

Département Irrigation et Drainage

## MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**OPTION : Irrigation et Drainage agricole**

**THEME :**

Etude de la vulnérabilité des eaux souterraines de la  
plaine alluviale du haut Sébaou par la méthode de  
PRASTCHIM

**Présenté par :**

M<sup>r</sup> : LOUDA IDIR

### **DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M <sup>r</sup> MEDDI Mohamed	Professeur	Président
M <sup>me</sup> AZIEZ Wahiba	M.A.A	Examineur
M <sup>r</sup> YAHIAOUI Samir	M.A.A	Examineur
M <sup>me</sup> BOUZIANE Omar	M.A.A	Examinatrice
M <sup>me</sup> DJOUDAR Dahbia	M.C.B	Promotrice

MAI 2016

# *Dédicaces*

*Je dédie Ce Travail...*

✓ *À MES CHERS PARENTS*

*Je ne peux exprimer mon respect, mon amour  
et ma considération pour les sacrifice que vous avez consenti pour  
mon instruction et mon bien être.*

✓ *A MES CHERS FRERES*

*YACINE, YUCEF, YAZID, AGHILES.*

✓ *A TOUTE MA FAMILLE SANS EXCEPTION.*

✓ *À TOUTES LES PERSONNES QUI ONT  
PARTICIPÉ A L'ÉLABORATION DE CE TRAVAIL.*

✓ *À MES AMIS QUI M'ONT ACCOMPAGNE TOUS  
AU LONG DE MON PARCOURS*

*À TOUS CEUX QUE J'AI OUBLIE DE CITER*



# Remerciement

*Je remercie **mes parents** pour tout le soutien et l'amour qu'ils me portent depuis mon enfance et j'espère que leur bénédiction m'accompagne tous le long de mes expériences.*

*Mon Promotrice **Mme DJOUDAR DAHBIA** pour avoir contribué à l'élaboration de cette présente thèse. Je lui exprime mes vifs remerciements.*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce projet, ainsi que ceux qui ont bien voulu l'évaluer.*

*Je remercie tous les **enseignants de l'ENSH** pour m'avoir transmis leur savoir.*

*Je remercie encore tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de cette étude.*

*Merci à tous*



## ملخص :

ان إرتفاع عدد السكان وإزدياد النشاط الصناعي والفلاحي يعرقل بوتيرة متزايدة إجراءات الحفاظ على الثروات الطبيعية خاصة الموارد المائية التي تعتبر العامل الأساسي لأي تطور إقتصادي. هذه الموارد مهددة بالتلوث جراء نشاطات الإنسان خاصة في الدول التي تعتبر كمية المياه الصالحة للشرب بها محدودة كالجزائر.

الهدف من خلال هذه الدراسة هو تقييم أخطار تلوث المياه الجوفية لمنطة سيباو وحمائتها، ومن أجل ضمان ذلك تم الإعتماد على طريقة لرسم الخرائط تعتمد على تشفيرات رقمية لمختلف العوامل المؤثرة في النظام الهيدروجيولوجي والإستعانة بنظام المعلومات الجغرافي من أجل تنظيم وتوضيح المعطيات، هذا النظام يسمح لنا برقمنة الخرائط وجعلها قابلة للتحديث والتغيير والتطابق مع المعطيات الهيدروجيولوجيا الجديدة والأهداف المحددة.

### Resumé:

L'accroissement de la population et l'essor industriel et agricole entraînent des difficultés croissantes dans la sauvegarde du patrimoine naturel. En conséquence les ressources en eaux qui constituent un facteur primordial pour tout développement économique risquent d'être contaminées par les activités anthropiques. La situation est plus critique pour les pays à ressources en eaux potables limitées, comme le cas de l'Algérie.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la vulnérabilité et le risque de pollution des ressources en eaux souterraines des aquifères de la région du sébaou pour une meilleure protection de ces ressources. Pour mieux estimer la vulnérabilité à la pollution des eaux, l'utilisation d'une méthode de cartographie a été utilisé.

durant cette étude, Pour attester de la force des résultats obtenus par la méthode utilisée dite PRASTCHIM qui se présente sous forme de systèmes de cotation numérique basée sur la considération des différents facteurs influençant le système hydrogéologique, où une note et un poids sont affectés et variant à chaque paramètre utilisé. La recherche est par ailleurs optimisée par l'utilisation des Système d'Information Géographique (SIG), en matière d'organisation et de représentation modernes des données spatio-temporelles. Le SIG a permis de digitaliser les cartes afin de les rendre révisables, actualisables et adaptables en fonction des nouvelles conditions hydrogéologiques et des objectifs ciblés.

### Abstract :

The population, industrial and agricultural growth result in increasing difficulties in the safeguarding of natural resources. Therefore, water resources which are an essential factor for any economic development are risky to be contaminated by human activities. The situation is more

critical for countries with limited resources, drinking water, as in the case of Algeria. The objective of this study is to assess the vulnerability and the risk of pollution of water resources underground aquifers Sébaou region to better protection of these resources. To better estimate the vulnerability of water pollution, mapping method was used in this study to attest to the strength of the result obtained by using method called PRASTCHIM presented under the form of numerical quotation systems based on the consideration of the different factors influencing the hydrogeological system. These methods affect a note that varies at each used parameter and a weight. In addition this research optimized by the Geographical Information system (GIS), in terms of modern organization and representation of the space-time data. The GIS made possible to digitalize the maps in order to make them updatable, adaptable and revisable, according to the new hydrogeologic conditions and the targeted objectives.

## Sommaire :

### Chapitre I : présentation du B.V du Sébaou & Etude Géologique

Introduction .....	2
I. Présentation du bassin versant du Sébaou .....	2
I.1 Contexte Géographique .....	2
I.1.1. Situation générale .....	2
I.1.2.Le relief.....	3
I.1.3. La pente .....	5
I.1.4. Pédologie .....	6
II. Ressources en eau .....	7
II.1. ressources superficielles .....	7
II.1.1. Barrage de TAKSEBT .....	7
II.2.Les ressources souterraines .....	8
II.2.1. Oued Sébaou .....	8
III. Géologie du bassin versant.....	8
III.1. Cadre géologique régional .....	9
II.1.1. Les zones internes ou "Domaine Kabyle" .....	9
II.1.2.Domaine des Flyschs.....	12
II.1.3.Domaine externe .....	12
II.2.Cadre géologie local .....	12
II.2.1.La litho- stratigraphie .....	12
II.2.1.1.Le socle kabyle .....	13
II.2.1.2. La dorsale kabyle .....	13
II.2.1.3. L'oligo-miocène .....	13
II.2.1.4. L'unité Numidienne .....	14
II.2.1.5. Les flysch .....	16
II.2.1.6.L'unité tellienne de Dellys.....	20

II.2.1.7.L'Olistostrome (ou argiles à blocs).....	20
II.2.1.8.Les formations post-nappes .....	20
II.2.1.9.Les formations quaternaires .....	20
II.3. Evolution tectonique .....	21
II.3.1. Sismologie .....	22
Conclusion .....	24

## **Chapitre II :Présentation du milieu physique et synthèse géophysique**

Etude géomorphologique .....	25
Introduction .....	25
I.1. Les grands ensembles morphologiques .....	25
I.1.1. La chaine de Djurdjura .....	25
I.1-2.Le massif de Kabylie .....	25
I.1.3. Le synclinal de Tizi-Ouzou .....	26
I.2.Lithologie .....	27
I.3.Végétation .....	27
I.4.Réseau hydrographique .....	28
I.5.Les paramètres physiques et géomorphologiques du bassin versant .....	31
I.5.1.Paramètre géométriques .....	31
I.5.2.Les paramètres de relief .....	33
I.5.2.1.Courbe hypsométrique .....	33
I.5.2.2.Les altitudes .....	35
I.5.3.Les paramètres du relief .....	36
I.5.3.1.Indice de compacité de Gravelius .....	36
I.5.3.2.Rectangle équivalent .....	36
I.5.3.3.Indice de pente globale (Ig) .....	37
II. Exploitation des eaux du Sébaou .....	38
Aperçu géophysique .....	39
Introduction .....	39
III.1.Sondages électriques étalons et résistivités électriques des formations .....	41
III.2.Interprétation des principaux résultats .....	43

III.2.1.Coupes géo-électriques .....	43
III.2.2.Interprétation des cartes des résistivités apparentes (AB=1000m) .....	47
III.2.3.Interprétation des cartes des résistances transversale .....	49
III.3. Structure et géométrie de l'aquifère alluvial .....	51
Conclusion .....	51

### **Chapitre III : Etude Hydro-climatique**

Introduction .....	52
III.1.Analyse des paramètres climatiques .....	54
III.1.1.Les précipitations .....	54
III.1.1.1.Variation des précipitations .....	54
III.1.2.Température .....	58
III.1.2.1.Les données anciennes (1913-1938) .....	58
III.1.2.2.Les données récentes (1968-2005) .....	59
III.1.3.Régime climatique .....	60
III.1.3.1.L'humidité relative de l'air .....	61
III.1.3.2. Le vent .....	62
III.1.3.3.Sirocco .....	62
III.1.4.Etude de l'évapotranspiration .....	63
III.1.4.1.Calcul de l'évapotranspiration réelle .....	63
III.1.4.2 : calcul de l'évapotranspiration réelle .....	64
III.2.Hydrologie de surface .....	67
III.2.1.Stations et données hydrométriques .....	67
III.2.2.Estimation des ressources en eau de surface .....	67
III-2-3.Régime des apports .....	68

III-2-3-1.Régime mensuel des apports .....	68
III.2.3.2 Relation entre les précipitations et les débits évacués .....	69
III-2-4.Détermination de la lame d'eau ruisselée(R) .....	70
III-2-4-1.Méthode de Tixeront-Berkaloff .....	70
III-2-4-2.Méthode de l'hydro-gramme .....	70
III-2-5.Le bilan hydrologique .....	73
Conclusion .....	74

## Chapitre IV : Etude Hydrochimique

Introduction .....	75
IV.1 Caractéristiques physico-chimiques .....	75
IV.1.1.La conductivité .....	77
IV.1.2. Degré hydrométrique total des eaux DHT(dureté) .....	79
IV.1.3.PH mesuré et PH d'équilibre(le potentielle d'hydrogène) .....	79
IV.1.4.Le Résidu sec .....	80
IV.2.Classification des eaux .....	82
IV.2.1. Classification d'après la formule caractéristique de Stabler.....	82
IV.2.1.1 Formule caractéristique ionique de STABLER .....	83
IV.2.2. représentation graphique des analyses et classification chimique des eaux.....	83
IV.3.Interprétation des cartes hydrochimiques .....	85
IV.3.1. Carte d'isoteneurs en bicarbonates .....	85
IV.3.2.Cartes d'isoteneurs en chlorures .....	86
IV.3.3.Cartes d'isoteneurs en calcium .....	86
IV.3.4.Cartes d'isoteneurs en magnésium .....	86
IV.3.5.Cartes d'isoteneurs en sodium Na .....	86
IV.3.6.Carte d'isoteneurs en Nitrate $NO_3$ .....	86

IV.3.7. Carte d'équirapport $\frac{rCl^-}{rHCO_3^- + rCO_3^{2-}}$ .....	87
IV.3.8. Détermination des principaux faciès hydro chimiques .....	95
IV.3.8.1. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF .....	95
IV.3.8.2. Diagramme de Piper .....	97
IV.3.9. Carte des faciès chimiques .....	99
IV.3.10. Aptitude des eaux à l'irrigation .....	99
Conclusion .....	102

## **Chapitre V : Pollution et protection de la nappe alluviale du Sébaou**

Introduction .....	103
GENERALITES.....	103
I.1. La pollution chimique .....	103
I.2. La pollution microbiologique .....	104
I.3. La pollution physique .....	104
II. Origines de la pollution de l'oued Sébaou .....	105
II. 1. Les rejets domestiques .....	105
II .2. Les unités industrielles.....	106
II.3. les huileries .....	107
II.4. les stations de service-lavage-graissage.....	107
II.5. les décharges publiques .....	107
II.6. Abattoirs et tueries .....	107
II.7. Les déchets hospitaliers .....	108
II.8. Les sablières .....	108
III. Les paramètres bactériologiques .....	109

III.1. La pollution par les métaux .....	110
III.1.1. Les rejets des unités industrielles.....	110
III.2. Les eaux de l’oued Sébaou .....	110
IV. La protection des eaux souterraines .....	111
IV.1.Principes .....	111
IV.2. Les enjeux associés à la protection des eaux souterraines .....	111
IV.3. La protection de l’eau .....	112
V. Risques de contamination des eaux souterraines .....	112
V.1.Aspects qualitatifs .....	113
V.2.Aspects quantitatifs .....	114
V.3.Périmètres, secteurs et zones de protection des eaux souterraines .....	115
V.3.1. Périmètres .....	115
V.3.2. Secteurs .....	115
V.3.3 Zones de protection .....	115
V.3.4.Le Concept de base de protection des eaux souterraines en Algérie .....	117
Conclusion.....	118

## **Chapitre VI : Etude Hydrodynamique**

Introduction.....	119
VI.1.Etude piézométrique .....	119
VI.1-1.Inventaire des points d’eau .....	119
VI.1.2.Caractéristiques des points d’eaux .....	119
VI.1.3. Interprétation des cartes piézométriques.....	120
VI.1.4.Fluctuation piézométrique .....	123
VI.1.5. La recharge de la nappe .....	124
VI.2.Caractéristiques hydrodynamiques.....	125

VI.2.1.Définition .....	125
VI.2.2.Les essais de pompage réalisés.....	126
VI.2.5. Tableau des résultats .....	127
VI.2.6.Discution des résultats .....	128
Conclusion à l'étude hydrodynamique .....	128

## **Chapitre VII : Etude et application de la méthode de vulnérabilité PRASTCHIM**

Introduction.....	130
I.Concept de la vulnérabilité .....	130
I.1.Origine de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines .....	130
I.2.Définition de la vulnérabilité .....	130
I.3.Effect de la pollution sur l'étude de vulnérabilité .....	132
I.3.1.la vulnérabilité d'une nappe .....	132
II. Critères de vulnérabilité .....	133
II.1.Critères relatifs au sol .....	133
II.2.Critères relatifs à la zone non saturée .....	133
II.3.Critères communs à la zone non saturée et à la zone saturée.....	134
III. Définition des méthodes de vulnérabilité .....	135
III.1.Méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines.....	135
III.2.Description et comparaison des principaux méthodes.....	136
IV. Approche de la vulnérabilité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou par la méthode PRASTCHIM .....	137
IV.1.Application du modèle PRAST .....	138

IV.1.1 Acquisition des données.....	138
IV.1 .2 Résultats et interprétation des cartes paramétriques.....	138
IV.1.3 Pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée (ZNS) .....	139
VI.1.4.Carte de recharge de la nappe (R).....	143
VI.1.5.Carte du paramètre « A » zone saturée.....	143
VI.1.6.Carte du paramètre « S » nature du sol .....	146
VI.1.7.Carte du paramètre « T » topographie.....	146
VI.1.8.Indice de vulnérabilité PRAST.....	149
V. Cartographie de l'indice de la sensibilité à la pollution des eaux PRASTCHIM .....	151
V.1.Interprétation de la carte de l'indice de sensibilité PRASTCHIM des eaux destinées à l'alimentation en eau potable.....	151
V.2.Interprétation de la carte de l'indice de sensibilité PRASTCHIM des eaux destinées à D'irrigation.....	151
V.3. Discussion des résultats.....	154
Conclusion .....	154

## **Liste des Tableaux :**

### **Chapitre I : présentation du B.V du Sébaou & Etude Géologique**

Tableau I.1 : Répartition des pentes dans la vallée du Sébaou.....	5
Tableau I.2 : Tableau des caractéristiques générales du barrage de TAKSEBT.....	8

### **Chapitre II :Présentation du milieu physique et synthèse géophysique**

Tableau II.1 : Répartition des superficies par sous bassin (Source : ANRH).....	31
Tableau II.2 : Tableau des altitudes moyennes du bassin versant du Sébaou.....	34
Tableau II.3 : Tableau des altitudes caractéristiques du bassin versant du Sébaou.....	35
Tableau II.4 : Tableau des paramètres de forme du bassin du Sébaou.....	36
Tableau II.5 : Tableau des valeurs des paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou (source ANRH Tizi-Ouzou).....	37
Tableau II.6 : Echelle des résistivités.....	41

### **Chapitre III : Etude Hydro-climatique**

Tableau III.1 : caractéristiques des stations pluviométriques utilisées.....	52
Tableau III.2 : précipitations moyennes annuelles 1980-2010 .....	56
Tableau III.3 : Précipitation moyennes mensuelles des stations pluviométriques 1980-2010...57	
Tableau III.4 : Températures moyennes mensuelles (1913/1938) (Source : P.Selzer).....	59
Tableau III.5 : Températures moyennes mensuelles de la station d'AZAZGA (1968-2005)...60	
Tableau III-6 : Valeur de l'indice de Marthone (station AZAZGA : 1968-2005).....	61
Tableau III.7 : Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-1994).....	61
Tableau III.8 : Moyenne mensuelles des vitesses du vent. ....	62
Tableau III.9 : Nombre moyen de jours de sirocco à la station de Tizi-Ouzou .....	62
Tableau III-10 : valeur de l'ETP d'après la méthode de THORNTHWAITE (1913/1938)...64	

Tableau III-11 : Résultats de l'ETR obtenus par les trois méthodes.....	66
Tableau III.12 : caractéristiques des différentes stations hydrométriques.....	67
Tableau III.13 : Débits moyens mensuels des stations de Baghlia et de Belloua.....	68
Tableau III.14 : Corrélation précipitation/Débits évacués à la station Baghlia.....	69
Tableau III.15 Les valeurs de Ruissellement et l'infiltration.....	73

#### **Chapitre IV : Etude hydrochimique**

Tableau IV.1 :duretés des eaux de la nappe alluviale du Sébaou.....	79
Tableau IV.2 : classification des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015) .....	82
Tableau IV.3: Répartition des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Sébaou (d'après Schoeller-Berkaloff).....	84

#### **Chapitre V : Pollution et protection de la nappe alluviale du Sébaou**

Tableau V.1 : unités industrielles polluantes de la wilaya de Tizi-Ouzou (Source Agence des bassins versant, 2006).....	106
Tableau V.2 : Nombre d'huileries au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou (Source, agence des bassins versants, 2006).....	107
Tableau V.3 : Sites et charges polluantes au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou (Source, agence des bassins versants, 2006).....	108
Tableau V.4 : Etablissements de santé de la wilaya de Tizi-Ouzou-Charge polluante (Source, agence des bassins versants, 2006).....	108

Tableau V.5 : Principales sablières du haut Sébaou (Source, agence des bassins versants, 2006).....	108
Tableau V.6 : résultat des analyses bactériologiques (Source, agence des bassins versants, 2006).....	109
Tableau V.7 : Résultats d’analyses de rejets d’unités industrielles (Source, agence des bassins versants, 2006).....	110
Tableau V.8 : Valeurs limites maximales des paramètres de rejets d’unités industrielles....	110
Tableau V.9 : Concentrations des métaux lourds) (période de hautes eaux) (Années, 2000) (Mellal.N, 2001).....	110
Tableau V.10 : Concentration en métaux lourds (Périodes basses eaux) (Années ,1999) (Mellal.N, 2001).....	111

## **Chapitre VI : Etude Hydrodynamique**

Tableau VI.1 : les mesures piézométriques effectuées dans la plaine alluviale du haut Sébaou.....	119
Tableau VI.2 : Coordonnées des forages et piézomètres (BETA-CONSULT/ANRH).....	126
Tableau VI.3 : Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques du haut Sébaou (BETA-CONSULTS/ANRH).....	127
Tableau VI.4 : Influence des précipitations sur les fluctuations piézométriques (Source : ANRH Tizi-Ouzou).....	128

## **Chapitre VII : Etude et application de la méthode de vulnérabilité PRASTCHIM**

Tableau VII.1 : critères de vulnérabilité.....	135
Tableau VII.2: Principales sources d’informations utilisées.....	138
Tableau VII.3 : Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (sol+zone non saturée) (selon REHSE, 1977).....	139
Tableau VII.4 : Pouvoir épurateur du sol dans l’aquifère (REHZE, 1977).....	140

## Liste des Figures

### Chapitre I : présentation du B.V du Sébaou & Etude Géologique

Figure I.1 : Situation géographique du bassin versant du Sébaou .....	3
Figure I.2 : Carte des reliefs et altitudes du bassin versant de la vallée du Sébaou .....	4
Figure I.3 : Carte des pentes du bassin versant du Sébaou .....	5
Figure I.4 : Carte des perméabilités du bassin versant du Sébaou (d'après la lithologie de la carte de Flandrin. J.P, 1951-1952) (source : Boumaza.N) (Djemai .M,modifiée).....	6
Figure I.5 : Carte de Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpin périméditerranéen (D'après M.Durand Delga, 1969) .....	10
Figure I.6 : Carte des grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M.Durand Delga, 1969) .....	11
Figure I.7 : Carte schématique interprétative de la dorsale de la Grande Kabylie (J P Gélard, 1979).....	15
Figure I.8 : Schéma des colonnes litho- stratigraphiques synthétiques de la dorsale kabyle (J.P.Gélard) .....	18
Figure I.9 : Principales structures «post-nappes » de la zone Nord-Ouest de la grande Kabylie (D.Raymond, 1976) .....	19
Figure I.10 : Interprétation schématique du principal linéament affectant la Grande Kabylie d'après l'image satellite Landsat I (J.P.Gélard .1979) .....	23

### Chapitre II :Présentation du milieu physique et synthèse géophysique

Figure II.1 : carte d'unité morpho structurale (source : ANRH Blida).....	27
Figure II.2 : Carte du Réseau hydrographique du bassin du Sébaou (Source : ANRH).....	30
Figure II.3 : Carte des sous bassins versant du Sébaou est ce que a vous cette carte (source : ANRH TIZI-OUZOU) .....	32
Figure II.4 : courbe hypsométrique du bassin versant du Sébaou .....	35
Figure II.5 : Situation des zones d'étude dans la vallée du Sébaou C.G.G (1964) .....	40
Figure II.6 :S.E Etalon AB-4A, Oumzizou1 et 3(Zone VII) Courbe de type HQ.....	42
Figure II.7 :S.E Etalon A2, Forage de Fréha (Zone VIII) Courbe de type HQ .....	42

Figure II.8 : carte de situation des coupes géo-électriques dans le Bassin versant du Sébaou (C.G.G ,1964).....	44
Figure II.9 : Coupes géo-électriques suivant les profils de S.E d'après (C.G.G, 1964).....	45
Figure II.10 : Coupes géo-électriques suivant les profils de S.E d'après (C.G.G, 1964).....	46
Figure II.11 : Carte des résistivités apparentes en ligne d'émission AB=1000m Zone VII : Fréha – Djamaa Tizra (Source: CGG).....	48
Figure II.12 : cartes des résistances transversales. Zone I: Takdempt-Oumzizou (C.G.G1964) .....	50

### **Chapitre III : Etude Hydro-climatique**

Figure III.1 : répartition des stations pluviométriques et hydrométriques dans le bassin versant du Sébaou.....	53
Figure III.2 : évaluation des précipitations annuelles au niveau de la station d'AZAZGA (1980-2010).....	55
Figure III.3 : Précipitations moyennes annuelles (1980-2010) .....	56
Figure III.4 : évaluation des précipitations moyenne mensuelles à la station d'AZAZGA (1980-2010) .....	57
Figure III.5 : précipitations moyennes mensuelles des stations pluviométriques (1980/2010).....	58
Figure III.6 : Comparaison des séries anciennes (1913-1938) et récentes (1968-2005) des températures à la station d'AZAZGA.....	60
Figure III.7 : Abaque de Wundt modifié par Coutagne.....	66
Figure III.8 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de BAGHLIA (1986/1999).....	68
Figure III.9 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de BELLOUA (1986/1999).....	69
Figure III.10 : corrélation précipitations- Débits évacués à la station de Baghlia .....	70
Figure III-11 : Hydro-gramme de crue de la station de BAGHLIA.....	71

Figure III-12 : Courbe de séparation des écoulements à la station de Baghlia.....	72
Figure III-13 : Hydro-gramme de crue de la station de Belloua.....	72
Figure III-14 : Courbe de séparation des écoulements à la station de Belloua.....	73

## Chapitre IV : Etude Hydrochimique

Figure IV.1 : Inventaire des points de prélèvement Haut sébaou (2010-2015).....	76
Figure IV.2 : Carte de conductivité électrique CE des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015).....	78
Figure IV.3 : Carte de résidu sec des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015).....	81
Figure IV.4: Carte d'isoteneurs en bicarbonates des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015) .....	88
Figure IV.5 : Carte d'isoteneurs en chlorures des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015) .....	89
Figure IV.6: Carte d'isoteneur en calcium des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015).....	90
Figure IV.7: Carte d'isoteneur en Magnésium des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015) .....	91
Figure IV.8: Carte d'isoteneur en Sodium des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015).....	92
Figure IV.9: Carte d'isoteneur en Nitrates des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015).....	93
Figure IV.10: Carte d'équirapport ( $Cl^- / (HCO_3^- + CO_3^{2-})$ ) des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015).....	94
Figure IV.11 : Diagrammes de Schoëller-Berkaloff pour la nappe alluviale du sebaou (Haut Sébaou 2010-2015).....	96

Figure IV.12 :Diagramme de Piper de la nappe alluviale du sebaou (Haut Sébaou 2010-2015 ).....	98
Figure IV-13 :Carte d'isofaciés des eaux souterraine de la vallée du Haut Sébaou 2010-2015.....	100
Figure IV-14 :Carte d'iso-SAR des eaux souterraines de la plaine alluviale du Haut Sébaou 2010-2015.....	101

### **Chapitre V : Pollution et protection de la nappe alluviale du Sébaou**

Figure V.1 : Cycle de l'eau, (OFEFP, 2004).....	104
Figure V.2 : Profil du sol (OFEFP, 2004).....	105
Figure V.3 : Découpage administratif en dairates de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	106
Figure V.4 : Localisation des points de prélèvement (analyses bactériologiques) et des unités industrielle (A : ENEL, B : ORAC, C : ENATB, D : ENIEM) source : (Eaux Souterraines, Mellal : 2001).....	109
Figure V.5 : localisation des Stations de prélèvement (Eaux Souterraines, Mellal : 2001).....	111
Figure V.6 : Objectifs de la protection des eaux souterraines (OFEFP, 2004).....	113
Figure V.7 : Schéma illustrant les différents zones de protection de l'aquifère (OFEFP, 2004).....	115

### **Chapitre VI : Etude Hydrodynamique**

Figure VI.1:Carte piézométrique (Haut Sébaou ,hautes eaux 2004) (Source : ANRH Tizi-ouzou).....	120
Figure VI.2 :Carte piézométrique (Haut Sébaou ,Basses eaux 2004) (source : ANRH Tizi-ouzou)...	121
Figure VI.3 :Carte piézométrique (Haut Sébaou ,Avril2006) (Source : ANRH Tizi-ouzou).....	121
Figure VI.4 :Carte piézométrique des haute eaux (Haut Sébaou ,2009).....	122
Figure VI.5 :Carte piézométrique des basse eaux (haut Sébaou ,2009).....	122
Figure VI.6:Evolution des niveaux statiques à Tamda (Source : ANRH T.O).....	123
Figure VI.7 :Evolution des niveaux statiques au puit P52 (Tala Toulmout) .....	124
Figure N°VI-6 : Influence des précipitations sur les fluctuations piézométriques.....	129

## Chapitre VII : Etude et application de la méthode de vulnérabilité PRASTCHIM

Figure VII.1 : Définition de la zone non saturée (Source : Hydrogéologie, G.Castany, 2000).....	131
Figure VII.2 : Shéma de la contamination des eaux souterraine (Source : Mina AMHARREFF, Abdesamed BERNOUSSI Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines) .....	132
Figure VII.3 : Carte paramétrique du pouvoir épurateur du sol et de la ZNS de la nappe alluviale du haut Sébaou.....	142
Figure VII.4: Carte paramétrique (R) de la recharge de la nappe alluviale du haut Sébaou.....	144
Figure VII.5: Carte paramétrique « A » zone saturée de la nappe alluviale du haut Sébaou .....	145
Figure VII.6: Carte paramétrique « S » nature du sol de la plaine du Sébaou.....	147
Figure VII.7 : Carte paramétrique (T) pente topographique de la nappe alluviale du Sébaou.....	148
Figure VII.8 : Carte de la vulnérabilité « PRAST » de la nappe alluviale du Sébaou.....	150
Figure VII.9 : Carte de sensibilité PRASTCHIM des eaux destinées à l'alimentation en eau potable de la nappe alluviale du Sébaou.....	152
Figure VII.10: Carte de l'indice de sensibilité PRASTCHIM pour les eaux d'irrigation de la nappe alluviale du Sébaou.....	153



## Introduction général

Les eaux souterraines représentent une importante ressource exploitée pour la consommation humaine et pour l'utilisation dans les domaines agricoles et industriels. Ces eaux sont souvent exposées à la contamination par des polluants de différente nature: biologique: les bactéries, virus., chimique et organiques (chlorures, nitrates, métaux lourds pesticides, solvants divers) ou physique : radioactivité, à travers le sol jusqu'à la zone non saturée. Comme dans la plupart des pays du monde, l'Algérie vit une crise sévère de son environnement en dépit du problème du tarissement de la ressource en eaux. La région du Sébaou a connu ces dernières décennies un développement industriel et agricole important qui peut induire une contamination des sols et de l'air et une dégradation de la qualité des eaux des oueds et des nappes .A cet égard la prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante à laquelle les scientifiques consentent un effort considerable, notamment en étudiant la vulnérabilité et le risque de pollution des eaux des nappes d'eau souterraines.

C'est dans ce contexte que rentre l'objectif de notre travail qui est l'évaluation de la vulnérabilité et le risque de pollution des eaux de l'aquifère du Haut Sébaou, qui est caractérisée par une activité agricole et industrielle considérable, conjuguée à la demande croissante en eau potable.Cet aquifère a fait l'objet de différentes approches de la vulnérabilité des eaux souterraines à savoir la méthode DRASTIC et DRASTIC modifiée ou DRIST par Djoudar et Toubal,2010.

Dans notre travail on a adopté la méthode PRASTCHIM proposée par Djoudar et Toubal en 2011.Un nouveau modèle d'approche de la vulnérabilité, il est mieux adapté aux conditions hydrogéologiques locales ,il s'agit de la combinaison du modèle PRAST avec la qualité chimique de l'eau souterraine.Les résultats obtenus nous ont permis de proposer l'optimisation de la gestion de la ressource et de faire des recommandations .

**Chapitre I :**  
**présentation du B.V du**  
**Sébaou & Etude**  
**Géologique**

## LE BASSIN VERSANT DUSEBAOU

### Introduction :

La Wilaya de Tizi-Ouzou qui présente un relief montagneux fortement accidenté s'étale sur une superficie de 2994 Km<sup>2</sup> avec une population d'environ 1 200 000 habitants, soit une densité de 400 habitants / km<sup>2</sup>.

Le réseau hydrographique renferme deux (02) grands bassins versants à savoir le bassin de l'Oued Sébaou et le bassin côtier .La pluviométrie moyenne de l'année en cours de la Wilaya a atteint 800 mm. La principale ressource en eau potable de la Wilaya est soutirée à partir de :

- ✓ Nappe alluviale de l'Oued Sébaou : 28 %.
- ✓ Ressources superficielles (barrages) : 67 %
- ✓ Sources superficielles, prise d'eau : 4,6 %
- ✓ Dessalement : 0,4 %

### I. Présentation du bassin versant du Sébaou :

#### I.1 Contexte Géographique :

##### I.1.1. Situation générale :

Le bassin versant du Sébaou d'une superficie de 2500 km<sup>2</sup>, fait partie des Monts du Djurdjura, il est situé au Nord de l'Algérie dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Le bassin versant du Sébaou, en l'occurrence la plaine alluviale qui s'y rattache se situe à une centaine de kilomètres d'Alger selon la direction Est-Sud-Est. Elle occupe le synclinal miocène de Tizi-Ouzou limité au sud par la chaîne du Djurdjura, à l'Est par les massifs d'Akfadou et Beni Ghobri, au Nord par la chaîne côtière, à l'Ouest par les reliefs du bassin versant du moyen Sébaou .(Wikipedia)

La zone d'étude constitue la partie amont de l'oued longeant le bassin versant de la vallée du Sébaou limitée par les latitudes et les longitudes suivantes :

Latitudes : 36° 54' 46" Nord ; Longitudes : 3° 51' 25" East.

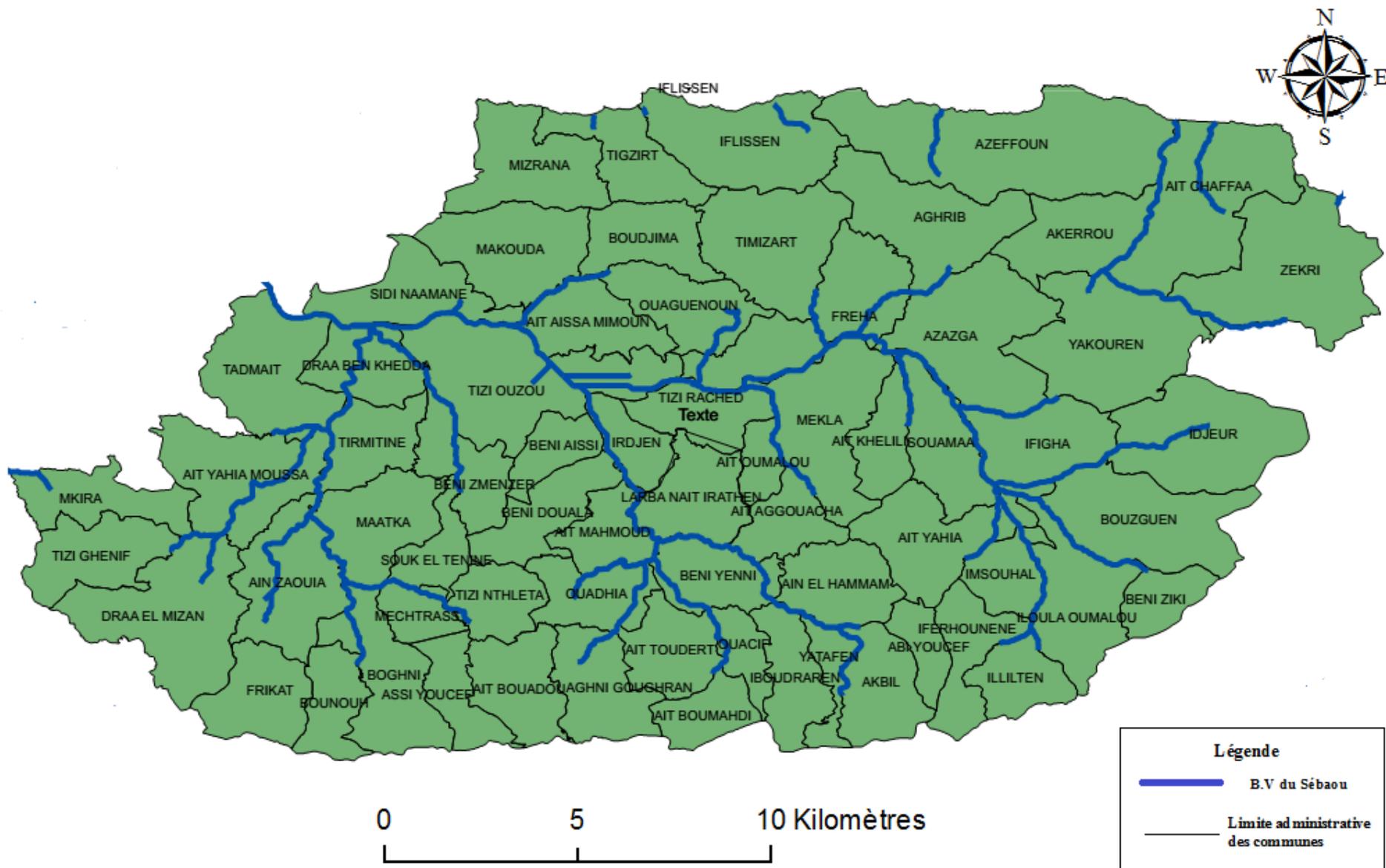


Figure I.1 : Situation géographique du bassin versant du Sébaou

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

**I.1.2.Le relief :**

De forme allongée avec un indice de compacité de Gravelius  $K_g = 1,4$  sa superficie est de 1432 km<sup>2</sup>. La vallée du Sébaou est se distingue par un relief accidenté à 90% de sa superficie globale et est caractérisée par de fortes pentes et des altitudes moyennes entre 180 et 1400 m avec un point culminant à 1425 m dans les montagnes de Djurdjura.

L'incidence du relief sur les caractéristiques hydrologiques est considérable. La durée d'imprégnation du sol par les eaux et les possibilités d'infiltration étant d'autant moins élevée que la pente est plus forte. En outre la plus part des facteurs météorologiques sont liés à l'altitude tels les précipitations qui varient en fonction de l'altitude.

