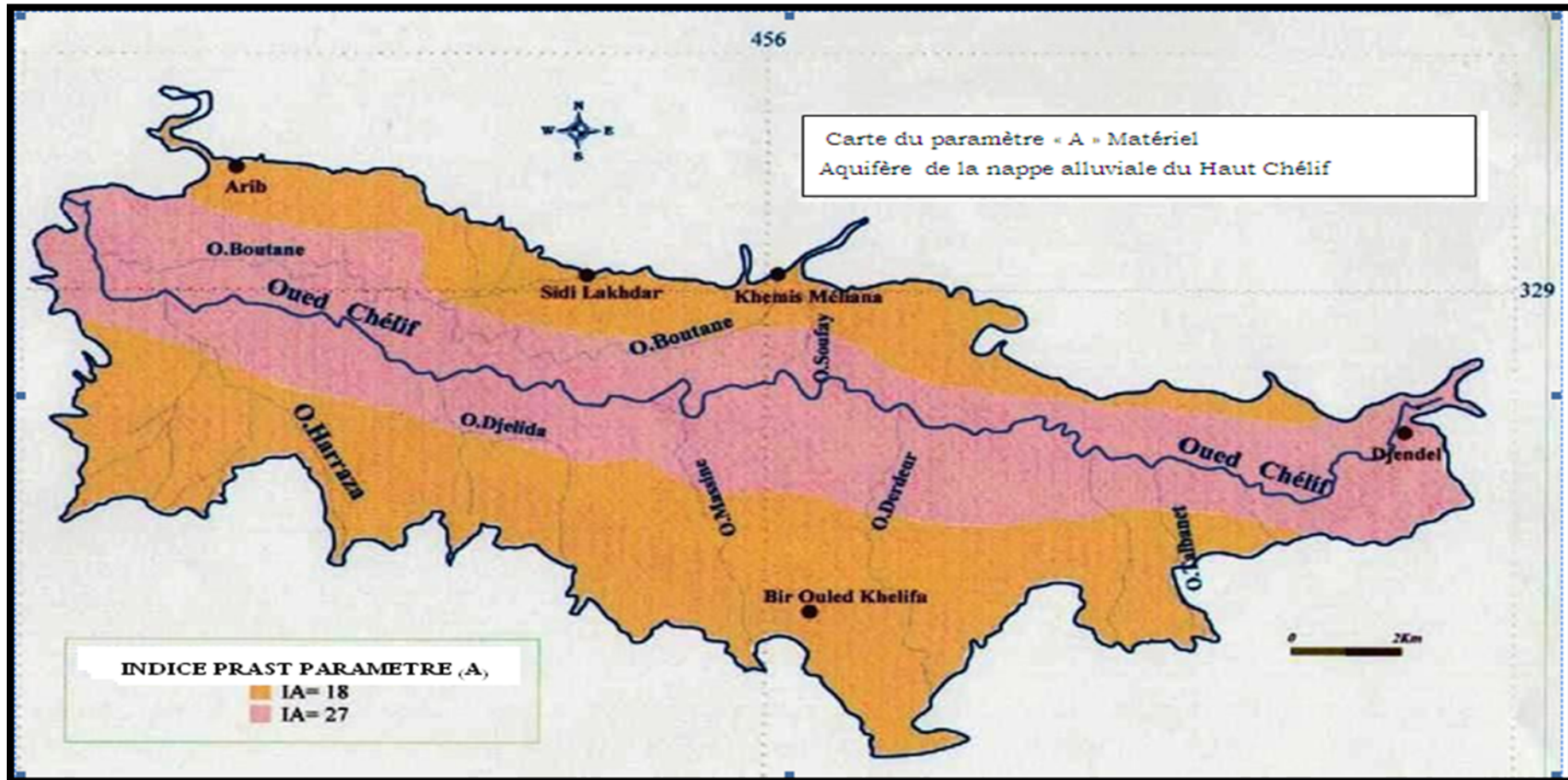
FIGVI.3 :carte du paramètre (P)pouvoir épurateur





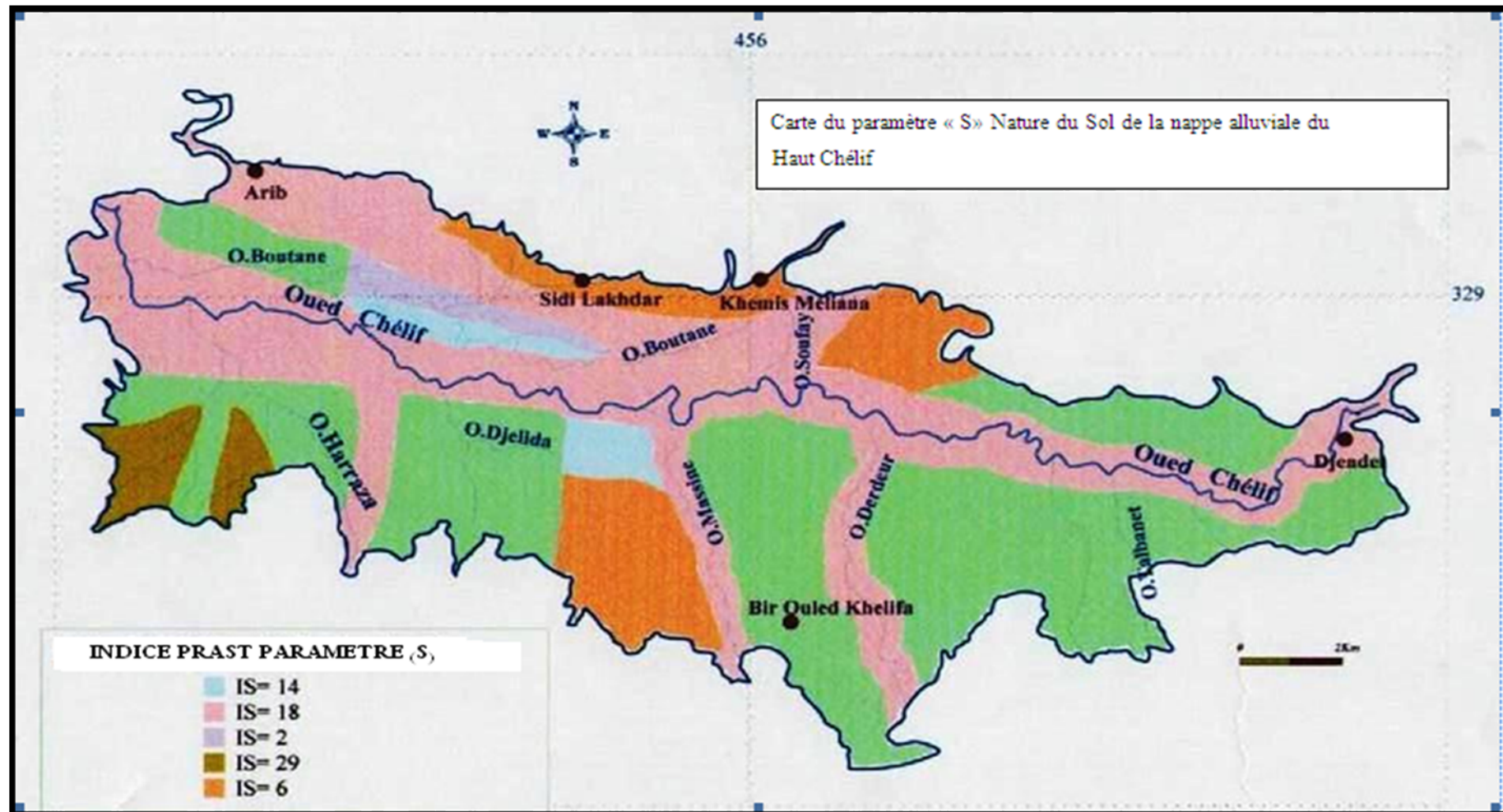
Source(benchrite2009)

FIGVI.4 :carte du paramètre R recharge de la nappe



Source(benchrite2009)

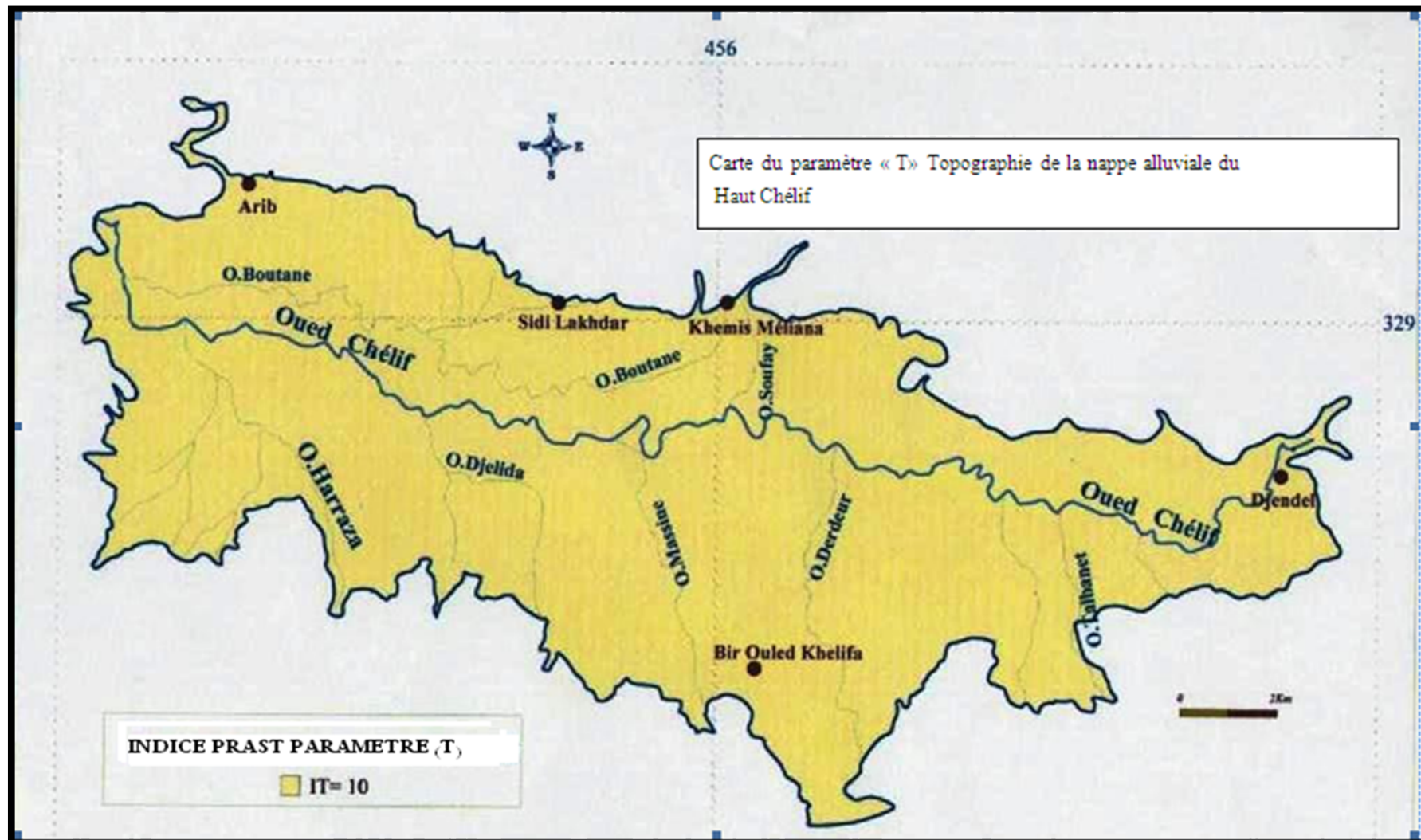
FIGVI.5 :carte du paramètre A matériel aquifère