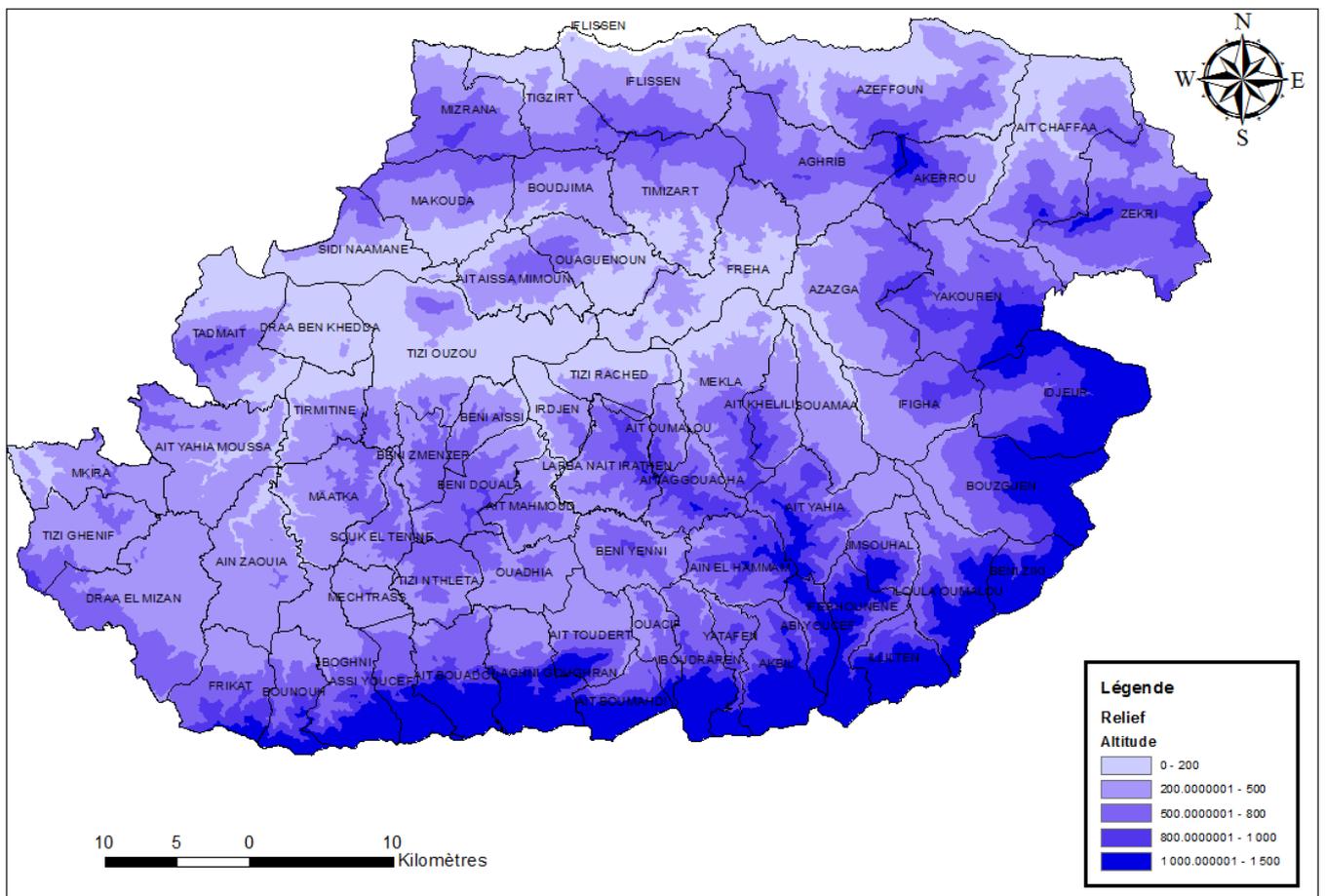


Figure I.2 : Carte des reliefs et altitudes du bassin versant de la vallée du Sébaou

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

**I.1.3. La pente :**

L'étude des pentes est très importante pour la détermination de l'aptitude des terrains au ruissellement et à l'infiltration. Ce facteur est présent dans la majorité des méthodes de cartographie.

La pente du secteur d'étude présente une diminution importante lorsqu'on se déplace du Sud vers le Nord. Ceci favorise le ruissèlement et par conséquent a une influence directe sur la couverture pédologique par l'effet de l'érosion.

Elle conditionne l'action du lessivage par les eaux de surface de tout ce qu'elles peuvent charrier lorsqu'elles s'écoulent.

Ensembles physiques	Pente (en %)	Pourcentage par rapport à la superficie totale de la Wilaya
Plaines	0 à 3	6,24
Bas piémonts	3 à 12,5	10,50
Hauts piémonts	12,5 à 25	31,42
Très hautes montagnes	25	51,84
Total		100

Tableau I.1 : Répartition des pentes dans la vallée du Sébaou

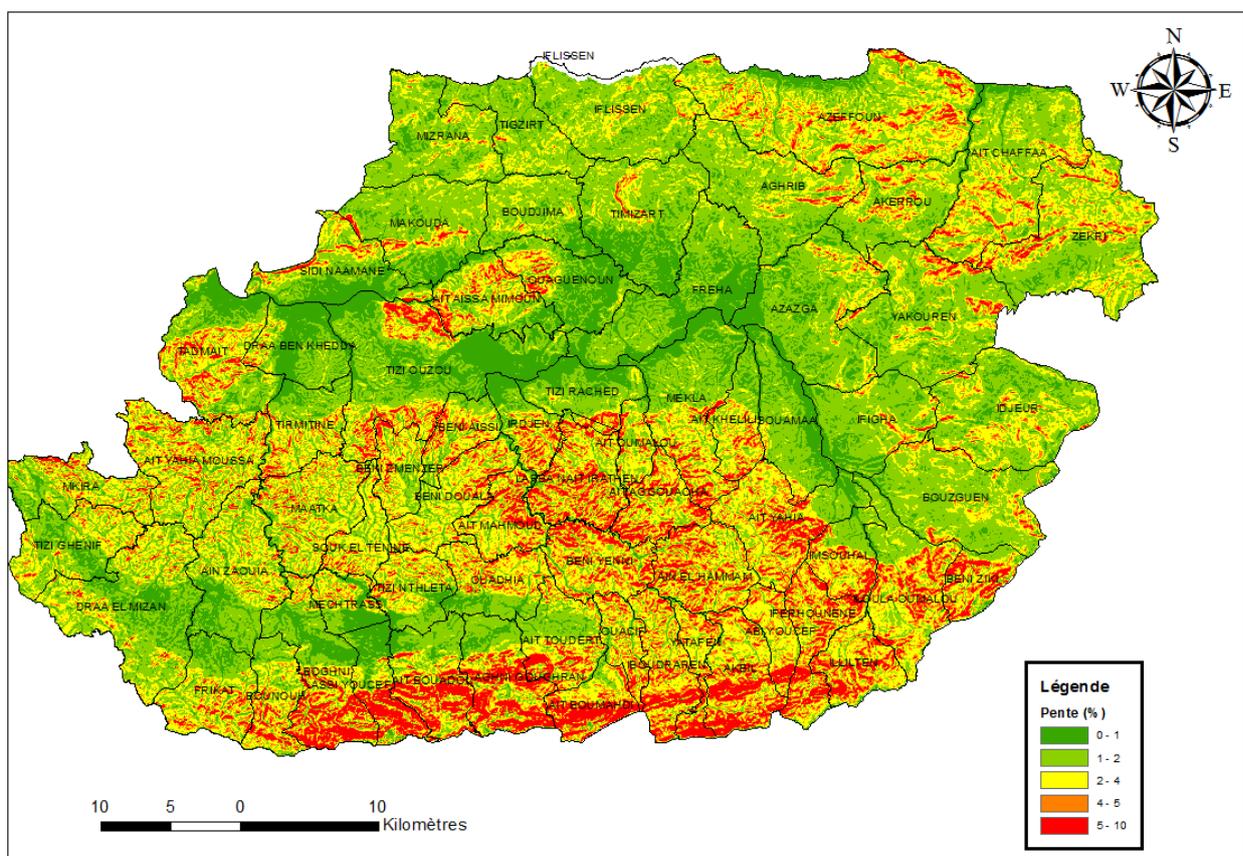


Figure I.3 : Carte des pentes du bassin versant du Sébaou

**I.1.4. Pédologie :**

Le sol est l'élément principal de l'environnement et règle la répartition de la végétation, il se développe en fonction de la nature de la roche-mère, la topographie et les caractéristiques du climat, selon BENCHETRIT en 1972, précise que « quand le climat devient plus sec et les conditions de semi-aridité règnent, la pluviosité n'est pas assez forte pour modifier le complexe absorbant des profils des sols». Cette stabilité n'est que potentielle due en partie aux facteurs bioclimatiques ; l'intervention anthropique modifie les sols et les rend instables à cause de l'érosion qui suit la dénudation.

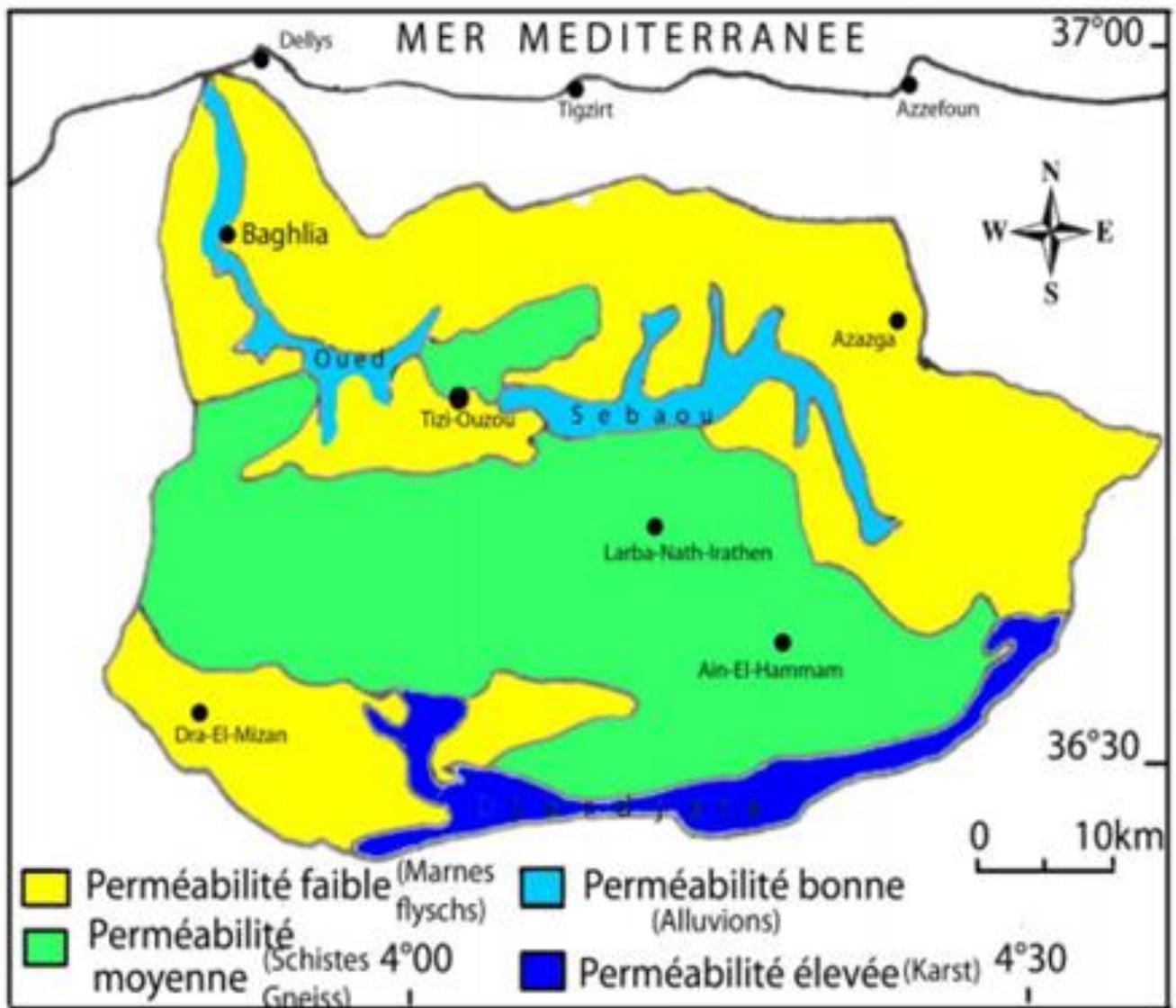


Figure I.4 : Carte des perméabilités du bassin versant du Sébaou (d'après la lithologie de la carte de Flandrin. J.P, 1951-1952) (source : Boumaza.N) (Djemai .M,modifiée).

Aussi, il faut noter que «les sols restent presque toujours dans les conditions climatiques méditerranéennes, sous la dépendance de la roche-mère qui leur a donné naissance en raison de leur impuissance à modifier radicalement le substratum géologique.

## II. Ressources en eau :

### II.1. ressources superficielles :

#### II.1.1. Barrage de TAKSEBT :

Le barrage de Taksebt qui s'étend sur une surface de 550 ha, se trouve à 10 km à l'est de la ville de Tizi-Ouzou. Il a nécessité un investissement de 540 millions d'euros et a été officiellement mis en service le 5 juillet 2007. Il est alimenté par les eaux de pluie, de la fonte du manteau neigeux du Djurdjura et des eaux usées du grand bassin collecteur. Il comprend une station de traitement, une station de pompage, des tunnels dont une canalisation de 95 km pour permettre le transfert de 150 millions de mètres cube par an.

Situé dans la région à forte pluviométrie, ce barrage est une aubaine pour des millions de gens. Il est aussi un extraordinaire écosystème déjà perceptible, qui peut changer significativement la région. Ses fonctions biologiques confèrent déjà à cette zone humide potentielle (non classée) une capacité à produire et à nourrir de la matière vivante et devenir un réservoir de la biodiversité. Le barrage est doté d'une capacité de stockage de 175 millions de mètres cubes et il alimente la wilaya de Tizi-Ouzou à raison de 20 000 m<sup>3</sup> par jour, ce barrage alimente également les wilayas d'Alger, de Blida et de Boumerdes.

caractéristiques	Unité	quantité
Hauteur de la digue	M	76
Longueur de la digue	M	515
Capacité de stockage	Mm3	175
Volume régularisé	Mm3	180
Altitude		71,50
Superficie	Ha	550
Capacité de la station de traitement	m3/j	650.000
Réservoir d'eau traitée à la sortie	m3	37800
Transfert annuel moyen	hm3/an	173

Volume du réservoir	m <sup>3</sup>	180
Vocation		Eau potable
Type		contrefort
Hauteur du barrage (lit de rivière)	M	82
Surface du réservoir	Ha	550
Date de mise en service		2007
Bassin(s) irrigué(s):		Tizi-Ouzou, Boumerdès, Alger et Blida
Coordonnées		36° 24' 15" Nord 4° 45' 46" Est
Cours d'eau		Tasift n Taxuxt et Asif n'Ait Aissi

Tableau I.2 : Tableau des caractéristiques générales du barrage de TAKSEBT

## II.2. Les ressources souterraines :

**II.2.1. Oued Sébaou :** La vallée du haut Sébaou dans la wilaya de TIZI-OUZOU, de par son contexte géographique, renferme un potentiel hydrique non négligeable en eaux souterraine, la région est alimentée à 36% par la nappe alluviale de l'Oued Sébaou ces eaux souterraines, quant à elles, sont contenues dans les formations alluvionnaires et ont pour origine l'infiltration de l'impluvium et le ruissellement à partir des versants et des oued qui affluent vers le Sébaou.

## III. Géologie du bassin versant :

L'étude géologique joue un rôle fondamental pour le choix d'une méthodologie de cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. Le bassin versant du Sébaou a été étudié par plusieurs auteurs afin d'établir une description géologique détaillée de la région, ainsi que des tracés de cartes et de coupes géologiques représentant toutes les

formations qui affleurent à la surface du sol et identifiant tous les horizons aquifères.

(Source: « DJEMAI MOHAMMED ET MESBAH MOHAMED: ressource en eau de la plaine alluviale du haut Sébaou: impact de l'urbanisation, l'industrie et l'agriculture sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de surface et souterraines (grande Kabylie, Algérie) »)

### **III.1. Cadre géologique régional :**

La vallée de l'oued Sébaou est située au nord de la grande Kabylie .Elle correspond à un bassin miocène occupant la grande zone synclinale qui s'étend principalement d'Azzazga à Dellys et fait partie de la chaîne des Maghrébides résultant des cycles orogéniques (mécanismes de formation des montagnes) hercyniens et alpins (Figure I.5).

Selon la structure, on distingue trois ensembles géologiques représentés par :

- Les zones internes ou " Domaine kabyle" ;
- La zone des flysch ;
- Les zones externes ou "Telliennes" ;

#### **II.1.1. Les zones internes ou "Domaine Kabyle" :**

Le socle cristallophyllien kabyle fortement métamorphisé d'âge Précambrien, sa couverture sédimentaire paléozoïque peu ou pas métamorphisée.

Le socle kabyle essentiellement carbonaté et intensément écaillé sous la poussée et par fois le chevauchement du cristallophyllien plus interne.

- Le socle kabyle d'âge paléozoïque ou même plus ancien, est constitué de formations cristallophylliennes. Ces terrains sont représentés par des gneiss, des micaschistes, des schistes, des amphibolites et des granulites.
- La couverture sédimentaire paléozoïque est discordante sur le socle, elle correspond à une formation essentiellement grésopélitiques à intercalations carbonatées regroupant des séries allant du cambrien supérieur au carbonifère moyen.

La dorsale kabyle ou chaîne calcaire (Glangeaud, 1932) est discordante sur le socle kabyle, représentant sa couverture .elle comprend des faciès argilo-gréseux d'âges triasique, des calcaires et marono-calcaire jurassique et des niveaux détritiques éocènes.

- Quant à l'oligo-miocène Kabyle, il correspond à une mollasse résultant de l'érosion des reliefs après l'orogénèse éocène. Elle est discordante sur les écaillés de la dorsale ou sur le socle kabyle (Figure I.5).

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

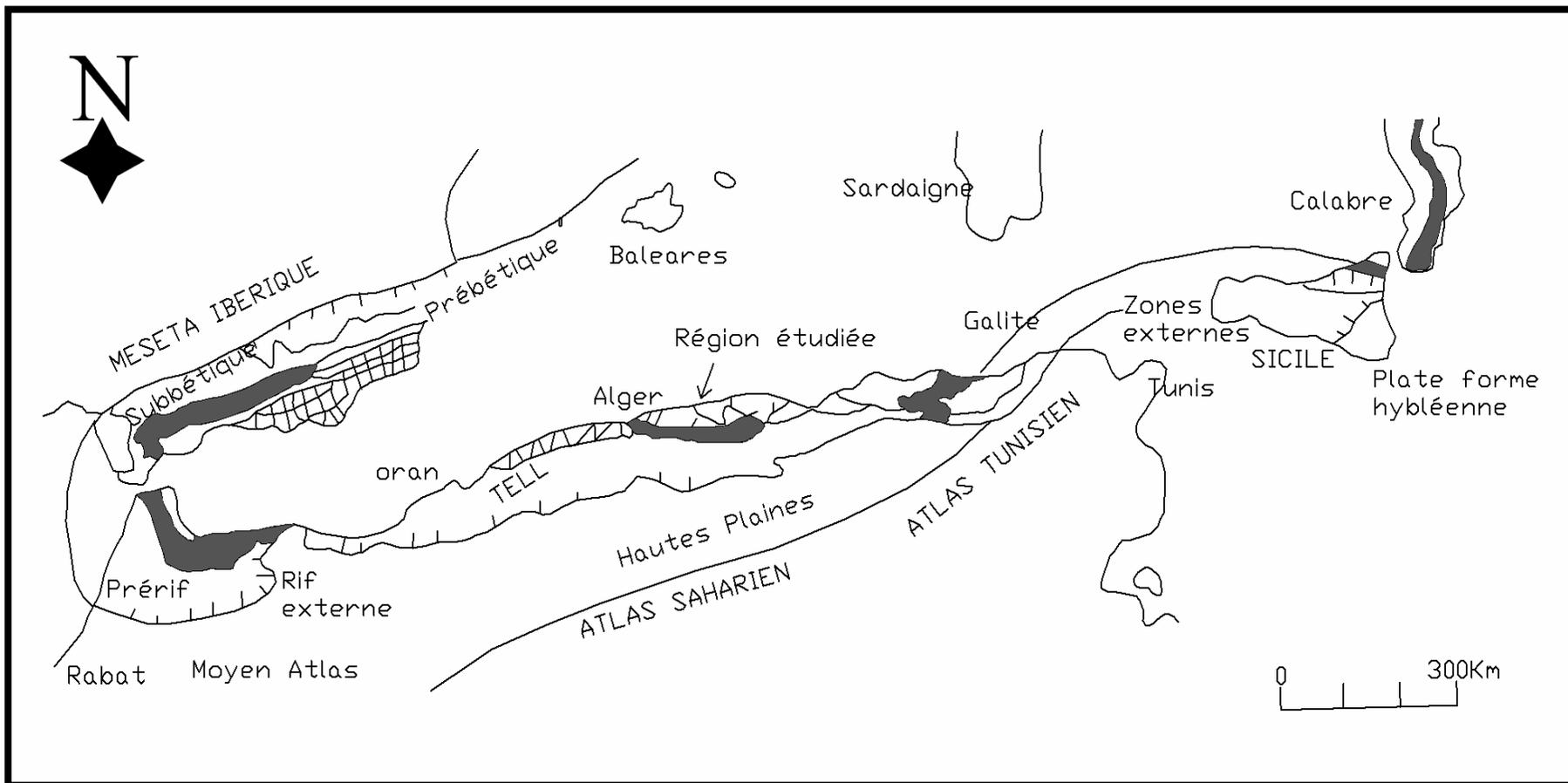


Figure I.5 : Carte de Situation de la zone étudiée dans l’orogène alpin périméditerranéen (D’après M.Durand Delga, 1969)

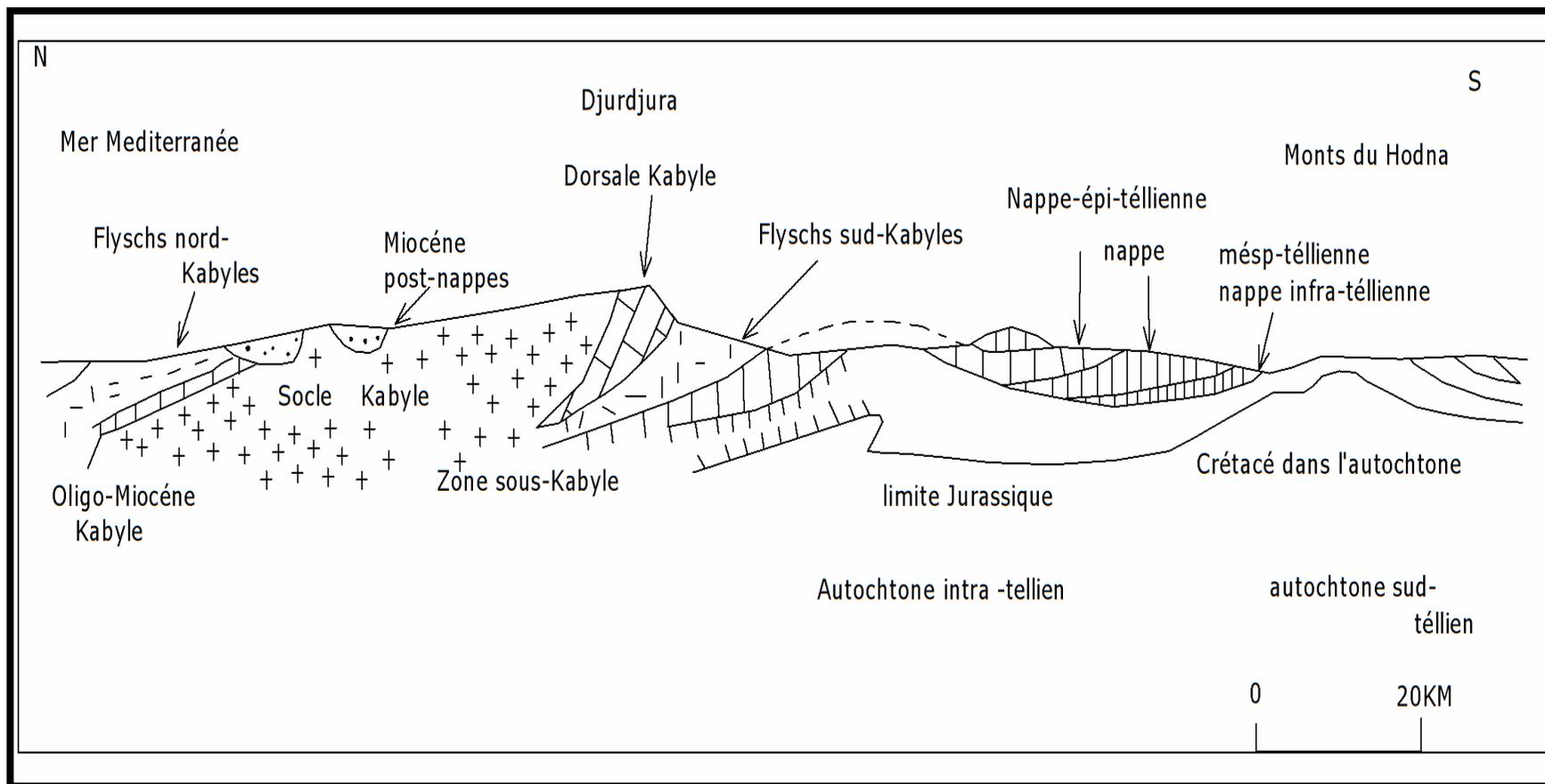


Figure I.6 : Carte des grandes unités structurales sur le méridien de la grande Kabylie (D'après M.Durand Delga, 1969)

### **II.1.2.Domaine des Flyschs :**

C'est un ensemble de nappes à matériel détritique daté du jurassique moyen à l'éocène.

Tectoniquement il se situe entre les zones internes et les zones externes nous pouvons distinguer trois types des nappes :

- La nappe du flysch Maurétanien :  
Présente à la base des dépôts jurassique qui débutent par des formations grésocarbonatées du Néocomien, passant à des faciès gréseux au Barrémien-Albien moyen, puis carbonaté à l'Albien supérieur et grésomiacé à l'oligo-miocène inférieur.
- La nappe du flysch Massylien :  
A base inconnue est représenté par des marnes argileuses d'âge Crétacé-Eocène à niveau conglomératiques et des passées de micro-brèches d'où son nom de flysch à micro-brèches.
- La nappe du flysch Numidien :  
De type allochtone présente des niveaux épais de grés alternant avec des passées d'argiles du Stampien-Aquitainien.

### **II.1.3.Domaine externe :**

Ce domaine forme une large bande entre les zones internes et l'avant pays pré-atlasique, On y observe :

Le para-autochtone (massif à schistosité) avec des séries Paléozoïques et Mésozoïques. Cet ensemble est en général écaillé et épi-métamorphique du Crétacé.

Les nappes telliennes : constituées de terrains essentiellement marno-calcaires d'âge Crétacé-Eocène.

### **II.2.Cadre géologie local :**

La vallée du Sébaou correspond à un bassin dans lequel sont accumulés des sédiments Mio-plio-quatérnaires.

#### **II.2.1.La litho-stratigraphie :**

L'extrait de la carte géologique à l'échelle 1/50000 montre que la région d'étude est caractérisée par les formations litho-stratigraphiques suivantes :

- Le socle cristallophyllien ;
- La chaîne calcaire ;
- L'oligo-miocène ;
- L'unité Numidienne ;

- Les flysch ;
- L'unité Tellienne de Dellys ;
- L'Olistostrome ou "argiles à blocs" ;
- Les formations post-nappes ;
- Les formations quaternaires ;

#### **II.2.1.1. Le socle kabyle :**

Il est formé de terrains constitués par la superposition de roches cristallophylliennes d'âge protérozoïque à paléozoïque, constituant le substratum de la dorsale kabyle et est subdivisé en trois ensembles :

- Le cristallophyllien inférieur, essentiellement gneissique avec des intercalations de marbres et d'amphibolites ; le tout recoupé par des filons de quartz et de tourmaline.
- Le cristallophyllien supérieur, composé de schistes satinés à quartz alternant avec des grés, des porphyroïdes oeilés et des lentilles de calcaires métamorphiques.

La couverture sédimentaire paléozoïque à formations gréseuses et carbonatées peu ou pas métamorphique, discordante sur les phyllades. Cette couverture sédimentaire est d'âge cambrien supérieur à carbonifère moyen.

#### **II.2.1.2. La dorsale kabyle :**

Cette unité appelée chaîne calcaire (Glangeaud, 1932) ou dorsale kabyle (Durand Delga, 1969) est formée de terrains carbonatés datés du permo-Trias à l'Oligocène.

La dorsale kabyle qui représente la couverture du socle kabyle, limite le domaine interne au nord du domaine des flysch au sud. Les auteurs distinguent à partir des considérations litho-stratigraphiques une dorsale interne, médiane et externe. Figure I-5

- La dorsale interne : isolée au nord du massif de Chellata, séparée des autres par de larges affleurements du socle. Elle constitue l'unité de Berkaiss, peu tectonisée.
- La dorsale médiane : occupant la partie centrale du massif de Chellata, elle est limitée au nord-ouest par le socle cristallophyllien et au sud-est par un accident de direction sud-ouest nord-est.
- La dorsale externe : elle correspond au remplissage de la partie sud du massif de Chellata. La Figure I-6 résume la colonne litho-stratigraphie synthétique.

#### **II.2.1.3. L'oligo-miocène :**

Le terme Oligo-Miocène Kabyle désigne pour les auteurs l'ensemble des formations détritiques discordantes sur le socle Kabyle ; les formations sont datées de l'oligocène

Terminal au Miocène basal.

Cette formation est constituée de la base au sommet par des conglomérats surmontés par des argiles riches en débris de socle et parfois silicifiés, selon les lieux.

L'oligo-miocène Kabyle affleure à Ain El Bir au nord-ouest du Djebel Belloua, à Kouanine à Azib Bou Moussa, dans la région de Draà El Mizane, Oudhias et dans la région de Tabouda-Mréira (D.Raymond, 1976 ; J.P.Gélard, 1979).

#### **II.2.1.4. L'unité Numidienne :**

C'est une série de type flysch d'âge Oligo-Miocène comportant toute une partie des trois termes de la série numidienne ; les argiles sous numidiennes à la base, les grès numidiens et les formations supra-numidienne constituées d'argiles et de marnes intercalées.

Elle affleure dans les massifs d'Akfadou à l'Est d'Azzaga et de la forêt de Mizrana.

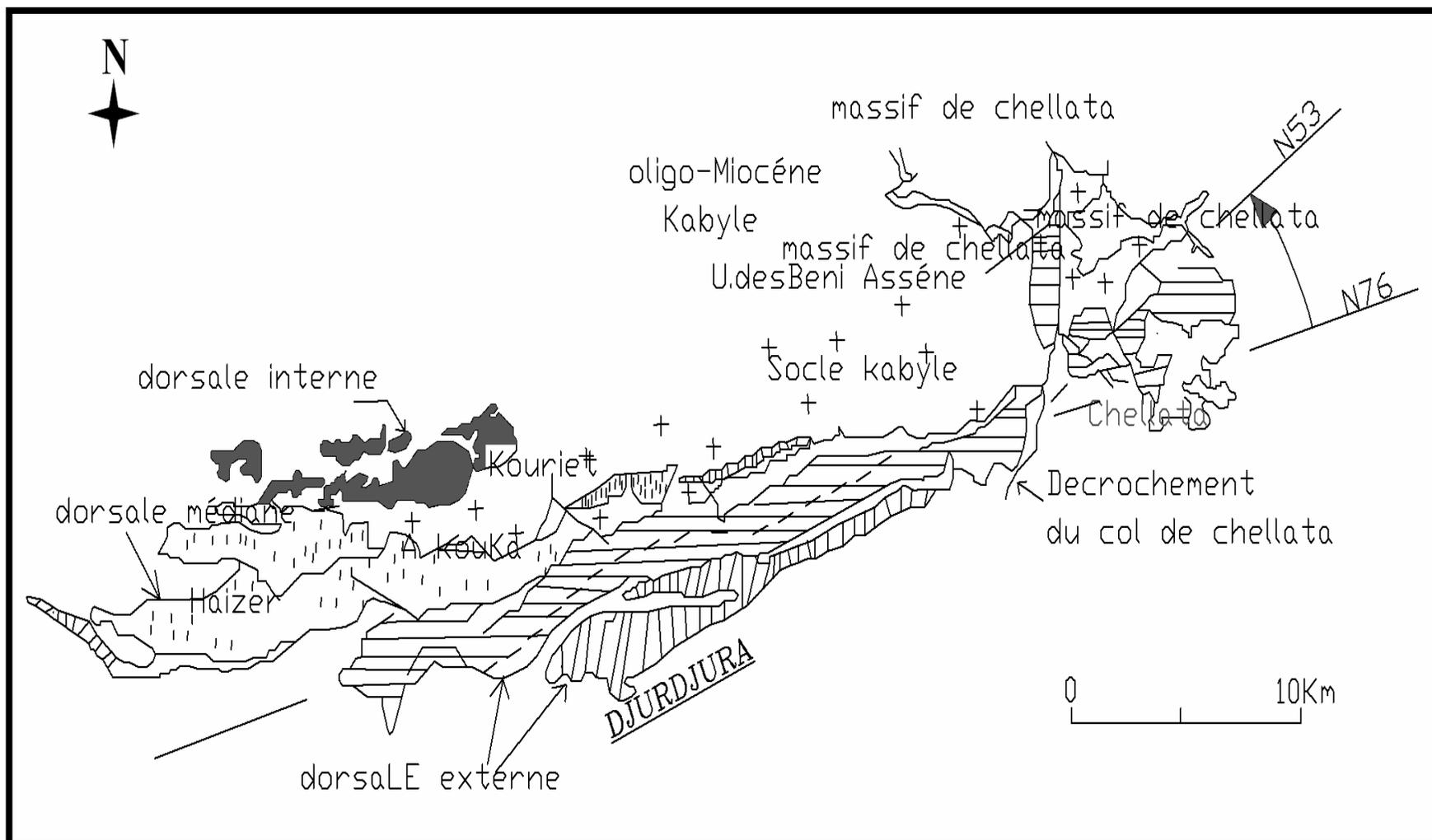


Figure I.7 : Carte schématique interprétative de la dorsale de la Grande Kabylie (J P Gélard, 1979)

### II.2.1.5. Les flysch :

On rassemble dans les séries mauritaniennes et massyliennes toutes les formations associées aux flysch terrigènes maghrébins d'âge jurassique moyen à Eocène (Figure I.8)

**a) Les flysch Mauritaniens :** Le faciès se définit par un ensemble de caractères précis qui sont :

- Grés à faciès " Guerrouch « d'âge Barrémo-Aptien.
- Repère quartzite vert bouteille et calcaires micro-bréchiques d'âge Cénomaniensilicification blanche ;
- Calcaires microbréchiques, marnes rouges et conglomérats grossiers d'âge sénono –Eocène ;
- Calcaire microcodium d'âge Paléocène ;
- Couverture grés-micacée d'âge stampanien-Aquitaniens (J.P.Gelard 1979).

**b) Les flysch Massyliens :** Il est constitué de bas en haut :

- Flysch péléto-quartzitique d'âge Albien-Aptien.
- Calcaires fins jaunâtres en petits bancs, d'âge Albien supérieur Cénomaniens inférieur.
- Flysch argilo-marneux à plaquettes microbréchiques d'âge Maéstrichtien Eocène (J.P.Gelard 1979).

Au sein des flysch ; le mauritanien et le massylien représentent les deux pôles extrêmes. (J.P.Gélard, 1979).

#### c) Les flyschs Mixtes :

Il existe des séries mixtes, intermédiaires entre les séries types massyliennes et mauritaniennes, c'est :

#### C.1. Le flysch du haut Sébaou-Azazaga :

Ce flysch présente des affinités à la fois avec le Massylien et le Mauritanien. Il s'agit généralement d'un flysch ou le faciès argileux est dominant.

Sur les calcaires fins, datés du berriasien moyen-supérieur, on distingue :

- Un ensemble essentiellement argileux formé par :
  - Une puissante série argileuse accompagnée de bancs de grés ou de grés quartzitiques.
  - Des grés en bancs réguliers séparés par des pelites sombres (Aptien supérieur-Albien).
  - Des marnes et argiles bleutées à passées rouges d'âges Aptien-Albien.

- Des calcaires fins interstratifiés par fois avec des phtanites peu épaisses et souvent argileuses.
- Des argiles et marnes grises ou bleutées présentant des passés rougeâtres. Elles sont datées du Maestrichtien.
- Des marnes roses ou rouges et des bancs de calcaires organoclastiques datées du Sénonien terminal-Paléocène supérieur.

### **c.2.Le flysch d'Afir-Azeffoun :**

Ce flysch affleure au SE de Dellys, dans les régions d'Afir et dans la région d'Azeffoun ; il composé de trois unité :

#### **c-2.1. L'unité inférieure d'Afir :**

C'est un complexe comportant de bas en haut :

- Un flysch pélito-quartzitique d'âge crétacé inférieur ;
- Un mince niveau de phtanites cénomaniennes ;
- Un complexe d'épaisseur réduite avec des argiles et microconglomérats et des calcaires fins d'âge crétacé supérieur (D.Raymond, 1976).

#### **c.2.2. L'unité supérieure d'afir :**

C'est un complexe débutant par des phtanites cénomaniennes, surmontées d'un flysch crétacé supérieur, tendre, ou alternent des argiles et microconglomérats à ciment argileux ("flysch à micro brèches") (D.Raymond, 1976)

#### **C.2.3. Le flysch du haut Sébaou :**

C'est un flysch pelito-calcaro-microconglomératique verdâtre, extrêmement chaotique d'âge Crétacé supérieur.