Source(benchrite2009)

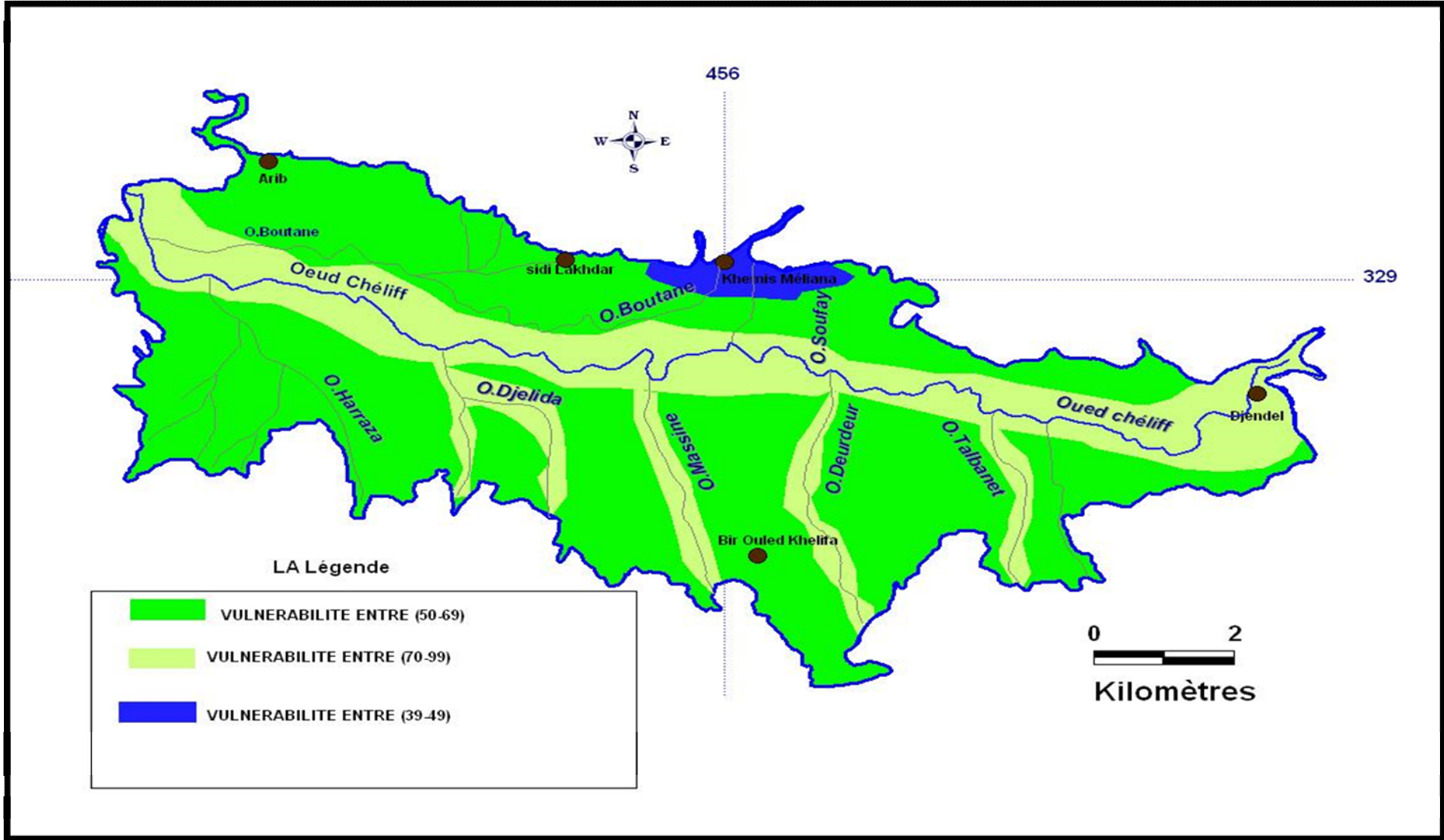
FIGVI.6 :carte du parametre S nature du sol





Source(benchrite2009)

FIGVI.7 :carte du paramètre T topographie



FIGVI.8 : carte du vulnérabilité PRAST

## VI.10 interprétation des cartes :

A-Paramètre «p» pouvoir épurateur (FIGVI.3) :

Pour la nappe du haut Chélif, Ce paramètre a été essentiellement déduit à partir des on a l'indice 48 dans la partie West et dans les arife et l'indice 40 dans la zone de bir ouled khelifa L'indice 16 dans l'est près du khmise meliana et un indice de 8 dans la plus part partie de la plaine de faible pollution

B-Paramètre «R» recharge nette (FIGVI.4) :

Pour la nappe du haut Chélif, Ce paramètre a été essentiellement déduit à partir des résultats des équations de bilan hydrologique réalisées dans le chapitre I et aussi par les études de Schrambach. Il a déduit que la recharge nette de la nappe dépend de

- L'infiltration directe à partir des eaux de pluie.
- L'alimentation continue et normale des oueds, en périodes de crues ou décrues (relation oued - nappes).
- Infiltration directe à partir des eaux de pluie 35.8mm.
- Alimentation continue et normale des oueds  $R = 75.8$  mm.

D'après la table prast représentant des intervalles nous avons déterminé le paramètre recharge qui est assigné d'un indice de 12 et un autre de 4. Donc une carte du paramètre «R » montre deux domaines qui sont caractérisent par des indices de vulnérabilité partielle IR différents.

-Au niveau du lit majeur de l'oued on rappelle que cette partie de la nappe est la plus alimenté non seulement par des eaux de pluie mais aussi par des oueds ( $R > 75.8$ mm) avec leur variation en période de crues. Indice  $IR=12$ .

-La région englobant le reste de la surface de la nappe où la recharge est  $>35$ mm. L'indice  $IR=4$ .

C-Le paramètre « A » nature du matériel aquifère (FIGVI.5) :

La carte du paramètre «A » montre que la région nord et sud de la plaine est caractérisée par un indice  $IA=18$  et  $II=10$  qui correspond à un aquifère de type alluvion grossier surmonté par une couverture argilo-sableuse.

Une région centrale est caractérisée par un indice  $IA=27$  et  $II=5$  qui correspondent à un aquifère avec un matériel plus grossier de type galet et gravier surmonté d'une couverture essentiellement argileuse.

D-Le paramètre « S » Nature du sol (FIGVI.6):

La description du sol constituant la plaine alluviale du haut Chélif à été réalisée à partir des cartes de sol établies par BOULAINÉ en 1955.

Ces cartes font ressortir plusieurs classes ou type de sols

- Classe des sols alluviaux non évolués : Ce sont des dépôts sableux qui se trouvent dans le lit majeur des oueds.
- Classe des sols engorgés par l'eau: Ce sont des sols argileux, assez humifères.
- Classe des sols calciques : formés sur carapace calcaire, peu épais, pauvres, légers à moyen (limons et limono-sableux).
- Classe des sols alluviaux évolués : présentant un début de décalcification et une accumulation progressive du calcaire moyen (limons et limono-argileux), riche, profond, assez perméable.

Sur les cartes de types de sols, on a déterminé quatre classes pédologiques qui ont fait ressortir deux zones et qui sont réparties sur toute la plaine étudiée.

L'utilisation de la table prast permet de classer les sols en fonction de leur nature texturale et attribués à chaque type le poids et la cote correspondante.

Dans le lit majeur de l'oued, il y a une prédominance à caractère sableux. Donc indice est de 18.

En s'éloignant de l'oued, il y a une prédominance d'un sol à texture fine de type argileux.

Donc on déduit un indice partiel qui varie de  $IS= 10$  à  $14$ .

E-Le paramètre «T » topographie (FIGVI.7):

La carte des pentes de la plaine du haut Chélif a été réalisée sur la base des cartes topographiques au 1/25.000. Une seule classe de pente à été déduite, car la plaine ne présente pas de

Unités hydrogéologiques (U.H.)		
2A : Très élevée	2B : Elevée	2C : Moyenne
124 – 130	99 – 124	70 – 99
Sous-Unités hydrogéologiques (S.U.H.)		
124, 125, 127	99, 101, 104, 106, 107, 109, 110, 112, 113, 115, 116, 118, 119, 121, 122, 123	83, 98

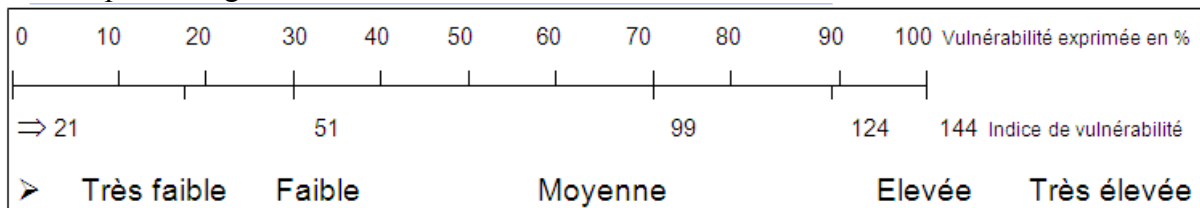
grande variation de pente (0 et 3%), cette classe est assignée d'un indice partiel II =10.

VI.10.1 Carte de la vulnérabilité PRAST :

A-Interprétation de l'indice PRAST

Par analogie à l'échelle d'évaluation de la vulnérabilité établie par le groupe JRB (1982), le diagramme de classification de la vulnérabilité, a été ajusté sur la base d'applications faites sur la partie Nord d'Alger par Touileb (1997) et sur les nappes du haut chélif (1999).

Pour évaluer la vulnérabilité par la méthode PRAST, nous avons adopté la classification donnée par le diagramme suivant FIGVI.9 :



-Identification FIGVI.9 :diagramme du vilnérabilite (PRAST) :

La carte PRAS1 permet de distinguer trois unites hydrogeologiques ayant des degres de vulnérabilité comparables à ceux obtenus par la méthode prast à l'exception de l'unité à vulnérabilité faible. Ceux ci peut s'expliquer par le nombre de paramètres que fait intervenir cette méthode ; le paramètre « P » relatif au pouvoir épurateur vertical du sol et du sous-sol qui remplace comme le tableau suit tableau(VI-4).