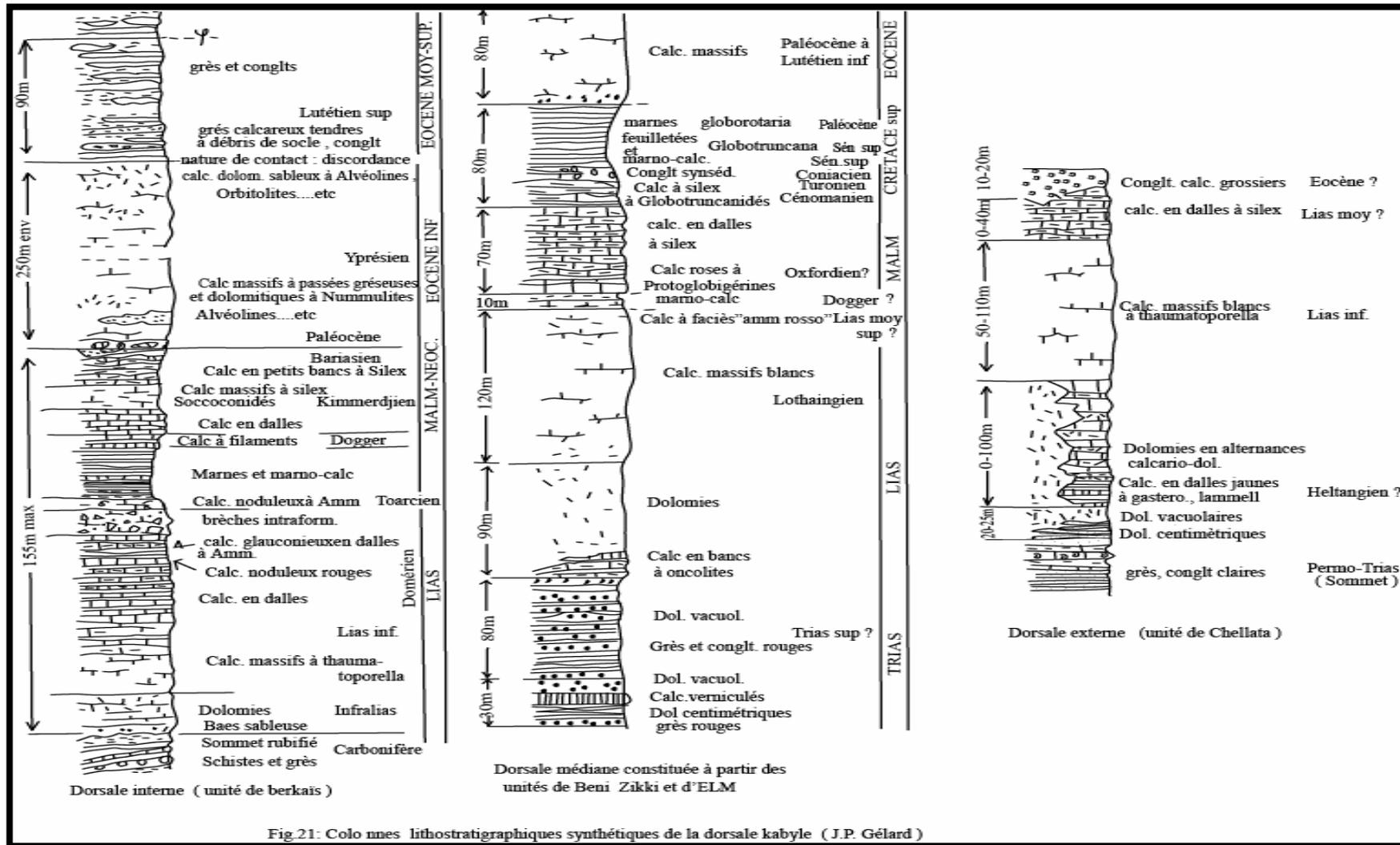


Figure I.8 : Schéma des colonnes litho- stratigraphiques synthétiques de la dorsale kabyle (J.P.Gélard)

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

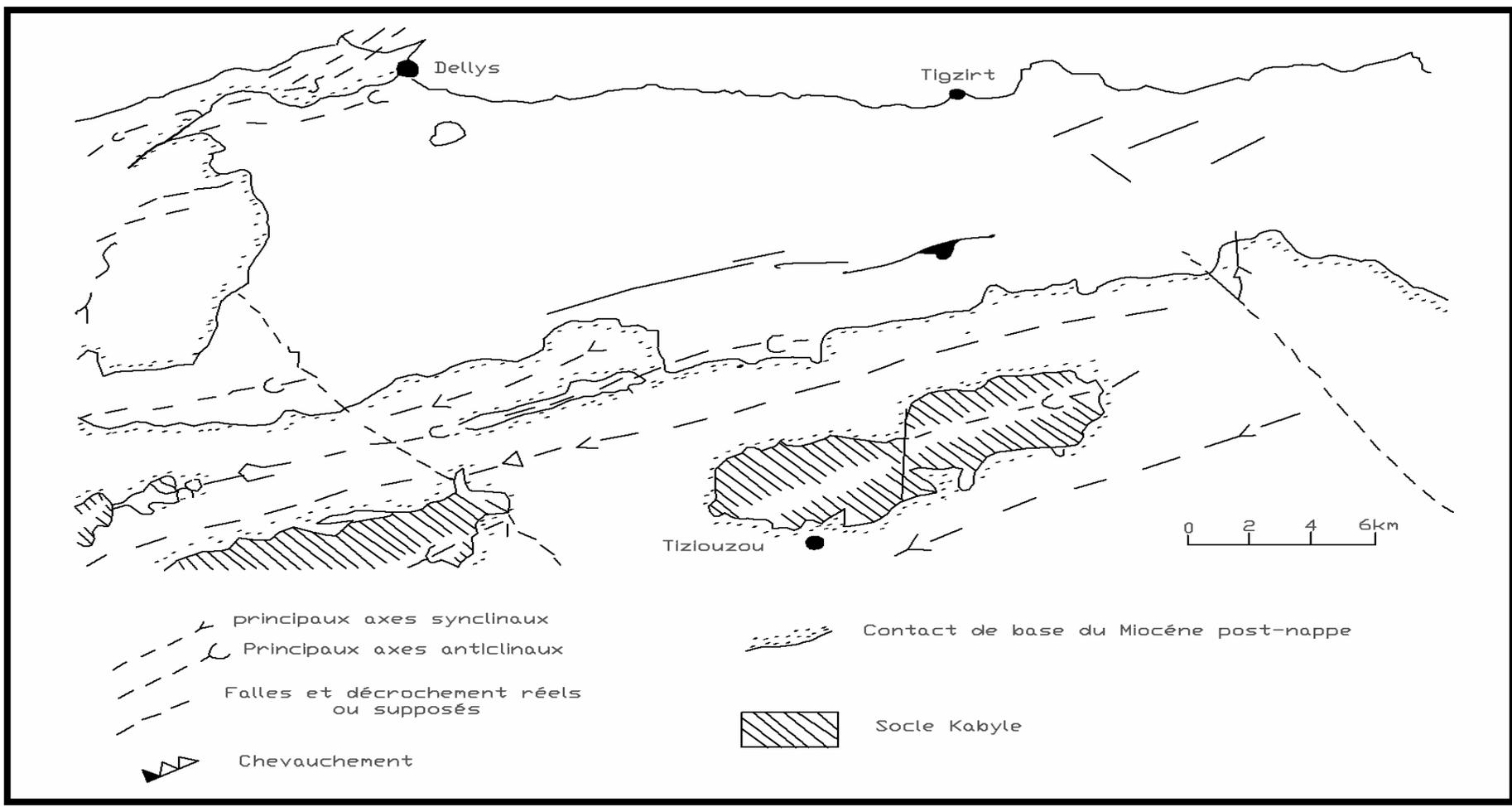


Figure I.9 : Principales structures «post-nappes » de la zone Nord-Ouest de la grande Kabylie (D.Raymond, 1976)

### **II.2.1.6.L'unité tellienne de Dellys :**

Cette unité est représentée essentiellement dans le secteur situé entre Baghlia et Ait Raouana. Elle est d'âge Crétacé supérieur à Eocène.

L'unité est formée d'une puissante série à sédimentation rythmique, composée de calcaires et des marnes, on distingue :

- Des marnes intercalées de calcaires marneux (Turonien-Sénonien).
- Des calcaires marneux à rares silex et calcaires silicifiés (Yprésien-Lutitien inférieur)
- Des marnes noires

### **II.2.1.7.L'Olistostrome (ou argiles à blocs) :**

C'est une accumulation sédimentaire Chaotique, leur formation est liée à la mise en place des nappes sur le domaine interne

Leur mode de sédimentation, serait dû au glissement par gravité, sur une pente sous-marine d'une molasse sédimentaire ou à la dilacération d'un front de nappe, ou encore à la conjugaison des deux.

Cette formation est constituée par une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique) dans laquelle sont dispersés de menus débris qu'accompagnent des blocs(Olistolites) de taille variable d'âge Aquitaniens supérieur-Burdigalien inférieur (J.P.Bouillin, 1973).cette formation affleure à Kouanine et Draa Karrouche .Elle affleure aussi sur la route joignant El Kalaâ et Boudjima et sur la route d'Azzazga – Ain El Hammam.

### **II.2.1.8.Les formations post-nappes :**

Les formations post-nappe regroupe les terrains d'âge Miocène et Pliocène déposées après la mise en place des nappes de glissement au nord du socle Kabyle.

Le miocène : il occupe une grande zone synclinale entre Azazga et Dellys. Au Burdigalien terminal, il présente de bas en haut ; des marnes puis des conglomérats surmontés par la molasse et se termine par des marnes.

Les roches volcaniques : au sein des molasses Miocènes, apparaissent des roches volcaniques (basaltes, rhyolites et tufs) qui affleurent au Djebel Takdempt, à l'Est du Dj.Bouberak dans la région de Guennama et au versant Nord du massif de Naceria.

Le Pliocène : Le pliocène repose en discordance sur le Burdigalien supérieur ; il est représenté par des marnes gris-clair dans la région de Dellys (vallée de l'oued l'Arbaa et à Djerabet).

### **II.2.1.9.Les formations quaternaires :**

Les formations sont représentées dans l'oued Sébaou par des dépôts alluvionnaires anciens

et récents il s'agit de dépôt de galets sables grossiers et fins, gravier, limons et argiles qui se présentent sous forme de terrasses emboîtées ou étagées.

Les sondages mécaniques et électriques ont permis de distinguer de haut en bas les sédiments suivants :

- Les limons de surface ;
- Les alluvions grossières, sable, gravier et galet ;
- Un substratum marneux.

En raison de l'importance de son développement et de ses caractéristiques hydrogéologiques (perméabilité, porosité,...), le remplissage quaternaire essentiellement fluvatile constitue le meilleur aquifère de la région.

### **II.3. Evolution tectonique :**

Nous tenterons de reconstituer brièvement la chronologie des événements tectoniques importants ayant affectés notre région d'étude après l'installation du socle métamorphique. En se basant sur les travaux réalisés par D.Raymond 1976, D.Delga 1969 et J.P.Gelard 1979.

La période pré-orogénique qui commence dès le Trias et se poursuit jusqu'à l'Eocène. Cette phase est caractérisée par plusieurs transgressions sur la partie méridionale de la région avec des dépôts de sédiments argileux, schisteux et gréseux.

Les mouvements locaux notés au cours de cette période (discordance, fractures, plissements) ne paraissent pas liés à des phénomènes généraux.

La période orogénique va du début de l'Eocène jusqu'à la fin du Miocène.

Au lutétien : émergence du socle Kabyle bordé au sud par la dorsale Kabyle. Les premiers mouvements tectoniques se manifestent vers la fin du lutétien par un écaillage, et on assiste à des dépôts très fins de marnes et d'argiles.

Durant l'Eocène supérieur et l'Oligocène, on observe des décharges conglomératiques, avec un indice de discordance dans la zone des flysch.

De l'Aquitainien au Burdigalien moyen : mise en place de dépôt des séries micacées issues de l'érosion du socle kabyle en continuité de sédimentation marneuse et argileuse.

Les déplacements principaux des nappes sont plus récents, ils sont postérieurs aux dépôts Aquitainiens et antérieurs aux dépôts Burdigalien, après l'écoulement des nappes, deux phénomènes tectoniques ont affecté la région :

Le Burdigalien terminal est marqué par un réseau de fracturation très dense Figure I.9 découpant le Nord-Est de la grande Kabylie, et l'abondance relative des failles dans certains secteurs reflète, en grande partie, la nature lithologique des terrains affectés Les images de satellite offrent un précieux moyen d'analyses de la fracturation, dans la mesure où elles sont

en quelque sorte plus Objectives que la carte géologique (J.P.Gelard 1979).

Deux principales directions affectent la Grande Kabylie

- N110 : la zone linéamentaire de Kiria s'étend d'Adekar au Dj Zraib (Nord-Est d'Azazga).elle est formé par des alignements morphologiques correspondant aux crêtes ou aux limites d'affleurement numidiennes du Dj. Toukra, Azrou, Toukouch et enfin Zraib.
- N 070 : la zone linéamentaire est composée par la vallée de la soummam, de Sidi Aich à Béjaia, par ligne de Toudja,crêtes numidiennes encadrant Tifra ,alignement des Babors d'Akbou.
- Autres directions c'est la direction N140 de l'oued Aissi elle décale par la bordure du socle Kabyle et pouvait participer aussi au décrochement apparent senestre du massif de Belloua et de Aissa Mimoun (D.Raymond 1976)

La structuration suivant les directions N070, N110, N140 n'est pas superficielle mais bien profonde, puisqu'elle affecte le socle.

Là où le socle n'affleure pas des indications indirectes prouvent que certains accidents sont ancrés profondément, c'est le cas des accidents qui sont jalonnés par des sources thermo-minérales ou les eaux sortent à une température d'environ 40°C (J.P.Gelard).

C'est le cas de :

-Kiria : les émergences ont lieu à proximité de l'intersection des failles N110 et N140 ;

Tifra : la source la plus importante (El Hammam Sillal à quelques kilomètres au Sud-Ouest de Tifra) sort le long d'un miroir de faille de direction N140.

### **II.3.1. Sismologie :**

En effet , la zone d'étude est réputée pour son activité sismique moyenne à importante, ceci est dû au phénomène de réajustement par des failles qui se produit dans les zones profondes, c'est une zone d'affaissement permanent, depuis le miocènes et même actuellement, elle est comprise entre deux blocs positifs ascendants qui sont l'Atlas au sud et le sahel au nord, ils sont l'origine du tremblement de terre, par leurs manifestations du contact entre la plaine et la montagne sur une grande partie du nord algérien .

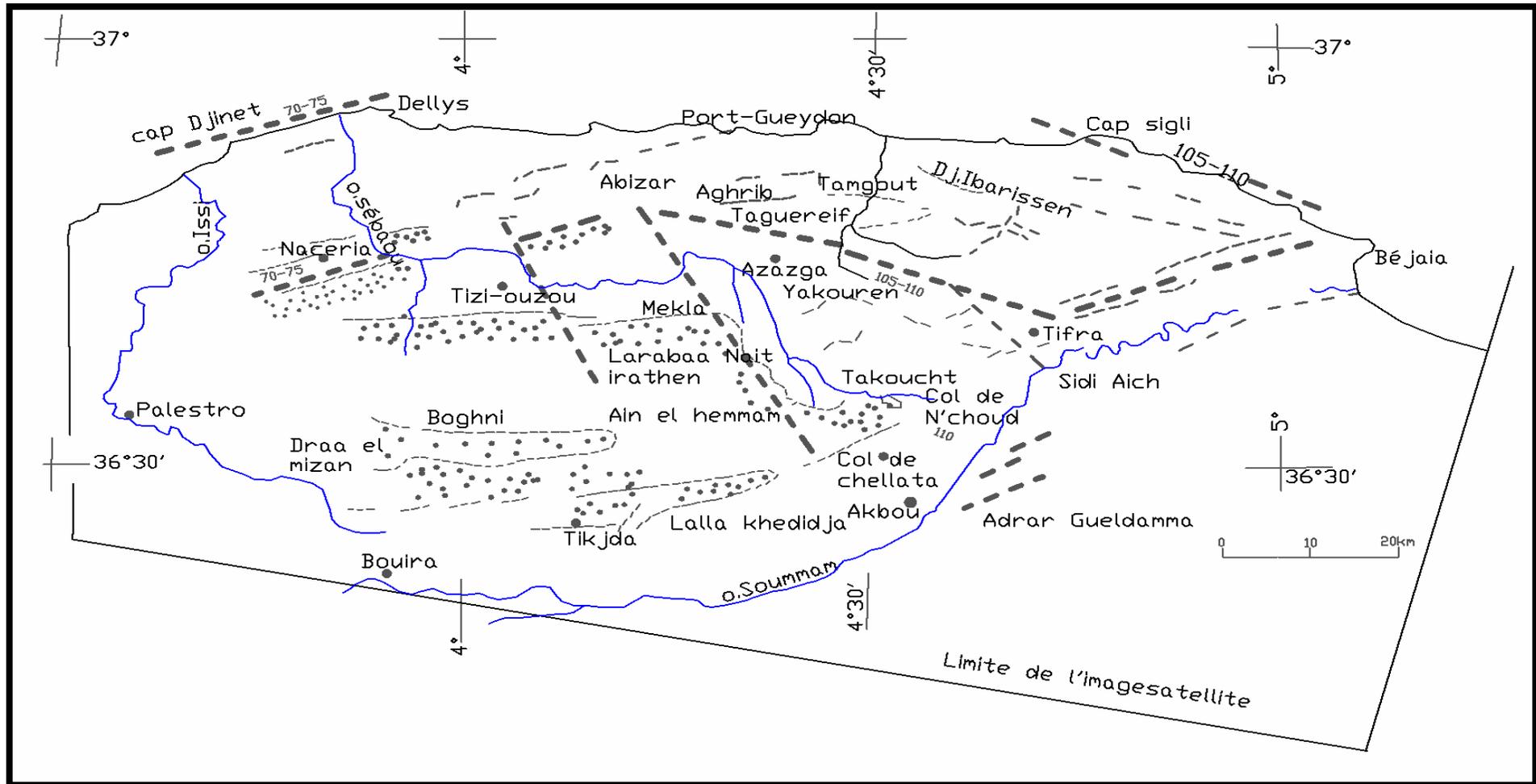


Figure I.10 : Interprétation schématique du principal linéament affectant la Grande Kabylie d'après l'image satellite Landsat I (J.P.Gélard .1979)

**Conclusion :**

Par sa constitution géologique, le bassin versant du Sébaou est très riche en potentialités en eau. En effet les formations carbonatées qui constituent les principaux réservoirs d'eau souterraines sont très karstifiées. La protection de la nappe contre la pollution, doit faire l'objet de toute l'attention voulue. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude, dont l'objectif est d'élaborer un outil permettant de caractériser de façon simple mais précise, les zones où la nappe est particulièrement vulnérable, afin de circonscrire les zones à haut risque de contamination, pour pouvoir agir de façon préventive.

**Chapitre**  
**II :Présentation du**  
**milieu physique et**  
**synthèse géophysique**

## Etude géomorphologique

### Introduction :

La climatologie, l'hydrologie de surface et souterraine sont étroitement tributaires des caractéristiques physiques, morphologiques de reliefs et morpho-métriques des bassins versants. Aussi, il apparaît nécessaire voir indispensable de quantifier ces paramètres.

### I.1. Les grands ensembles morphologiques :

Le paysage de la région d'étude est diversifié, caractérisé par un relief montagneux très accidenté. Les chapelets de surélévations rudes et accentuées apparaissent dans toute la région.

Le grand bassin du Sébaou est limité au Nord par la chaîne littorale et au Sud par le massif Kabyli. Cette double masse surélevée délimite un couloir étroit d'orientation générale Est-Ouest, formant la vallée de l'oued Sébaou, qui s'étend d'AZAZGA à l'Est jusqu'à DELLYS à l'Ouest.

Nous distinguons trois unités morpho-structurales nettement différenciées :

#### I.1.1. La chaîne de Djurdjura :

Elle fait partie de la dorsale calcaire des Maghrébines, délimite au sud notre domaine d'étude et représentée par un ensemble morphologique très compétant d'âge secondaire et tertiaire.

Cette chaîne culmine au sommet de LALLA KHEDIDJA à 2308 m d'altitude et au RAS TIMEDOUINE à 2503 m d'altitude sous forme d'un arc, très peu tendu et étroit qui s'achève à l'est par un élément isolé, le massif de CHELLATA.

Elle se compose de quatre unités qui se succèdent du Nord vers le Sud :

- L'unité des KOURIET.
- L'unité de RES TIMADOUINE et de TIKJDA.
- L'unité d'AJIBA.
- L'unité de LALLA KHEDIDJA.

Les unités d'AJIBA et LALLA KHEDIDJA proviennent d'une zone située au nord des KOURIET. Elles se sont déplacées vers le sud entre le Priabonien et l'Oligocène supérieur, et ont recouvert les unités méridionales de RAS TIMADOUINE et de TIKJDA. Des écaillages ultérieurs ont abouti au pincement de ces unités. (Source : M.Ben Hassainne ,1980)

#### I.1-2.Le massif de Kabylie :

Morphologiquement, le massif de la grand Kabylie constitue un ensemble homogène, qui domine le bassin de Tizi-Ouzou au nord et assure une transition avec la chaîne de Djurdjura au sud. Il est limité à l'est par l'affleurement des flysch du haut Sébaou et à l'ouest par les

flysch supra-kabyles.

Les sommets forment un bombement à grand rayon de courbure selon l'axe orienté Est-Ouest et les altitudes se relèvent d'Ouest 600m en Est 1278m.

Cet ensemble morphologique est caractérisé par des formations plus ou moins tendres et compartimentées d'âges récents où anciens.

C'est là qu'on voit se succéder les différents types d'érosions, allant du plus simple (ravinement plus simple) au plus complexe (mouvement de masse, éboulement, glissement)

### **I.1.3. Le synclinal de Tizi-Ouzou :**

C'est le seul matériel autochtone dans la région, représenté essentiellement par les grés et les limons du miocène 'Post-nappe' (M.Ben Hassainne ,1980).

Dans sa partie médiane s'allonge une série de chaînons de socle alignés, que l'oued Sébaou traverse orthogonalement, il s'agit de :

-L'Alignement Nord :

- Massif de Naciria à l'Ouest ;
- Massif de Draà Karouche à l'Est ;

-L'Alignement Sud :

- Sidi Ali Bounab et Belloua à l'Ouest ;
- massif d'Aïssa Mimoun à l'Est ;

Et à l'intérieur de cette cuvette, s'étale la plaine alluviale du Sébaou, qui se présente sous forme d'une bande étroite à fond plat orientée E-W, constituée d'un remplissage alluvionnaire d'âge quaternaire.

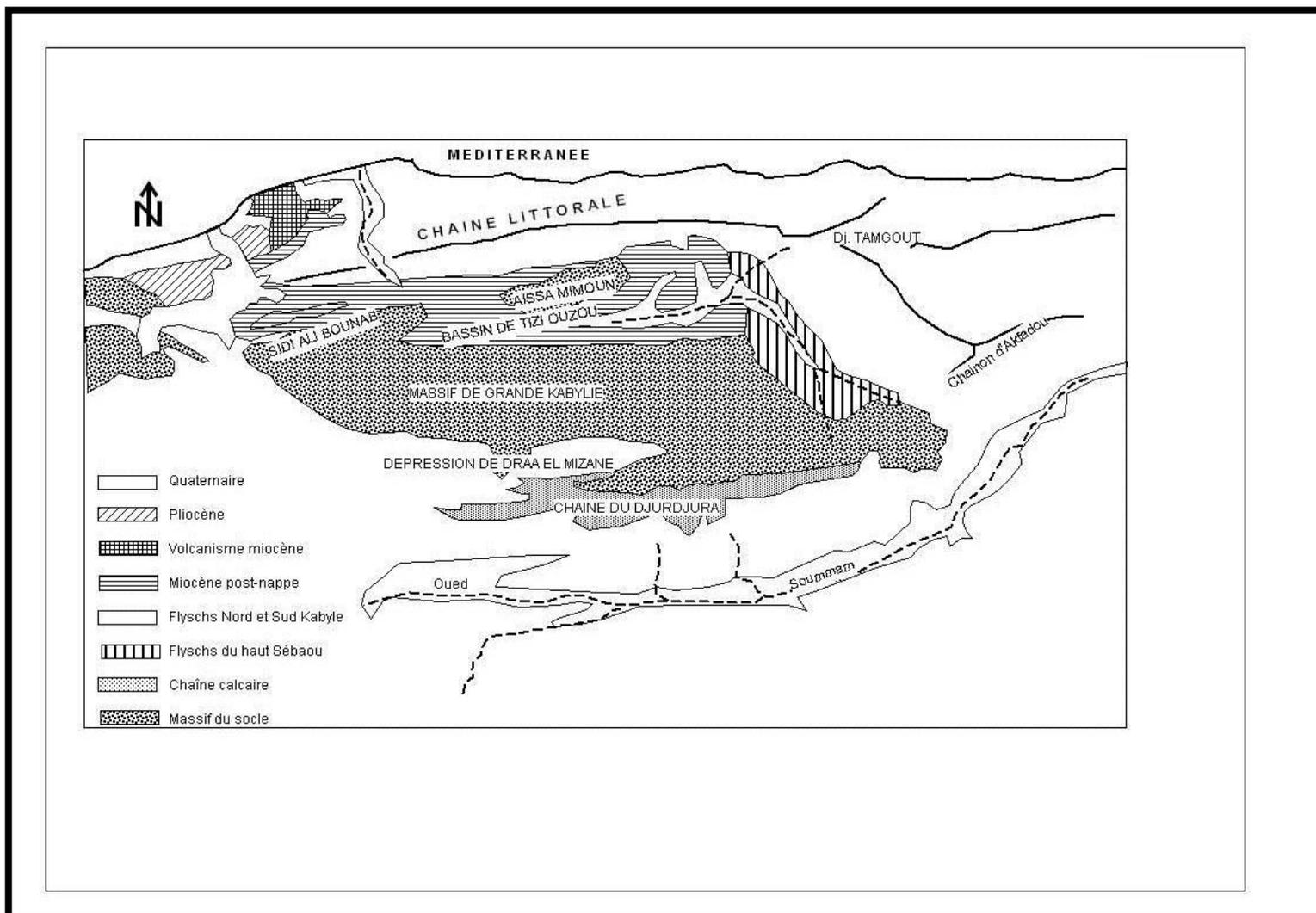


Figure II.1 : carte d'unité morpho structurale (source : ANRH Blida)

### I.2.Lithologie :

La perméabilité du sol et de sous-sol d'un bassin versant est liée à la nature géologique qui conditionnera l'infiltration, le ruissellement ainsi que l'évaporation. (M.Ben Hassainne ,1980)

Mises à part les formations perméables de la chaîne calcaire de la plaine alluviale de l'oued Sébaou, les autres formations telles que celles du socle Kabyle, de Miocène post nappe et des flyschs qui occupent la majeure partie du bassin versant, sont généralement "imperméable".

### I.3.Végétation :

Le couvert végétal joue un rôle extrêmement important , dans la protection des sols contre l'érosion par son action atténuante des crues et des averses particulières ,en réduisant et en freinant le ruissellement superficiel. (M.Ben Hassainne ,1980)

La végétation de la région d'étude est de type méditerranéen, caractérisée dans son

ensemble par trois étages bioclimatiques bien distincts :

- **Les cultures** : elles sont concentrées dans la plaine et représentées par l'arboriculture et les mirifiques champs des cultures maraîchères, auxquelles s'ajoutent le laurier rose et le roseau dominant les zones incultes et inondables.
- **Les maquis** : caractérisant en particulier les zones intermédiaires, constitués essentiellement de très denses champs d'oliviers, parcelles de figuiers et par quelque peuplement de chêne liège et de chêne vert, complété par une végétation arbustive assez basse qui reflète l'état de dégradation de la végétation dans la région.
- **Les forêts** : occupant les zones montagneuses et représentées généralement par le chêne vert, le chêne liège et le pin d'alépe.

Malgré sa diversification, le couvert végétal de notre région d'étude demeure très dégradé et n'occupe que 19%(soit 55025 ha) de la surface totale. Cette dégradation due indubitablement à l'activité humaine (défrichage, coupes, incendies...) expose la région à une forte érosion et une déperdition accélérée des sols fertiles surtout en haute montagne. (M.Ben Hassainne ,1980)

#### **I.4.Réseau hydrographique :**

Le bassin versant du Sébaou représente un réseau hydrographique très développé.

Le drainage très dense s'effectue par une multitude de torrents plus ou moins long.

Les torrents de rive droite proviennent de la chaîne littorale au nord du bassin versant et ne dépassent pas une quinzaine de kilomètres de long. L'oued Dis qui présente le plus fort débit prend sa source au Dj .Tamgout à 1278m d'altitude et débouche dans l'oued Sébaou juste après le premier coude majeur de l'oued à hauteur du village de Freha.

Les torrents de la rive gauche naissant dans le socle de la grande Kabylie :

- L'oued Sébaou lui-même et ses deux principaux affluent sud .prennent naissance dans la chaîne du Djurdjura.
- L'oued Bougdoura prend sa source à 1900m d'altitude. le profil longitudinal très relevé dans la section amont, s'abaisse rapidement, et au contact de la plaine, s'insinue entre les inters fleuves.
- L'oued Aissi prend sa source à 2000 m d'altitude. C'est l'affluent qui a le plus fort débit et qui est responsable des modifications du tracé du lit de l'oued Sébaou. En effet l'oued Aissi débouche dans l'oued Sébaou juste en amont des gorges du Belloua.

- L'oued Sébaou débute à l'Est de la chaîne du Djurdjura par l'intermédiaire de quatre torrents qui naissent entre le col de Tirourda à 2200m d'altitude le col de Chellata à 2100m d'altitude. (M.Ben Hassaine ,1980)

Les quatre torrents confluent après cinq kilomètres de parcours pour former le haut Sébaou, que les Kabyles nomment Acif n'Boubhir.

Dans la haute vallée, l'oued suit une direction SSE-NNW, jusqu'à un premier coude majeur, localisé entre Azzazga et Freha.

Dans la moyenne vallée, l'oued coule suivant une direction Est-Ouest dans le synclinal Miocène de Tizi-Ouzou.

Dans la basse vallée, on assiste à une nouvelle orientation du tracé. Vers Tadmait l'oued effectue un nouveau coude majeur et se met à couler suivant une direction parallèle à celle de sa direction amont, pour déboucher en mer, à l'Ouest de Dellys.

Dans cette section la terrasse la plus basse extrêmement étendue envahit toute la plaine alluviale, l'oued n'est plus adapté à la structure géologique dans cette région car il coupe en travers la chaîne littorale, et les chaînons côtiers (M.Benhassaine ,1980).

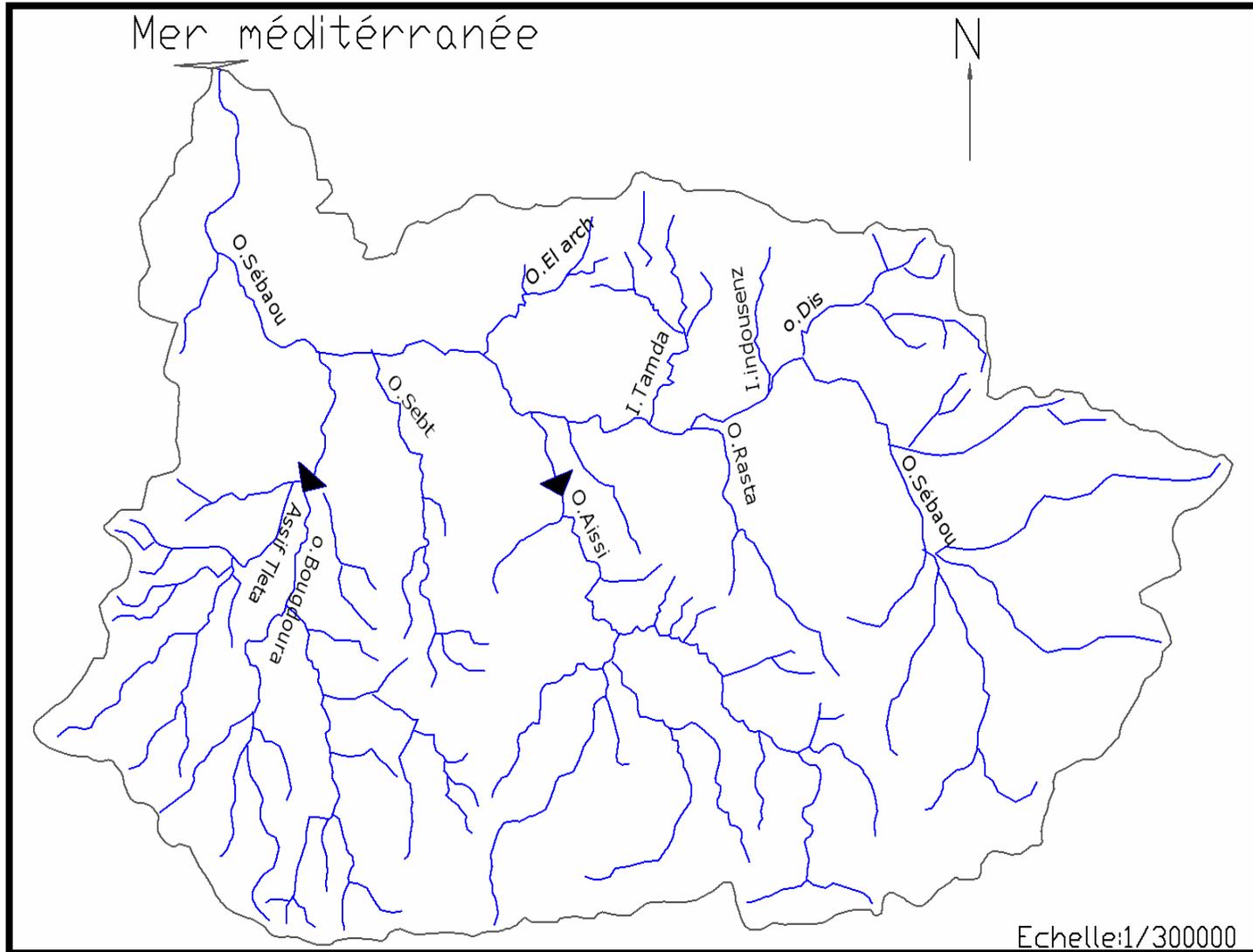


Figure II.2 : Carte du Réseau hydrographique du bassin du Sébaou (Source : ANRH)

### I.5. Les paramètres physiques et géomorphologiques du bassin versant :

Chaque cours d'eau draine une certaine surface de terrain appelée bassin versant. Le bassin versant fonctionne donc comme un collecteur chargé de recueillir les précipitations et de les transporter par écoulement vers le point le plus bas appelé exutoire. Cette transformation est plus ou moins rapide suivant les caractéristiques physiques du bassin.

La morphométrie du bassin fait partie des facteurs permanents, leur variation influe sur les modalités des écoulements superficiels et leur analyse permettra une meilleure compréhension des causes de variation des régimes hydrogéologiques.

#### I.5.1. Paramètres géométriques :

Le bassin versant de la vallée de Sébaou (codé 02 au répertoire de l'ANRH) subdivisé en 06 sous bassins répartis de façon inégale sur le Haut, Moyen, le Bas Sébaou Figure II.3. Cette répartition est représentée dans le tableau II.1.

##### a) La surface :

La surface d'un bassin versant est l'aire géographique délimitée par la ligne de crêtes bordant le bassin. A l'intérieur de cette surface l'eau précipitée est drainée et orientée par un réseau hydrographique vers l'exutoire. La surface influe sur le processus de la formation de l'écoulement.

Le bassin versant de la vallée du Sébaou couvre une superficie  $S = 2500 \text{ km}^2$ .

##### b) Le Périmètre :

Le périmètre est défini par la ligne de crêtes formant le contour du bassin versant. Le périmètre du bassin versant de l'oued Sébaou est  $P = 240 \text{ km}$ .

	Code des sous bassins versant du Sébaou	Superficie en $\text{km}^2$	Périmètre en km
Haut Sébaou	02-15	532	102,4
	02-16	432	112
	02-17	468	98,6
Moyen Sébaou	02-18	304	82
	02-19	544	94,2
Bas Sébaou	02-20	220	62,6

Tableau II.1 : Répartition des superficies par sous bassin (Source : ANRH)

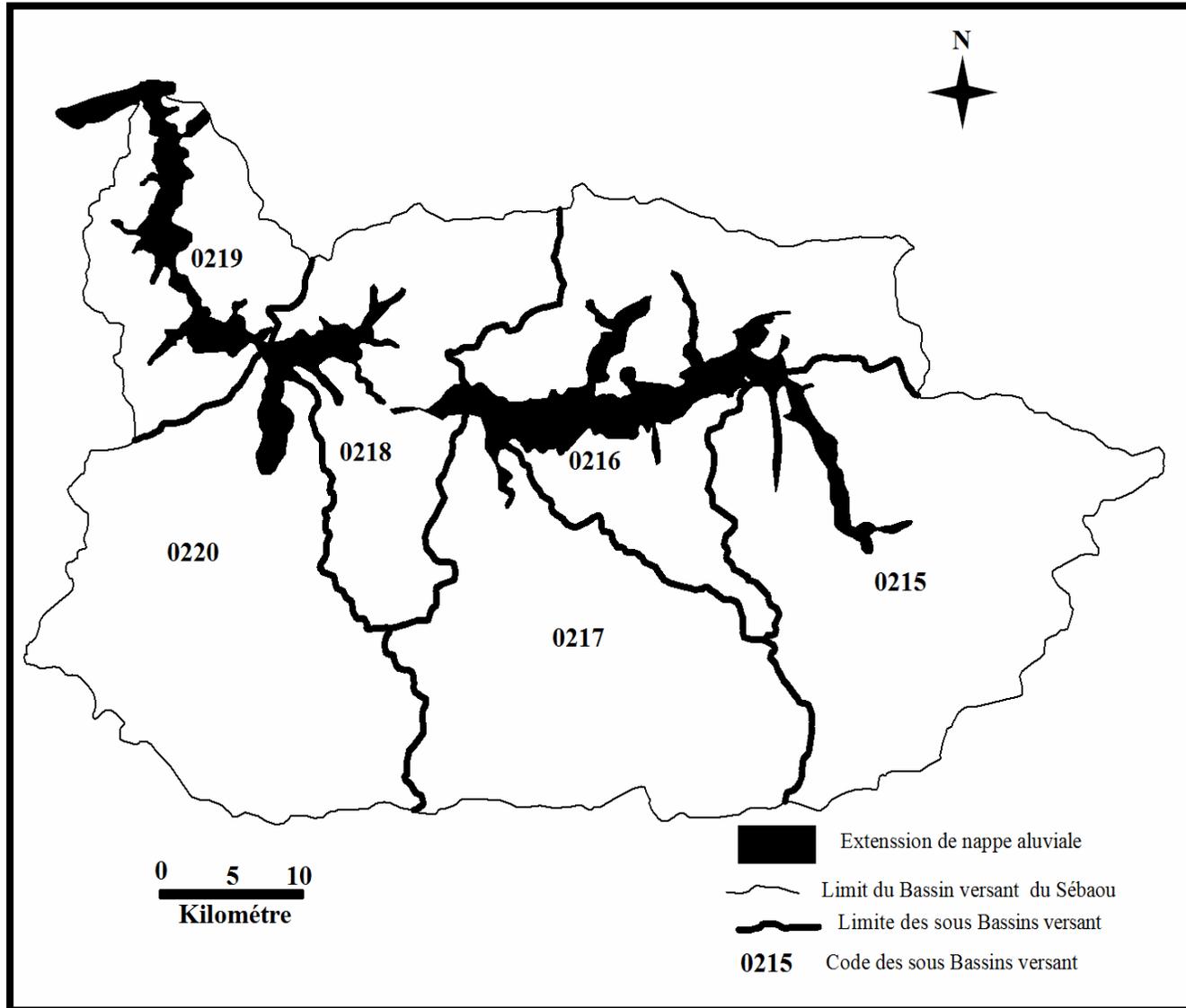


Figure II.3 : Carte des sous bassins versant du Sébaou est ce que a vous cette carte (source : ANRH TIZI-OUZOU)

## **I.5.2. Les paramètres de relief :**

### **I.5.2.1. Courbe hypsométrique :**

Le relief affecte les processus météorologique donc l'écoulement .On le caractérise souvent par la courbe hypsométrique qui donne la répartition de la surface du bassin versant suivant l'altitude.

Elle se construit en portant en ordonnée les altitudes  $H_i$  et en abscisses le cumul des surfaces partielles  $S_i$  comprises entre deux tranches d'altitudes successives choisis arbitrairement. Souvent les surfaces sont exprimées en pourcentage de la surface totale du bassin versant.

Nous déduisons le tableau II-2 des pourcentages des surfaces comprises entre chaque tranche de 100 m d'altitude, qui a servi à la construction de la courbe hypsométrique (figure II.4) du bassin versant de l'oued de Sébaou.

Classe d'altitude (m)	Moyen des classes ( $h_i$ )	Nombre de points d'altitude ( $a_i$ )	$a_i \cdot h_i$	$a_i$ cumulé	% surface cumulé
0-100	50	16	800	164	100
101-200	150	17	2550	148	90.24
201-300	250	25	6250	131	79.87
301-400	350	24	8400	106	64.63
401-500	450	20	9000	82	50.00
501-600	550	12	6600	62	37.80
601-700	650	11	7150	50	30.48
701-800	750	6	4500	39	23.78
801-900	850	10	8500	33	20.12
901-1000	950	5	4750	23	14.02
1001-1100	1050	4	4200	18	10.97
1101-1200	1150	3	3450	14	8.53
1201-1300	1250	5	6250	11	6.70
1301-1400	1350	1	1350	6	3.53
1401-1500	1450	1	1450	5	3.04
1501-1600	1550	3	4650	4	2.43
1601-1700	1650	1	1600	1	0.6
			$\sum a_i = 164$	$\sum a_i \cdot h_i = 81500$	

Tableau II.2 : Tableau des altitudes moyennes du bassin versant du Sébaou

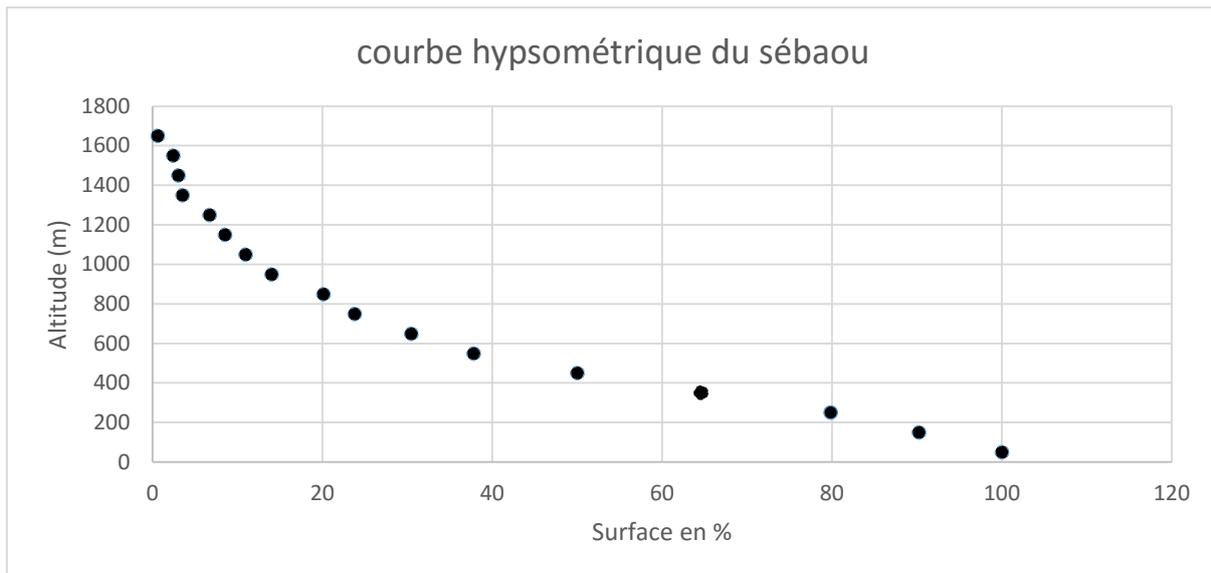


Figure II.4 : courbe hypsométrique du bassin versant du Sébaou

### I.5.2.2. Les altitudes :

La présence de barrières orographiques influe sur le parcours des masses d'air humides donc sur l'écoulement.

- L'altitude maximale correspond au sommet le plus haut du bassin versant, elle se trouve généralement en amont.
- L'altitude minimale correspond à celle de l'exutoire.
- L'altitude moyenne pondérée est calculée à partir de la relation :

$$H = \frac{\sum ai * hi}{\sum ai}$$

- L'altitude médiane permet une bonne approche de l'asymétrie du relief .elle correspond au point ordonnée 50% de la courbe hypsométrique.

Ces altitudes sont extraites de la courbe hypsométrique ainsi que quelques altitudes caractéristiques qui interviennent parfois dans les calculs des paramètres hydrologiques.

Les altitudes caractéristiques sont reportées dans le tableau II-3, ci-après :

Altitude de fréquence $H_{5\%}$	Altitude de fréquence $H_{95\%}$	Altitude de fréquence $H_{50\%}$	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude moyenne (m)
1300	150	440	1650	50	497

Tableau II.3 : Tableau des altitudes caractéristiques du bassin versant du Sébaou.

### I.5.3. Les paramètres du relief :

#### I.5.3.1. Indice de compacité de Gravelius :

la forme du bassin versant exerce une influence considérable sur la concentration des débits résultant d'une pluie donnée, plus le bassin est ramassé plus le débit se concentre.

L'indice admis pour représenter cette caractéristique est l'indice de compacité de Gravelius  $K_c$  : L'indice de compacité, il est exprimé par la formule suivante :

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad \text{avec :}$$

P : périmètre du bassin en km.

A : surface du bassin versant en km<sup>2</sup>.

Les valeurs de  $K_c$  pour l'ensemble du bassin versant du Sébaou ainsi que des sous bassins, sont mentionnées dans le tableau II.4, suivant :

Bassin versant		Périmètre (km)	Surface (km <sup>2</sup> )	$K_c$
Haut Sébaou	02-15	102.4	532	1.24
	02-16	112	432	1.50
	02-17	98.6	468	1.27
Moyen Sébaou	02-18	82	304	1.31
	02-19	94.2	544	1.13
Bas Sébaou	02-20	62.6	220	1.18
Le grand bassin		250.4	2500	1.4

Tableau II.4 : Tableau des paramètres de forme du bassin du Sébaou.

Les valeurs de  $K_c$  aussi bien pour le grand bassin que pour ces sous bassins sont supérieures à l'unité, suggérant a priori une forme allongée pour l'ensemble, donc la concentration des eaux à l'exutoire se fait lentement, ce qui favorise l'infiltration au ruissellement.

#### I.5.3.2. Rectangle équivalent :

C'est une transformation purement géométrique. On assimile le bassin à un rectangle de même périmètre et de même surface, donc même indice de compacité.

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

-La longueur du rectangle équivalent L en km :

$$L = \frac{k_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{k_c} \right)^2} \right) \dots\dots\dots (II.1)$$

-La largeur du rectangle équivalent l en km :

$$l = \frac{P}{2} - L \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

Pour  $k_c=1.4$  et  $A=2500 \text{ Km}^2$ .

$L=100 \text{ km}$  et  $l=25 \text{ km}$

### I.5.3.3. Indice de pente globale ( $I_g$ ) :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots(\text{II.3}) \quad \text{Avec :}$$

$H_{5\%}$  : Altitude de fréquence =1300.

$H_{95\%}$  : Altitude de fréquence =150.

$L$  : longueur du rectangle équivalent =100m

Pour ces données on a :  $I_g=1.15\%$ .

La nappe alluviale représente environ 36% de la surface totale du bassin, dont l'altitude est inférieure à 200 m.

Les différents paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou sont récapitulés dans le tableau II.5 suivant :

Paramètres morphologiques	Valeurs
Surface	2500km <sup>2</sup>
Périmètre	240km
Longueur	93km
Largeur	27km
Altitude maximale	2305km
Altitude moyenne	504km
Altitude de fréquence ½	510km
Altitude la plus fréquente	300m
Indice de compacité de Gravelius	1.4
Indice de pente globale ( $I_g$ )	1.15%

Tableau II.5 : Tableau des valeurs des paramètres morphologiques du bassin versant du Sébaou (source ANRH Tizi-Ouzou).

## **II. Exploitation des eaux du Sébaou :**

L'alimentation en eau potable dans le bassin versant du Sébaou et la Wilaya de Tizi-Ouzou est assurée en grande partie par les forages hydrauliques de la nappe alluviale, un aquifère très étiré qui épouse le profil actuel de l'oued.

Le barrage hydraulique réalisé récemment à Taksebt-Oued Aïssi n'est pas encore opérationnel à ce jour. Il est destiné à renforcer l'alimentation en eau de la région et de ses environs et de fournir un apport supplémentaire au "couloir" Azazga-Tizi-Ouzou-Tadmaït.

La majeure partie de la région du Sébaou et de la Wilaya de Tizi-Ouzou est peu ou pas concernée par l'exploitation de ces deux gisements.

Les nombreux secteurs éloignés de ces deux lieux privilégiés connaissent un large déficit dans l'approvisionnement en eau potable à cause de l'insuffisance des transferts par adduction et de diverses contraintes liées au relief accidenté, au type de répartition très épars des populations, à un sous-sol constitué de terrains peu ou pas perméables et enfin aux conditions climatiques particulières.

L'exploitation actuelle des eaux ne peut pas répondre à la demande des utilisateurs et les populations villageoises qui comptent beaucoup sur un éventuel apport des eaux souterraines à la faveur des fractures géologiques et autres discontinuités que l'on rencontre habituellement dans ce type de terrains.

## Aperçu géophysique

### Introduction :

L'étude géophysique s'est basée sur la prospection électrique de la plaine du Sébaou, à la demande de la direction de l'hydraulique de Tizi-Ouzou la compagnie générale de la géophysique (CGC) a effectué en 1964 une campagne de sondages électriques couvrant l'ensemble de la vallée du Sébaou.

La géophysique se proposait alors de préciser la géométrie du système aquifère et de localiser notamment les faciès grossiers et donc les plus productifs.

La CGC a découpé le terrain d'étude en 8 zones, dont 511 sondages électriques pour lesquels la longueur maximale d'émission a été de 1000 m. Ces sondages électriques (S.E) sont disposés suivant des profils transversaux aux oueds Sébaou, oued Aissi, et oued Bougdoura.

Les résultats de l'interprétation des sondages électriques verticaux ont permis de tracer les cartes suivantes :

- Une carte des résistivités apparentes ;
- Une carte du toit de substratum conducteur ;
- Une carte des résistances transversales pour les zones I (Figure II.12)

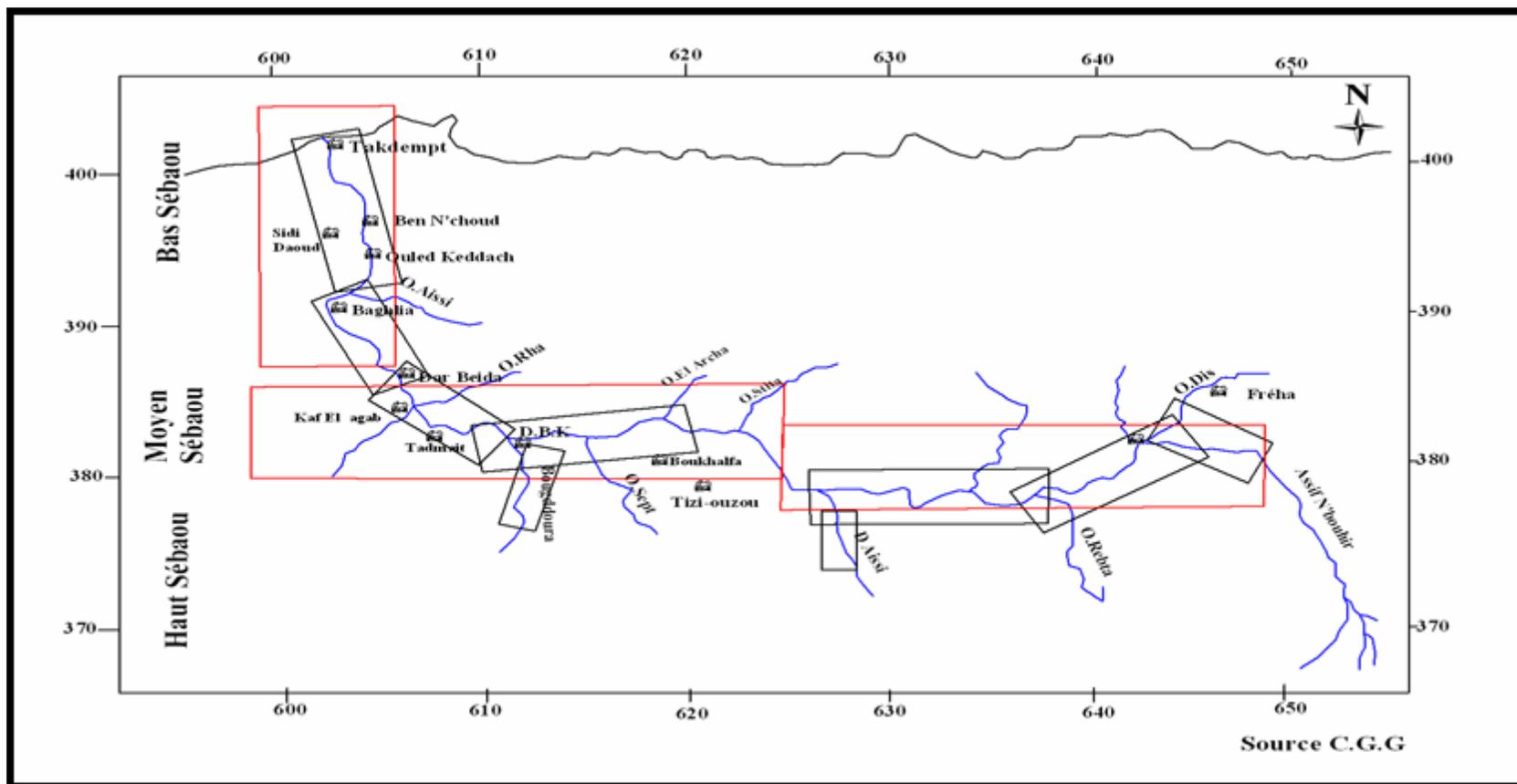


Figure II.5 : Situation des zones d'étude dans la vallée du Sébaou C.G.G (1964)

### III.1. Sondages électriques étalons et résistivités électriques des formations :

Les résultats de la prospection électrique de surface du haut Sébaou, exprimés sous forme de diagramme permettent de distinguer le type de courbes suivant :

➤ Type HQ (Figure II.6 et II.7) :

Nous rencontrons ce type de courbes dans les zones VII et VIII à Tazazrait - Kahra et à Fréha.

Les sondages électriques permettent de préciser la présence de trois horizons superposés:

- à la surface, des alluvions sèches ainsi que des limons de recouvrement de résistivités :  $8.5$  à  $30 \Omega m$ .
- en dessous une deuxième couche d'alluvions aquifères présentant des résistivités de  $75$  à  $120 \Omega m$ .
- La troisième couche est constituée par les marnes du substratum qui ont une résistance de  $6 \Omega m$ .

Les mesures paramétriques effectuées dans les sondages électriques étalons ont permis d'établir l'échelle des résistivités suivantes, pour les diverses formations géologiques rencontrées (voir tableau II.6) :

Echelle des résistivités ( $\Omega m$ )	Caractéristiques lithologiques
<10	Marnes du Miocène
10 - 20	Argiles de la zone non saturée
20 - 50	Dépôts limon-sableux, argile
50 - 100	Sables limoneux, galets, argile
100 – 200	Alluvions aquifères : sables, galets, graviers
200 – 800	Alluvions sèches : sable, galets, graviers

Tableau II.6 : Echelle des résistivités

Cependant on peut dire que les formations de couverture peuvent être soit conductrices (argileuses) ou bien résistantes (alluvions non saturées), la nappe aquifère constituée d'argile, sables, gravier, et galets de résistivités de l'ordre de  $100$  à  $200 \Omega m$  entrecoupée de lentilles argileuses de résistivité de l'ordre de  $10$  à  $20 \Omega m$  ;

Enfin le substratum conducteur constitué de marnes du miocène présente des résistivités inférieures à  $10\Omega m$ .

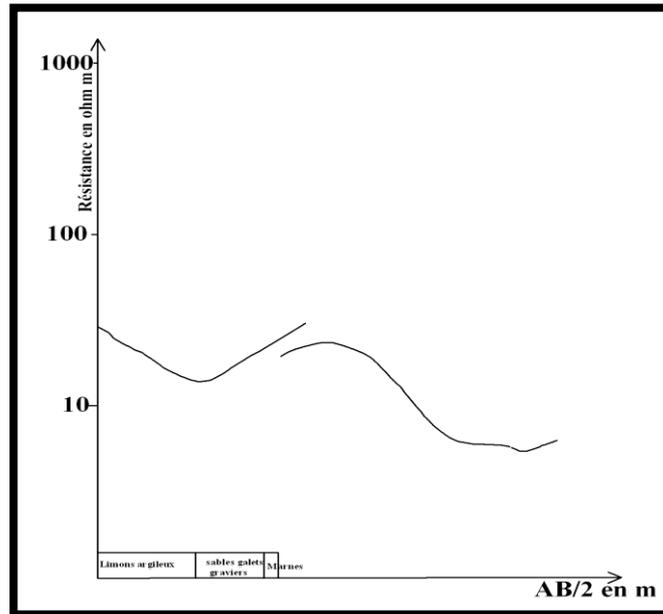


Figure II.6 :S.E Etalon AB-4A, Oumzizou1 et 3(Zone VII) Courbe de type HQ

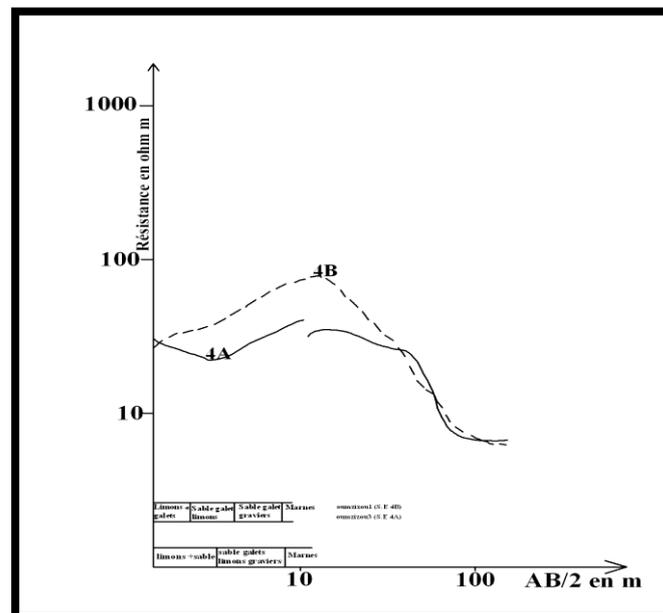


Figure II.7 :S.E Etalon A2, Forage de Fréha (Zone VIII) Courbe de type HQ

### **III.2. Interprétation des principaux résultats :**

#### **III.2.1. Coupes géo-électriques (Figure : II.9, II.10) :**

Sur les coupes géo-électriques établies selon les profils des sondages électriques, on peut remarquer l'existence tantôt résistance d'épaisseur réduite (0.5 à 1m) et correspondant à des alluvions sèches, tantôt conducteur correspondant à des limons de recouvrement, l'épaisseur des alluvions aquifères augmente de l'amont vers l'aval, elle est en moyen à 10 m dans le haut Sébaou, ces alluvions ont des résistivités de l'ordre de  $100\Omega m$  à  $200\Omega m$ . Des niveaux discontinus ainsi que la présence des lentilles argileuses incorporées dans la masse alluviale confirment l'hétérogénéité de l'aquifère à l'échelle du sondage. (C.G.G ,1964) La diminution de la résistivité d'amont en aval est en parfait accord avec un enrichissement en particules fines et une augmentation de la minéralisation des eaux suivant le même sens. Cette évolution de la résistivité des formations est liée à un enrichissement en matériaux détritiques.

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

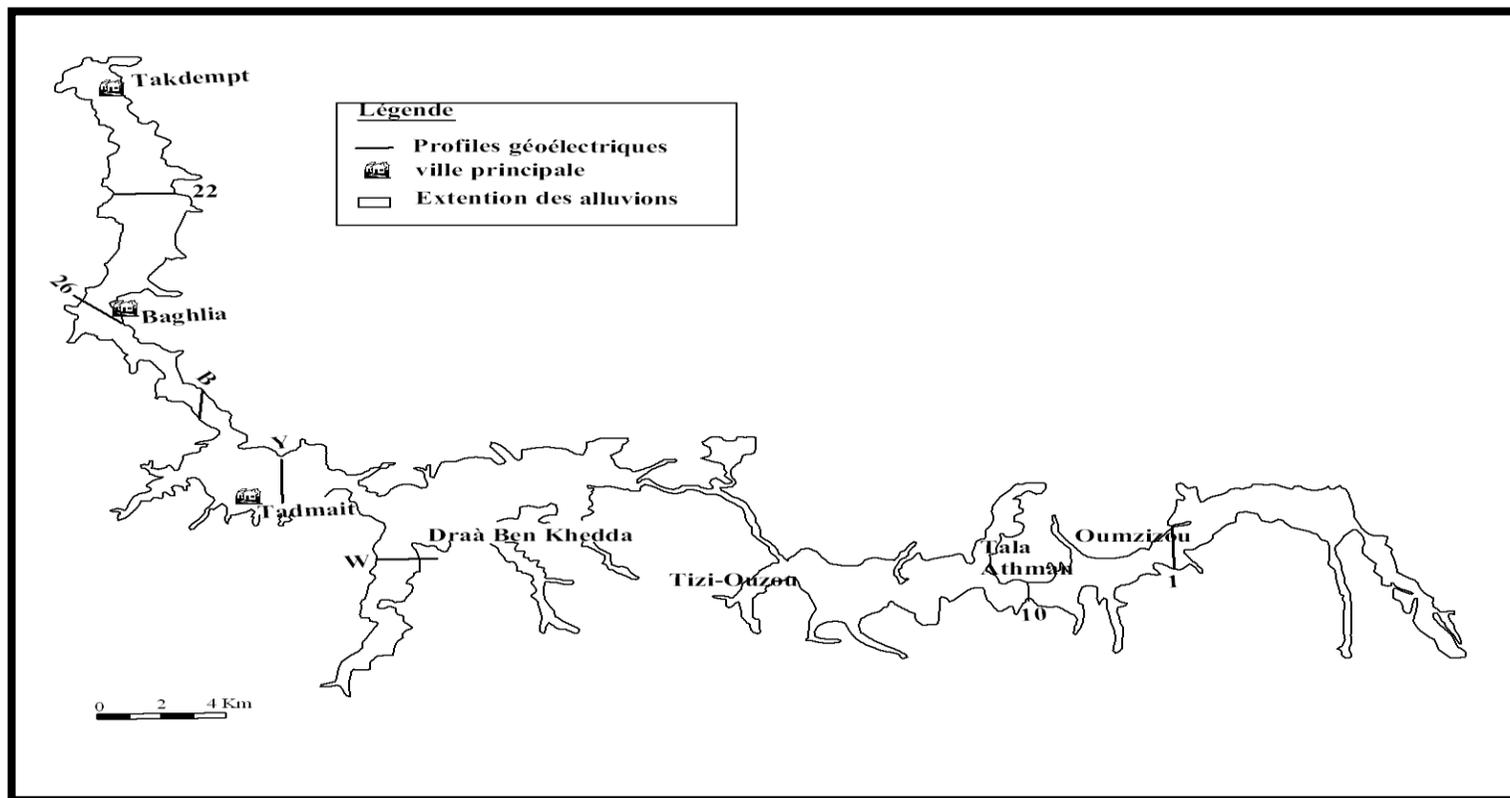


Figure II.8 : carte de situation des coupes géo-électriques dans le Bassin versant du Sébaou (C.G.G ,1964)

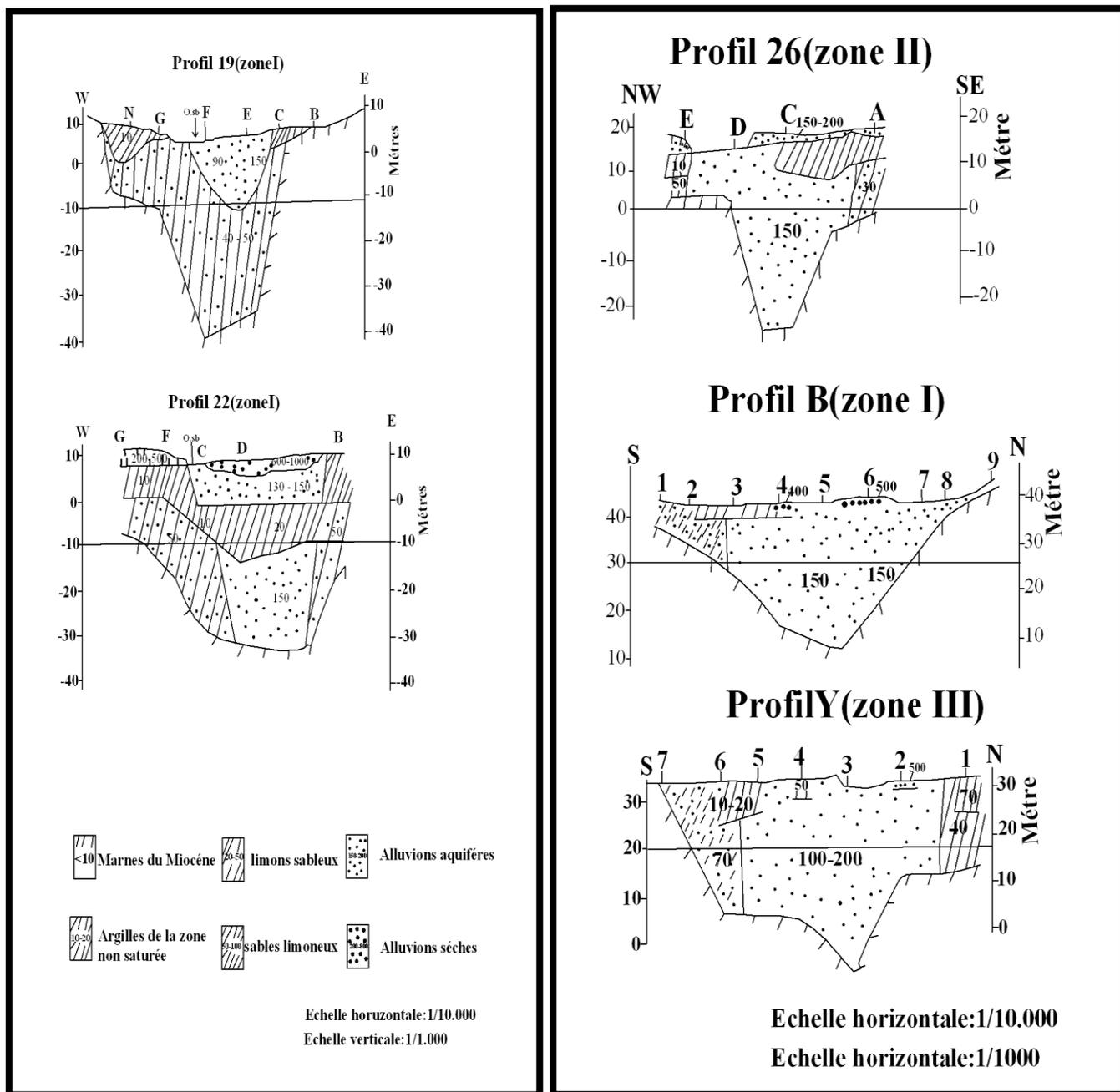


Figure II.9 : Coupes géo-électriques suivant les profils de S.E d'après (C.G.G, 1964)

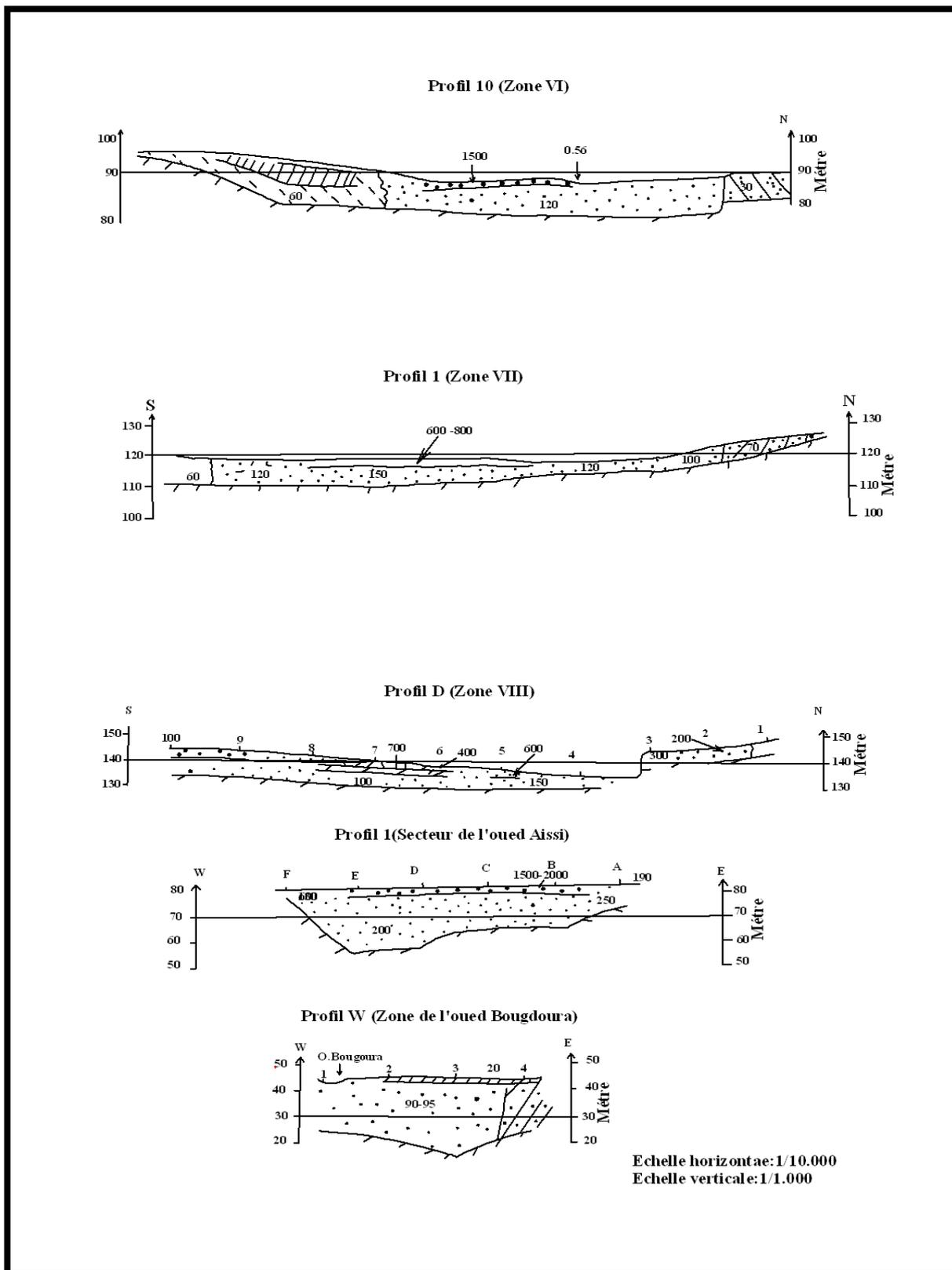


Figure II.10 : Coupes géo-électriques suivant les profils de S.E d'après (C.G.G, 1964)

### III.2.2. Interprétation des cartes des résistivités apparentes (AB=1000m) :

L'analyse des cartes (Figure : II.11) permet de distinguer deux zones de résistivités apparentes nettement différentes :

- Une zone de forte résistivité ( $\rho_a > 100\Omega m$ ) relative au centre de la vallée correspondant aux éléments grossiers des alluvions quaternaires.
- Une zone de faible résistivité ( $\rho_a < 100\Omega m$ ) relative aux bordures de la vallée, qui correspondent au dépôt détritique trop fin, déposé par l'oued Sébaou en période de crue.

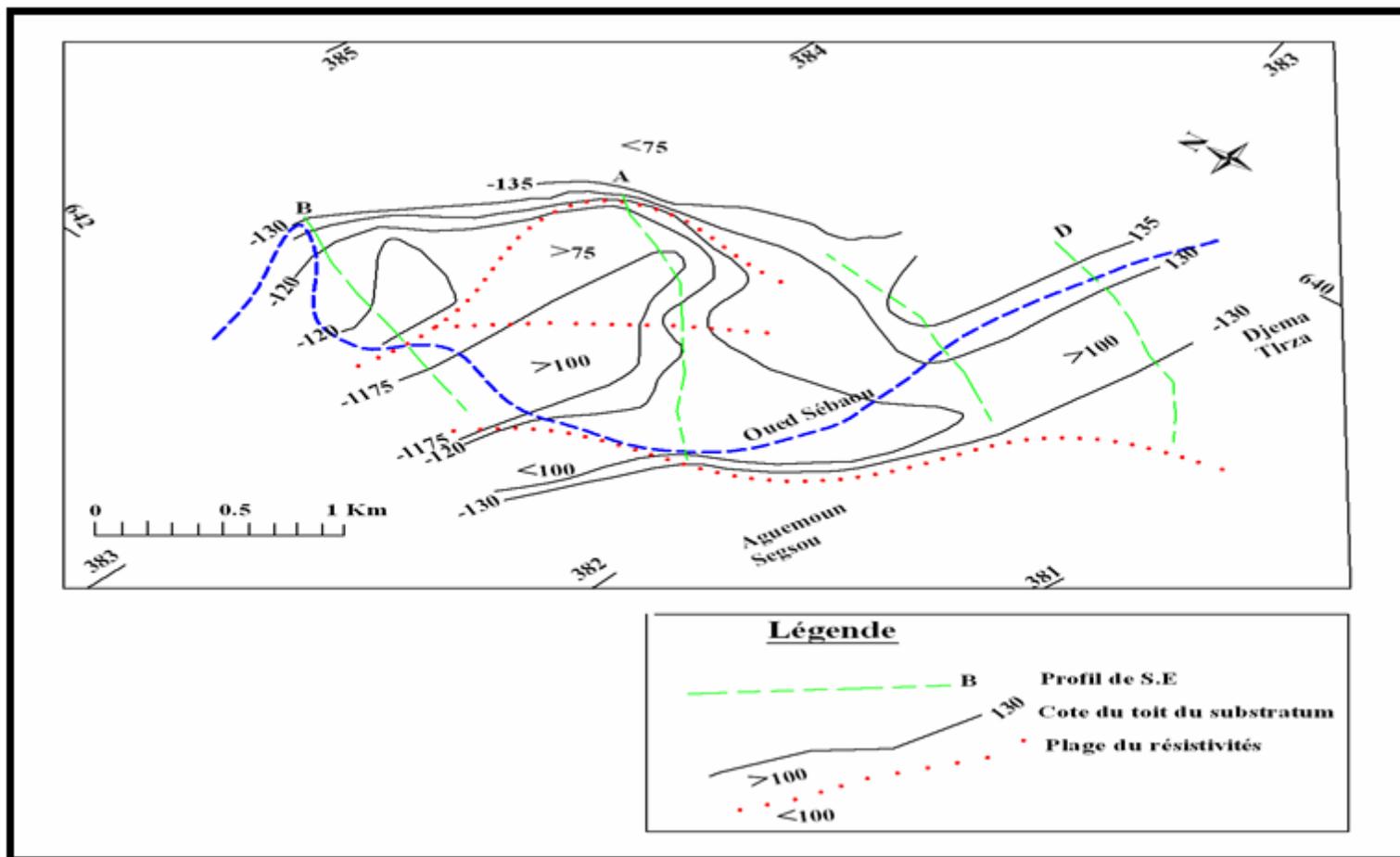


Figure II.11 : Carte des résistivités apparentes en ligne d'émission AB=1000m Zone VII : Fréha – Djamaa Tizra (Source : CGG 1964)

### III.2.3. Interprétation des cartes des résistances transversale (Figure : II.12) :

La résistance transversale ( $R_t$ ) est le produit de l'épaisseur par la résistivité d'une même couche. Etablies par la C.G.G à partir des données des sondages électriques, les cartes d'iso-résistance transversale montrent une augmentation des valeurs de ( $R_t$ ) au fur et à mesure que l'on s'éloigne des bordures de la plaine en allant vers le centre de la vallée. Ce qui est en conformité avec le sens de variation des épaisseurs des alluvions constaté sur les profils géo-électriques et hydrogéologiques. Alors, les fortes valeurs de ( $R_t = 5000 \text{ ohm. m}^2$ ) sont enregistrées au cœur de la plaine et les faibles valeurs ( $R_t = 1000 \text{ ohm.m}^2$ ) s'éparpillent sur les bordures. (C.G.G ,1964)

Cependant, nous constatons une diminution des valeurs de ( $R_t$ ) d'amonts en aval et ce dans le sens contraire de la croissance de la puissance des alluvions. Ceci est dû essentiellement à la dégradation de la qualité des alluvions causée par un enrichissement dans le même sens en sédiments fins et à l'intrusion d'eau de mer.