TableauVI.4 : Unités et sous-unités hydrogéologiques et leurs indices de vulnérabilité PRAST

interprétation de la carte de vulnérabilité (FIGVI.8):

a-Unité hydrogéologique (39-49) :

De faible superficie, cette unité caractérise la région de khemis méliana dans la partie NORD-OUEST . Elle correspond à des conditions de vulnérabilité faible en bleu foncer. L'indice PRAST est compris entre (39-49) Ce qui se traduit par une épuration partielle qui favorise la propagation des substances

polluantes déversées en surface vers l'aquifère. Cette unité se superpose presque parfaitement l'exception de la région de khemise méliana la zone de nord-ouest est de faible pollution.

b-partie hydrogéologique : (50 – 69) :

C'est une unité de grande extension, à vulnérabilité élevée avec un indice PRAST compris entre 50-69 couloire en vert foncé; favorisent la propagation du polluant de la surface du sol vers le réservoir aquifère distribuer à presque toute la plaine Haut Chélif sans prendre les cotes d'oued Chélif et les cours d'eau et la partie nord-ouest de kmise méliana donc notre zone est moyennement polluer.

c-partie hydrogéologique : (70 – 99) :

Elle est définie par un indice PRAST général qui varie entre 70 et 99. Elle correspond à des conditions de vulnérabilité élevée. Elle occupe les cotes d'oued Chélif et les cours d'eau dans la bande est-ouest colorée en vert claire cette dernière due aux décharges d'épuration et des phytosanitaires et les éléments fertilisants évacuer par le drainage des surfaces agricoles sa est la cause essentielle de la vulnérabilité élevée dans l'oued Chélif

### Conclusion :

Les activités industrielles et agricoles, associée à l'urbanisation très rapide de s haut Chélif, ont abouti a une nette augmentation de la demande en eau.

Cette demande s'est malheureusement accompagnée d'une pollution importante des oueds et nappes d'eaux souterraines.

Pour pallier à ces effets, et afin d'apprécier la vulnérabilité du milieu souterrain de la façon la plus réaliste possible.



# Conclusion

## CONCLUSION GENERALE

La description de la zone d'étude faite montrer les ressources hydrique superficielles sous terraines et on a fait passer par l'étude hydroclimatologique dans notre zone D'étude et une partie des paramètres géographique et géomorphologique

La synthèse géologique montre que les formations susceptibles d'être aquifères sont représentées par les formations sableuses et alluviales du Quaternaire, les sables et grès du Miocène et les calcaires du Jurassique du Zaccar, intensément fissurés et karstiques la configuration piézométrique qui permet le calcul des courbes d'isovaleur la suite de la piézométrie et le sens d'écoulement souterrain ; cet aspect est important pour l'analyse de la vulnérabilité des nappes car il permet de définir les zones en amont à protéger en priorité et les zones en aval, lieu de convergence et de propagation d'une contamination les fortes teneurs en nitrates coïncident plus ou moins avec les zones classées par les courbes d'iso teneur contrairement au autres éléments chimique dans la zone englobant la nappe. Ces résultats tendent à valider la d'facies chimique comme indicateur de la salinité des eaux souterraines et superficielle des Haut Chélif

L'intensification des activités industrielles et agricoles, associée à l'urbanisation très rapide de la plaine des Haut Chélif, ont abouti a une nette augmentation de la demande en eau. Cette demande s'est malheureusement accompagnée d'une pollution importante des oueds et nappes d'eaux souterraines.

Pour pallier à ces effets, et afin d'apprécier la vulnérabilité du milieu souterrain de la façon la plus réaliste possible, nous avons choisi d'utiliser une méthode précis

La méthode PRAST est obtenue en substituant les paramètres (profondeur de l'eau, la conductivité hydraulique et la nature lithologique de la zone non saturée de l'aquifère) et le paramètre, pouvoir épurateur vertical du sous-sol (P). Nous avons établi une carte de vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine Haut Chélif par la méthode PRAST

Enfin, nous présentons les moyens de protection de la qualité des eaux et la protection contre les pollutions accidentelles des captages et des sources grâce aux périmètres de protection immédiats (PPI), et éloignée (PPE). Pour ce qui est de l'activité agricole autour des captages, nous proposons la réglementation de :

- La fertilisation agricole azotée minérale.
- La fertilisation organique (fumier-lisier).
- La vidange des traitements phytosanitaires.

## **RECOMMANDATIONS**

Les observations et les résultats obtenus à travers l'étude effectuée sur les différents secteurs de la plaine Haut Chéouiff permettent de suggérer les recommandations suivantes :

-Adaptation de la méthodes PRAST à toutes les régions du territoire national avec création d'une banque de données et d'informations pour la gestion et la cartographie de la vulnérabilité en utilisant les systèmes d'Information Géographique (SIG) .

-Concernant la pollution par les phytosanitaires, la solution la plus efficace consiste en la déviation du pipe. Néanmoins, compte tenu du temps de réalisation de cette déviation, il faudra suivre sérieusement les différentes mesures préventives de KMP

-Développement d'une politique de protection des zones vulnérables et réglementation des activités industrielles, agricoles et urbaines autour des captages.

Réhabilitation des différentes stations d'épuration surtout celles appartenant aux industries.

## BIBLIOGRAPHIE

- D.S.A direction de Service Agricole.AIN DEFLA
- Agence nationale des ressources Hydraulique A.N.R.H BLIDA
- Mme : Bahbouh.L ; prof ENSH Cours irrigation (2010/2011)
- (gilbert castany. professeur d'hydrogéologie a l'université pirre et Marie curie paris VI).principe et méthodes Hydrogéologie
  - DJODAR-HALLAL, D., 2003** : Vulnérabilité et protection des nappes aquifères en région côtière. Application aux alluvions de Mitidja Orientale. Thèse Magistère, IST / USTHB / ALGER.
- BOUZIANE RAHMANI,Aek., 2006** : Vulnérabilité a la pollution de la nappe alluviale du haut Chélif application de la méthode (drastic) assistée par le système d'information géographique (sig) . Thèse Ingénieur, ENSH / BLIDA.  
Carte géologique de Miliana N°84 au 1/50000 avec notice explicative  
Carte topographique de Miliana N°84 au 1/50000.
- MESSALEMI, H., 2003** : Essai de quantification de la ressource en eau et protection de la nappe alluviale du Haut Chélif. Thèse Ingénieur, CU / KHEMIS MILIANA.
- BEN CHRIT NADJI.2009** : application d'une methode d'indexation de la sensibilite des eaux distinees a l'irrigation et son impacte sur levaluation des besions en eaux des cultures (cas du haut chelif).Thèse Ingeniorat,ENSH/BLIDA
- FAO, 2003** : L'irrigation avec des eaux usées traitées, manuel d'utilisation
  - <http://www.inra.fr/>
  - <http://www.fao.org/>
- HYDROLAB**- Un logiciel pour l'étude hydrologique.
- MAP INFO** :logicielle SIG
- SURFER32** :logicielle de calcule des courbes piezometriques
- DIAGRAMME** :logicielle de calculs chimiques
- CROPWAT** : Un logiciel pour la planification et la gestion des systèmes d'irrigation

ANNEXE

A

**Précipitation journaliers (septembre) :**

<b>ANNEES</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
<b>1979</b>	0	28.1	0	0	0	0	0
<b>1980</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>1981</b>	0	5.4	0	0	0	0	0
<b>1982</b>	3.3	0	0	0	0	0	0
<b>1983</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>1984</b>	2.2	0.9	0	0	0	0	0
<b>1985</b>	4.2	28.8	0	0	0	0	0
<b>1986</b>	11.1	0	0	0	0	0	0
<b>1987</b>	1.4	0	0	0	0	0	0
<b>1988</b>	2.6	0	1.6	0	0	0	0
<b>1989</b>	6.6	0	0	0	0	0	0
<b>1990</b>	15.2	0	0	0	0	0	0
<b>1991</b>	2.8	0	0	0	0	0	0
<b>1992</b>	10.2	0	0	0	0	0	0
<b>1993</b>	0	16	0	0	0	0	0
<b>1994</b>	40.4	59.1	0	0	0	0	0
<b>1995</b>	1.6	32.2	0	0	0	0	0
<b>1996</b>	12.5	0	0	0	0	0	0
<b>1997</b>	4.2	0	0	0	0	0	0
<b>1998</b>	3	0	0	0	0	0	0
<b>1999</b>	1.5	6.3	0	0	0	0	0
<b>2000</b>	2.5	0	30.2	0	0	0	0
<b>2001</b>	11.4	8.2	0	0	0	0	0
<b>2002</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2003</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2004</b>	14.1	0	0	0	0	0	0
<b>2005</b>	4.7	0	0	0	0	0	0
<b>2006</b>	6.8	7.6	0	0	0	0	0
<b>2007</b>	2.4	42.6	0	0	0	0	0
<b>2008</b>	6.7	12.4	0	0	0	0	0
<b>2009</b>	2.5	0	16.9	0	0	0	0
<b>2010</b>	1.4	0	0	0	0	0	0

**Précipitation journaliers (octobre) :**

ANNEES	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
1979	23.6	4.6	0	9.3	35.5	0	0
1980	4.8	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	8.6	0	0	0	0
1982	0	4.3	0	0	112.2	0	0
1983	0.8	0	0	0	0	0	0
1984	1.9	0	57.3	0	0	0	0
1985	5.9	0	0	0	0	0	0
1986	22.2	0	27.9	0	0	0	0
1987	7	0	10.4	0	0	0	0
1988	6.3	0	17.5	0	0	0	0
1989	9	0	0	0	0	0	0
1990	4.4	0	0	0	0	0	0
1991	5.3	17.6	26.1	0	0	0	0
1992	7.2	15.3	0	0	0	0	0
1993	8.4	0	0	0	0	0	0
1994	8.8	8.2	8.7	0	0	0	0
1995	3.2	10.2	16.1	0	0	0	0
1996	12.1	0	13.5	0	0	0	0
1997	18.6	1.8	0	0	0	0	0
1998	13.1	2.5	0	0	0	0	0
1999	10.4	0	0	0	0	0	0
2000	16.1	11.7	0	0	0	0	0
2001	8.4	0	0	0	0	0	0
2002	0	20.2	0	0	0	0	0
2003	10.9	0	0	0	0	0	0
2004	16.5	0	0	0	0	0	0
2005	0	54.2	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0
2007	22.1	0	0	66.2	0	0	0
2008	10.2	4.3	0	0	0	0	0
2009	0	5	0	0	0	0	0
2010	14.6	4.6	0	0	26.4	0	0

**Précipitation journaliers (novembre) :**

<b>ANNEES</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
1979	7.2	0	0	0	30.8	0	0
1980	6	0	10	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	3.4	40.7	57.1	0	0
1983	0.6	22.5	0	55.5	0	0	0
1984	5.5	21.5	24.9	0	0	0	0
1985	8.1	0	22.5	0	0	0	0
1986	0	3.3	0	33.7	0	0	0
1987	31.2	4.8	0	0	23.3	0	0
1988	3.8	7.8	0	0	0	0	0
1989	5.4	5.9	0	0	0	0	0
1990	16.4	2.4	0	17	0	0	0
1991	2.2	0	30.7	0	0	0	0
1992	0.8	13.5	14.1	0	0	0	0
1993	4	13.2	0	0	0	0	0
1994	9.2	5.4	0	0	0	0	0
1995	1	4.3	0	0	0	0	0
1996	4.2	0	0	0	0	0	0
1997	7.7	46.5	0	20.2	0	0	0
1998	0	11.4	0	0	0	0	0
1999	7.1	8.1	18.8	0	0	0	0
2000	0	0	16.9	79.8	0	0	0
2001	3.5	4.3	0	51.6	0	0	0
2002	21.6	10.1	0	0	0	0	0
2003	13.9	0	28	0	0	0	0
2004	0	41.8	0	0	0	0	0
2005	19.2	19.1	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0
2007	1.6	0	43.8	0	0	0	0
2008	22.6	0	0	0	0	0	0
2009	0	21.2	0	0	33.8	0	0
2010	12	6.6	8.2	0	0	0	0