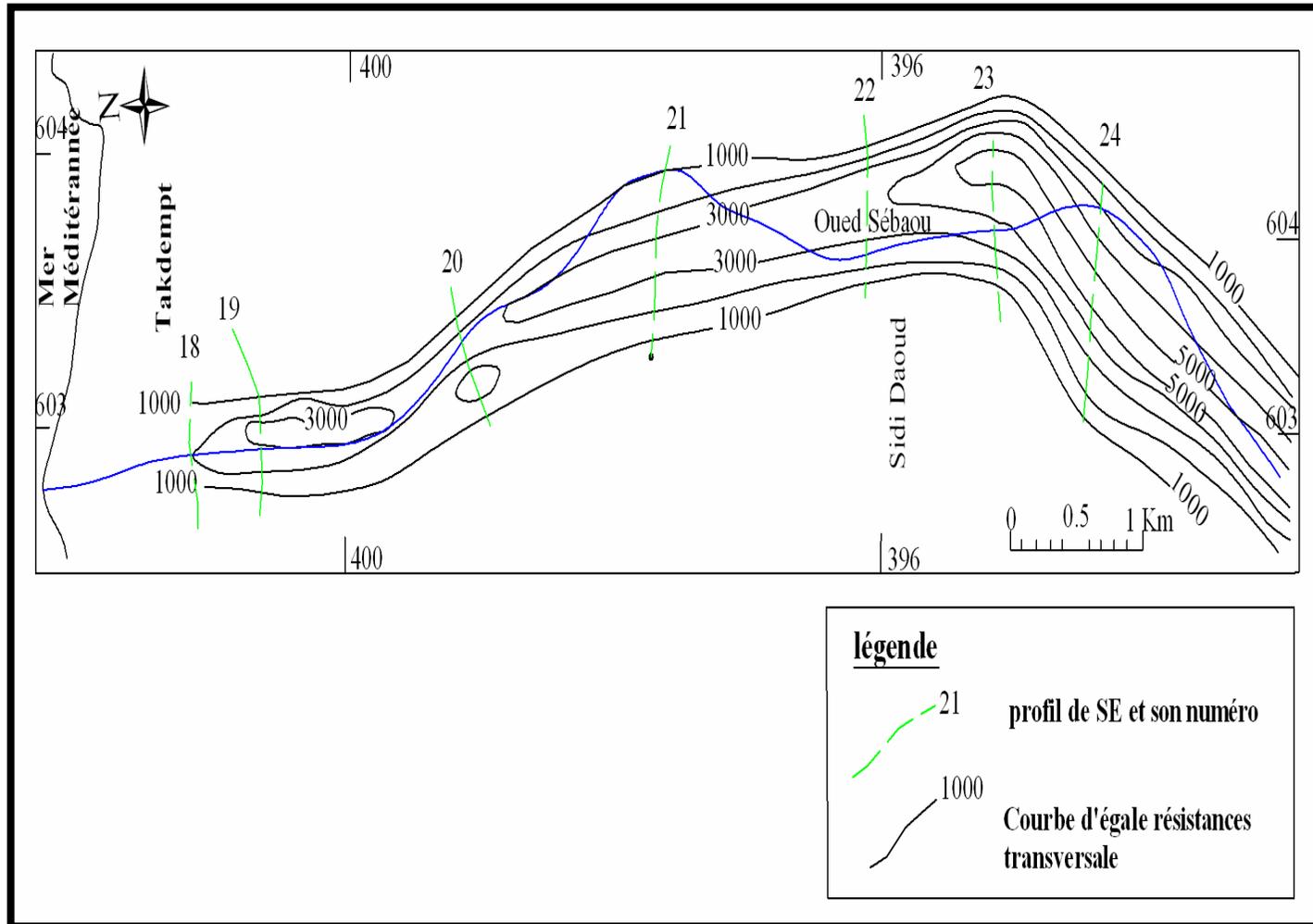


Figure II.12 : cartes des résistances transversales. Zone I: Takdempt-Oumzizou (C.G.G1964)

### III.3. Structure et géométrie de l'aquifère alluvial :

La vallée du Sébaou est constituée par des dépôts détritiques où sont incorporés des horizons argileux discontinus .ces formations d'âges quaternaire représentent l'aquifères de la vallée, qui constitue le remplissage d'un synclinal à cœur miocène .on retrouve dans cette dernière un matériau hétérogène, formé de sable, galet et gravier.

Les recherches géophysiques (C.G.G 1964) ont permis de déterminer l'extension spatiale des alluvions, en section longitudinale et transversale.

Dans le haut Sébaou : la nappe s'étale sur une longueur de 50 Km et sur une largeur moyenne égale à 10 m. elle varie de 8 m dans la partie amont (Boubroune) et à 15 m dans la partie aval (Belloua) .Dans cette zone la nappe est libre.

#### Conclusion :

L'interprétation des coupes géo-électriques réalisée après les longs des forages met en évidence l'existence :

- Un substratum marno-argileux d'âge miocène avec des résistivités faibles d'ordre 10ohm.m
- Un niveau résistant constitué d'alluvions aquifères de résistivités variant entre 100 et 200 ohm.m.
- Des intercalations d'horizons argileux de résistivités comprises entre 10 et 20 ohm.m
- Une couverture limono-argileuses qui couvre par endroits les alluvions aquifères.

La formation aquifère du Sébaou correspond donc à des dépôts détritiques quaternaires de puissance moyenne qui s'étendent sur environ 100Km.

L'unité du haut Sébaou est formée par une série de terrasses étagées dont la première constitue l'aquifère le plus important, avec des alluvions formées d'argile, sables grossiers et de galets d'épaisseur moyenne de 10 m. (C.G.G1964)

L'interprétation des cartes de résistivités apparentes et celles des résistances transversales montre que l'épaisseur de l'aquifère alluvial augmente des bordures de la vallée Vers son centre qui est l'endroit privilégié pour l'implantation des ouvrages de captage.

# **Chapitre III : Etude Hydro-climatique**

**Introduction :**

Dans le présent chapitre, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évacuer l'ensemble des éléments climatologiques et aussi la manière dont les différents composants du climat se comportent l'un par rapport à l'autre.

Pour mieux caractériser le régime climatique dans la région d'étude, nous avons choisie six stations climatiques, réparties sur la surface du bassin versant du haut Sébaou figure III.1, couvrant une période de 30ans (1980-2010), les différentes caractéristiques relatives à ces stations sont regroupées dans le tableau III.1

Station pluviométrie	Code (ANRH)	Coordonnées Lambert		Altitudes (m)	Période de fonctionnement
		X en km	Y en km		
AZAZGA ECOLE	02-15-04	449.4	384	430	1970-actuel
LARBAA N'ATH- IRATHEN	021705	634,9	370,8	980	1970-actuel
AGHRIBS (Adrar)	021601	645.1	391.25	680	1968-actuel
FREHA	021603	641,9	383,5	140	1968-actuel
TIGZIRT N BOUBHIR	021501	650.9	372.1	220	1968 -actuel
BENI YENNI	021712	635	365.25	760	1980-actuel

Tableau III.1 : caractéristiques des stations pluviométriques utilisées  
(Source : ANRH)

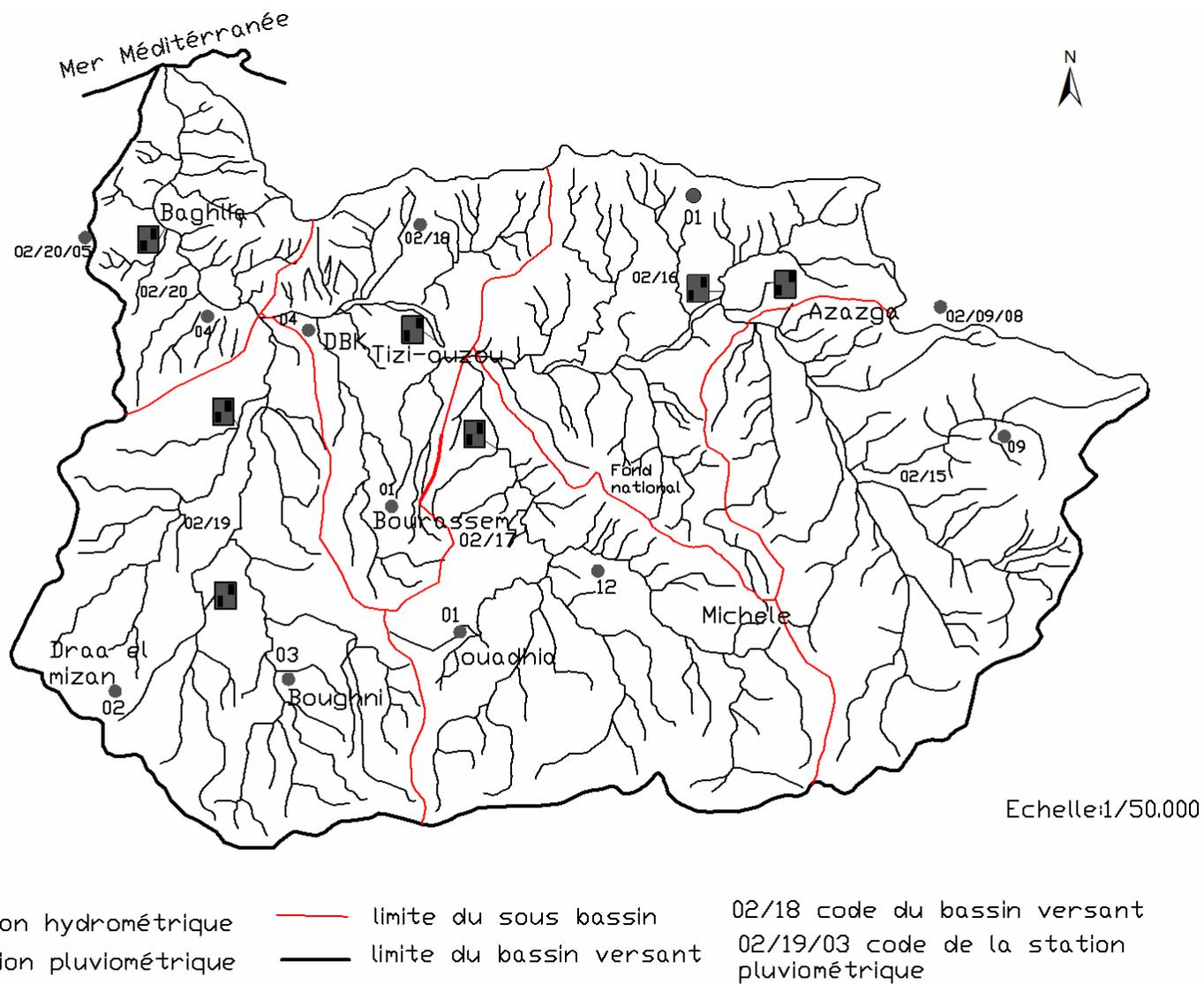


Figure III.1 : répartition des stations pluviométriques et hydrométriques dans le bassin versant du Sébaou (Source : ANRH)

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

### **III.1. Analyse des paramètres climatiques :**

#### **III.1.1. Les précipitations :**

Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie et la connaissance de cet apport d'eau au sol est essentielle pour appréhender l'état des réserves en eau du sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau.

Le bassin du Sébaou reçoit en général deux formes de précipitation :

- la pluie, la forme la plus répandue dans tout le bassin ;
- la neige, la forme la plus localisée dans le temps et dans l'espace, elle se produit principalement sur les reliefs montagneux du Djurdjura au sud et dans la chaîne littorale au nord.

L'utilité avantageuse de la neige apparaît surtout dans l'écoulement, elle le ralentit relativement et laisse le sol s'imbibber d'une façon continue et donc l'eau a largement le temps de s'infiltrer.

##### **III.1.1.1. Variation des précipitations :**

Le bassin versant de l'oued Sébaou possède un réseau pluviométrique très dense (26 stations), les données anciennes sont parfois manquantes, selon les stations.

La pluviométrie moyenne à l'échelle du bassin versant est de l'ordre de 900 mm.

##### **a) variation annuelle :**

La figure ci-après figure III-2, nous montre l'évolution des précipitations en dents de scie à la station d'AZAZGA (Haut Sébaou) , durant la période allant de 1980 à 2010, nous constatons que depuis l'année hydrologique 1980/1988, les apports en quantité de pluie annuelle décroît de 939 à 569 mm puis on remarque une augmentation à 1317 mm en 1998 et une seconde décrue en 2002 avec une valeur de 521 mm.

La moyenne annuelle enregistrée à l'échelle du bassin versant de l'oued Sébaou, se rapproche de la période 2009/2010 qui est de 941,4 mm.

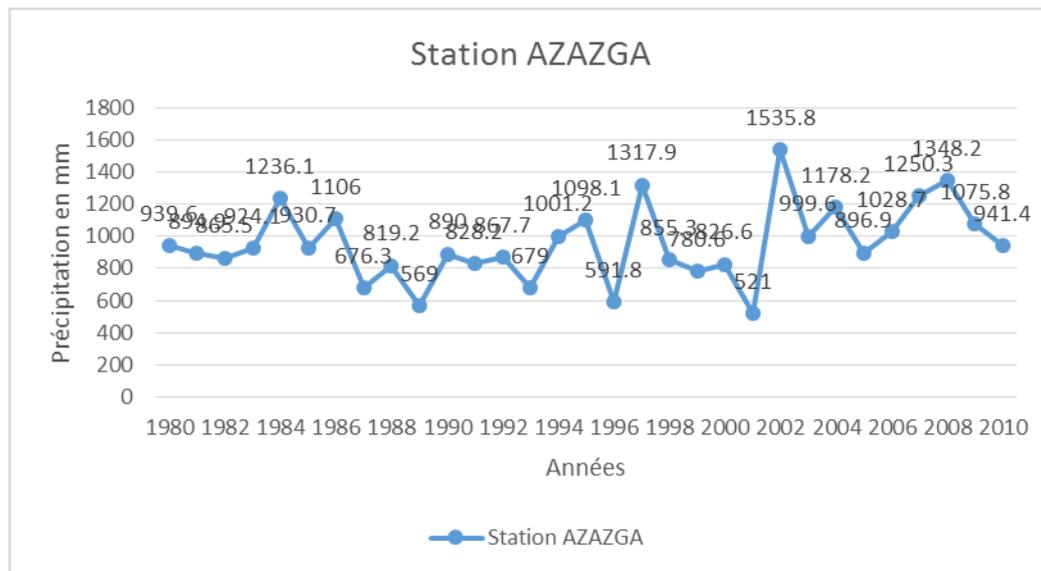


Figure III.2 : évaluation des précipitations annuelles au niveau de la station d'AZAZGA (1980-2010)

Sur un autre plan le diagramme de la figure III.3 établit à partir des données pluviométriques enregistrées au niveau des stations Azazga , Larbaa Nath Irathen , Aghribs , Beni Yenni et Freha, Tizirt N Boubhir montre que les variations interannuelles des précipitations durant la période s'étalant depuis 1980 à 2010 sont assez concordantes.

Année	AZAZGA ECOLE	TIGZIRT N BOUBHIR	AGHRIBS	LARBAA NATH IRATHEN	FREHA	BENI YENNI
1980	939,6	930,7	1138,4	1077,2	832	1027
1981	894,9	946,3	816,7	849,1	709	894,3
1982	865,5	1042,9	1041,6	863,4	694,9	828,8
1983	924,1	909,3	861,3	881,8	650,5	885,6
1984	1236,1	1155,8	1296,6	1153	861,2	990,6
1985	930,7	897,8	1117,6	894,7	712,4	868,5
1986	1106	1208,6	1389,8	988,2	898,8	1040
1987	676,3	786,1	710,5	638,9	580,3	721
1988	819,2	927,2	860,7	641,6	604,4	785,2
1989	569	634,2	631,1	607,9	425,1	522,4
1990	890	913,2	1063	831,2	681,7	842,8
1991	828,2	908,5	1044,1	821,4	647,1	725,6
1992	867,7	925,1	1030	786,8	667,7	702
1993	679	785,3	781,6	667,7	553,1	618,9
1994	1001,2	1135,2	1132,9	899,9	752,6	922,5
1995	1098,1	1133,7	1137,2	1100,9	767,7	890,8
1996	591,8	707,7	738,6	664,1	473	505,5
1997	1317,9	1237,2	1656,5	1319,6	948,7	1192,3
1998	855,3	775,1	1140,4	859,7	678,7	768,4
1999	780,6	520	884	604,9	597,7	624,2
2000	826,6	808,9	992	706	604,3	785,3
2001	521	632,1	761,5	522,7	387,7	479,6

2002	1535,8	1349,9	1650,6	1255	1192,3	1366,5
2003	999,6	1004	1168,1	961,9	825,3	903,6
2004	1178,2	859,8	1089,2	797,3	779,1	879,5
2005	896,9	1040,8	1072,7	814,6	677,3	754,2
2006	1028,7	1125,5	1264,9	859,4	859,6	698,2
2007	1250,3	1306	1330,8	994	1145,9	955
2008	1348,2	1196,7	1100,8	1166,9	902	1197,9
2009	1075,8	600,2	917	957,1	849,8	925,8
2010	941,4	455,1	1247,2	1063,7	666,9	1113,2

Tableau III.2 : précipitations moyennes annuelles 1980-2010 (source : ANRH)

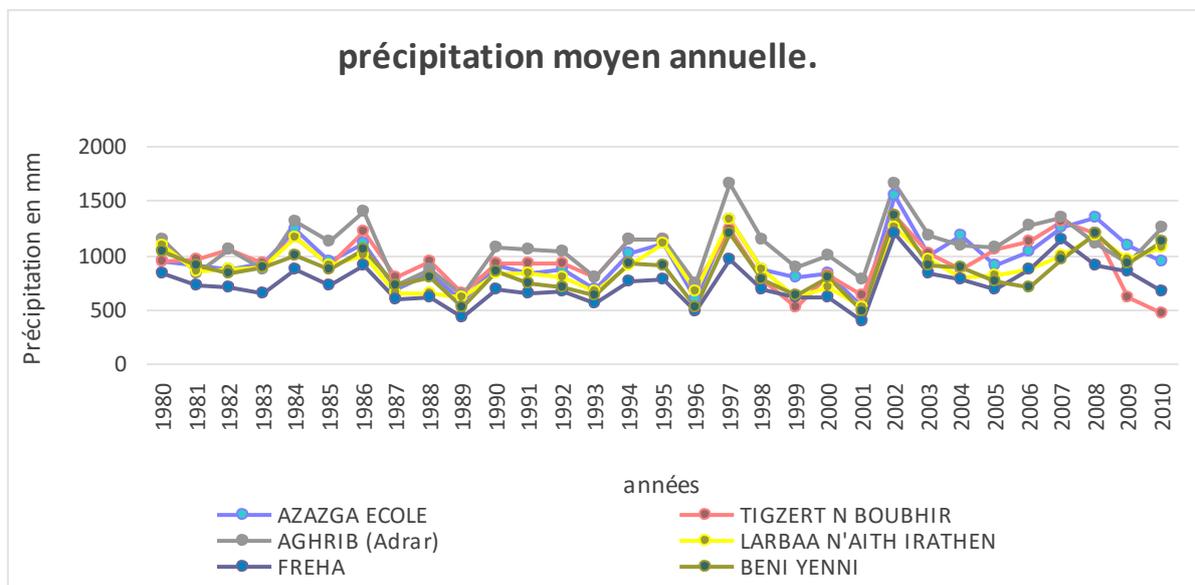


Figure III.3 : Précipitations moyennes annuelles (1980-2010)

**b)variation mensuelle :** Le bassin versant de la grande Kabylie, jouie d'un climat méditerranéen, dont on distingue deux périodes à savoir, une période sèche allant du mois de mai au mois de septembre et une période humide allant du mois d'octobre au mois d'avril. L'évolution des précipitations à la station d'AZAZGA montre bien ces deux périodes durant les deux années 1997/1998 et 2002/2003. (Figure III.3)

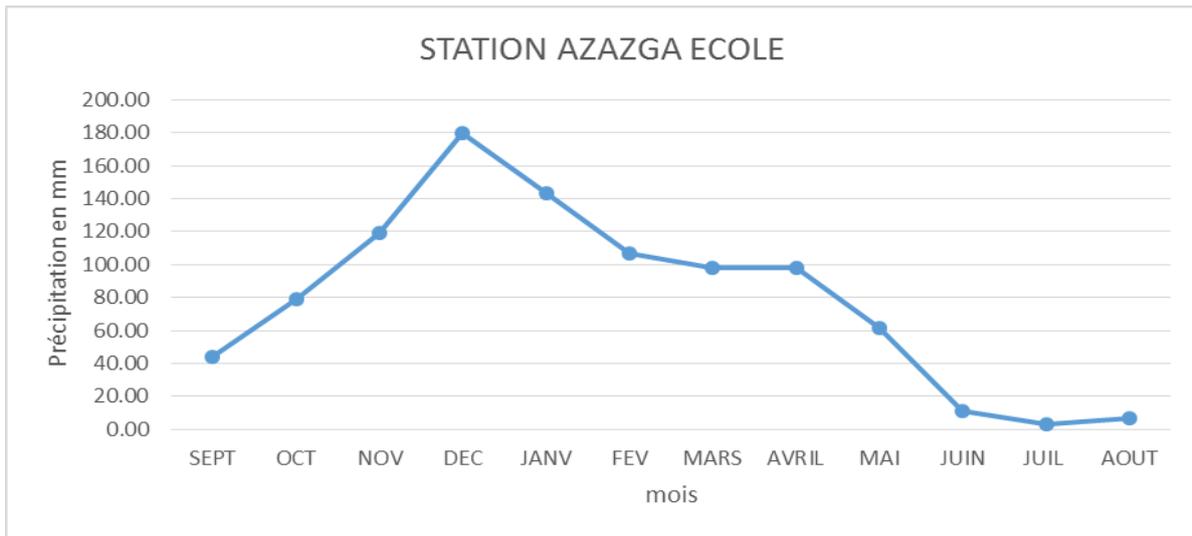


Figure III.4 : évaluation des précipitations moyenne mensuelles à la station d’AZAZGA (1980-2010)

Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles enregistrées au niveau du bassin versant du Sébaou durant la période (1980-2010), pour les stations d’observation de LARBAA N’ATH-IRATHEN, AZAZGA ECOLE, BENI YENNI, AGHRIBS (Adrar), FREHA, TIGZIRT N BOUBHIR sont insérées dans le tableau III.3.

Nous constatons que les résultats des six stations corroborent ceux obtenus dans la station d’AZAZGA donc les précipitations sont réparties sur deux saisons :

- Une saison pluvieuse humide s’étalant du mois d’octobre à avril avec un maximum enregistré au mois de décembre.
- Une saison sèche s’étalant du mois de mai au mois de septembre. Figure III.5

Station	sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avri	mai	juin	Juil	Aout	Total
LARBAA N’ATH-IRATHEN	38,9	67,7	125,1	149,9	139,1	74,9	73,7	104,4	80,1	6,8	5,3	7,4	873,4
BENI YENNI	41,9	72,7	99,5	136,8	127,1	78,3	71,2	94,5	66,9	11,5	4,8	9,9	815,1
FREHA	24,4	64,5	120,6	162,1	121	70,5	72	87	41,5	4,7	1,3	2,8	772,4
AZAZGA ECOLE	43,69	79,02	118,92	179,95	143,48	107,03	98,35	97,94	61,64	10,98	3,32	6,44	941,01
AGHRIBS (Adrar)	3,95	94,01	142,22	183,90	165,49	126,21	106,25	118,34	65,61	8,17	3,36	9,45	1026,95
TIGZIRT N BOUBHIR	45,62	77,07	106,98	150,53	130,97	112,41	110,15	101,27	61,38	14,31	4,28	9,75	924,71
TOTAL	246,36	523,60	14893,10	1086,67	945,94	648,95	607,05	717,65	462,42	70,06	27,96	60,94	6201,07

Tableau III.3 : Précipitation moyennes mensuelles des stations pluviométriques 1980-2010

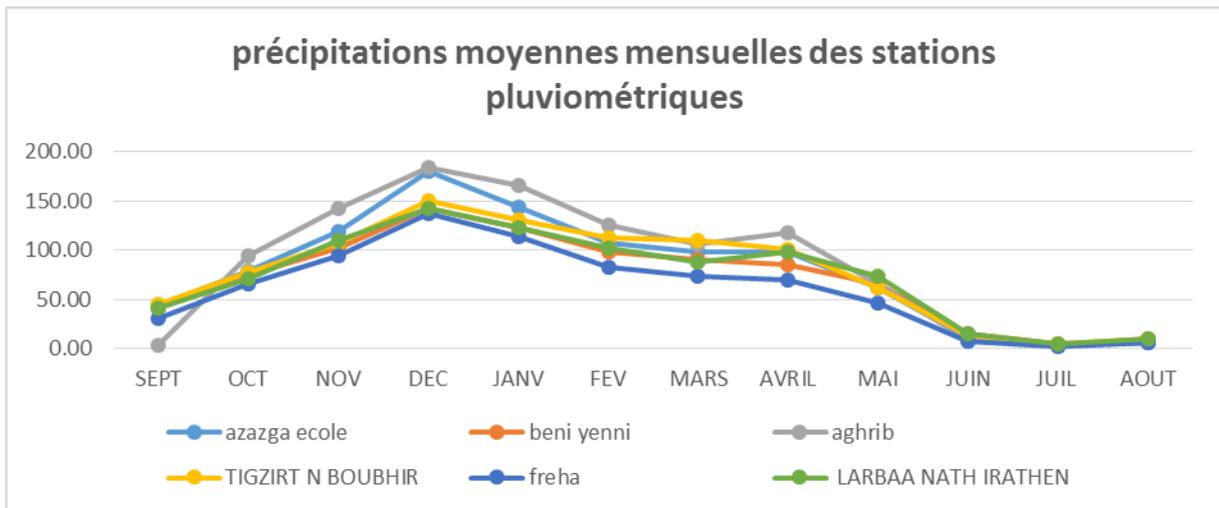


Figure III.5 : précipitations moyennes mensuelles des stations pluviométriques (1980/2010)

Le graphe de la figure III.5, montre que l'évolution saisonnière des précipitations est similaire dans toutes les stations. Toutefois, nous constatons que la région la plus arrosée est celle de d'AGHRIB avec une moyenne annuelle de 1026.95 mm, cela peut s'expliquer par sa position très élevée par rapport aux autres stations d'une part et l'influence maritime d'autre part. En revanche, la station de Fréha, qui est relativement loin de la mer, reçoit le minimum de pluie soit une lame d'eau précipitée de 772,4 mm par an.

### III.1.2.Température :

Les températures conditionnent le déficit d'écoulement ainsi que son estimation et jouent un rôle dans le processus de condensation et d'évaporation de l'eau.

C'est pourquoi ses études s'avèrent nécessaire dans l'établissement du bilan hydrologique et la détermination du caractère climatique d'une région.

Pour une meilleure approche de ce paramètre, nous avons intérêt à considérer les anciennes données de la série de P.Selzer (1913-1938) et les plus récentes de la station d'Azazga (1968-2005) dans le but d'établir une comparaison.

#### III.1.2.1.Les données anciennes (1913-1938) :

Les données de cette période sont relevées au niveau des stations d'Azazga, Fréha, Larabaa Neth Irathen et Aghribs.

Mois	LARABAA NETH IRATHEN	AZAZGA ECOLE	FREHA
Sept	21.40	23.4	24.00
Oct	15.90	18.2	17.50
Nov	11.00	13.8	11.30
Dec	7.00	9.4	9.50
Jan	6.40	11.2	7.00
Fev	7.40	10.1	10.20
Mar	10.40	10.2	11.00
Avr	12.50	11.8	12.20
Mai	16.70	18.9	17.90
Jun	20.40	23.8	16.00
Jul	24.90	25	27.20
Aou	26.60	25.6	27.70
année	14.97	16.78	17.89

Tableau III.4 : Températures moyennes mensuelles (1913/1938) (Source : P.Selzer)

La comparaison des températures moyennes mensuelles tableau III-4 des différentes stations montre une concordance :

- Avec une décroissance rapide de Septembre à Janvier ;
- Une croissance modérée et régulière de Janvier à Août ;
- Les mois les plus froids sont par ordre : Janvier, Décembre et Février ;
- Les mois les plus chauds sont par ordre : Août, Juillet et Septembre ;
- L'écart de la température moyenne entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est selon la station :

-AZAZGA 16, 2 °C.

- FREHA 20, 7 °C.

- LARBAÂ-NATH-IRATHEN 20, 2°C.

#### III.1.2.2.Les données récentes (1968-2005) :

Les données issues de la station d'AZAZGA pour la période de 1968 à 2005 sont présentées dans le tableau suivant :

Moi	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
Ten (C°)	24,23	19	12,27	10,15	10,05	10,23	12,21	13,9	17,32	22,46	25,11	25,2	16,84

Tableau III.5 : Températures moyennes mensuelles de la station d’AZAZGA (1968-2005)

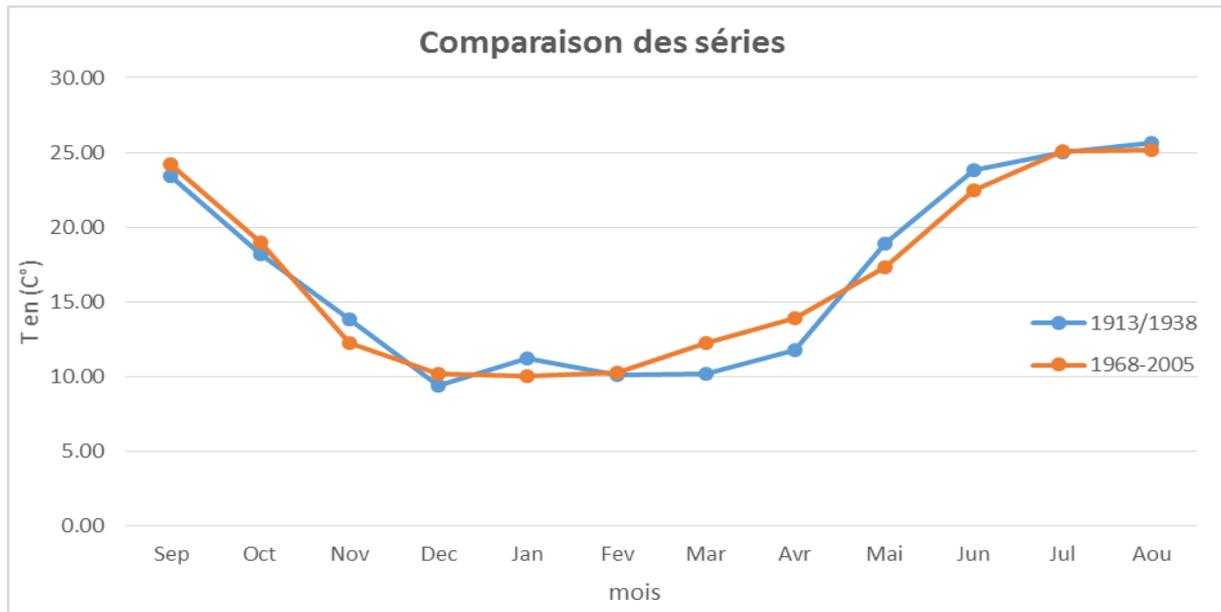


Figure III.6 : Comparaison des séries anciennes (1913-1938) et récentes (1968-2005) des températures à la station d’AZAZGA

La figure III.6 montre qu’au niveau de la station d’Azzazga, Il n y a pas une différence considérable entre la série ancienne (1913-1938) et la série récente (1968-2005).

La moyenne arithmétique des températures moyennes annuelles relatives aux deux périodes (anciennes et récentes) donne une température moyenne de 16°C.

**III.1.3.Régime climatique :**

De Martonne (1923), partant de la notion empirique d’aridité a conçu un indice caractérisé par la formule suivante :

$$A = \frac{P_i}{\theta + 10} \dots\dots\dots(III.1)$$

Avec : P<sub>i</sub> : précipitation moyenne en mm ;

θ : Température moyenne en(C°) ;

A : indice de Marthone ;

Les valeurs de l'indice de Marthone permettent de relier chaque région à un étage bioclimatique. On distingue, ainsi, les cas suivants :

- $A < 5$ , correspond à une période aride ;
- $5 < A < 20$ , correspond à une période semi aride ;
- $20 < A < 30$ , correspond à une période tempérée ;

Les résultats mentionnés dans le tableau III.6 mettent en exergue ; à l'échelle mensuelle ; l'existence de deux périodes :

- Une période tempérée (décembre, janvier, février et mars) ;
- Une période aride (juin, juillet, et août) ;

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	1968-2005
T(C°)	24,23	19	12,27	10,15	10,05	10,23	12,21	13,9	17,32	22,46	25,11	25,2	16,84
P (mm)	43,69	79,02	118,92	179,95	143,48	107,03	98,35	97,94	61,64	10,98	3,32	6,44	941,01
A	1,63	2,94	4,43	6,70	5,35	3,99	3,66	3,65	2,30	0,41	0,12	0,24	35,06

Tableau III-6 : Valeur de l'indice de Marthone (station AZAZGA : 1968-2005)

### III.1.3.1.L'humidité relative de l'air :

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en %, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante, c'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère. Les seuls enregistrements disponibles pour ce paramètre sont ceux effectués à la station de

Tizi-Ouzou qui est tout près de notre zone d'étude pour une période de six ans (1989-1994) et dont les valeurs sont consignées dans le tableau ci-après :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité(%)	58	71	76	78	74	76	71	70	60	58	51	50

Tableau III.7 : Moyenne mensuelle de l'humidité (1989-1994).

Le tableau ci-dessus indique une humidité relative moyenne de l'air de 66% pour la période 1989-1994. Sur un autre plan, ces résultats montrent que l'humidité de l'air est relativement faible à partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre avec un minimum de 50% au mois d'août et sensiblement élevée du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, caractérisant la saison humide avec un maximum de 78% au mois de décembre.

**III.1.3.2. Le vent :**

Le vent est l'un des éléments caractéristiques du climat régissant l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrée au niveau de la station de Tizi-Ouzou sont présentés dans le tableau III.8

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse (km/h)	1.92	1.63	1.45	1.75	1.57	1.63	1.57	1.85	2.13	2.63	2.21	2.07

Tableau III.8 : Moyenne mensuelles des vitesses du vent.

D'après les données de l'ONM on constate que les vents dans la zone d'étude sont généralement d'orientation Ouest à Sud-Ouest.

Force des vents :

Elle est estimée d'après une échelle télégraphique dont les degrés sont les suivants :

- 0 : vent calme ;
- 1-2 : vent faible ;
- 3-4 : vent modéré ;
- 5-6 : vent assez fort ;
- 7-8 : vent fort ;
- 9 : vent violent ;

D'après les données disponibles, on constate que la région d'étude est caractérisée par des vents faibles.

**III.1.3.3.Sirocco :**

La fréquence du sirocco est une des données caractéristiques du climat.

Les valeurs du tableau III.9 permettent de constater que la durée du sirocco est très variable, essentiellement un phénomène d'été avec cependant des fréquences relativement importantes au début de l'Automne (Septembre et Octobre).

Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
5.20	3.60	1.60	0.20	0.00	0.30	1.30	1.50	2.40	4.00	8.50	8.80	37.30

Tableau III.9 : Nombre moyen de jours de sirocco à la station de Tizi-Ouzou

### III.1.4. Etude de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est l'une des plus importantes composantes du bilan hydrologique.

L'évapotranspiration est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre quel que soit sa nature à l'atmosphère à partir de l'eau de surface (lacs, mers,...) souterraines (nappes aquifères) et de transpiration des plantes. Ce paramètre climatique conditionne l'abondance ou la disette en eau pour la végétation.

L'évapotranspiration est un paramètre difficile à mesurer, il dépend de plusieurs paramètres facteurs variant dans le temps et dans l'espace. Les principaux paramètres qui conditionnent l'évapotranspiration sont : la température, les précipitations, l'état du sol et la végétation.

L'évapotranspiration est la combinaison de deux phénomènes :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) qui représente la quantité d'eau maximale qui pourrait s'évaporer au niveau d'un sol saturé c.-à-d. l'évapotranspiration potentielle est employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée en eau.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) qui désigne la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée ce qui signifie que l'ETR désigne l'évaporation sans tenir compte de l'abondance de l'eau à la surface.

#### III.1.4.1. Calcul de l'évapotranspiration réelle :

De nombreux auteurs ont établi des formules empiriques donnant une approximation de l'ETP à partir de paramètres climatiques facilement accessibles.

La formule THORNTHWAITE c'est une des plus anciennes formules mise au point, elle reste très employée, car sa résolution nécessite la détermination de la température moyenne journalière de l'air.

L'évapotranspiration potentielle se calcule à partir de la relation suivante :

$$ETP = 1.6 \left( 10 \frac{T}{I} \right)^a \dots\dots\dots(III.2)$$

ETP(m) : l'évapotranspiration moyenne du mois m (m = 1 à 12) en mm,

- T : moyenne interannuelle des températures du mois, °C
- a :  $0.016 * I + 0.5$
- I indice thermique annuel :
- $I = \sum_1^{12} i \quad i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514} \dots\dots\dots(III.3)$

Les valeurs mensuelles de l'ETP ainsi calculées sont multipliées par un facteur de correction K qui tient compte à la fois du nombre de jours par mois et de la durée du jour en fonction de la latitude.