**Précipitation journaliers (décembre) :**

<b>ANNEES</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
<b>1979</b>	0	3.3	0	38.7	0	0	0
<b>1980</b>	20.7	12.8	0	0	0	73.9	0
<b>1981</b>	0.4	1.4	49.3	0	0	0	0
<b>1982</b>	2.6	12.5	0	53.9	0	0	0
<b>1983</b>	9.2	0	0	0	21.6	0	0
<b>1984</b>	0.5	0	6.9	0	0	26.2	0
<b>1985</b>	4.2	14.8	0	0	0	0	0
<b>1986</b>	3.4	0	0	31.1	54.2	0	0
<b>1987</b>	6.5	4	0	0	0	0	0
<b>1988</b>	5.9	46.9	0	0	0	0	0
<b>1989</b>	2.2	3.4	0	0	0	0	0
<b>1990</b>	2.1	5.3	14.9	44.5	0	0	0
<b>1991</b>	0	2.2	8	0	0	0	0
<b>1992</b>	6.2	0	14.5	0	0	0	0
<b>1993</b>	16.4	17.3	0	0	0	0	0
<b>1994</b>	24.7	0	0	0	0	0	0
<b>1995</b>	20.7	46.9	49.3	53.9	54.2	20.10	22.6
<b>1996</b>	8.1	3.8	0	0	0	0	0
<b>1997</b>	8	10.1	0	0	0	0	0
<b>1998</b>	3.7	4.1	5.8	0	0	0	0
<b>1999</b>	9.2	35.1	0	0	0	47.7	0
<b>2000</b>	5.8	0	23.1	0	0	0	0
<b>2001</b>	0	15.1	0	0	0	0	0
<b>2002</b>	12	7.5	0	0	0	0	0
<b>2003</b>	14.7	0	24.4	0	0	0	0
<b>2004</b>	0	33.8	9.5	0	0	39	0
<b>2005</b>	0	0	6.7	0	56.6	0	0
<b>2006</b>	20.4	0	12.9	0	32.7	0	0
<b>2007</b>	0	0	9.7	0	0	0	0
<b>2008</b>	8.3	0	16.5	67.6	0	0	0
<b>2009</b>	14.5	26.5	0	0	0	0	0
<b>2010</b>	0	10.9	13.3	0	0	0	0

**Précipitation journaliers (janvier) :**

<b>ANNEES</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
<b>1979</b>	42.4	0	0	0	42.3	0	0
<b>1980</b>	0.4	0	0	11.9	0	0	0
<b>1981</b>	6.5	20.3	19	0	0	0	0
<b>1982</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>1983</b>	0.4	18.2	12.9	14.4	0	0	0
<b>1984</b>	4.9	0	15.7	0	0	0	0
<b>1985</b>	1	13.6	76.9	0	0	0	0
<b>1986</b>	48.6	3.5	0	0	52	0	0
<b>1987</b>	0	5.3	22.5	0	0	0	0
<b>1988</b>	0.9	3.9	0	0	0	0	0
<b>1989</b>	5.2	5.6	20.3	0	0	0	0
<b>1990</b>	3	13	0	0	0	0	0
<b>1991</b>	1.8	0	0	0	0	0	78.8
<b>1992</b>	0.7	0	0	0	0	0	0
<b>1993</b>	9.6	1.8	13.2	0	0	0	0
<b>1994</b>	24.7	0	0	0	0	0	0
<b>1995</b>	9.4	16.5	17.1	0	0	0	0
<b>1996</b>	5.5	7.7	27.3	0	24.7	0	0
<b>1997</b>	2.5	9.2	0	0	0	0	0
<b>1998</b>	4.6	7.3	40	0	0	0	0
<b>1999</b>	1.6	0	0	0	0	0	0
<b>2000</b>	0	9.1	0	43.8	0	0	0
<b>2001</b>	1.3	15.1	0	0	0	0	0
<b>2002</b>	15.2	12	0	43.4	0	0	0
<b>2003</b>	13.5	0	11.9	0	0	0	0
<b>2004</b>	12.3	16.2	0	0	0	0	0
<b>2005</b>	9.9	4.4	0	0	0	0	0
<b>2006</b>	7.5	0	0	0	0	0	0
<b>2007</b>	12.1	15.9	0	0	0	0	0
<b>2008</b>	8.5	0	10.2	0	29.3	0	36.5
<b>2009</b>	9.9	1.2	0	0	0	0	32.4
<b>2010</b>	22.8	29.8	0	0	0	0	0

**Précipitation journaliers (février) :**

<b>ANNEES</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
<b>1979</b>	0	10.5	0	0	0	0	0
<b>1980</b>	2.9	13.5	22.4	11.5	0	0	0
<b>1981</b>	5.5	0	0	0	0	0	0
<b>1982</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>1983</b>	6.9	15.7	17.5	0	0	0	0
<b>1984</b>	1.9	17.5	0	0	0	0	0
<b>1985</b>	1.2	75	0	27.3	0	0	0
<b>1986</b>	48.6	0	36.1	34.6	47.9	0	0
<b>1987</b>	2.6	3.9	0	0	0	0	0
<b>1988</b>	4.8	24	0	0	0	0	0
<b>1989</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>1990</b>	6.9	7.4	0	0	26.2	0	0
<b>1991</b>	2.8	0	0	10.2	0	0	0
<b>1992</b>	16.1	2.7	0	0	0	0	0
<b>1993</b>	5.3	18.5	46.5	0	0	0	0
<b>1994</b>	0	26.3	0	0	0	0	0
<b>1995</b>	8	10.5	16.3	0	77	0	0
<b>1996</b>	0	20.8	0	0	0	0	0
<b>1997</b>	8.8	0	11.1	0	0	0	0
<b>1998</b>	11	10.5	41.6	0	0	0	0
<b>1999</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2000</b>	8.3	0	0	0	34.8	0	0
<b>2001</b>	0	0	14.8	0	0	0	0
<b>2002</b>	8.1	51	0	0	0	0	0
<b>2003</b>	8	0	27.3	0	0	0	0
<b>2004</b>	0	20.1	29.4	0	0	0	0
<b>2005</b>	2.6	23.8	0	0	34.6	0	0
<b>2006</b>	13.3	6.7	0	0	0	0	0
<b>2007</b>	2.3	9.2	0	0	0	0	0
<b>2008</b>	4.6	4.3	12.7	0	0	0	0
<b>2009</b>	10.1	5.1	0	0	0	80.2	0
<b>2010</b>	23.1	16.5	0	25	0	0	0

**Précipitation journaliers (mars) :**

<b>ANNEES</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
<b>1979</b>	0	10.5	0	0	18	55.3	0
<b>1980</b>	1.8	21.6	0	0	0	0	0
<b>1981</b>	0.5	0	0	14.9	0	0	0
<b>1982</b>	0	0	24.5	10.9	0	0	0
<b>1983</b>	20.7	3.4	0	0	0	0	0
<b>1984</b>	4.2	8.5	24.4	6.3	0	0	0
<b>1985</b>	37.7	16.5	0	0	0	0	0
<b>1986</b>	4	5.1	0	0	0	0	0
<b>1987</b>	0.4	0	0	0	45.7	0	0
<b>1988</b>	0	0	59.6	0	0	0	0
<b>1989</b>	16.7	3.6	0	0	0	0	0
<b>1990</b>	10.6	11.4	0	0	49.8	0	0
<b>1991</b>	10.6	9.2	0	29.1	0	0	0
<b>1992</b>	7.7	6	7.2	0	0	0	0
<b>1993</b>	2.4	0	0	0	0	0	0
<b>1994</b>	13.2	17.1	0	0	0	0	0
<b>1995</b>	0	0	25.5	0	61.2	0	0
<b>1996</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>1997</b>	6.7	0	0	0	0	0	0
<b>1998</b>	3.5	35.1	44.5	0	0	0	0
<b>1999</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2000</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2001</b>	14.2	0	0	0	0	0	0
<b>2002</b>	8.5	0	0	0	0	0	0
<b>2003</b>	1.4	19.4	0	0	0	0	0
<b>2004</b>	3.9	12.6	0	0	0	0	0
<b>2005</b>	7	3.2	0	0	0	0	0
<b>2006</b>	0	43.4	0	21.2	0	0	0
<b>2007</b>	8	31.5	0	0	0	0	0
<b>2008</b>	4.8	0	41.9	0	0	0	0
<b>2009</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2010</b>	12.2	0	0	0	0	0	0

**Précipitation journaliers (avril) :**

<b>ANNEES</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
<b>1979</b>	18.7	13.9	32.6	0	0	0	0
<b>1980</b>	4.2	16.5	9.2	25.9	0	0	0
<b>1981</b>	0.5	0	0	14.9	0	0	0
<b>1982</b>	1	2.9	0	0	0	0	0
<b>1983</b>	6.2	11	0	0	0	0	0
<b>1984</b>	4.6	0	0	0	0	0	0
<b>1985</b>	3.2	5.2	0	0	0	0	0
<b>1986</b>	1.7	0	0	0	0	0	0
<b>1987</b>	3.8	12.5	0	18.8	0	0	0
<b>1988</b>	8.7	10.2	12.8	0	0	0	0
<b>1989</b>	3.3	16	0	13.9	0	36.8	0
<b>1990</b>	4.6	0	15.3	0	0	0	0
<b>1991</b>	10.6	9.2	0	29.1	0	0	0
<b>1992</b>	0	0	0	16.8	0	0	0
<b>1993</b>	1.2	11.5	0	0	0	0	0
<b>1994</b>	9.2	2.2	0	0	0	0	0
<b>1995</b>	2	0	0	0	51.6	0	0
<b>1996</b>	0	8.1	0	49.8	0	0	0
<b>1997</b>	1.4	6.8	23.8	0	0	0	0
<b>1998</b>	4.5	0	0	0	0	0	0
<b>1999</b>	5.5	0	0	0	0	0	0
<b>2000</b>	20.4	46.2	13.8	0	0	0	0
<b>2001</b>	5	6.3	14.3	0	0	0	0
<b>2002</b>	7	19.7	14.1	0	0	0	0
<b>2003</b>	2.8	0	20.5	0	0	0	0
<b>2004</b>	10.8	0	0	0	0	0	0
<b>2005</b>	5.2	0	0	0	0	0	0
<b>2006</b>	13.7	0	32.8	0	0	0	0
<b>2007</b>	0	5.8	0	0	0	0	0
<b>2008</b>	7.7	47.3	17.2	0	0	0	0
<b>2009</b>	1.4	16.1	0	0	0	0	0
<b>2010</b>	13	0	0	16.3	0	0	0

**Précipitation journaliers (mai) :**

<b>ANNEES</b>	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
<b>1979</b>	0.7	11	0	5.8	0	0	0
<b>1980</b>	9.8	0	0	0	0	0	0
<b>1981</b>	0	9.7	0	11.3	0	0	0
<b>1982</b>	2.1	0	0	0	0	0	0
<b>1983</b>	0	31.2	8.8	0	0	0	26.7
<b>1984</b>	6.9	0	0	21.8	0	0	0
<b>1985</b>	1.9	0	0	0	0	0	0
<b>1986</b>	1.8	1.5	0	0	0	0	0
<b>1987</b>	0	3.1	0	31.5	0	0	0
<b>1988</b>	3.4	0	0	0	0	0	0
<b>1989</b>	1.6	6.3	0	0	14.3	0	0
<b>1990</b>	0	0	11.7	0	0	0	0
<b>1991</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>1992</b>	5.4	9.7	0	0	0	0	0
<b>1993</b>	3.1	0	0	0	0	0	0
<b>1994</b>	3	0	0	0	0	0	0
<b>1995</b>	4.2	10.9	15.2	0	0	0	0
<b>1996</b>	6.1	19.8	0	0	0	0	0
<b>1997</b>	11.4	27.9	49.8	0	0	0	0
<b>1998</b>	4	0	0	0	0	0	0
<b>1999</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2000</b>	0	0	0	12.5	0	0	0
<b>2001</b>	9.9	15.3	0	0	0	0	0
<b>2002</b>	15.7	0	0	0	0	0	0
<b>2003</b>	6.6	16.4	0	0	0	0	0
<b>2004</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2005</b>	8.1	0	41.8	0	0	0	0
<b>2006</b>	8.2	0	0	0	0	0	0
<b>2007</b>	8.5	16.6	0	0	0	0	0
<b>2008</b>	6.1	5.1	0	0	0	0	0
<b>2009</b>	0	2.5	12.8	0	0	0	0
<b>2010</b>	0	0	0	0	0	0	0

**Pour 1 J :**

<b>Ajustement à une loi de Gumbel</b>
---

Taille n= 32

Xo= 15.66

g= 8.07

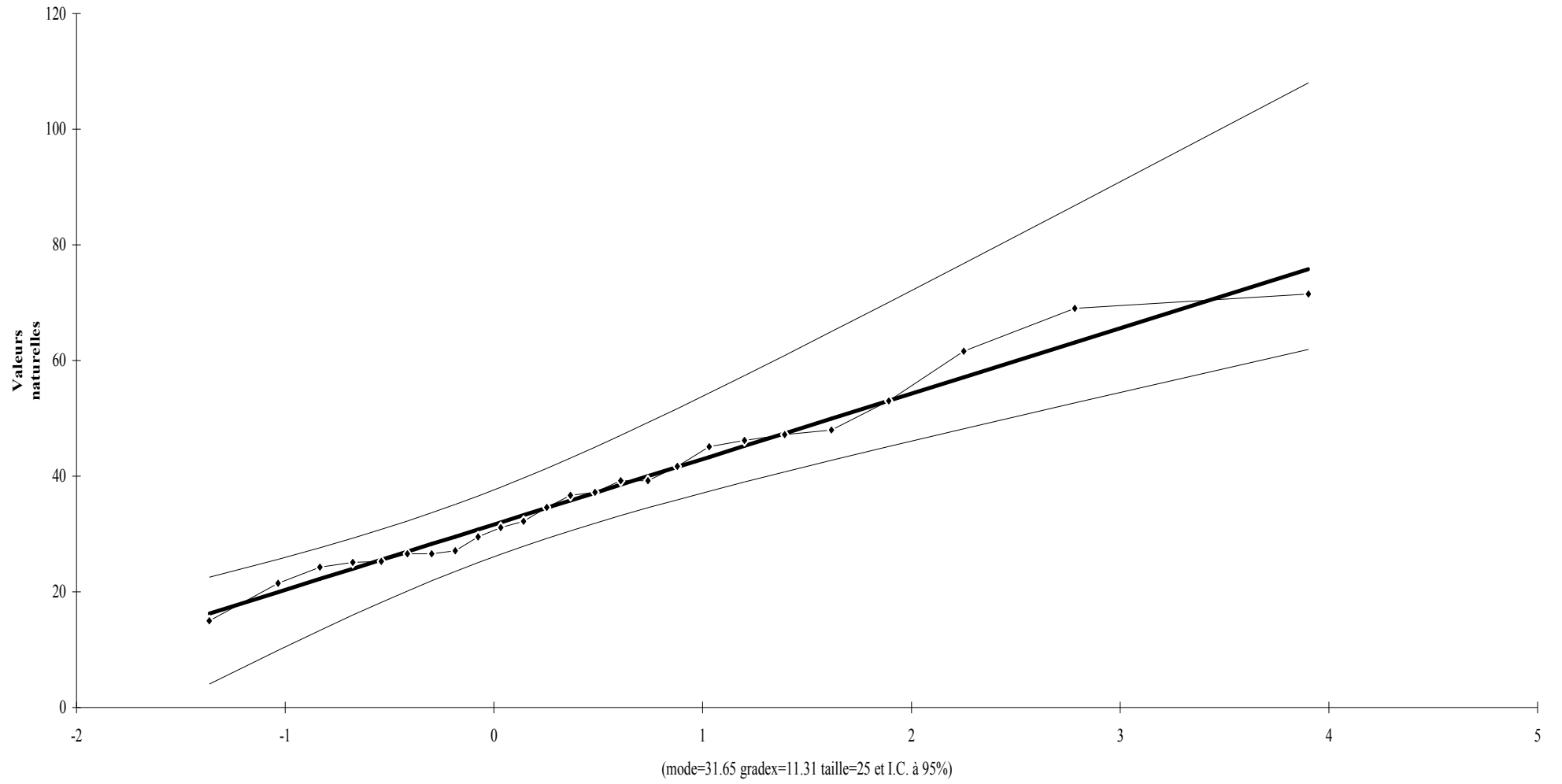
I.C. à (en%)= 80

UGauss= 1.2817

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
42.4	3.3	1	0.016	-1.425	3.3	4.15095	0.05709	6.949441
20.7	6.5	2	0.047	-1.119	6.5	6.626891	3.15311	9.102029
6.5	6.9	3	0.078	-0.936	6.9	8.101008	4.96705	10.41298
3.3	10.4	4	0.109	-0.794	10.4	9.243469	6.35257	11.4493
20.7	10.6	5	0.141	-0.674	10.6	10.21649	7.5154	12.34911
6.9	12.5	6	0.172	-0.566	12.5	11.08755	8.5406	13.17043
37.7	13.5	7	0.203	-0.466	13.5	11.89205	9.47238	13.94408
48.6	13.6	8	0.234	-0.372	13.6	12.65134	10.337	14.68901
31.2	14.7	9	0.266	-0.282	14.7	13.37957	11.1517	15.4181
13.6	14.7	10	0.297	-0.194	14.7	14.0869	11.9284	16.14082
16.7	16.1	11	0.328	-0.108	16.1	14.78111	12.6762	16.86461
16.4	16.4	12	0.359	-0.023	16.4	15.46851	13.4023	17.59569
10.6	16.4	13	0.391	0.062	16.4	16.1545	14.1127	18.33949
16.1	16.5	14	0.422	0.147	16.5	16.84398	14.8127	19.10106
16.4	16.7	15	0.453	0.234	16.7	17.5416	15.5074	19.88528
40.4	19.2	16	0.484	0.322	19.2	18.25201	16.2014	20.69714
20.7	20.4	17	0.516	0.412	20.4	18.98004	16.8999	21.54198
12.5	20.4	18	0.547	0.505	20.4	19.73094	17.608	22.42572
26.3	20.7	19	0.578	0.602	20.7	20.51061	18.3313	23.35519
13.5	20.7	20	0.609	0.703	20.7	21.32589	19.0762	24.33855
10.4	20.7	21	0.641	0.809	20.7	22.18499	19.8501	25.38576
20.4	21.6	22	0.672	0.922	21.6	23.09805	20.6621	26.50935
14.7	22.1	23	0.703	1.043	22.1	24.07793	21.5231	27.72551
21.6	22.6	24	0.734	1.175	22.6	25.14156	22.4476	29.05574
14.7	23.1	25	0.766	1.320	23.1	26.31197	23.4548	30.52959
16.5	23.1	26	0.797	1.483	23.1	27.62185	24.5719	32.18927
19.2	26.3	27	0.828	1.668	26.3	29.12014	25.8391	34.09821
20.4	31.2	28	0.859	1.887	31.2	30.88515	27.3205	36.35832
22.1	37.7	29	0.891	2.156	37.7	33.05463	29.1287	39.14909
22.6	40.4	30	0.922	2.509	40.4	35.90743	31.4909	42.83444
23.1	42.4	31	0.953	3.036	42.4	40.16375	34.9929	48.3552
23.1	48.6	32	0.984	4.151	48.6	49.16094	42.3458	60.07484

Fréquence	U.Gumbel	Val. Théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq.théo.	Pér. Ret.
0.5	0.367	18.614	16.550	21.115	18.614	0.50	2.00
0.8	1.500	27.762	24.691	32.368	27.762	0.80	5.00
0.9	2.250	33.819	29.764	40.136	33.819	0.90	10.00

### Ajustement à une loi de Gumbel





**Ajustement à  
une loi de  
Gumbel**

**Pour 2 J :**

Taille n= 32

Xo= 21.84

g= 12.13

I.C. à (en%)= 80

UGauss= 1.2817

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
28.1	5.1	1	0.016	-1.425	5.1	4.559524	-1.5911	8.763975
21.6	12.5	2	0.047	-1.119	12.5	8.279377	3.06037	11.99802
20.3	12.5	3	0.078	-0.936	12.5	10.49409	5.78564	13.9676
12.5	13	4	0.109	-0.794	13	12.21052	7.86724	15.52456
31.3	13.1	5	0.141	-0.674	13.1	13.67238	9.61428	16.87644
21.5	15.3	6	0.172	-0.566	15.3	14.98106	11.1545	18.11038
75	16	7	0.203	-0.466	16	16.18975	12.5544	19.27272
5.1	16.1	8	0.234	-0.372	16.1	17.3305	13.8535	20.3919
12.5	16.4	9	0.266	-0.282	16.4	18.42459	15.0774	21.48728
46.9	17.6	10	0.297	-0.194	17.6	19.48729	16.2443	22.57309
16	19.4	11	0.328	-0.108	19.4	20.53027	17.3679	23.66052
13	19.8	12	0.359	-0.023	19.8	21.56302	18.4587	24.75889
17.6	20.2	13	0.391	0.062	20.2	22.59365	19.526	25.87638
16.1	20.3	14	0.422	0.147	20.3	23.62953	20.5778	27.02055
16.4	21.5	15	0.453	0.234	21.5	24.67763	21.6214	28.19876
40.4	21.6	16	0.484	0.322	21.6	25.74495	22.6642	29.41851
49.8	23.5	17	0.516	0.412	23.5	26.83874	23.7136	30.68779
19.8	28.1	18	0.547	0.505	28.1	27.96689	24.7773	32.01552
46.5	29.1	19	0.578	0.602	29.1	29.13826	25.864	33.41197
35.1	31.3	20	0.609	0.703	31.3	30.36314	26.9832	34.88936
35.1	35.1	21	0.641	0.809	35.1	31.65386	28.146	36.46268
46.6	35.1	22	0.672	0.922	35.1	33.02563	29.3658	38.15076
15.3	40.4	23	0.703	1.043	40.4	34.49781	30.6595	39.97792
20.2	41.8	24	0.734	1.175	41.8	36.09581	32.0484	41.97646
19.4	42.6	25	0.766	1.320	42.6	37.85423	33.5617	44.19077
41.8	43.4	26	0.797	1.483	43.4	39.82219	35.24	46.68427
13.1	46.5	27	0.828	1.668	46.5	42.07321	37.1438	49.55227
43.4	46.6	28	0.859	1.887	46.6	44.72497	39.3695	52.94785
42.6	46.9	29	0.891	2.156	46.9	47.98439	42.0861	57.1407
47.3	47.3	30	0.922	2.509	47.3	52.27043	45.635	62.67758
23.5	49.8	31	0.953	3.036	49.8	58.66513	50.8964	70.97195
29.1	75	32	0.984	4.151	75	72.1825	61.9435	88.57953