Les résultats obtenus par cette méthode sont reportés dans le tableau III.10 :

LARABAA NETH IRATHEN	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
T°c	21,4	15,9	11	7	6,4	7,4	10,4	12,5	16,7	20,4	24,9	26,6
i	9,04	5,76	3,30	1,66	1,45	1,81	3,03	4,00	6,21	8,41	11,37	12,56
ETP	97,73	88,02	82,95	80,79	79,80	78,97	77,97	76,34	74,24	70,95	66,32	59,72
K	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,2	1,2	1,22	1,16
ETPc	100,66	85,38	72,17	69,48	70,22	67,12	80,31	83,21	89,08	85,13	80,91	69,28

AZAZGA ECOLE	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
T°c	23,4	18,20	13,80	9,40	11,20	10,10	10,20	11,80	18,90	23,80	25,00	25,60
i	10,35	7,07	4,65	2,60	3,39	2,90	2,94	3,67	7,49	10,61	11,44	11,85
ETP	102,20	93,37	90,31	88,94	87,33	86,04	84,75	83,14	79,67	74,22	67,69	60,45
K	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16
ETPc	105,26	90,57	78,57	76,49	76,85	73,14	87,30	90,62	95,60	89,06	82,58	70,12

FREHA	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
T°c	24	17,5	11,3	9,5	7	10,2	11	12,2	17,9	16	27,2	27,7
i	10,75	6,66	3,44	2,64	1,66	2,94	3,30	3,86	6,90	5,82	12,99	13,36
ETP	105,87	98,14	96,00	94,70	93,98	92,79	91,54	90,10	87,38	84,86	78,33	70,55
K	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16
ETPc	109,05	95,20	83,52	81,45	82,70	78,87	94,29	98,20	104,86	101,83	95,56	81,84

Tableau III-10 : valeur de l'ETP d'après la méthode de THORNTHWAITE (1913/1938)

#### III.1.4.2 : calcul de l'évapotranspiration réelle :

L'estimation de l'ETR est facilement accessible grâce à des formules empiriques qui utilisent des données faciles à quantifier comme la température et les précipitations.

##### a) Méthode de Turc :

Selon Turc, l'ETR est fonction de la quantité de précipitation moyenne annuelle dans le bassin versant et d'un paramètre, « L » lui-même fonction de la température moyenne annuelle (t) du bassin versant.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \dots\dots\dots(III.4)$$

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

ETR : Evaporation réelle moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle(C°).

L : Pouvoir évaporant

Soit  $L=959,78$  et  $P=941,01\text{mm}$  avec  $T=16,84^\circ\text{c}$

On aura :  $ETR = 689,75$  mm.

### b) Méthode de Coutagne :

D'après cet auteur l'ETR est déduite en fonction des précipitations moyennes annuelles P(m) et de la température moyenne annuelle T(C°).

$$D = P - \lambda P^2 \dots\dots\dots(III.5)$$

$$\text{Avec : } \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} = 0,3167 \dots\dots\dots(III.6)$$

$$\text{Cette formule exige une condition d'application : } \frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \dots\dots\dots(III.7)$$

D : déficit d'écoulement (m/an)

P : Hauteur moyenne des précipitations en m.

T : Température moyenne annuelle en(C°).

Dans notre cas la condition est satisfaisante puisque  $P=0.94\text{m}$  et  $1/8\lambda=0,39$  et  $1/2\lambda = 1,57$  c.-à-d.  $(0.39 < 0.94 < 1.57)$ .

On déduit :  $ETR=660$  mm

### c)Méthode de Wundt :

C'est une méthode graphique, elle est basée sur l'utilisation de l'abaque de la figure III.7, c'est une méthode qui est en fonction de la température et de la précipitation.

Dans notre cas pour une précipitation de 941,01mm portée sur l'axe des ordonnées et une température de  $T=16,84^\circ\text{c}$  portée en abscisse, le déficit d'écoulement lu sur le diagramme, est de 640mm.

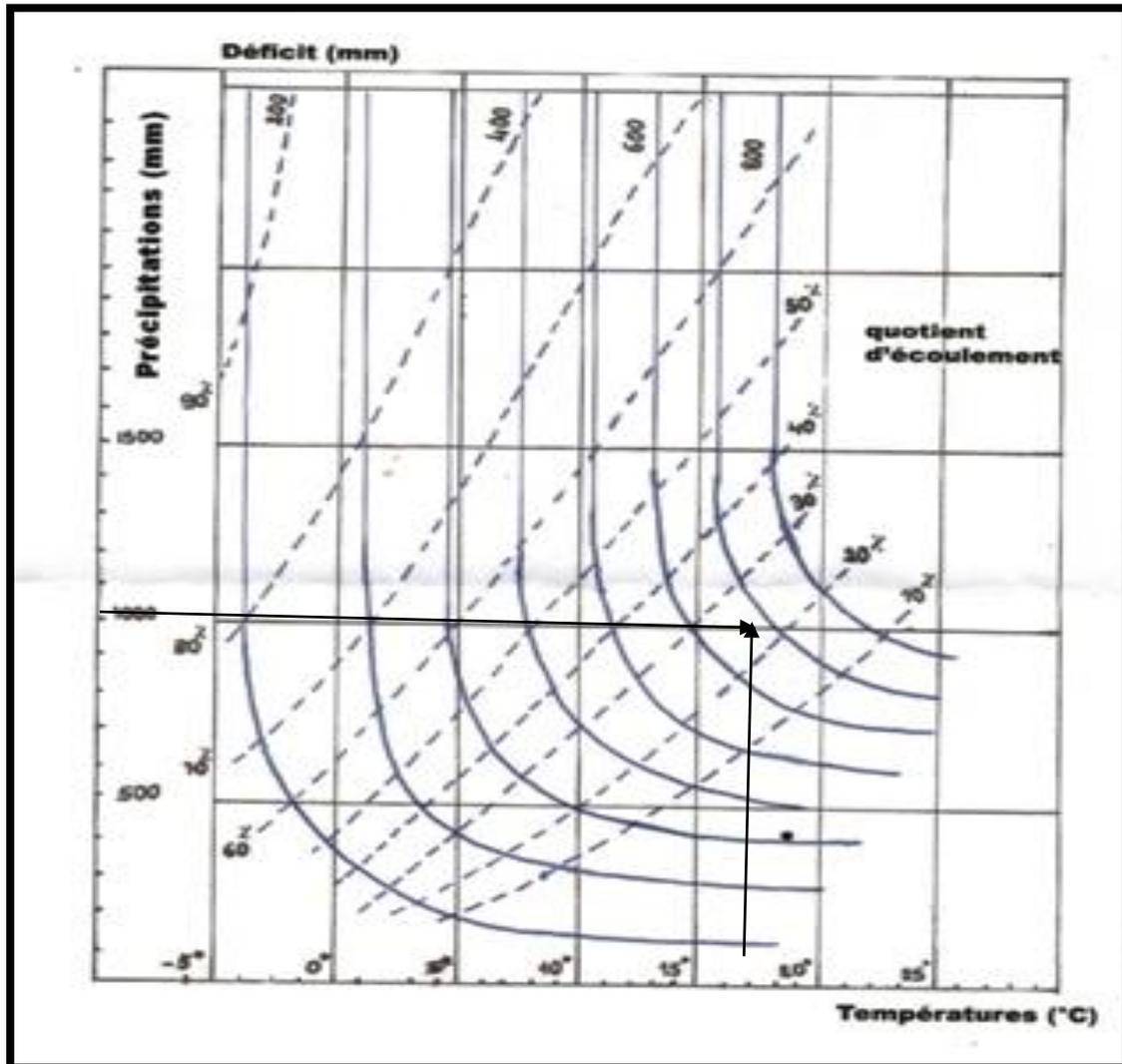


Figure III.7 : Abaque de Wundt modifié par Coutagne

• **Comparaison des résultats de l'évapotranspiration réelle ETR :**

Les résultats obtenus de l'évapotranspiration réelle (ETR) par les trois méthodes sont reportés dans le ci-dessous.

Méthode	TURC	COUTAGNE	WUNDT	MOYENNE
ETR (mm)	689,75	660,00	640,00	663.25

Tableau III-11 : Résultats de l'ETR obtenus par les trois méthodes.

Nous constatons que les valeurs de l'ETR obtenues par les trois méthodes citées ci-dessus, sont assez proches, nous retenons pour le calcul du bilan hydrologique, la méthode de Turc qui s'applique à tous les climats, les deux autres méthodes s'appliquent généralement pour les climats humides.

### III.2. Hydrologie de surface :

Un bassin hydrographique se définit comme la surface topographique drainée par un cours d'eau et ces affluents de telle façon que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface suit son trajet jusqu'à l'exutoire. En l'occurrence, c'est la mer méditerranéenne qui constitue l'exutoire du Sébaou.

L'hydrologie de surface, s'intéresse à la fraction de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant et drainée par le réseau hydrographique.

#### III.2.1. Stations et données hydrométriques :

Le bassin versant du Sébaou compte six stations hydrométriques dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau III.12.

Les données mensuelles et journalières aux stations hydrométriques du Sébaou ont été collectées à l'ANRH de Blida.

Oued	Nom de la station	Code	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Date de mise en service	Cordonnées Lambert		
					X(m)	Y(m)	Z(m)
Boubhir	Boubroune	02.15.13	482	17/10/1987	645.600	382.600	140
Dis	Fréha	02.16.15	96	01/04/1973	642.950	384.250	130
Aissi	RN 30	02.15.17	445	15/10/1979	627.100	374.600	110
Sébaou	Belloua	02.18.03	1465	20/03/1973	623.300	381.200	90
Bougdoura	RN 25	02.19.09	296	25/04/1973	610.200	375.750	80
Sébaou	Baghlia	02.20.01	2390	1949/1963	603.750	390.100	25

Tableau III.12 : caractéristiques des différentes stations hydrométriques

#### III.2.2. Estimation des ressources en eau de surface :

Les ressources en eau de surface annuelles disponibles dans le Sébaou, sont estimées à la station hydrométrique de Baghlia (Exutoire) durant la période (1986-1999) à 466.732 Hm<sup>3</sup> soit un débit moyen annuel de 14.80 m<sup>3</sup>/s. cette valeur correspond à une lame d'eau écoulée de 195 mm répartie sur l'ensemble du bassin, soit environ 23% des précipitations. (Source : ANRH)

La répartition des débits moyens mensuels enregistrés à la station de jaugeage de Baghlia située à l'exutoire du bassin versant pour une période de 13 ans, est représentée dans l'hydrogramme de crue figure III.11. Ce dernier est établi à partir des données du tableau III.13 et montre que le débit de l'oued Sébaou est fort au mois de décembre jusqu'au mois de mai et

faible durant les mois de juin jusqu'au mois de novembre , par contre il se tarit complètement au mois d'août.

**III-2-3.Régime des apports :**

**III-2-3-1.Régime mensuel des apports :**

Les histogrammes des débits moyens mensuels (figure III.8, et III.9) tracés à partir des données consignées dans le tableau III.13 montre une croissance des valeurs de septembre à février suivie d'une décroissance.

Le maximum des débits mensuels pour deux stations de **Belloua** exutoire du haut Sébaou et de **Baghlia** du bas Sébaou ; est enregistré aux mois de novembre à avril. Par contre le minimum d'apport est enregistré aux mois de juillet à octobre.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	m	J	J	A
Baghlia	0.22	0.40	6.45	28.35	38.20	39.92	24.89	19.95	15.17	3.88	0.19	0
Belloua	0.23	0.58	2.53	16.03	22.23	26.62	16.47	15.08	9.59	1.78	0.28	0.15

Tableau III.13 : Débits moyens mensuels des stations de Baghlia et de Belloua

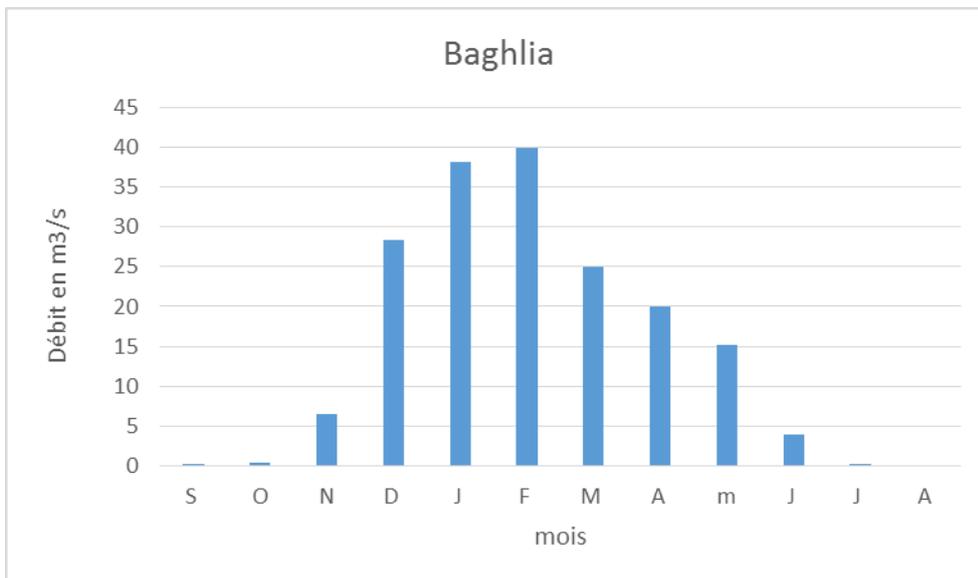


Figure III.8 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de BAGHLIA (1986/1999)

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

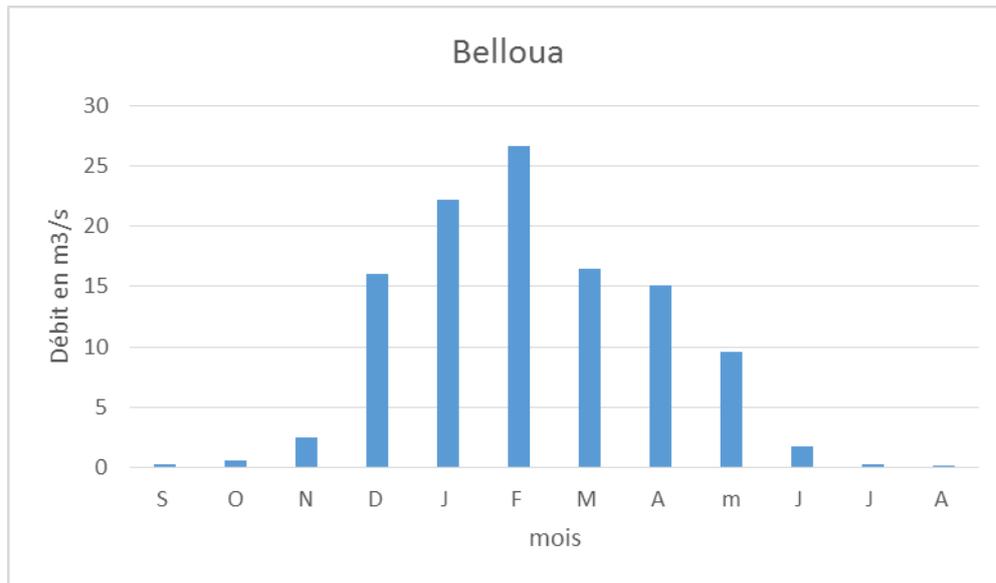


Figure III.9 : Variation mensuelle des apports de l'oued à la station de BELLOUA (1986/1999)

En outre, on constate que les sommets des histogrammes des débits moyens mensuels sont observés au mois de février, cela peut-être expliqué par l'apport supplémentaire provenant de la fonte des neiges.

Sur un autre plan, on note une grande différence entre le maximum enregistré au mois de Février à la station de Baghlia (39.92 m³/s) et celui enregistré à la station de Belloua avec 26.62 m³/s on peut expliquer cela par la position de la station de Belloua en amont de celle de Baghlia ou les eaux coulent depuis l'amont vers l'aval.

### III.2.3.2 Relation entre les précipitations et les débits évacués :

Le diagramme de la figure III.10 construit à partir des données de débit et de pluviométrie enregistrées à la station de Baghlia durant la période 1986/1999 (tableau III.14) montre une concordance entre les variations interannuelles de ces deux paramètres traduisant ainsi une alimentation de l'oued par les pluies.

donnée	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
P (mm)	769.1	606.3	658.6	523.6	725.1	766.1	679.6	516.6	733.7	767.1	499.6	1031.2	737.7
Q (m³/s)	34.21	4.09	8.40	2.43	26.75	13.76	11.68	4.87	17.45	17.15	2.31	27.5	21.90

Tableau III.14 : Corrélation précipitation/Débits évacués à la station Baghlia

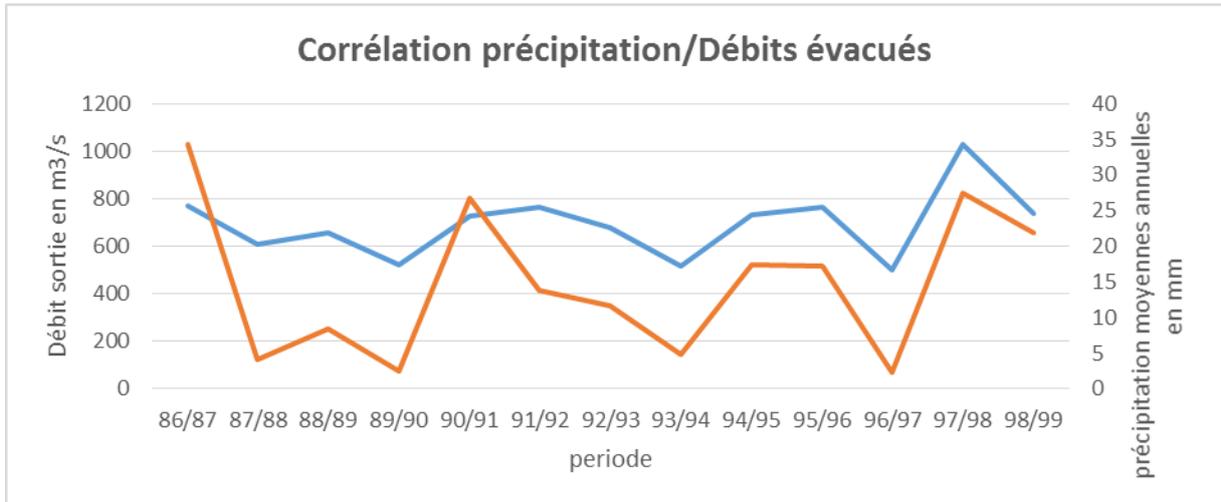


Figure III.10 : corrélation précipitations- Débits évacués à la station de Baghlia

**III-2-4.Détermination de la lame d’eau ruisselée(R) :**

**III-2-4-1.Méthode de Tixeront-Berkaloff :**

C’est une méthode empirique applicable en zones arides, et la précision est d’autant meilleure dans le cas d’un grand bassin versant avec de faibles précipitations ( $p < 300mm/an$ ) sa formation est la suivante :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \dots\dots\dots (III.8) : \text{Où}$$

R : ruissellement superficiel moyen annuel (en mm).

P : précipitations moyennes annuelles (en mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle (en mm).

Dans le cas du bassin versant du Sébaou, cette méthode donne le résultat suivant :

P=941,01mm

ETP=1016,05 mm

D’où : R=269 mm

La lame d’eau ruisselée déterminée par la méthode de Tixeront-Berkaloff est égale à 28.6 % des précipitations.

**III-2-4-2.Méthode de l’hydro-gramme :**

Le tracé de l’hydro gramme s’effectue en reportant les débits (m<sup>3</sup>/s) en ordonnées et les temps (jour) en abscisses. Les données utilisées pour le tracé de l’hydro gramme figurent dans le tableau III.13.

Pour séparer les trois composantes du ruissellement, on procède de la façon suivante :

Nous transformons le temps (mois) en jour, puis nous reportons sur un papier semi-logarithmique les débits ( $m^3/s$ ) en fonction du temps de la période d'avril à août (partie décroissante de l'hydro gramme).

Les débits étant en ordonnées à l'échelle logarithmique et le temps en abscisses à l'échelle arithmétique, nous observons deux points de brisure que nous appellerons  $S_1$  et  $S_2$  (figure III.12 et III.14)

$S_1$  marque la fin du ruissellement superficiel et  $S_2$  marque la fin du ruissellement hypodermique et le début de l'écoulement de base.

Au point  $S_1$  et  $S_2$  correspondent deux temps  $t_1$  et  $t_2$  en abscisses. On reporte ces deux temps sur l'hydro-gramme, puis les joint par la droite 1 et 2 au point de départ de l'hydro-gramme (figure III.11 et III.13).

Ensuite, on procède à la planimétrie du domaine de ruissellement et nous trouvons le ruissellement (R).

Les résultats obtenus par cette méthode sont :

- Le ruissellement est estimé à 216,43 mm soit 23% des précipitations globales.
- L'infiltration (assimilé à l'écoulement de base) est estimée à 18,82mm soit 2 % des précipitations moyennes à l'échelle du bassin du Sébaou.

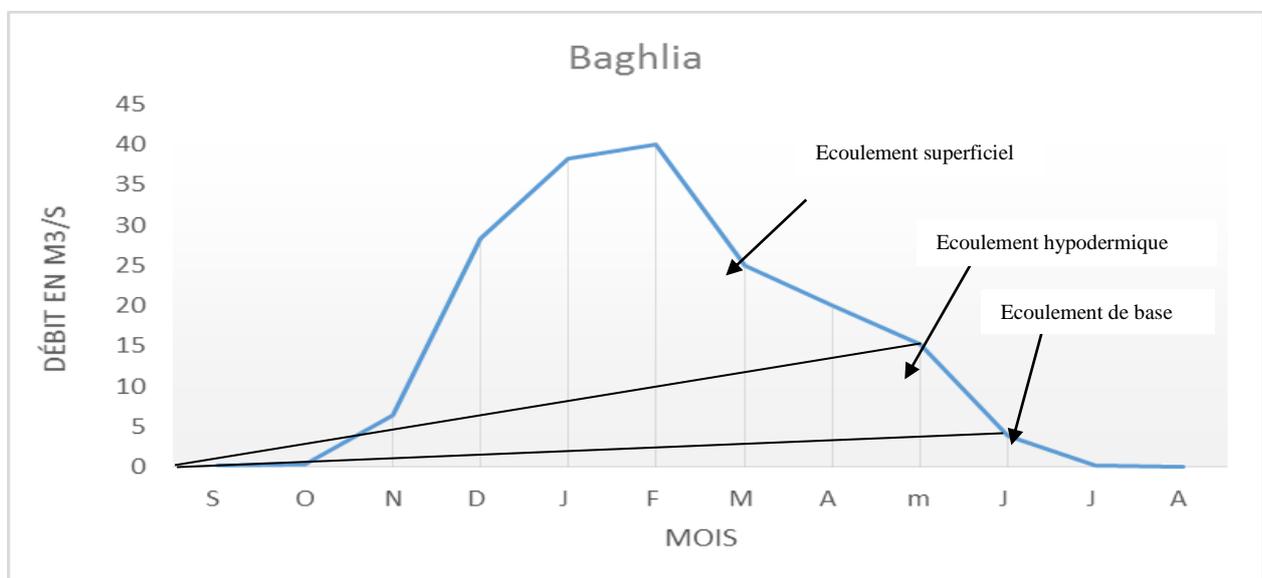


Figure III-11 : Hydro-gramme de crue de la station de BAGHLIA

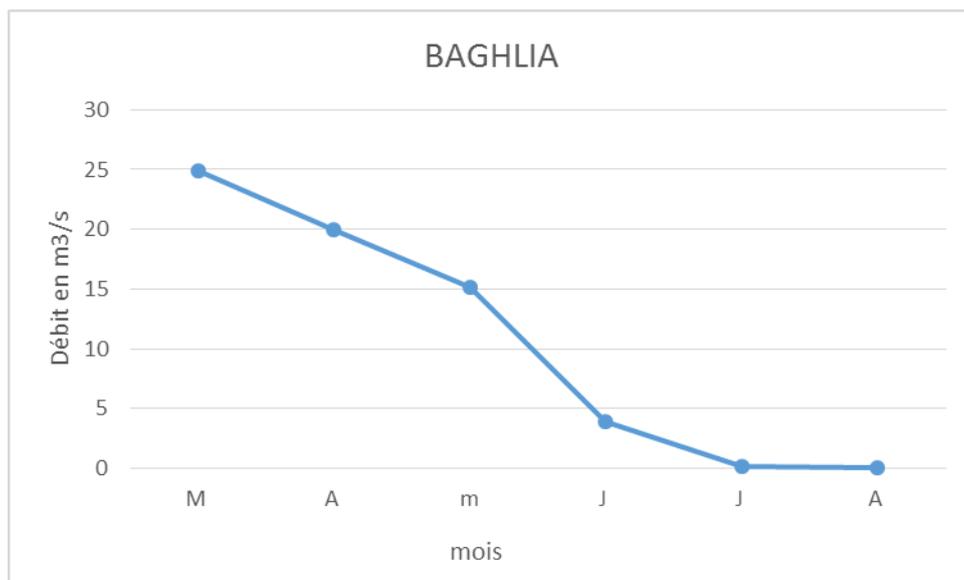


Figure III-12 : Courbe de séparation des écoulements à la station de Baghlia

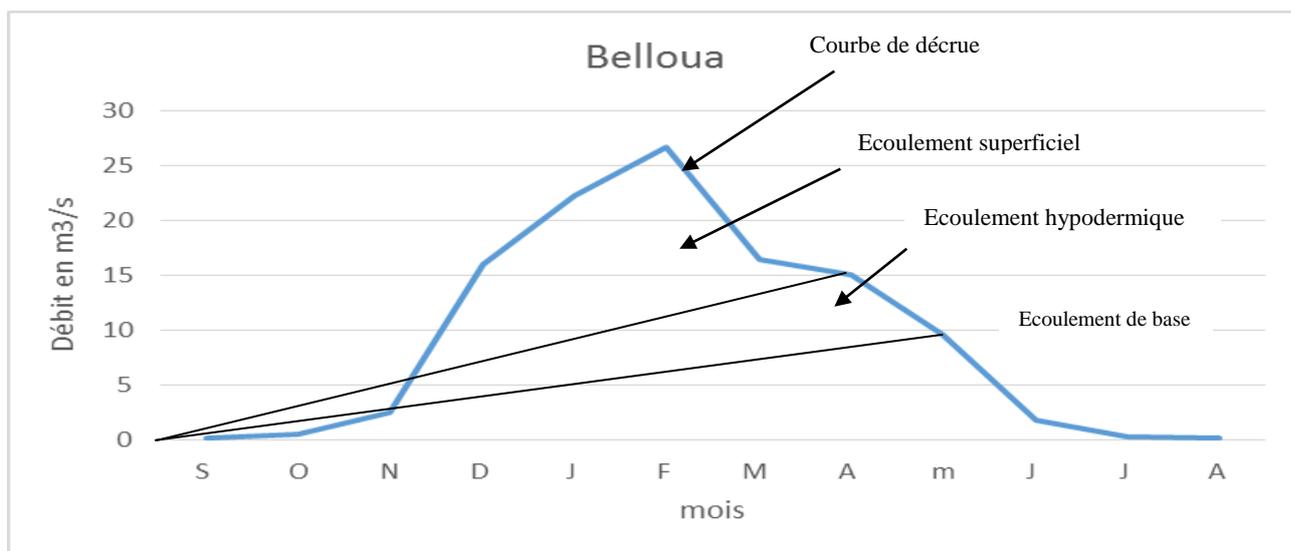


Figure III-13 : Hydro-gramme de crue de la station de Belloua

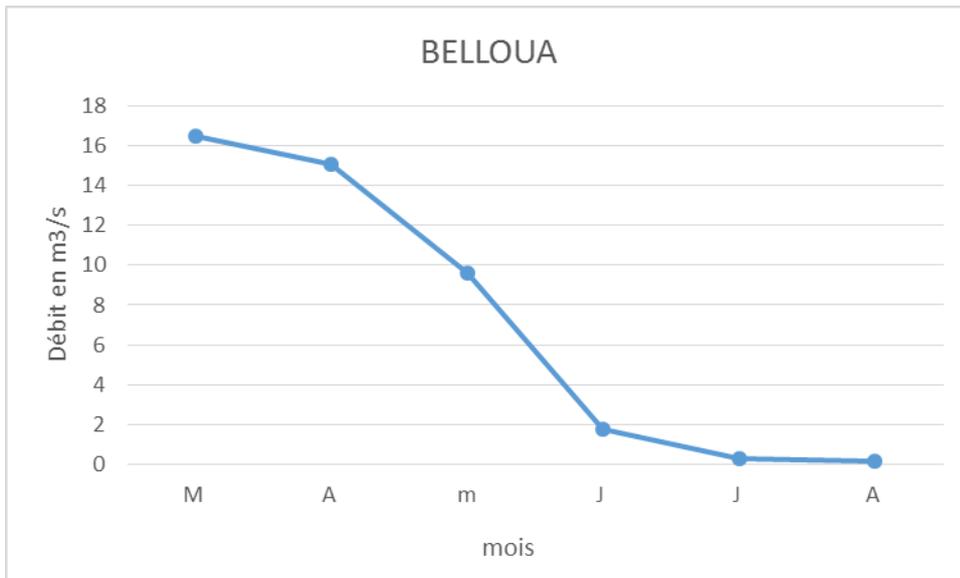


Figure III-14 : Courbe de séparation des écoulements à la station de Belloua

**III-2-5. Le bilan hydrologique :**

La formule du bilan hydrologique peut être exprimée de la manière suivante :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta S \dots\dots\dots(III.9)$$

OÙ :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

$\Delta S$  = La variation des réserves que nous supposons nulles.

Pour déterminer le bilan il faut déterminer deux paramètres inconnus R et I.

Les paramètres du bilan hydrologique ont été calculés à partir des méthodes empiriques, sauf les précipitations qui elles ont été mesurées au moyen direct sur le terrain.

Apports (mm)		Exhaures (mm)				Ecart apport exhaure (mm)
Précipitations	Total des apports	ETR	R	I	Total des Exhaures	
941,01	941,01	689,75	216,43	18,82	925	16,01

Tableau III.15 Les valeurs de Ruissellement et l'infiltration.

En général l'équation hydrologique est relativement équilibrée, toutefois, on constate un léger écart qui peut être dû à :

- Erreur de manipulation c.-à-d. erreur de mesure des paramètres climatiques telle que la précipitation et la température.
- L'utilisation des méthodes empiriques dans le calcul des paramètres du bilan.
- La négligence des précipitations solides (la neige) qui sont des apports latéraux qui peuvent influencer les écoulements surtout en absence de stations pluviométriques dans en hautes altitudes.

**Conclusion :**

L'examen des données climatiques nous a permis de définir deux périodes différentes :

- Une saison sèche, avec un climat sec qui s'étend de mai à septembre.
- Une saison froide, avec un climat humide tempéré qui s'étend d'octobre à avril.
- La température moyenne est d'environ de 16.84°C.
- Le régime climatique du bassin versant du Sébaou est humide et tempéré ; il a été déterminé par la méthode de De Martonne qui tient compte des précipitations et des températures.

La valeur de la lame d'eau ruisselée calculée par la méthode de l'hydro gramme est plus représentative et cette méthode est plus fiable et donne toutes les composantes de l'écoulement, alors que les résultats obtenus par la méthode de Tixeront-Berkaloff ne sont pas représentatifs pour notre bassin car cette dernière est plus adaptée pour les bassins versants situés dans des zones semi-arides à aride. Le ruissellement et l'infiltration sont estimés respectivement à 23 % et 2 % des précipitations globales.

# **Chapitre IV : Etude Hydrochimique**

**Introduction :**

L'étude hydrochimique de la nappe du Sébaou a pour but de 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.

à l'aide des données récoltées au niveau de l'ANRH de Blida pour une campagne d'échantillonnage effectuée sur quatorze (14) points d'eau répartis sur l'ensemble de la plaine du Haut Sébaou.

Les analyses chimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de la DRC/ANRH de BLIDA ,et ont porté principalement sur les éléments majeurs à savoir :

- Cation :Ca<sup>++</sup>,Mg<sup>++</sup>,Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>.
- Anion:Cl<sup>-</sup>,So4<sup>-</sup>,Hco3<sup>-</sup>,CO3<sup>-</sup>,NO3<sup>-</sup>.

Les résultats de ces analyses sont consignés dans le tableau en annexe N°1 pour une durées de'analyse d 5 ans allant de 2010 à 2015

**IV.1 Caractéristiques physico-chimiques :**

L'étude hydro-chimique a pour but de :

- Avoir une idée globale sur la qualité actuelle des eaux de la zone étudiée.
- Analyser l'évolution spatiale de chaque élément à travers l'aquifère afin de :
  - 1- distinguer les phénomènes qui influent sur la teneur d'un élément.
  - 2- Détecter les zones qui présentent des anomlies en rapport avec la concentration .
  - 3- Apprécier les mécanismes des écoulements des eaux souterraines ainsi que leur origine .

Pour ce faire on a tracé pour chaque éléments des cartes d'égaies teneur superposées sur un fond géologique et topographique en s'appuyant sur les analyses physico-chimiques.

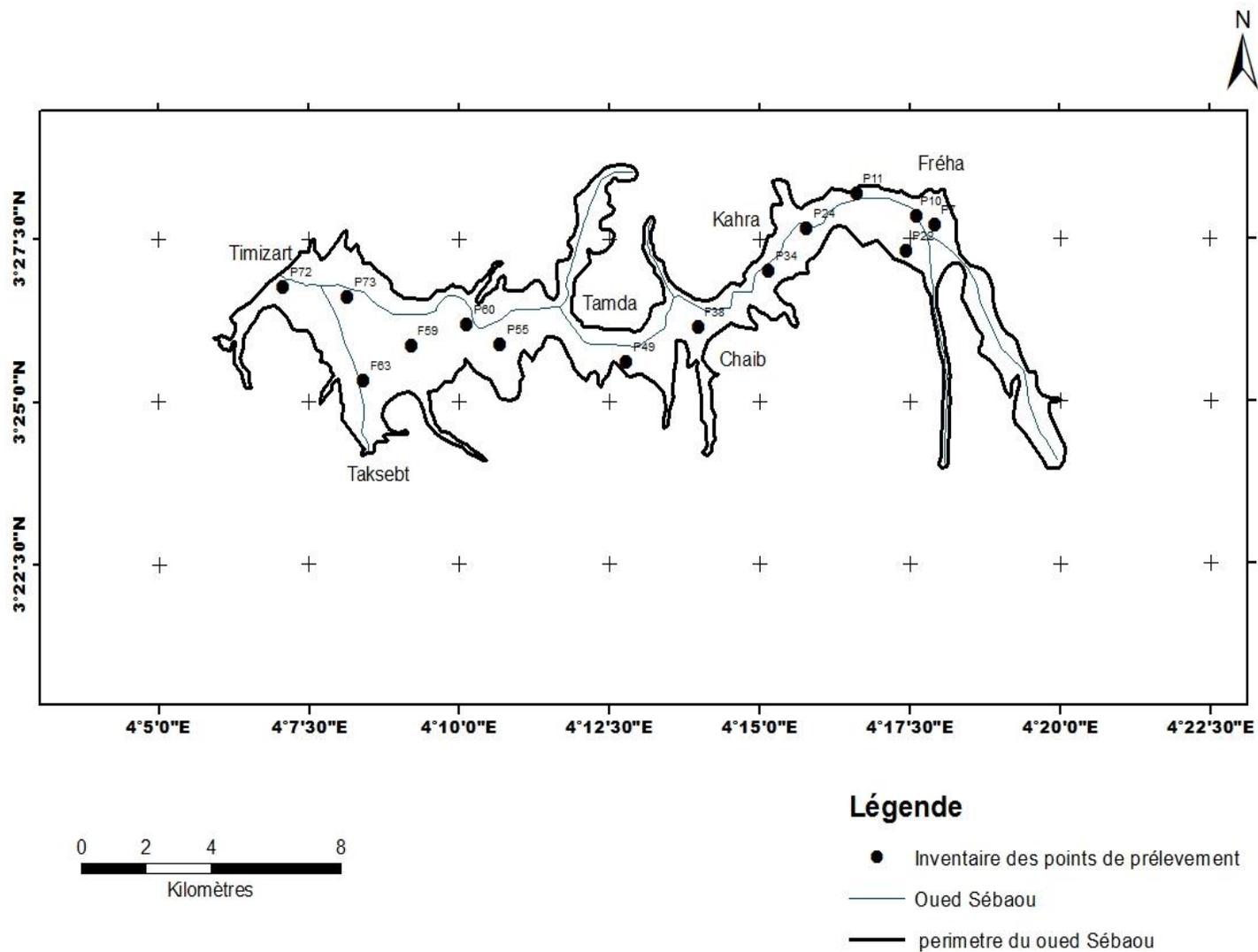


Figure IV.1 : Inventaire des points de prélèvement Haut sébaou (2010-2015)

#### IV.1.1.La conductivité :

Elle exprime la propriété de l'eau à conduire le courant électrique, donc traduit sa teneur en sels dissous, elle est exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . L'appréciation de la conductivité d'une eau permet donc de qualifier sa minéralisation.

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau prélevés dans la plaine du haut Sébaou montrent des conductivités oscillant entre 712 et 1421  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

D'après la figure IV.2 on voit que les valeurs de conductivité augmentent progressivement de l'amont vers l'aval.

- Dans le haut Sébaou, les fortes valeurs se rencontrent dans les ouvrages suivants : P10, P34, P72 ET P59 situés entre les régions à forte agglomération de Fréha à Timizart.

Ces fortes valeurs peuvent être expliquées par :

- Le lessivage des terrains sédimentaires traversés par l'eau ;
- L'évaporation que subissent les eaux peu profondes de la nappe aquifère en bordure de la vallée ;
- Des rejets d'eaux usées d'origine domestique et industrielle ;
- Epaillage d'engrais chimiques et pesticides utilisés en agriculture.