Fréquence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq.théo.	Pér. Ret.
0.5	0.367	26.288	23.188	30.046	26.288	0.50	2.00
0.8	1.500	40.033	35.419	46.952	40.033	0.80	5.00
0.9	2.250	49.133	43.040	58.623	49.133	0.90	10.00

**Ajustement à  
une loi de  
Gumbel**

**Pour 3 J :**

Taille n= 31

Xo= 26.23

g= 12.85

I.C. à (en%)= 80

UGauss= 1.2817

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
32.6	8.7	1	0.016	-1.418	8.7	8.016388	1.39257	12.51997
22.4	8.8	2	0.048	-1.108	8.8	11.99282	6.38406	15.97421
49.3	13.3	3	0.081	-0.923	13.3	14.36616	9.31392	18.0852
24.5	14.5	4	0.113	-0.780	14.5	16.20924	11.5548	19.75893
8.8	14.8	5	0.145	-0.657	14.8	17.78195	13.4377	21.21641
57.3	15	6	0.177	-0.548	15	19.19251	15.0994	22.55061
76.9	15.3	7	0.210	-0.446	15.3	20.49777	16.6113	23.81111
36.1	20.3	8	0.242	-0.350	20.3	21.73209	18.0155	25.02851
22.5	22.4	9	0.274	-0.258	22.4	22.91836	19.3398	26.22372
59.6	22.5	10	0.306	-0.168	22.5	24.07312	20.6039	27.41226
20.3	24.5	11	0.339	-0.079	24.5	25.20909	21.8225	28.60644
15.3	27.3	12	0.371	0.008	27.3	26.33674	23.0074	29.81661
30	29.3	13	0.403	0.096	29.3	27.46516	24.1687	31.05203
14.5	30	14	0.435	0.185	30	28.6027	25.3155	32.32137
46.5	32.1	15	0.468	0.275	32.1	29.75746	26.4562	33.63323
8.7	32.6	16	0.500	0.367	32.6	30.93769	27.5996	34.9966
49.3	32.8	17	0.532	0.461	32.8	32.15214	28.7544	36.42129
27.3	36.1	18	0.565	0.559	36.1	33.41055	29.93	37.91844
49.8	40	19	0.597	0.661	40	34.72407	31.137	39.50126
44.5	41.8	20	0.629	0.769	41.8	36.106	32.3877	41.18577
40	41.9	21	0.661	0.883	41.9	37.57261	33.6964	42.9921
32.1	41.9	22	0.694	1.005	41.9	39.14457	35.081	44.94619
14.8	43.8	23	0.726	1.138	43.8	40.84892	36.5647	47.08245
15	44.5	24	0.758	1.284	44.5	42.72241	38.1782	49.44815
29.4	46.5	25	0.790	1.447	46.5	44.81719	39.9648	52.11082
29.3	49.3	26	0.823	1.633	49.3	47.2112	41.9884	55.17194
41.8	49.3	27	0.855	1.853	49.3	50.02918	44.3511	58.79448
32.8	49.8	28	0.887	2.122	49.8	53.49042	47.2315	63.26557
43.8	57.3	29	0.919	2.476	57.3	58.03882	50.9903	69.16732
41.9	59.6	30	0.952	3.004	59.6	64.82075	56.5576	78.00455
41.9	76.9	31	0.984	4.119	76.9	79.14822	68.2361	96.75685

Fréquence	U.Gumbel	Val. Théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.5	0.367	30.938	27.600	34.997	30.938	0.50	2.00
0.8	1.500	45.499	40.543	52.981	45.499	0.80	5.00
0.9	2.250	55.141	48.598	65.404	55.141	0.90	10.00

**Ajustement à  
une loi de  
Gumbel**

**Pour 4 J:**

Taille n= 24

Xo= 29.25

g= 14.46

I.C. à (en%)= 80

UGauss= 1.2817

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
38.7	0.5	1	0.021	-1.354	0.5	9.672445	1.14575	15.21069
25.9	13.9	2	0.063	-1.020	13.9	14.49951	7.41382	19.38379
14.9	14.9	3	0.104	-0.816	14.9	17.44445	11.1504	22.01722
53.3	16.8	4	0.146	-0.655	16.8	19.77376	14.0409	24.16514
55.5	16.8	5	0.188	-0.515	16.8	21.79659	16.493	26.08848
16.8	20.2	6	0.229	-0.388	20.2	23.64324	18.6761	27.89982
27.3	21.2	7	0.271	-0.267	21.2	25.38367	20.6789	29.6616
34.6	25	8	0.313	-0.151	25	27.06164	22.5555	31.41456
31.5	25	9	0.354	-0.037	25	28.70809	24.3427	33.18871
13.9	25.9	10	0.396	0.076	25.9	30.34721	26.0684	35.00846
44.5	27.3	11	0.438	0.190	27.3	31.9999	27.7561	36.89564
29.1	29.1	12	0.479	0.307	29.1	33.68591	29.4271	38.87158
16.8	31.5	13	0.521	0.427	31.5	35.42548	31.1024	40.95898
53.9	34.6	14	0.563	0.553	34.6	37.241	32.8046	43.1839
48.8	38.7	15	0.604	0.685	38.7	39.15884	34.5586	45.57828
20.2	40	16	0.646	0.827	40	41.2119	36.3943	48.18341
40	44.5	17	0.688	0.982	44.5	43.44355	38.3495	51.0553
79.8	48.8	18	0.729	1.152	48.8	45.91406	40.4752	54.27351
51.6	51.6	19	0.771	1.346	51.6	48.71249	42.8444	57.95742
25	53.3	20	0.813	1.572	53.3	51.98036	45.5717	62.29864
21.2	53.9	21	0.854	1.848	53.9	55.9654	48.8555	67.63473
66.2	55.5	22	0.896	2.207	55.5	61.16807	53.0937	74.6501
67.7	66.2	23	0.938	2.740	66.2	68.87942	59.3096	85.11422
25	67.7	24	0.979	3.861	67.7	85.0794	72.2299	107.2351

Fréquence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq.théo.	Pér. Ret.
0.5	0.367	34.548	30.263	39.900	34.548	0.50	2.00
0.8	1.500	50.939	44.706	60.911	50.939	0.80	5.00
0.9	2.250	61.791	53.599	75.493	61.791	0.90	10.00

**Ajustement à  
une loi de  
Gumbel**

**Pour 5 J :**

Taille n= 23

Xo= 33.71

g= 19.37

I.C. à (en%)= 80

UGauss= 1.2817

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
42.3	0.5	1	0.022	-1.343	0.5	7.702613	-3.9828	15.23209
112.2	5	2	0.065	-1.004	5	14.25487	4.57804	20.89452
54.2	14.3	3	0.109	-0.797	14.3	18.26848	9.69517	24.48987
45.7	24.7	4	0.152	-0.633	24.7	21.45405	13.6613	27.43877
5	26.4	5	0.196	-0.489	26.4	24.22987	17.0315	30.09415
14.3	32.7	6	0.239	-0.358	32.7	26.77276	20.0364	32.60924
43.8	33.8	7	0.283	-0.234	33.8	29.17822	22.7973	35.06993
54.1	34.8	8	0.326	-0.114	34.8	31.50661	25.3886	37.53301
24.7	42.3	9	0.370	0.005	42.3	33.80126	27.8616	40.04107
34.8	43.8	10	0.413	0.123	43.8	36.09683	30.2561	42.62962
56.6	45.7	11	0.457	0.243	45.7	38.42414	32.6063	45.33137
32.7	48.8	12	0.500	0.367	48.8	40.81332	34.9445	48.17951
80.2	51.6	13	0.543	0.495	51.6	43.29645	37.3034	51.21081
33.8	53.3	14	0.587	0.630	53.3	45.91039	39.719	54.46937
26.4	53.9	15	0.630	0.774	53.9	48.7004	42.2333	58.01149
20.2	54.1	16	0.674	0.930	54.1	51.72541	44.8983	61.91303
40	54.2	17	0.717	1.102	54.2	55.06689	47.7832	66.28158
79.8	55.5	18	0.761	1.297	55.5	58.84468	50.987	71.27838
51.6	56.6	19	0.804	1.525	56.6	63.24879	54.6634	77.16215
25	66.2	20	0.848	1.801	66.2	68.61147	59.0778	84.38874
21.2	67.7	21	0.891	2.162	67.7	75.60345	64.7619	93.8824
66.2	79.8	22	0.935	2.696	79.8	85.95457	73.0811	108.0327
67.7	80.2	23	0.978	3.818	80.2	107.6763	90.3412	137.9247

Fréquence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.5	0.367	40.813	34.944	48.180	40.813	0.50	2.00
0.8	1.500	62.772	54.268	76.523	62.772	0.80	5.00
0.9	2.250	77.311	66.141	96.210	77.311	0.90	10.00

**Ajustement à  
une loi de  
Gumbel**

**Pour 6 J :**

Taille n= 23

Xo= 29.70

g= 14.63

I.C. à (en%)= 80

UGauss= 1.2817

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
38.7	0.5	1	0.022	-1.343	0.5	10.05443	1.22969	15.74065
25.9	13.9	2	0.065	-1.004	13.9	15.00266	7.69477	20.01689
14.9	14.9	3	0.109	-0.797	14.9	18.03372	11.5592	22.73208
53.3	16.8	4	0.152	-0.633	16.8	20.43945	14.5544	24.95907
55.5	16.8	5	0.196	-0.489	16.8	22.53572	17.0996	26.9644
16.8	20.2	6	0.239	-0.358	20.2	24.45611	19.3688	28.86378
27.3	21.2	7	0.283	-0.234	21.2	26.27269	21.4539	30.72208
34.6	25	8	0.326	-0.114	25	28.03108	23.4108	32.58219
31.5	25.9	9	0.370	0.005	25.9	29.76398	25.2784	34.47626
13.9	27.3	10	0.413	0.123	27.3	31.49759	27.0867	36.43112
44.5	29.1	11	0.457	0.243	29.1	33.25516	28.8616	38.47147
29.1	31.5	12	0.500	0.367	31.5	35.05946	30.6273	40.62236
16.8	34.6	13	0.543	0.495	34.6	36.9347	32.4088	42.91159
53.9	38.7	14	0.587	0.630	38.7	38.90874	34.2331	45.37244
48.8	40	15	0.630	0.774	40	41.01574	36.1318	48.04742
20.2	44.5	16	0.674	0.930	44.5	43.30021	38.1444	50.99384
40	48.8	17	0.717	1.102	48.8	45.82368	40.3231	54.29295
79.8	51.6	18	0.761	1.297	51.6	48.67665	42.7426	58.06651
51.6	53.3	19	0.804	1.525	53.3	52.00261	45.5189	62.5099
25	53.9	20	0.848	1.801	53.9	56.05248	48.8527	67.96738
21.2	55.5	21	0.891	2.162	55.5	61.33278	53.1453	75.13694
66.2	66.2	22	0.935	2.696	66.2	69.14989	59.4279	85.82318
67.7	67.7	23	0.978	3.818	67.7	85.55399	72.4627	108.3975