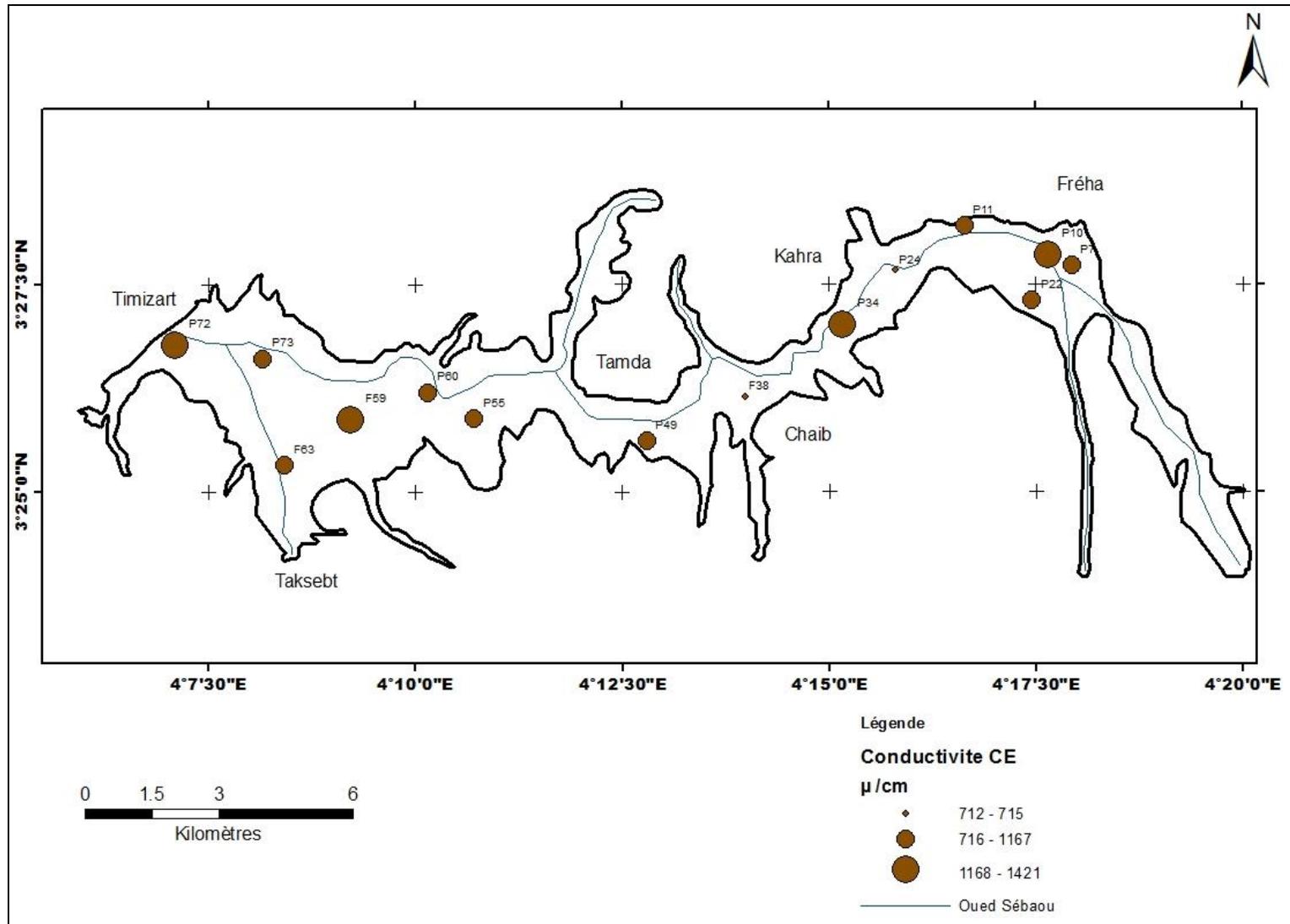


Figure IV.2 : Carte de conductivité électrique CE des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

#### IV.1.2. Degré hydrométrique total des eaux DHT(dureté) :

La potabilité d'une eau est aussi évaluée à l'aide du degré hydrotimétrique qui correspond à la teneur en sel  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  exprimée en degrés .

$$\text{T.H} = (\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}) \times 5^\circ\text{F} \dots\dots\dots(\text{IV.1})$$

Pour les eaux de la nappe alluviale du Haut Sébaou le degrés hydrotimétrique varie de 28 à 59 F° .

Les valeur de DHT sont consignées dans le tableau en annexe N° 2

Classe de D.H.T (°F)	Dureté de l'eau	Haut Sébaou
<10	Douce	0%
10 à 20	Moyennement douce	0%
20 à 35	Dure	21,42%
>35	Très dure	78,57%

Tableau IV.1 :duretés des eaux de la nappe alluviale du Sébaou

En considérant les normes françaises qui donnent une limite acceptable à 35 d°F et d'après ce tableau nous pouvons noter que la majorité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Sébaou sont dures a tés dures.

Notons que les forages qui se situent à l'aval de la nappe alluviale (Fréha- Timizart); tel que P10 et F59; présentent les duretés les plus élevées.

#### IV.1.3.PH mesuré et PH d'équilibre(le potentielle d'hydrogène) :

Le PH d'une solution varie en fonction de la concentration en ion  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  ou  $[\text{H}^+]$  c-à-d Le pH est le cologarithme de la concentration de l'ion  $\text{H}^+$  ou  $\text{H}_3\text{O}^+$  ,il permet la connaissance de l'état d'équilibre d'une eau.

$$\text{PH} = \log \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \dots\dots\dots(\text{IV.2})$$

On remarque que :

- Les valeurs de pH mesuré sont généralement supérieures à 7.0 ;
- La valeur moyenne calculée sur 14 points d'eau est de 7.77 ;

- La valeur minimum est de 7,5 qui correspond au puit P 72 situé à Timizart ;
- La valeur maximum est de 8 qui correspond au puit P55 situe à Tamda ;

#### **IV.1.4.Le Résidu sec :**

Le résidu sec représente la totalité des sels dissous et la matière organique ,il correspond à la minéralisation totale d'une eau.

Dans la nappe alluviale du Sébaou le résidu sec varie en moyenne de 449 à 878 mg/l.

les fortes teneurs sont observées en aval de la nappe alluviale notamment au niveau des points de prelevement P10 du côté de Fréha et F59 du côté de Tamda allant vers Timizart qui présentent une forte minéralisation , Figure IV.3.

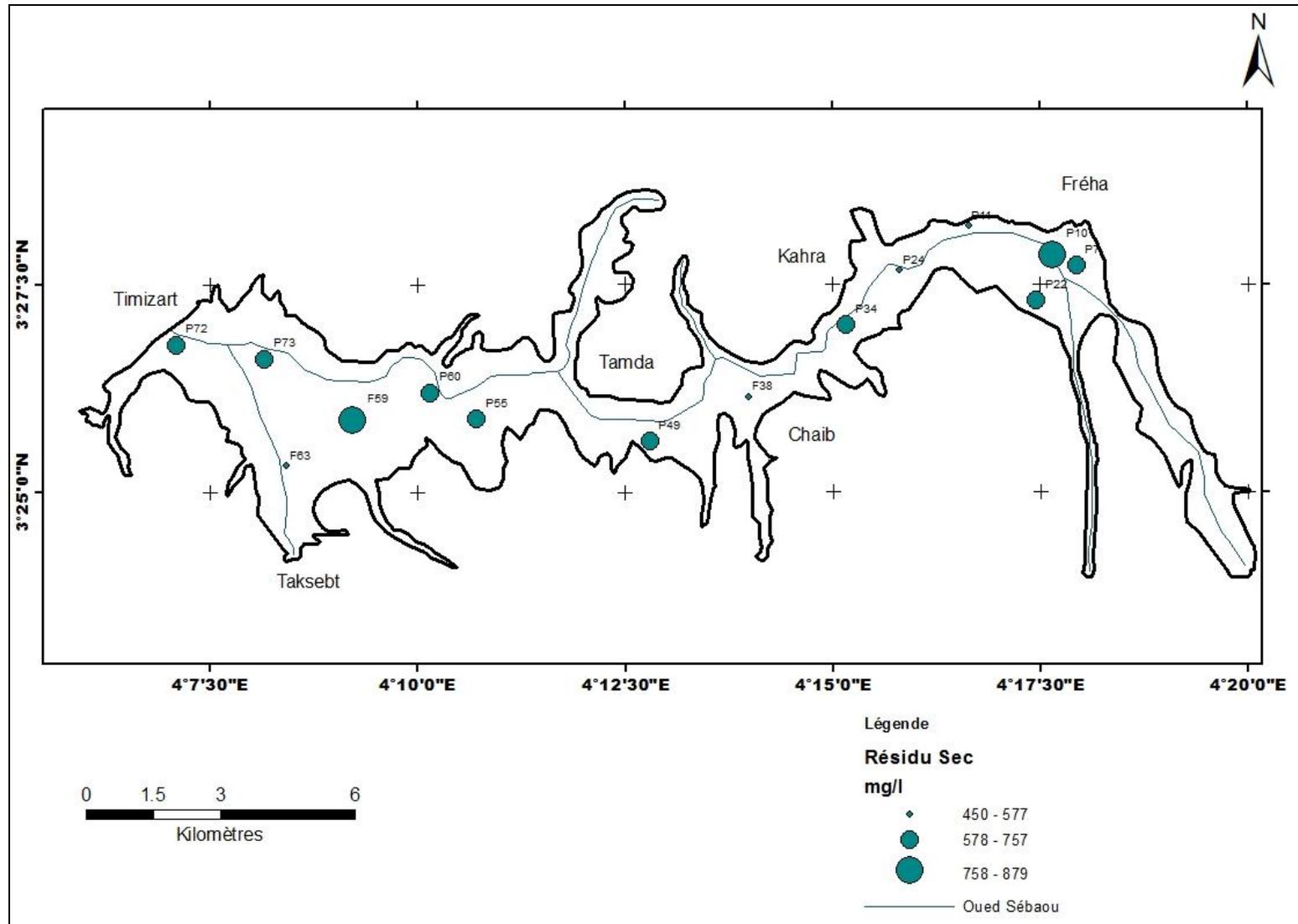


Figure IV.3 : Carte de résidu sec des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

**IV.2. Classification des eaux :****IV.2.1. Classification d'après la formule caractéristique de Stabler:**

La classification des eaux d'après Stabler consiste en premier lieu à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale en utilisant la formule dite caractéristique définie par Stabler comme suit :

N° de forage	Formule caractéristique	Faciès des eaux
P73	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3) \quad rCa > r(Na + K)$	Bicarbonaté calcique
P11		
P22		
P24		
P55	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl + NO_3) \quad rCa > rMg > r(Na + K)$	
P60		
F59 F63		
P10	$rHCO_3 > r(Cl + NO_3) > rSO_4 \quad rCa > rMg$	Bicarbonaté magnésien
P49	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl + NO_3) \quad rMg > rCa > r(Na + K)$	Bicarbonaté magnésien
P72	$rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl + NO_3) \quad r(Na + K) > rCa$	Bicarbonaté sodique
P34	$rSO_4 > r(Cl + NO_3) > rHCO_3$	Sulfaté calcique
F38	$rSO_4 > r(Cl + NO_3) > rHCO_3 \quad rCa > rMg > r(Na + K)$	
P7	$rSO_4 > rHCO_3 > r(Cl + NO_3) \quad rMg > rCa > r(Na + K)$	Sulfaté magnésien

Tableau IV.2 : classification des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

**Selon les Formules Caractéristiques de Stabler**

$$r\% = \frac{100}{C} \times r \dots\dots\dots(IV.3)$$

$r\%$ : pourcentage de chaque élément par rapport à la concentration totale

C : concentration totale

r : concentration de l'élément considéré

L'étape suivante consiste à classer séparément les anions et les cations par ordre décroissant de leur teneur de gauche à droite.

**IV.2.1.1 Formule caractéristique ionique de STABLER**

Les formules caractéristiques des échantillons illustrent le classement par faciès des eaux de la nappe de la Mitidja.

Ces formules sont acquises à partir des pourcentages des quantités en réaction ( $r\%$ ) des divers ions :

- Bicarbonaté Calcique ..... 57.14 %
- Bicarbonaté Sodique .....7.14%
- Bicarbonaté magnésien .....14.28%.
- Sulfate calcique.....14.28 %
- Sulfaté magnésique.....7.14%

L'eau de la plaine est caractérisée principalement par un faciès Bicarbonaté Calcique.

D'après cette classification, on distingue trois (2) types de faciès chimique drainant des eaux :

- **Le faciès bicarbonaté** : qui est le plus répandu. Les bicarbonates ont une origine géologique, il se forme par l'intermédiaire du  $CO_2$  contenu dans les eaux d'infiltration et qui dissout les carbonates.
- **Le faciès sulfaté** : Il caractérise les points d'eau P34, F38 et P7 situés dans la région allant de Fréha jusqu'à Chaib et Tamda.

**IV.2.2. représentation graphique des analyses et classification chimique des eaux :**

Afin de déterminer le faciès chimique d'une eau; plusieurs méthodes de représentation graphique et de classification ont été élaborées. Parmi elles; nous avons retenu celles de Schoëlluer Berkloff et de Piper.

**a- Représentation des analyses chimiques sur les diagrammes verticaux (Schoëller Berkloff).**

Pour définir le faciès chimique d'une eau à partir de ce diagramme, on observe la ligne figurative et on prend en considération les points les plus élevés des anions et de même pour les cations.

L'analyse des échantillons prélevés a permis de définir deux grandes familles :

- **La famille des eaux bicarbonatées** : qui est la plus répandue sur toute la vallée. Elle est représentée par le faciès bicarbonaté calcique, bicarbonaté magnésien et bicarbonaté sodique avec un pourcentage de 78,57%.
- **La famille des eaux sulfatées** : représentée par le faciès sulfaté sodique et sulfaté calcique avec un pourcentage de 21,42%.

Faciès		Haut Sébaou		Totale
		effectif	(%)	
bicarbonaté	calcique	8	57.14	78.57
	Magnésien	2	14.28	
	Sodique	1	7.14	
sulfaté	Calcique	2	14.28	21.42
	Magnésien	1	7.14	

Tableau IV.3: Répartition des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Sébaou (d'après Schoeller-Berkaloff)

**b. Diagrammes losangiques de Piper :**

La représentation des analyses chimiques sur ce type de diagramme permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux. Le principe consiste à représenter dans chaque triangle réservé à cet effet les quantités en réactions en pourcentage (%) de chaque cation ou anion.

$$r\% = \frac{100}{\sum r^-} \times r \quad \text{Et} \quad r\% = \frac{100}{\sum r^+} \times r \quad \dots\dots\dots(IV.4)$$

Avec : r<sup>+</sup>=cation (meq/l) Et r<sup>-</sup>=anion (meq/l)

Dans chaque triangle, on obtient un point triple soulignant la dominance ou la non dominance d'un cation ou d'un anion donné.

Ces deux points triples nous donnent un point unique dans le losange qui caractérise le faciès chimique de l'échantillon considéré.

Après avoir reporté les résultats chimiques des échantillons d'eau prélevés dans le secteur d'étude sur ce diagramme, on a pu faire les constatations suivantes :

- Les cations présentent une tendance vers le pôle calcique et les anions ont une tendance vers le pôle carbonate.
- Sur le losange; nous avons distingué les types de faciès suivants :
  - sulfaté, calcique et magnésien;
  - Bicarbonaté calcique et magnésien;
  - bicarbonaté sodique.

#### **IV.3. Interprétation des cartes hydrochimiques :**

Les interprétations graphiques des analyses chimiques ont permis d'observer:

-une dominance du faciès bicarbonaté calcique due au lessivage des formations carbonatées

A partir de ces considérations et dans le but de bien suivre l'évolution spatiale des éléments chimiques, nous avons choisi l'établissement des cartes hydrochimiques suivantes:

- Carte des faciès chimiques;
- Carte d'isoteneurs en bicarbonates;
- Carte d'isoteneurs en chlorures;
- Carte d'isoteneurs en calcium;
- Carte d'isoteneurs en magnésium;
- Carte du sodium Na ;
- Carte du nitrate ;
- Carte d'équirapport :  $\frac{rCl^-}{rHCO_3^- + rCO_3^{--}}$  ;

##### **IV.3.1. Carte d'isoteneurs en bicarbonates :**

Dans le secteur d'étude, les teneurs en bicarbonates obtenues sont variables de 290 à 454 et sont supérieures dans différents points à celles exigées par l'OMS (400 mg/l). Elles s'échelonnent entre 290 mg/l (forage F38) et 454 mg/l (puit P10). La majorité des points d'eau analysés présentent des teneurs comprises entre 200 et 300 mg/l.

Les cartes d'isoteneurs en bicarbonates (Figure IV.4) montrent que les teneurs les plus importantes sont enregistrées dans les régions de Fréha, Kahra et Timizart.

Notons que les fortes concentrations des bicarbonates dans l'eau sont fonction des paramètres suivants : Tension du  $\text{CO}_2$  dissous, température de l'eau et nature lithologique des terrains.

#### **IV.3.2. Cartes d'isoteneurs en chlorures : (Figures IV.5)**

Les teneurs en chlorures des eaux de la nappe alluviale du Sébaou sont relativement faibles et ne dépassent pas les normes de l'OMS (200 mg/l) la teneur varie de 36 à 131 mg/l .

La carte d'isoteneurs en chlorures (Figure VII-8) montre que les teneurs les plus importantes sont enregistrées dans les régions de Kahra P24 , Freha P7,P10,P22 et Timizart P72.

#### **IV.3.3. Cartes d'isoteneurs en calcium : (Figures IV.6)**

Les teneurs en Calcium des eaux souterraines de la région étudiée sont comprises entre 61 mg/l enregistrée au niveau du forage F38 a Chaib et 160 mg/l dans le forage F59 Situé dans la region de Timizart.

L'étude sur la carte des différentes teneurs montre que les teneurs les plus élevées sont enregistrées a l'aval du haut sebaou .

#### **IV.3.4. Cartes d'isoteneurs en magnésium : (Figures IV.7) :**

Les teneurs en magnésium des eaux souterraines de la nappe du Sébaou sont relativement bonnes. La totalité des échantillons analysés présentent des teneurs inférieures ou égales à 75 mg/l.

Le magnésium peut provenir de :

- la dissolution des roches dolomitiques de la dorsale kabyle;
- L'altération des minéraux calco-magnésiens présents dans les roches métamorphiques (Socle cristallophyllien)

#### **IV.3.5. Cartes d'isoteneurs en sodium Na : (Figures IV.8 )**

Le sodium est le sixième élément le plus abondant dans la croûte terrestre, qui contient 2.83% de sodium sous toutes ses formes .

Le sodium est, après le chlore, le deuxième élément le plus abondant dissous dans l'eau de mer.

Les teneurs en sodium des eaux souterraines de la nappe du Sébaou sont relativement bonnes. La totalité des échantillons analysés présentent des teneurs inférieures à 65 mg/l.

#### **IV.3.6. Carte d'isoteneurs en Nitrate $\text{NO}_3$ (Figure IV.9)**

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. (Dr. DJEMAI MOHAMMED et Pr. MESBAH MOHAMED)

La limite de qualité est fixée à 50 mg/L en nitrates dans l'eau d'alimentation. Elle est fondée sur les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Les teneurs en Nitrate des eaux souterraines de la région étudiée sont comprises entre 5,5mg/l enregistrée au niveau du forage F38 et 27,30 mg/l dans le point P10.

On a remarqué encore que les teneurs en nitrates dans la région du Sébaou sont inférieures à 50 mg/l c-a-d sont inférieures à celle exigées par l'OMS(annexes 5).

#### IV.3.7. Carte d'équirapport $\frac{rCl^-}{rHCO_3^- + rCO_3^{--}}$ (figure IV.10) :

La carte d'équirapport  $\frac{rCl^-}{rHCO_3^- + rCO_3^{--}}$  montre des valeurs généralement

inférieures à 1, traduisant ainsi la prédominance des bicarbonates sur les chlorures.

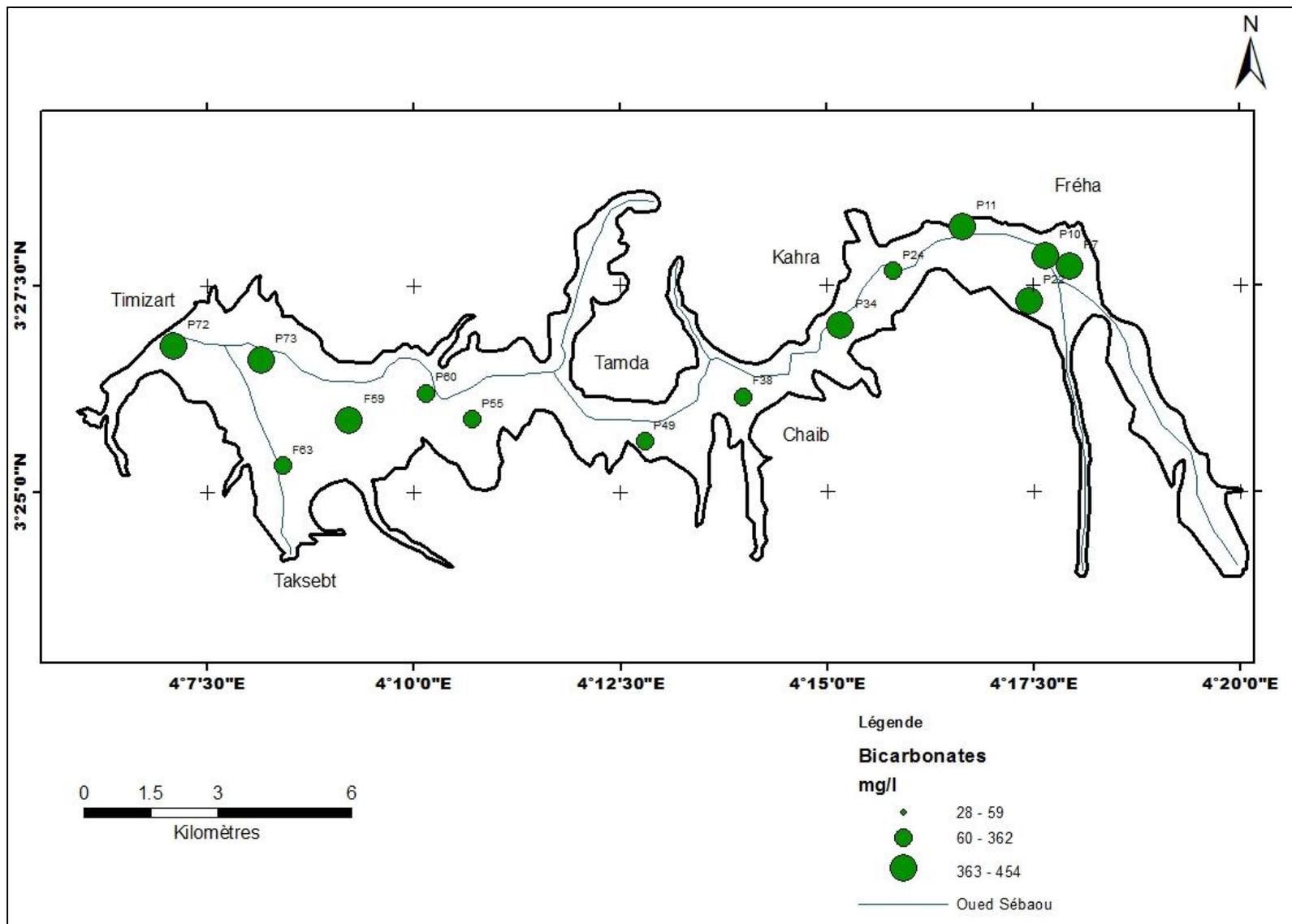


Figure IV.4: Carte d'isoteneurs en bicarbonates des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

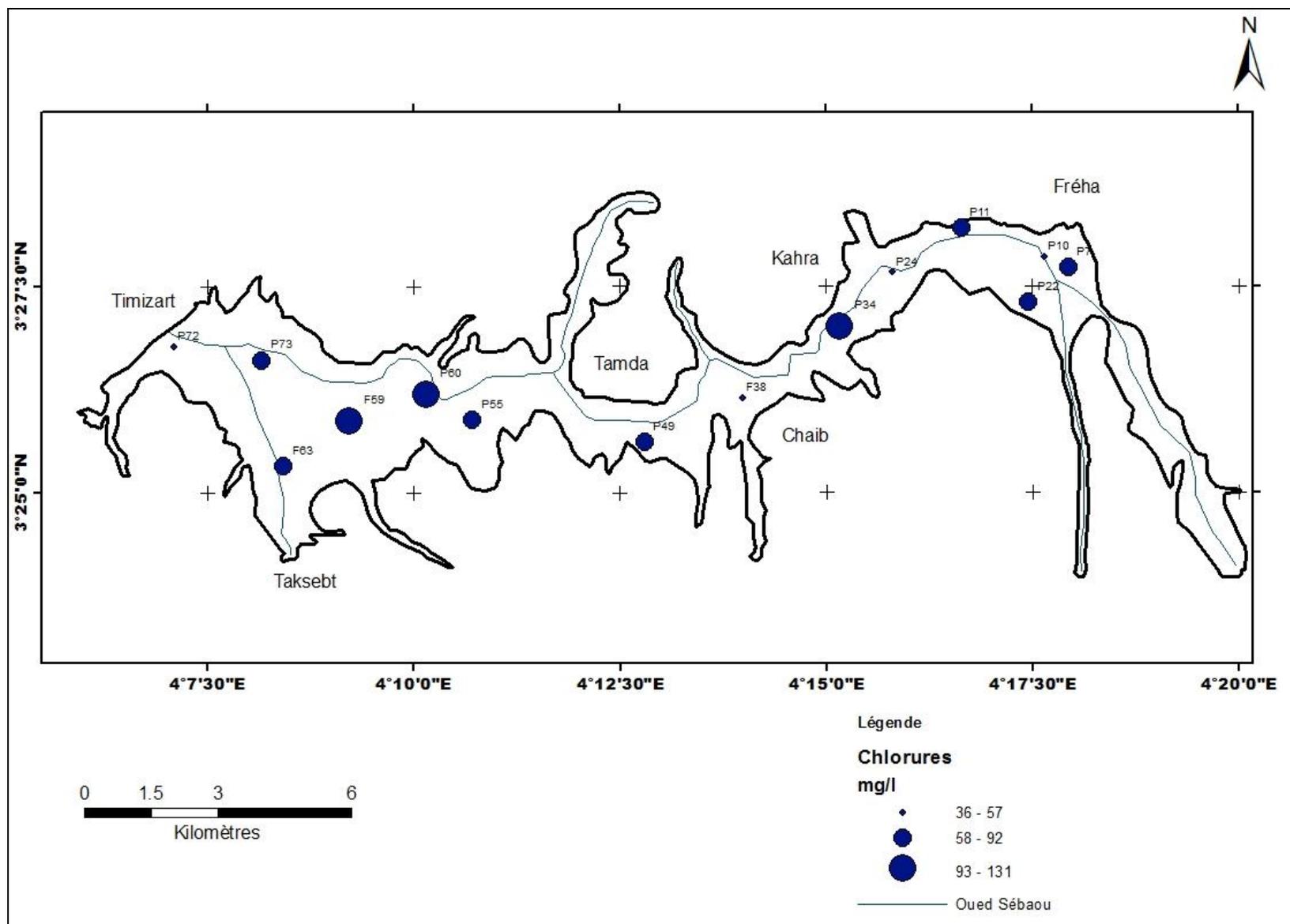


Figure IV.5 : Carte d'isoteneurs en chlorures des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

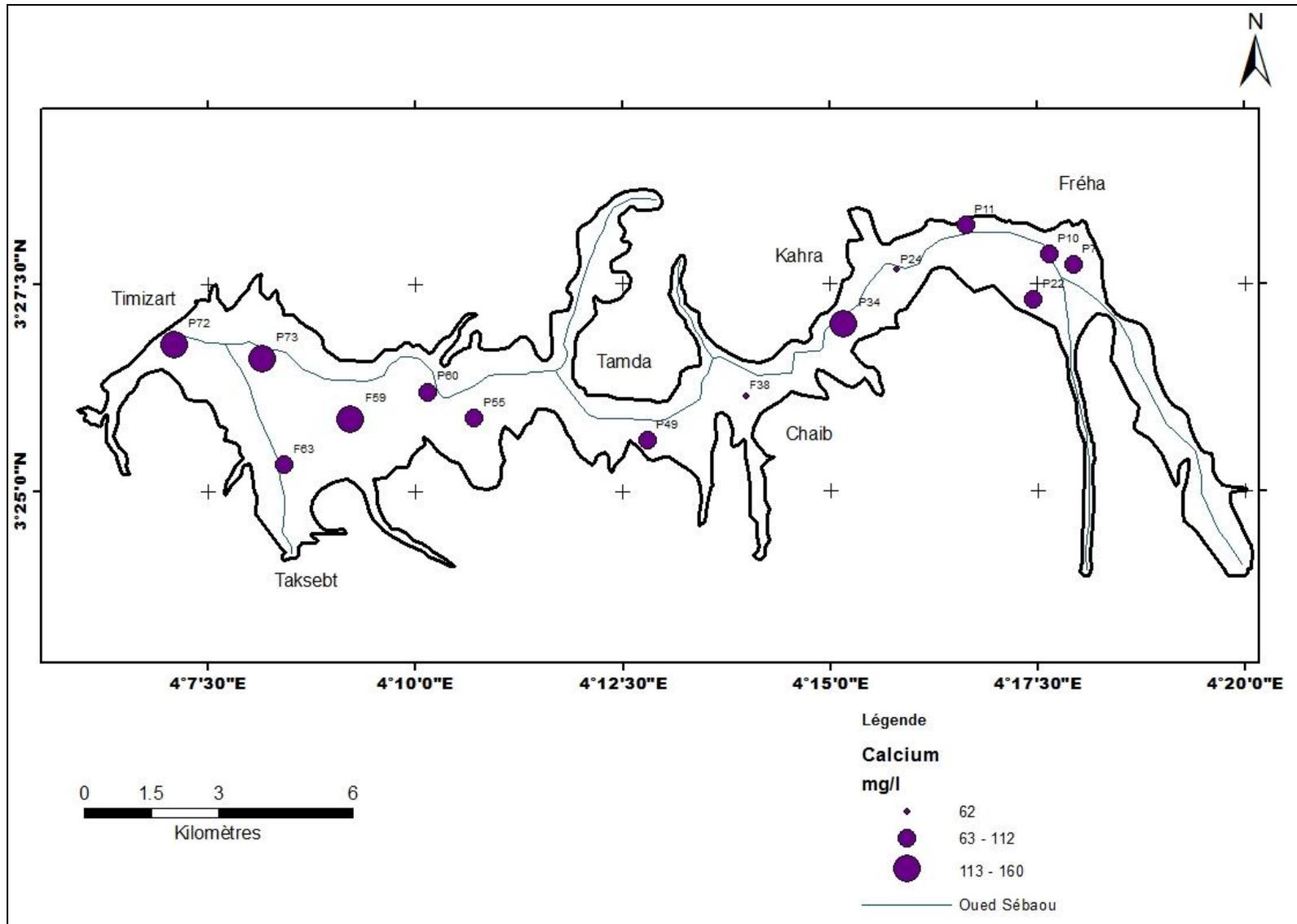


Figure IV.6: Carte d'isoteneur en calcium des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

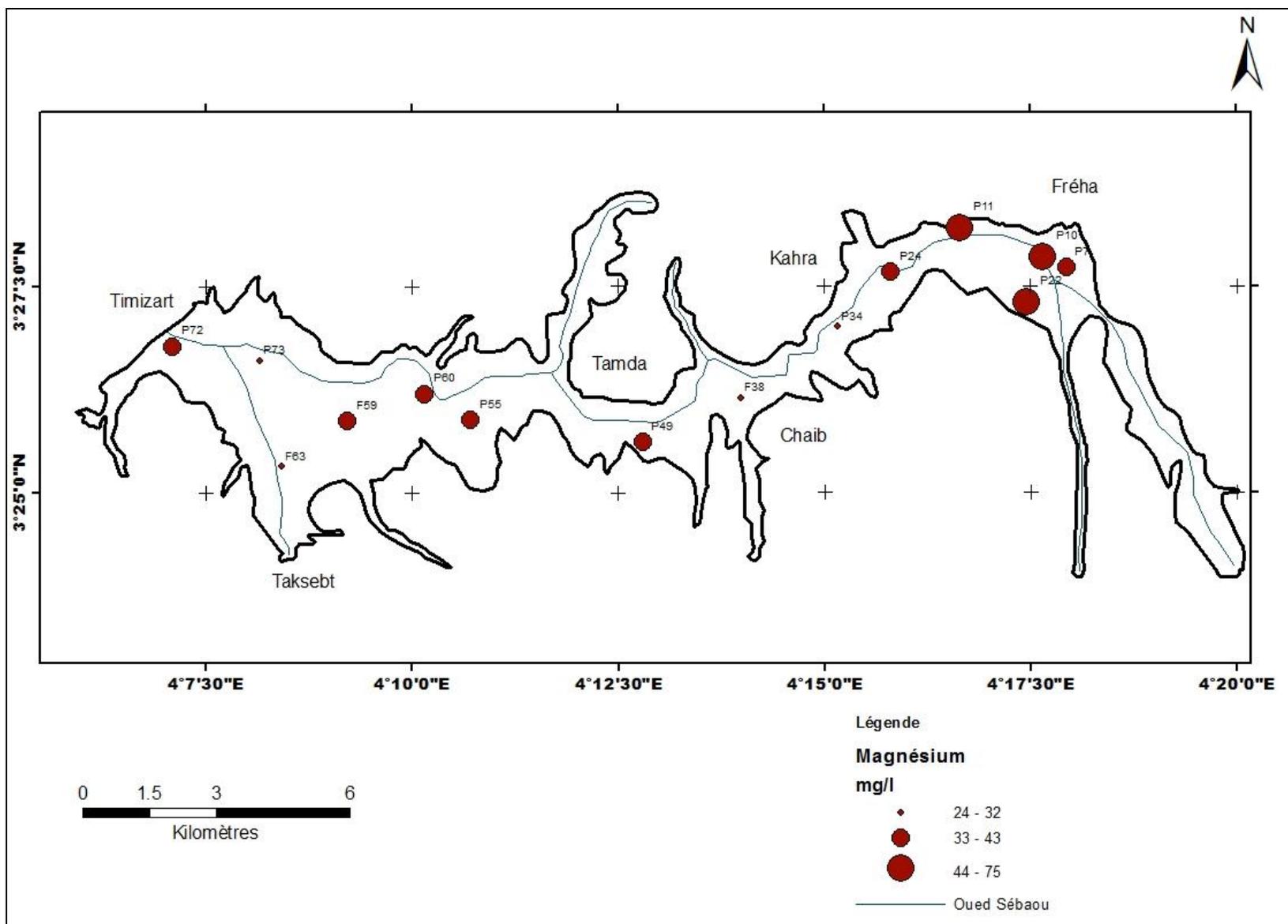


Figure IV.7: Carte d'isoteneur en Magnésium des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

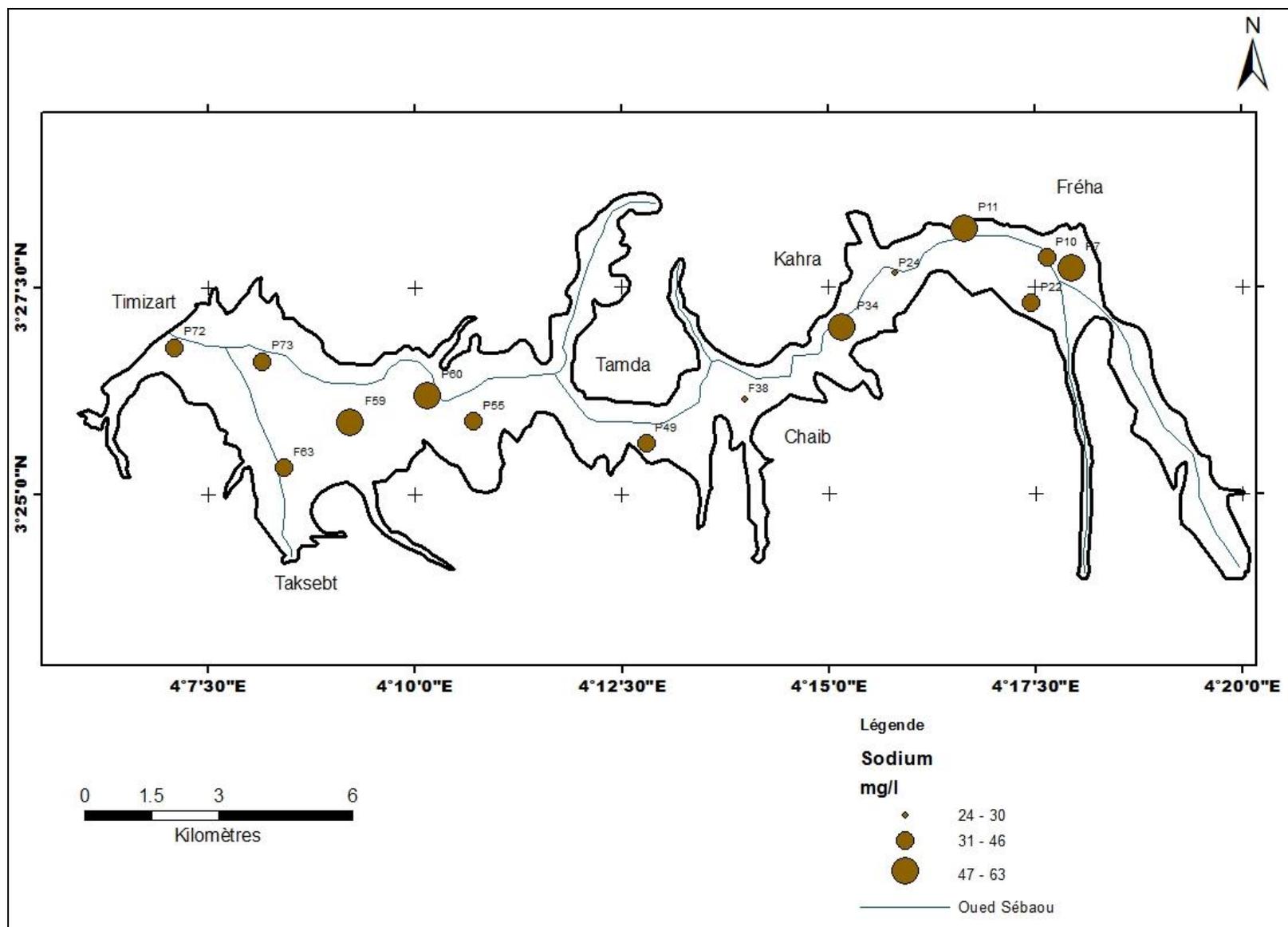


Figure IV.8: Carte d'isoteneur en Sodium des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