Fréquence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq.théo.	Pér. Ret.
0.5	0.367	35.059	30.627	40.622	35.059	0.50	2.00
0.8	1.500	51.643	45.221	62.027	51.643	0.80	5.00
0.9	2.250	62.622	54.187	76.895	62.622	0.90	10.00

**Ajustement à  
une loi de  
Gumbel**

**Pour 7 J:**

Taille n= 22

Xo= 30.42

g= 15.44

I.C. à (en%)= 80

UGauss= 1.2817

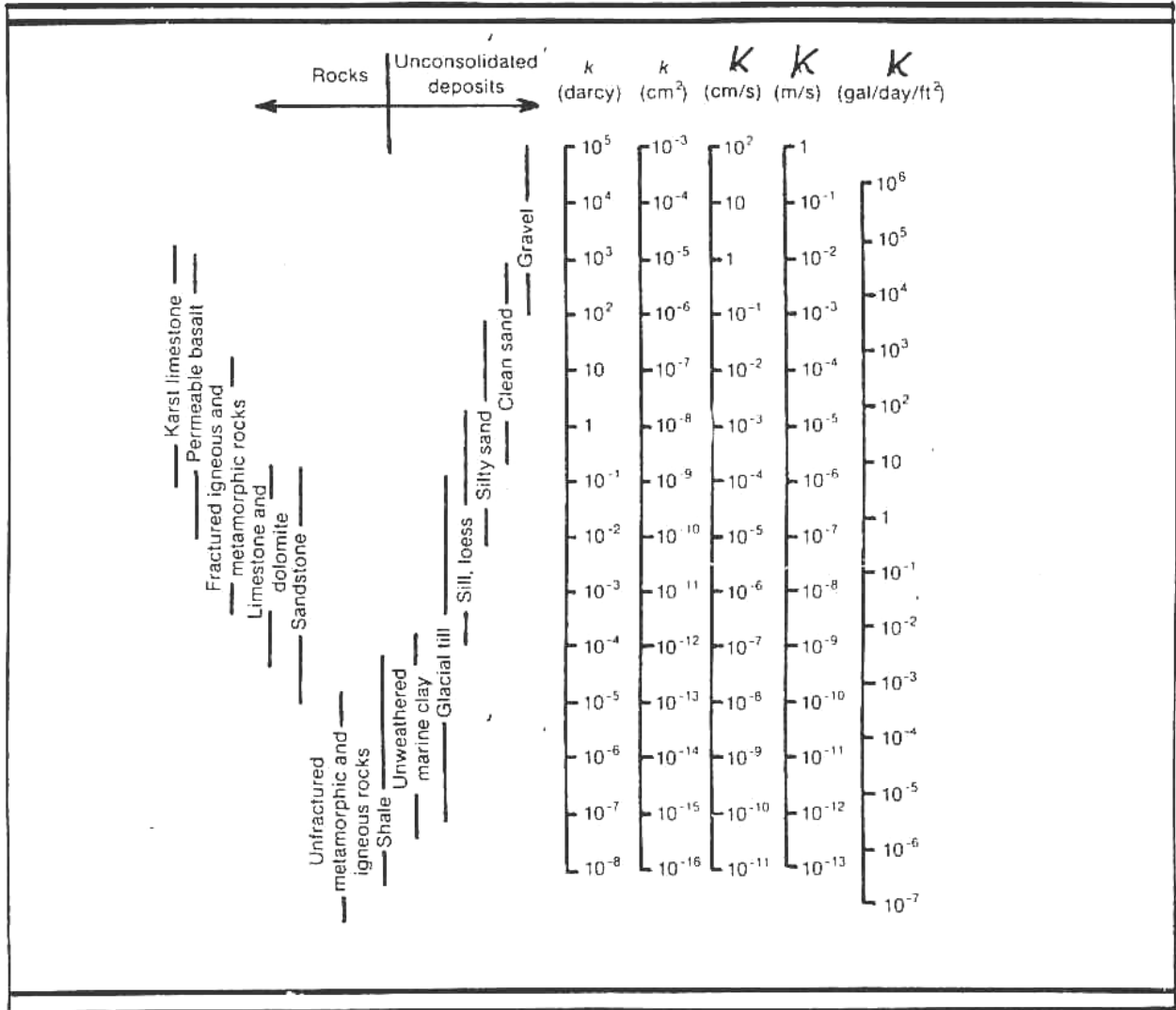
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
18.7	0.5	1	0.023	-1.331	0.5	9.866471	0.32786	15.96089
26.7	18.7	2	0.068	-0.988	18.7	15.1621	7.29267	20.53628
78.8	25	3	0.114	-0.777	25	18.42008	11.4677	23.46105
36.5	25.9	4	0.159	-0.609	25.9	21.01564	14.7103	25.87471
32.4	26.7	5	0.205	-0.462	26.7	23.28573	17.4703	28.0616
	27.3	6	0.250	-0.327	27.3	25.37332	19.9351	30.14611
27.3	29.1	7	0.295	-0.198	29.1	27.35618	22.2034	32.19881
34.6	31.5	8	0.341	-0.073	31.5	29.28408	24.3364	34.26713
31.5	32.4	9	0.386	0.050	32.4	31.19343	26.3769	36.38739
13.9	34.6	10	0.432	0.175	34.6	33.11417	28.3592	38.59078
44.5	36.5	11	0.477	0.302	36.5	35.07384	30.3135	40.90704
29.1	38.7	12	0.523	0.433	38.7	37.10041	32.2691	43.36771
16.8	40	13	0.568	0.570	40	39.22496	34.2572	46.00939
53.9	44.5	14	0.614	0.717	44.5	41.48479	36.3132	48.87799
48.8	48.8	15	0.659	0.875	48.8	43.92782	38.4802	52.03482
20.2	51.6	16	0.705	1.049	51.6	46.61968	40.8146	55.56652
40	53.3	17	0.750	1.246	53.3	49.65644	43.3961	59.60275
79.8	53.9	18	0.795	1.475	53.9	53.18998	46.3476	64.35148
51.6	55.5	19	0.841	1.753	55.5	57.48547	49.8806	70.17917
25	66.2	20	0.886	2.115	66.2	63.0778	54.4177	77.82882
21.2	67.7	21	0.932	2.650	67.7	71.34596	61.0429	89.22158
66.2	78.8	22	0.977	3.773	78.8	88.67564	74.7596	113.2696

Fréquence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq.théo.	Pér. Ret.
0.5	0.367	36.077	31.289	42.117	36.077	0.50	2.00
0.8	1.500	53.579	46.670	64.878	53.579	0.80	5.00
0.9	2.250	65.167	56.100	80.701	65.167	0.90	10.00

# ANNEXE

## C

**RANGE OF VALUES OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND PERMEABILITY  
(FREEZE AND CHERRY, 1979)**



**CONVERSION FACTORS FOR PERMEABILITY AND HYDRAULIC CONDUCTIVITY  
UNITS (FREEZE AND CHERRY, 1979)**

	Permeability, $k^*$			Hydraulic conductivity, $K$		
	cm <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	darcy	m/s	ft/s	U.S. gal/day/ft <sup>2</sup>
cm <sup>2</sup>	1	$1.08 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^8$	$9.80 \times 10^2$	$3.22 \times 10^3$	$1.85 \times 10^9$
ft <sup>2</sup>	$9.29 \times 10^2$	1	$9.42 \times 10^{10}$	$9.11 \times 10^5$	$2.99 \times 10^6$	$1.71 \times 10^{12}$
darcy	$9.87 \times 10^{-9}$	$1.06 \times 10^{-11}$	1	$9.66 \times 10^{-6}$	$3.17 \times 10^{-5}$	$1.82 \times 10^1$
m/s	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.10 \times 10^{-6}$	$1.04 \times 10^5$	1	3.28	$2.12 \times 10^6$
ft/s	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.35 \times 10^{-7}$	$3.15 \times 10^4$	$3.05 \times 10^{-1}$	1	$6.46 \times 10^5$
U.S. gal/day/ft <sup>2</sup>	$5.42 \times 10^{-10}$	$5.83 \times 10^{-13}$	$5.49 \times 10^{-7}$	$4.72 \times 10^{-7}$	$1.55 \times 10^{-6}$	1

\*To obtain  $k$  in ft<sup>2</sup>, multiply  $k$  in cm<sup>2</sup> by  $1.08 \times 10^{-3}$ .



# ANNEXE

## D

Point d'eau	LNA(x)	LNA(y)	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l
W084-129	440750	327900	272	73	128	4	358	287
W084-166	442400	325250	211	35	113	4	319	142
W084-114	446250	325250	466	254	350	3	1,250	638
W084-155	456000	321050	436	187	610	2	1,620	583
W083-48	421070	324850	144	48	176	1	214	222
W083-41	424970	323620	234	48	123	4	307	73
W083-19	416900	330050	317	129	150	1	605	265
W083-40	425870	330350	322	115	170	1	550	380
W083-34	433000	329050	250	37	150	2	294	179
W083-52	418500	327250	193	94	152	0	339	112
W083-56	414200	323200	332	140	176	0	673	450
W083-110	433250	332650	150	55	118	2	370	47
W083-126	431350	332350	360	103	182	2	508	207
W083-93	404000	324750	360	103	231	2	833	157
W084-14	462470	320850	358	104	88	1	720	106
W084-39	461500	328000	213	94	121	2	600	65
W084-40	459950	328250	250	169	260	21	725	375
W084-73	453050	328950	237	100	257	24	500	438
W084-80	448900	325250	300	140	300	24	830	438
W084-91	447500	329600	118	38	35	6	175	89
W084-110	441000	330100	168	27	55	9	153	80
W084-169	442050	322650	148	52	103	4	262	85
W084-196	447500	332600	214	60	87	4	198	200
W085-20	477400	323500	132	68	243	10	405	147
W085-27	483750	322775	430	148	430	8	1,055	790
W085-14	469820	321500	314	77	169	2	600	350
W085-6	471700	324575	237	62	209	4	498	192
W085-38	480900	322900	100	24	42	4	70	38
PZ 8 A	386100	323700	106	64	242	3	311	371
PZ 2 A	466650	320800	221	100	270	3	510	413
PZ 3 A	459300	326200	192	143	121	2	445	353
PZ 1 A	468600	323800	150	80	190	10	317	187
PZ 5 A	423300	332000	60	25	71	16	272	0
PZ 6 A	420900	329300	80	40	138	4	161	161
PZ 7 A	419800	330800	80	40	121	5	340	46
PZ 9 A	413950	330500	30	13	285	4	218	65
PZ 10 A	412600	327000	130	62	159	7	325	197
PZ 11 A	409900	329600	55	33	143	4	213	75
PZ 13 A	406200	326100	242	100	1,100	17	2,060	463
PZ 15 A	403400	325900	297	41	2,230	34	3,800	750

Point d'eau	LNA(x)	LNA(y)	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l
W084-129	440750	327900	167	65	109	17	270	237
W084-166	442400	325250	131	46	114	2	226	110
W084-115	446850	323700	320	349	540	4	1,690	570
W084-8	462300	322800	196	96	215	4	503	267
W084-155	456000	321050	247	135	800	6	1,390	458
W083-48	421070	324850	95	52	264	3	235	350
W083-41	424970	323620	138	39	131	3	301	90
W083-52	418500	327250	160	83	147	2	378	138
W083-40	425870	330350	160	135	273	7	518	430
W083-34	433000	329050	196	70	104	3	305	223
W085-27	483750	322775	371	183	420	11	1,075	970
W083-56	414200	323200	269	96	439	3	785	563
W083-110	433250	332650	109	44	160	2	384	75
W083-117	406600	326950	131	24	66	3	161	52
W083-122	423500	327200	320	26	249	4	718	172
W083-126	431350	332350	313	181	242	9	685	635
W084-14	462470	320850	218	44	120	4	375	138
W084-39	461500	328000	218	70	119	2	470	149
W084-63	452070	321950	262	170	276	4	833	438
W084-80	448900	325250	218	175	393	7	925	583
W084-91	447500	329600	89	22	18	15	60	166
W084-92	447450	330600	148	67	66	2	238	190
W084-169	442050	322650	148	44	295	0	350	320
W084-196	447500	332600	144	56	73	0	200	187
W084-63	452070	321950	274	138	269	19	708	600
W085-6	471700	324575	193	80	141	3	493	156
W085-20	477400	323500	170	80	206	2	500	187
W085-38	480900	322900	63	36	26	2	71	57
W085-14	469820	321500	308	122	175	4	660	480
PZ 8 A	386100	323700	102	79	227	7	338	343
PZ 3 A	459300	326200	326	71	296	3	488	455
PZ 4 A	452800	325600	289	147	147	4	588	420
PZ 5 A	423300	332000	52	27	109	2	263	0
PZ 6 A	420900	329300	67	40	134	3	163	144
PZ 7 A	419800	330800	67	62	145	3	291	66
PZ 9 A	413950	330500	6	5	280	5	255	77
PZ 10 A	412600	327000	304	67	156	2	301	279
PZ 13 A	406200	326100	133	151	1,550	15	3,000	500
PZ 15 A	403400	325900	341	160	109	3	765	523
PZ 11 A	409900	329600	77	33	126	4	249	87
PZ 15	360900	316200	556	84	1,975	35	4,000	790

# ANNEXE

# E

(1) N° de roch e/M	(2) Roche	(3) Perméabilité Kf (m/s)	(4) Vitesse réelle (m/j)			(5) Distanc e limite (m)	(6) Temps de parcours (j)	(7) Volume infiltré (m³)	(8) Surface spécifique (m²/m³)	(9) Surface totale des grains (m²)	
9	Graviers silteux sableux	3.5.10 <sup>-3</sup>	a	<3		100	33.3	100	1800	180.10³	
			b	3	12	20	150	12.5		150	270.10³
			c	20	35	50	170	4.9		170	306.10³
			d	50	>50	200	4.0	200		360.10³	
10	Graviers sableux	10-2	a	<5		150	30.0	150	580	87.10³	
			b	5	12	20	200	16.7		200	116.10³
			c	20	35	50	220	6.3		220	128.10³
			d	50	75	100	250	3.3		250	145.10³
11	Graviers	10-2	a	<5		200	40.0	200	200	40.10³	
			b	5	12	20	250	20.8		250	50.10³
			c	20	35	50	270	7.7		270	54.10³
			d	50	75	100	300	3.0		300	60.10³
12	Galets	2.5	a	<5		300	60.0	300	260	18.10³	
			b	5	12	20	340	28.3		340	20.10³
			c	20	35	50	360	10.3		360	22.10³
			d	50	100	100	400	4.0		400	24.10³

Quelques paramètres pour les roches de la zone saturée (Rehse, 1977)

- (1) n° du matériau
- (3) Valeur de Kf en condition saturée
- (4) Intervalles de vitesses réelles : la valeur moyenne est utilisée dans les calculs par exemple en colonne 6 ;  
Va dépend du gradient
- (5) Distance limite requise selon le cas
- (6) Temps de parcours calculé à partir de (4) et (5)
- (7) Produit de 1m² de section et de la distance
- (8) Surface spécifiques des grains
- (9) Surface totale des grains, calculée à partir des colonnes (5) et (8).

M	Description du matériau	H(m)	I=I/H
1	Humus, 5-10% humus, 5-10% argiles	1.2	0.8
2	Argiles sans fentes de retrait, limons argileux ; sables très argileux	2	0.5
3	Silts argileux à silts	2.5	0.4
4	Silts, sables silteux, sables peu silteux et peu argileux	3.0 - 4.5	0.33 - 0.22
5	Sables fins à moyens	6	0.17
6	Sables moyens à grossiers	10	0.1
7	Sables grossiers	15	0.07
8	Graviers silteux, riches en sables et en argiles	8	0.13
9	Graviers peu silteux, beaucoup de sables	12	0.08
10	Graviers fins à moyens riches en sables	25	0.04
11	Graviers moyens à grossiers, peu de sables	35	0.03
12	Galets	50	0.02

Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (sol + zone non saturée)

M = N° de classification granulométrique

H = Epaisseur de la couche de sol nécessaire pour une épuration

M		L (m)	I = I/L
9	Graviers peu silteux, beaucoup de sable	a) 100	0.01
		b) 150	0.007
		c) 170	0.006
		d) 200	0.005
10	Graviers fins à moyens riche en sables	a) 150	0.07
		b) 200	0.005
		c) 220	0.0045
		d) 250	0.004
11	Graviers moyens à grossiers, peu de sable	a) 200	0.05
		b) 250	0.004
		c) 270	0.0037
		d) 300	0.0033
12	Graviers et galets	a) 300	0.0033
		b) 340	0.0029
		c) 360	0.0058
		d) 400	0.0025

Pouvoir épurateur de l'aquifère (Rehse, 1977)

(1) N de roche M	(2) Roche	(3) Epais- eur (m)	(4) Perméabilité Kf saturée ou a demi saturée (m/s)	(5) Porosité utile saturée (%)	(6) Porosité utile non saturée (%)	(7) Surface Spécifique (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	(8) Vitesse réelle (m/j)	(9) Temps de parcour (j)	(10) Capacité de rétention (%)	(11) Volum e utile (m <sup>3</sup> )	(12) Rétenti on (m <sup>3</sup> )	(13) Surface totale des grains (m <sup>2</sup> )
1	Roches ayant des propriétés d'adsorption	1.2	5.10 <sup>-7</sup>	0.05	.	10 <sup>4</sup> -5.10 <sup>7</sup>	0.86	1.4	>10	(0.06)	0.12	1.2.10 <sup>4</sup> -6.10 <sup>7</sup>
2		2.0	1.10 <sup>-4</sup>	0.035	.	4.10 <sup>4</sup>	0.025	80	50	(0.07)	1.0	8.10 <sup>4</sup>
3		2.5	1.10 <sup>-7</sup>	0.055	.	4.10 <sup>5</sup>	0.16	15.6	20	(0.14)	0.5	1.10 <sup>4</sup>
4 <sub>1</sub>		3.0	5.10 <sup>-7</sup>	0.08	.	225.600	0.54	5.6	32	0.24	1.0	676800
4 <sub>2</sub>	Roches sableuses	3.8	1.10 <sup>-4</sup>	0.1	.	25.000	0.86	4.4	27	0.38	1.0	95.000
4 <sub>3</sub>		4.5	5.10 <sup>-4</sup>	0.1	0.08	19.000	4.32	1	24	.45	1.1	85.500
5		6.0	5.10 <sup>-7</sup>	0.105	0.08	13.400	0.54	5.3	3	0.63	0.2	80.400
6		10.0	1.10 <sup>-4</sup>	0.135	0.1	7600	8.23	0.7	2.5	1.35	0.3	76.000
7		15.0	1.10 <sup>-4</sup>	0.16	0.12	4000	1.08	5.6	2.3	2.4	0.4	60.000
			3.10 <sup>-4</sup>			17.2	0.5					
			3.10 <sup>-4</sup>			2.87	0.4					
			5.10 <sup>-4</sup>			27.9	3.4					
			5.10 <sup>-4</sup>				0.72	11.1				
8	Graviers	8.0	5.10 <sup>-7</sup>	0.06	.	9.000	0.72	11.1	15	0.48	1.2	72.000
9		12.0	3.5.10 <sup>-4</sup>	0.015	0.12	1.800	201.4	0.04	2	1.8	0.2	21.600
10		25.0	35.10 <sup>-4</sup>	0.18	0.15	580	2.52	4.8	2	4.5	0.5	14.500
			1.10 <sup>-4</sup>			480.0	57.4	0.05				
			1.10 <sup>-4</sup>			5.74	5.74	4.3				
11	Graviers galets	35.0	1.10 <sup>-2</sup>	0.2	0.15	200	4320.0	11.7 min	1.5	7.0	0.5	7.000
12		50.0	1.10 <sup>-4</sup>	0.25	.	60	57.4	14.6h	1.2	12.5	0.6	3.000
			2.5			60	4.m <sup>3</sup> /h	8.3h				

Pouvoir épurateur des roches : quelques paramètres des roches de la zone non saturée (Rehse, 1977)

		H (cm)	I=0.5/H
1	Marnes	10	0.05
2	Grès avec couches argileuses. Argiles, micaschistes, phyllites	20	0.025
3	Basaltes, et roches volcaniques	30	0.017
4	Grauwacke, Arkose, grès argilleux, silteux	50	0.01
5	Granites, granodiorites, diorites, syénites	70	0.007
6	Quartzites, grès a silic	100	0.005
7	Calcaires	200	0.0025

Pouvoir épurateur des roches dans l'aquifère (Bolsenkotter 1984)

Recharge annuelle intervalles (cm)	Côte
0 - 5	1
5 - 10	3
10 - 18	6
18 - 25	8
> 25	9

Milieu aquifère	Cote	Côte type
Nature		
Schistes massifs	1 - 3	2
Roches métamorphiques	2 - 5	3
Roches métamorphiques altérées	3 - 5	4
Schistes en séquence	5 - 9	6
Grès massif	4 - 9	6
Calcaire massif	4 - 9	6
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	9 - 10	10

Type de sol	Cote type
Nature	
Peu épais ou absent	10
Gravier	10
sable	9
Argile fissurée	7
Limon sableux	6
Limon	5
Limon silteux	4
Limon argileux	3
Argile non fissurée	1

Topographie	Côte
Intervalle (%)	
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	

P R A S T Paramètres	Poids
Pouvoir épurateur vertical du sous sol	8
Recharge annuelle	4
Milieu aquifère	3
Type de sol	2
Topographie	1

Pouvoir épurateur vertical du sous sol (sans unités)	Côte
< 1	6
1 - 2	5
2 - 3	2
> 3	1