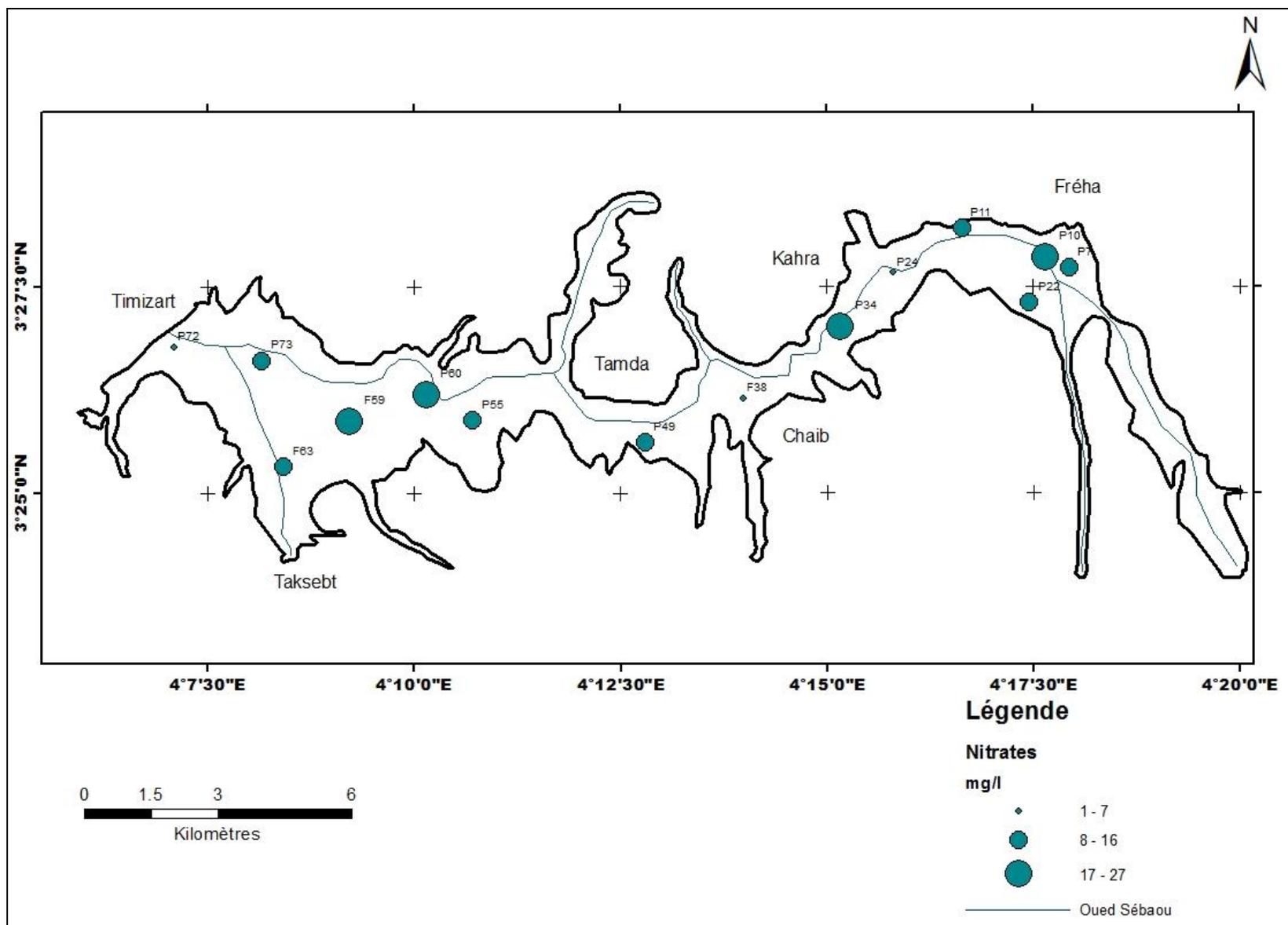


Figure IV.9: Carte d'isoteneur en Nitrates des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

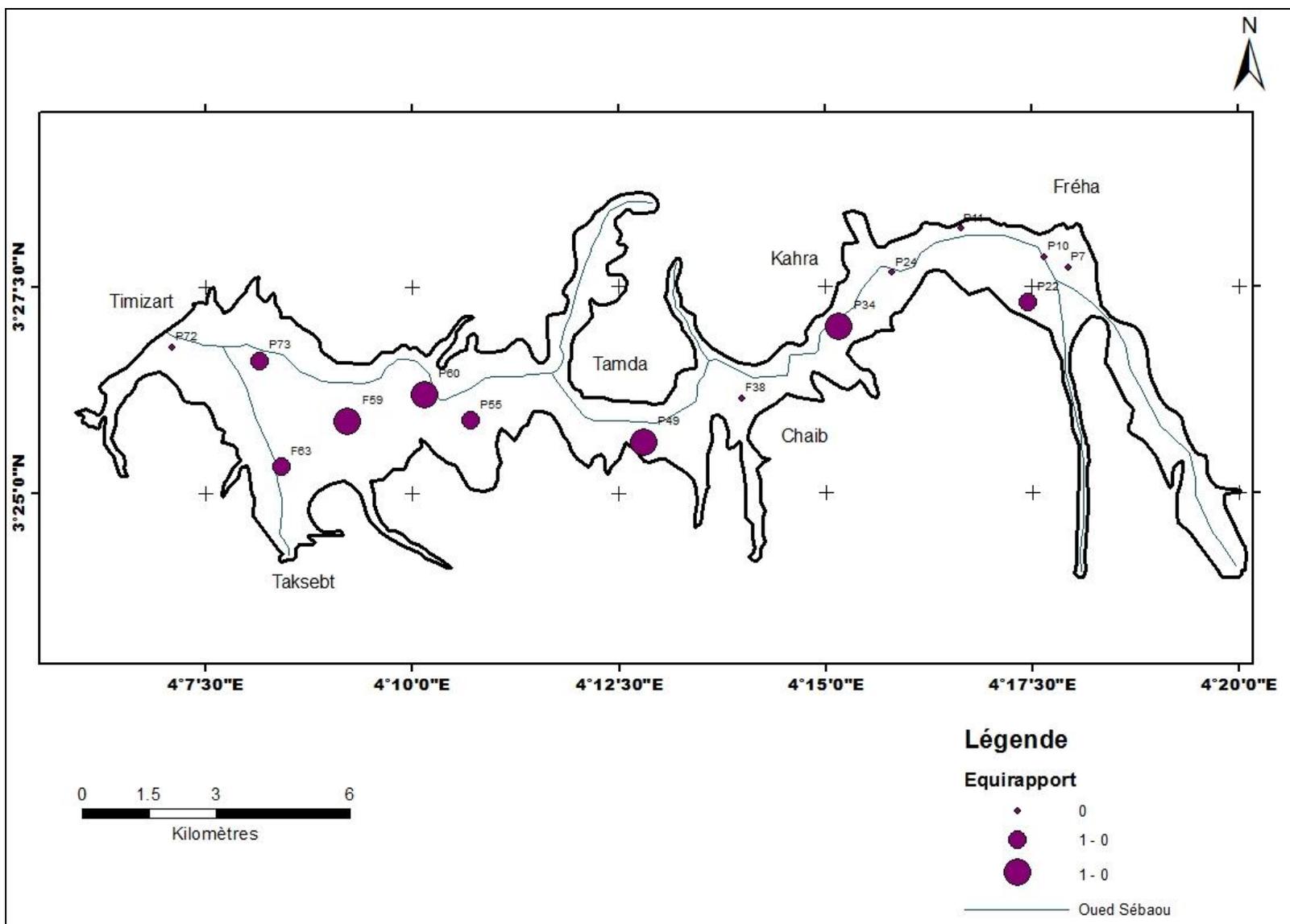


Figure IV.10: Carte d'équirapport ( $rCl^- / (rHCO_3^- + rCO_3^{2-})$ ) des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou (2010-2015)

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

### **IV.3.8. Détermination des principaux faciès hydro chimiques**

#### **IV.3.8.1. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF**

Le diagramme semi-logarithmique de Schoëller-Berkaloff (Figure IV.11), permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Cette représentation donne une classification comparable à celle de Stabler. Elle permet aussi de connaître la potabilité des eaux. Généralement, les eaux de la nappe alluviale sont caractérisées, d'une façon générale, par une potabilité bonne à passable.

Un certain parallélisme entre les lignes représentant la majorité des éléments majeurs a été observé, ce qui atteste d'une même évolution du chimisme. Ces diagrammes mettent en évidence cinq faciès chimiques ; dont 8 échantillons bicarbonaté calcique, 2 échantillons bicarbonaté magnésien ,un échantillon bicarbonaté sodique, un échantillon sulfaté magnésien,deux échantillons sulfaté calcique.

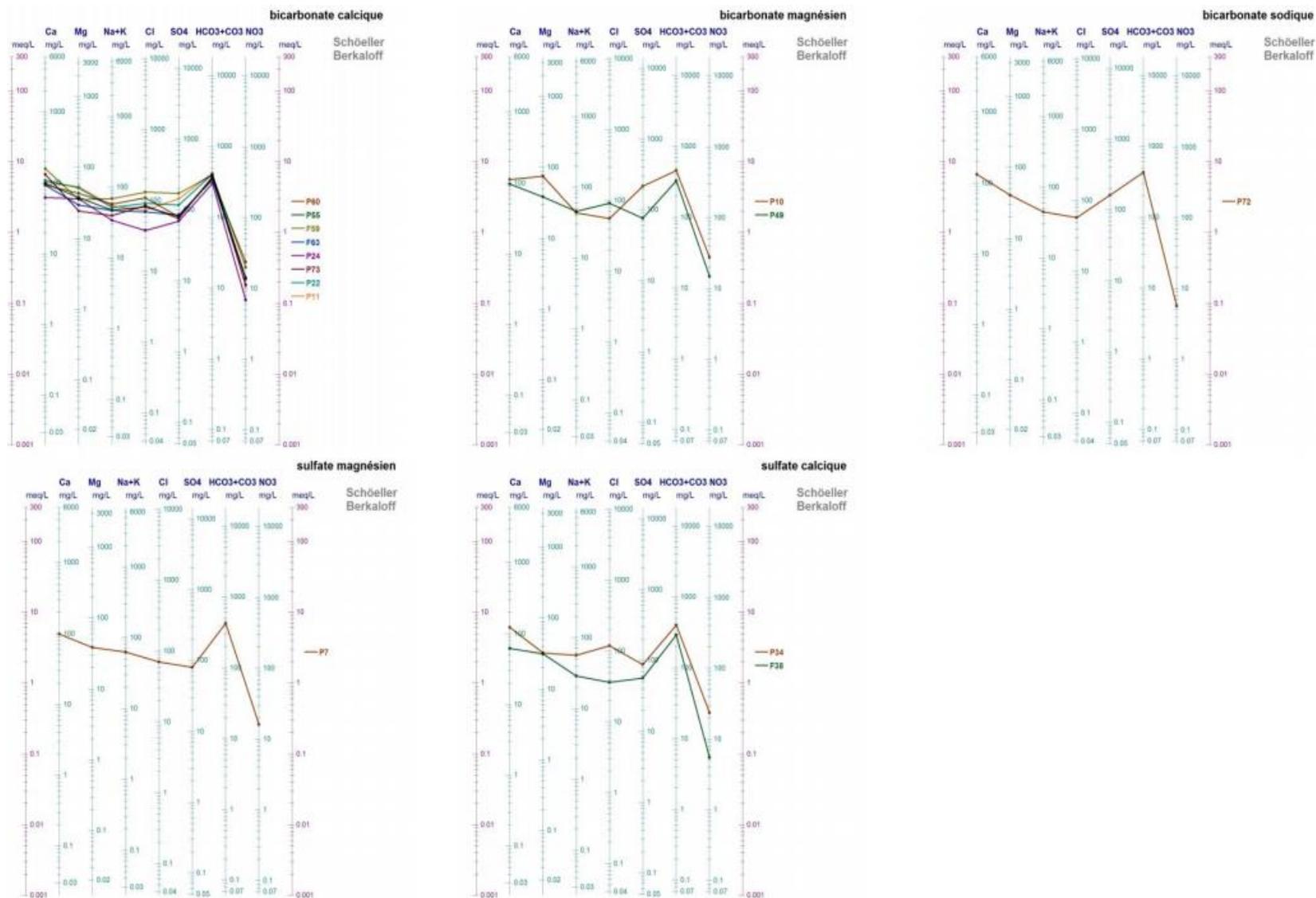


Figure IV.11 : Diagrammes de Schoëller-Berkaloff pour la nappe alluviale du sebaou (Haut Sébaou 2010-2015 )

#### **IV.3.8.2. Diagramme de Piper**

Le diagramme de Piper (Figure IV.12) est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

Ce diagramme met en évidence majoritairement un faciès bicarbonaté calcique et magnésien, en deuxième position le faciès sulfaté calcique et magnésien.

La réalisation de ce diagramme a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

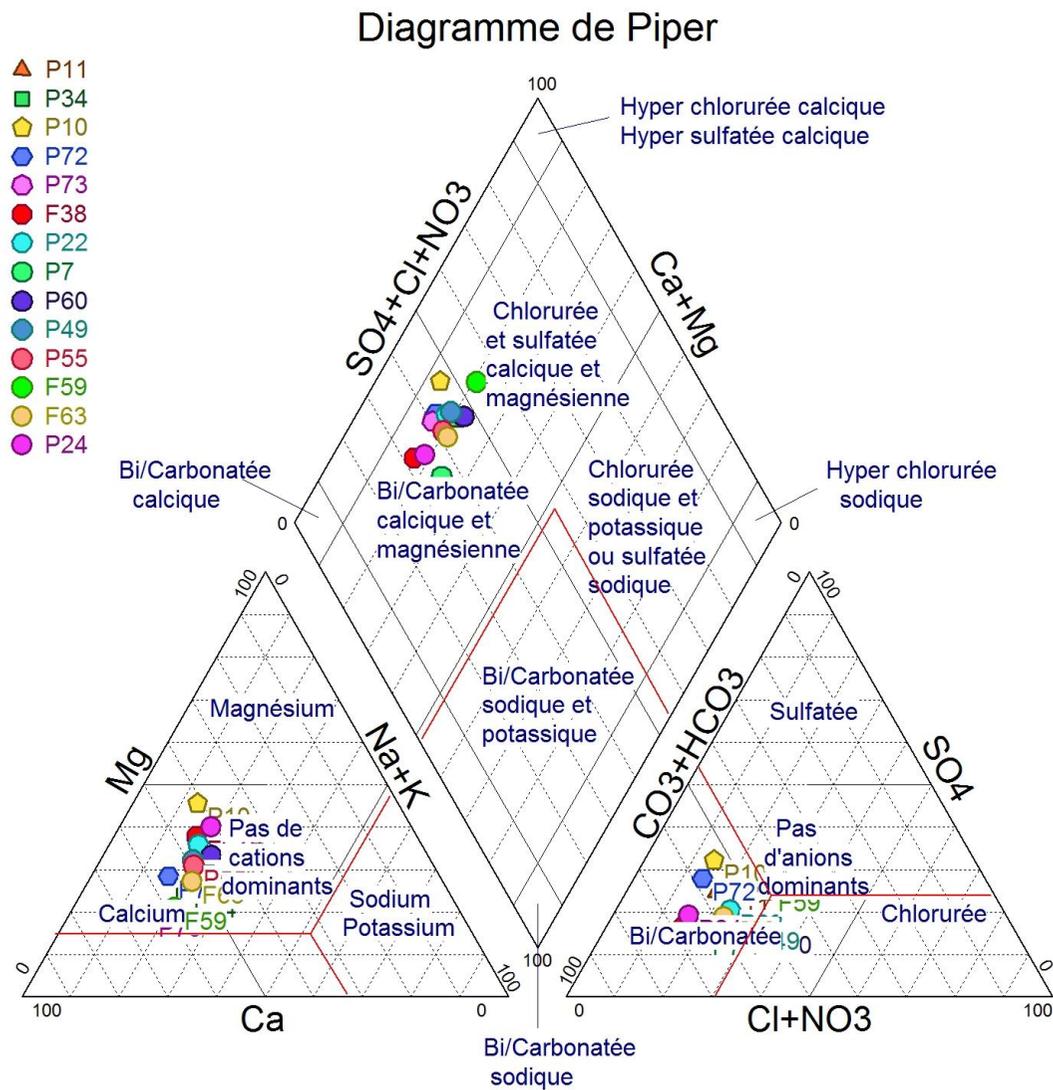


Figure IV.12 :Diagramme de Piper de la nappe alluviale du sebaou (Haut Sébaou 2010-2015 )

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

### IV.3.9. Carte des faciés chimiques :

Pour bien suivre l'évolution spatiale des différents faciés chimiques précédemment étudiés, nous avons établi les cartes d'isofaciés Figure IV.13 qui montrent la répartition de ces classes d'eau.

Ces cartes montrent la prédominance du faciés bicarbonaté calcique sur l'ensemble de la vallée du Haut Sébaou .

### IV.3.10. Aptitude des eaux à l'irrigation :

Pour estimer l'aptitude des eaux à l'irrigation, nous avons calculer le SAR à différents endroits comme le montre la figure IV.14

Le SAR est évalué par la formule suivante :

$$SAR = \frac{(Na^+ + K^+)}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \dots\dots\dots (IV.5)$$

Les résultats des calculs sont représentés dans l'Annexe N°3 . Les valeurs de SAR inférieures à 6 caractérisent la majeure partie de la zone d'étude. En effet, le report des valeurs du SAR et de la conductivité sur le diagramme de Riverside montre que plus de 90 % des eaux de la plaine appartiennent à la classe C3 S1, donc peuvent être utilisées sans aucun danger.

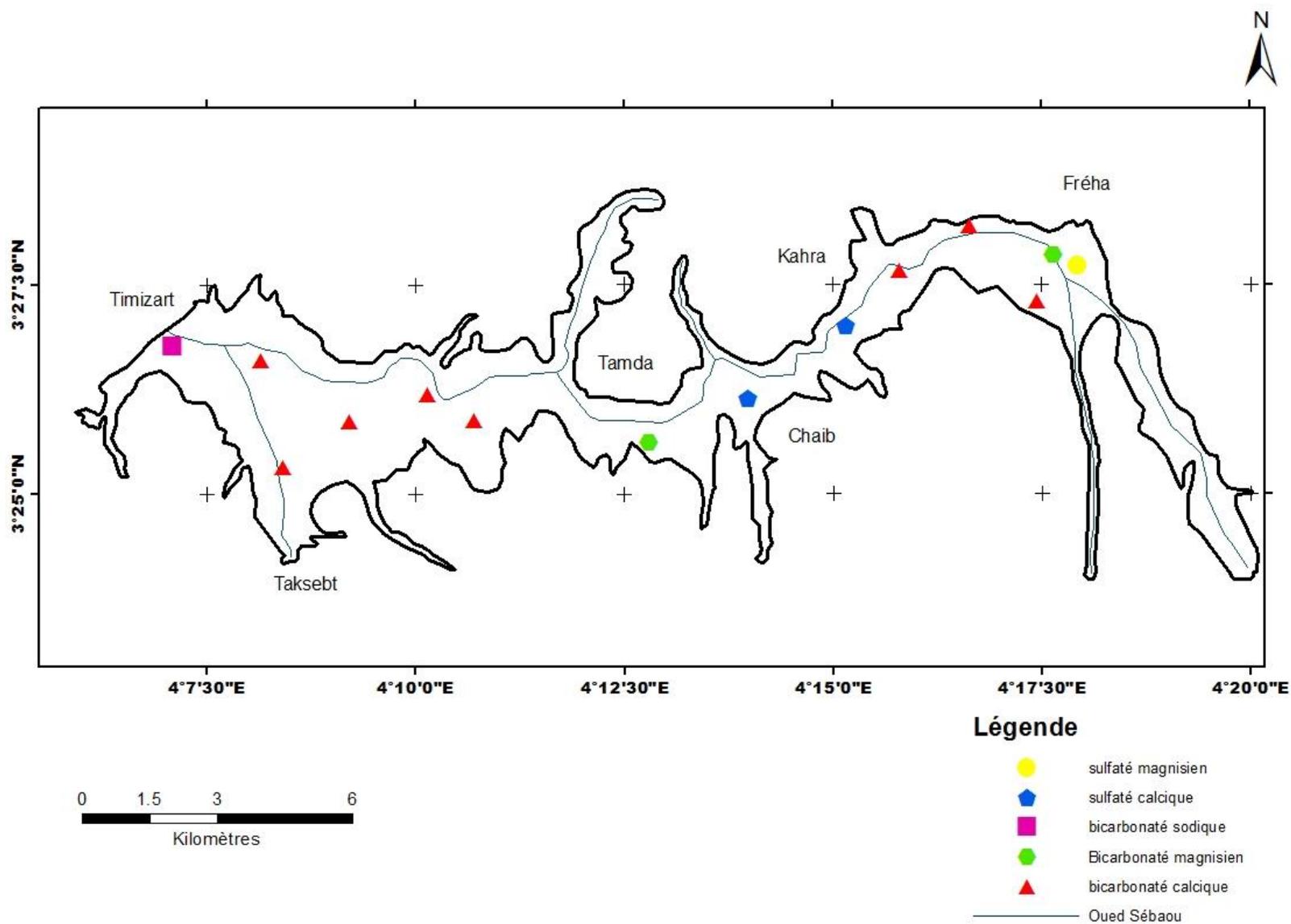


Figure IV-13 :Carte d'isofaciés des eaux souterraine de la vallée du Haut Sébaou 2010-2015

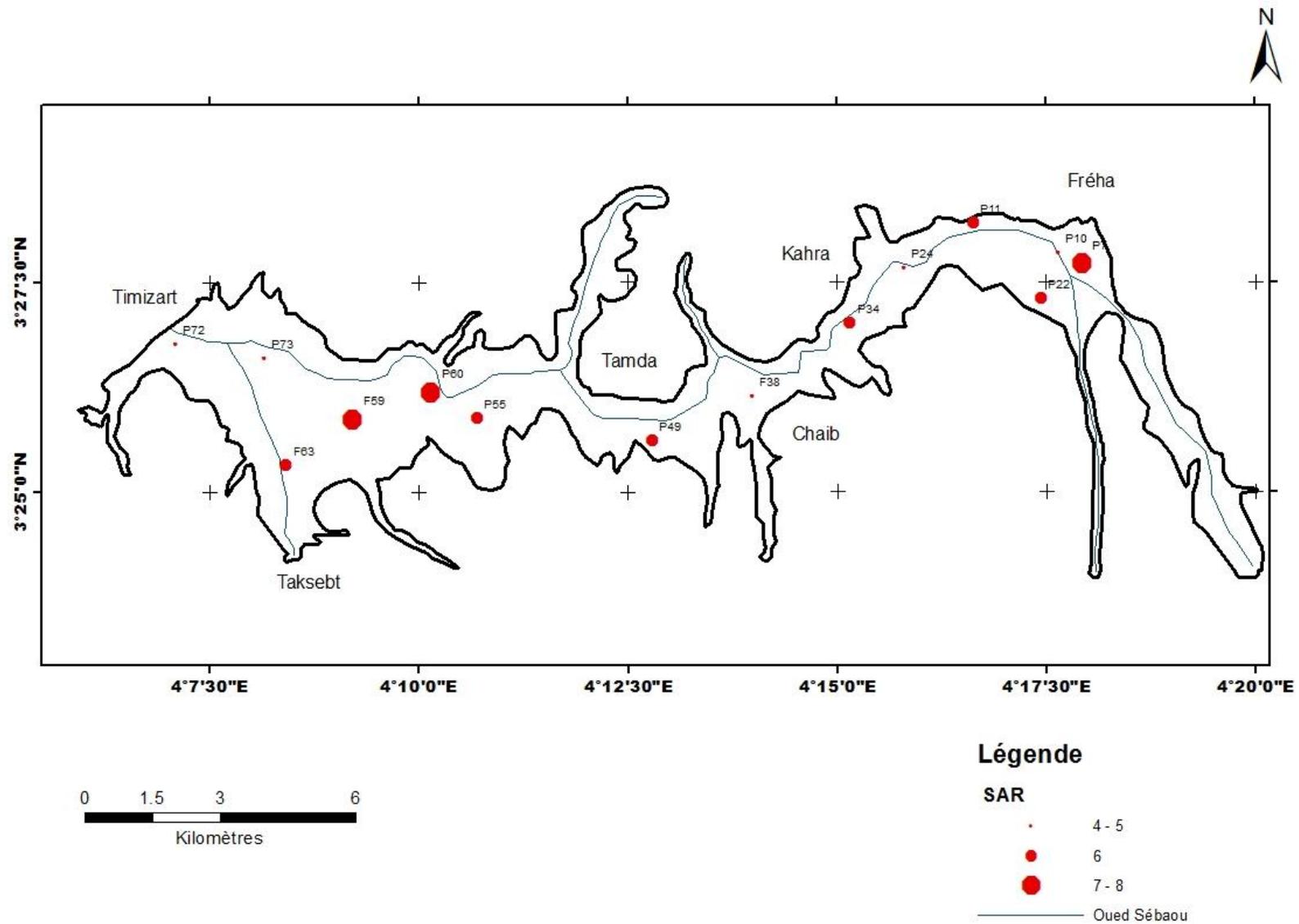


Figure IV-14 : Carte d'iso-SAR des eaux souterraines de la plaine alluviale du Haut Sébaou 2010-2015

**Conclusion :**

De cette étude hydrochimique nous retiendront que les eaux de la nappe de la vallée du Haut sébaou présentent des conductivités comprise généralement entre 712 et 1421  $\mu/cm$  ces valeurs attestent d'une minéralisation moyenne.

L'examen de la classification par la formule caractéristique ,celle de Schoeller –Berkaloff et de piper montre que les eaux de la vallée du haut sébaou sont bicarbonnées calciques et magnésien.

Enfin malgré les teneurs élevées des différents ions et leurs caractères incrustantes et dures,les eaux de la vallées du haut sébaou restent propices à l'irrigation et les normes de l'OMS pour l'eau potable sont en générale respectées.

# **Chapitre V : Pollution et protection de la nappe alluviale du Sébaou**

**Introduction :**

Pour une gestion durable des ressources en eau, la prédiction du risque de pollution et la protection de ces ressources sont d'une importance capitale. C'est pour cela la sauvegarde de la qualité de ces ressources est importante. Pour y aboutir on commence en premier lieu par la délimitation des zones susceptibles d'être atteintes par la pollution que l'on qualifiera de vulnérables ou à risques. Toutefois, la quantification du risque de pollution reste encore un problème difficile à appréhender. (DJEMAI MOHAMMED et MESBAH MOHAMED)

D'où l'établissement des textes législatifs réglementant aussi bien la mobilisation, la gestion et la protection des ressources en eau, à savoir les eaux souterraines sont celles qui sont les plus délicates contrairement à ce que pense le grand public. La législation en Algérie concernant la protection des ressources en eau est assurée de manière exclusive ou conjointe par le code des eaux. (KAMAL ZGHID, 2013)

**I. GENERALITES**

La pollution des eaux souterraines ou de surface peut être appréciée relativement à des normes établies régissant leur qualité physico-chimique et bactériologique. Elle peut être le résultat d'une détérioration des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques du milieu naturel ou écosystème, généralement, suite à une surcharge due à un apport excessif qui peut être véhiculé par le réseau hydrographique. En effet, les rejets de déchets solides ou liquides dans un oued ne disparaissent jamais, mais réapparaissent souvent sous une autre forme. (Marchal, 2007). L'oued Sébaou et ses affluents reçoivent toutes sortes de rejets domestiques, industriels et agricoles mais aussi de déchets de toutes natures souvent par le biais de décharges publiques incontrôlées.

Plusieurs types de pollution existent provenant d'origines diverses (domestiques, agricoles, industrielles ou même naturelle).

**I.1. La pollution chimique :**

Il s'agit de différentes substances dissoutes dans l'eau (notamment les nitrates, phosphates ou micropolluants), provenant des activités humaines. Les micropolluants sont des polluants susceptibles d'être toxiques à très faible concentration.

Ils sont essentiellement issus de l'utilisation de substances produites par l'industrie chimique. Ces substances sont présentes dans les cosmétiques, les médicaments, les peintures, les pesticides et dans bien d'autres produits de consommation, (Marchal, 2007).

### I.2. La pollution microbiologique :

Elle est liée aux micro-organismes, bactéries, virus et champignons pouvant se trouver dans l'eau. Ce type de pollution est fréquent et provient généralement d'une pollution par des matières fécales animales ou humaines, (Muet, 2011).

### I.3. La pollution physique :

Ce type de pollution peut modifier la transparence de l'eau (turbidité, en raison de matière en suspension) ou sa température.

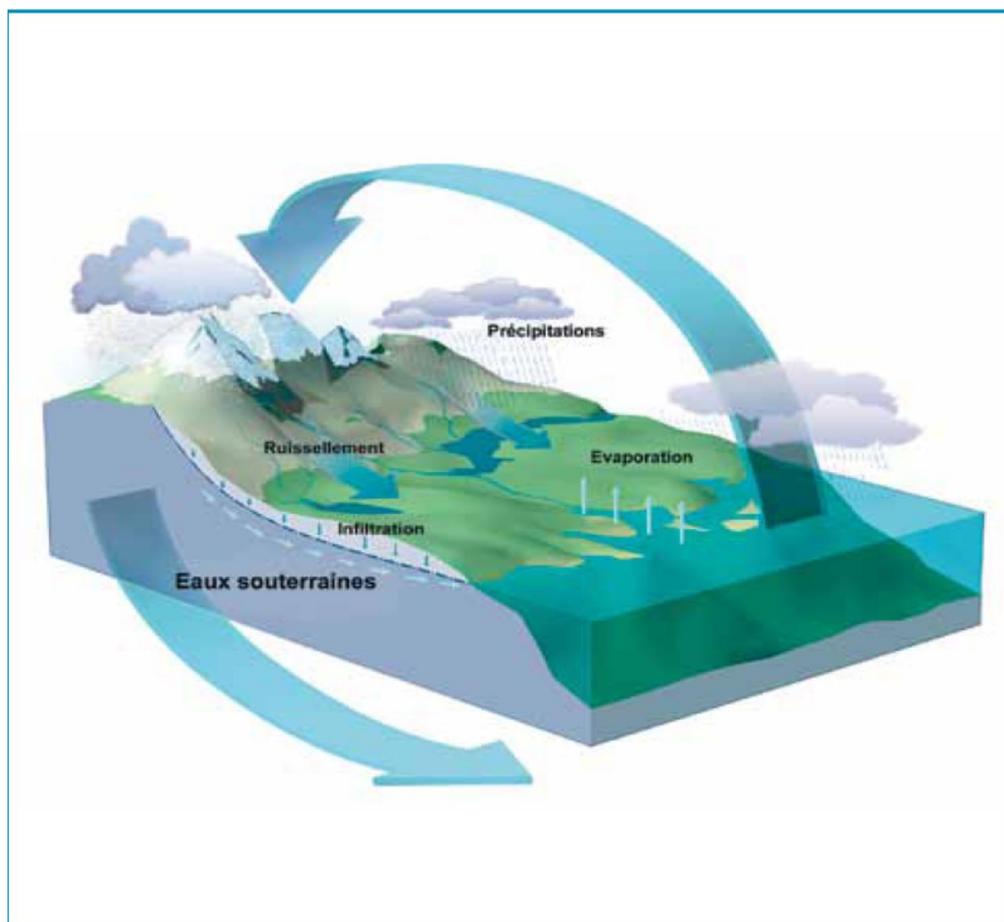


Figure V.1 : Cycle de l'eau, (OFEFP, 2004)

En pénétrant dans le sol, l'eau subit une filtration naturelle, car la couche supérieure du sol, l'humus, joue le rôle de protection contre les polluants en les retenant ou en les dégradant en partie. Ainsi, une grande majorité des eaux souterraines captées n'a pas besoin d'être traitée (une désinfection au chlore est suffisante).

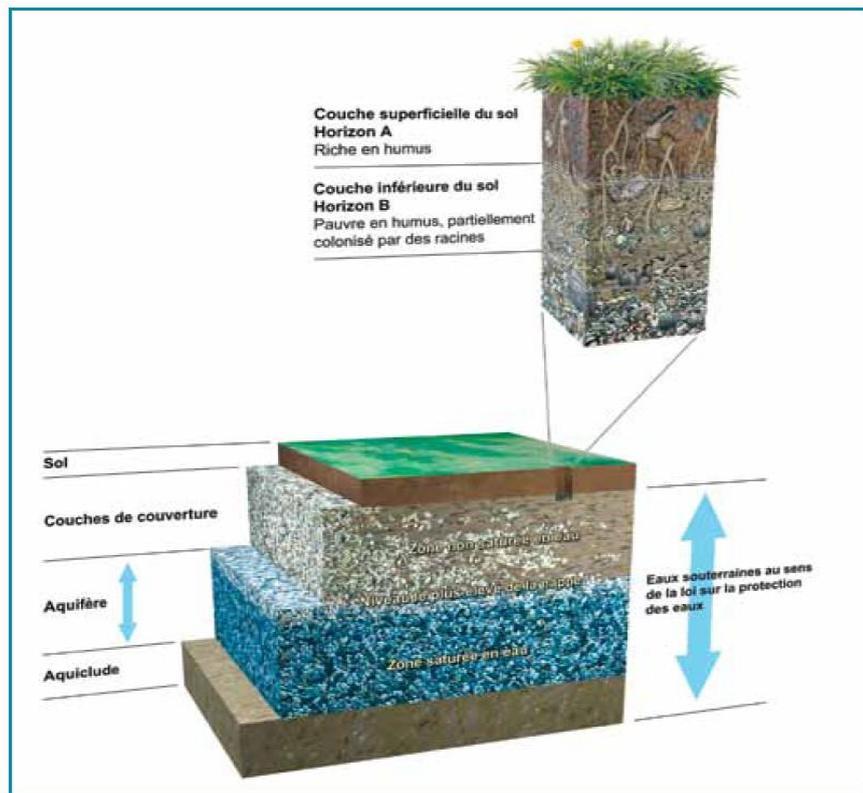


Figure V.2 : Profil du sol (OFEFP, 2004)

## II. Origines de la pollution de l'oued Sébaou :

### II. 1. Les rejets domestiques :

Parmi les diverses sources de pollution qui participent à la détérioration de la qualité des eaux de surface et souterraines, on note les rejets d'eaux usées qui peuvent représenter la source la plus importante. Sachant que les volumes d'eaux usées rejetés augmentent avec l'augmentation de la demande des besoins en eau due à l'évolution démographique et à l'amélioration du cadre de vie du citoyen. Ces eaux proviennent des agglomérations de la vallée et des villages situés sur les hauteurs du bassin versant jusqu'à l'oued principal qui est le Sébaou. D'après l'agence des bassins côtiers Algérois, le nombre de points de rejet dans la wilaya est de 1465 pour une population de (1044571 habitants) et un volume d'eaux rejetées de 162543 m<sup>3</sup>.

La charge polluante d'un effluent industriel ou mixte est calculée en admettant que chaque habitant produit 54 grammes par jour (54g/j) de charge polluante entraînée à l'égout en suspension ou en solution. La charge polluante engendrée par les rejets domestiques dans le bassin du Sébaou est de 62 344 754 g/j/hab. (Source : DAPE, DHW et DEW, 2005)



Figure V.3 : Découpage administratif en dairates de la wilaya de Tizi-Ouzou

## II .2. Les unités industrielles :

La wilaya de Tizi-Ouzou comptabilise 105 unités industrielles polluantes dont les rejets épurés ou non atterrissent dans l'oued Sébaou (Tableau V.1).

La composition des rejets diffère d'une unité à une autre selon que l'eau est utilisée comme matière première ou comme outil de production (eau de refroidissement). Le tableau ci-dessous indique que seulement 36 rejets sont épurés soit 34% du total, ce qui nous renseigne sur les risques que peuvent occasionner les rejets non traités.

	Branche d'activité	Nombre d'unit » industrielle	Lieu de rejet	Nombre et Nature du rejet	
				Brut	Epuré
Wilaya Tizi-Ouzou	Agroalimentaire	39	Oued Sébaou	27	12
	matériaux de construction	28	Oued Sébaou	16	12
	Chimique	8	Oued Sébaou	7	1
	Parapharmaceutique	3	Oued Sébaou	3	0
	Electrique	5	Oued Sébaou	2	3
	Mécanique	2	Oued Sébaou	2	0
	bois et divers	4	Oued Sébaou	2	2
	Métallique	4	Oued Sébaou	4	0

Tableau V.1 : unités industrielles polluantes de la wilaya de Tizi-Ouzou (Source Agence des bassins versant, 2006)

### II.3. les huileries :

Le nombre d'huileries au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou est de 704 et dont les rejets aboutissent dans l'oued Sébaou et ses affluents (Tableau V-2)

Wilaya de Tizi-ouizou	Nombre d'huilerie	Quantité d'olives triturées en Quintaux	Charge polluante (eq/hab)	Lieu de rejet (exutoire)
	704	886120	44306000	Oued Sébaou

Tableau V.2 : Nombre d'huileries au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou (Source, agence des bassins versants, 2006)

Le coefficient de la charge polluante (équivalent/habitant) étant pris égal à 500 éq/hab pour 01 tonne d'olives triturées Le coefficient de la charge polluante (équivalent/habitant) étant pris égal à 500 éq/hab pour 01 tonne d'olives triturées. (DJEMAI MOHAMMED et MESBAH MOHAMED)

### II.4. les stations de service-lavage-graissage :

La wilaya de Tizi-Ouzou compte 81 stations-service-lavage et graissage d'après Naftal

Les rejets émanant de ces stations sont très polluants et peuvent endommager la qualité des eaux de surface et souterraines.

### II.5. les décharges publiques :

La wilaya de Tizi-Ouzou totalise un nombre de 55 décharges publiques dont 23 sont brutes(Contrôlées) et 32 sauvages (non contrôlées) qui reçoivent 779 tonnes/jour de déchets domestiques traités par la méthode d'incinération. (Source, agence des bassins versants, 2006)

La plupart de ces décharges exploitées, en particulier les décharges brutes autorisées par les APC, ne répondent pas aux critères de préservation de l'environnement du fait de leur emplacement, ou de la gestion des déchets.

### II.6. Abattoirs et tueries :

Le bassin versant de l'oued Sébaou compte 19 abattoirs et tueries avec une quantité abattue de 29 344 T/an, pour une charge polluante de :

- Pour 1 tonne de poids vif 400 Eq/hab.
- Pour une Tête abattue 200 Eq/hab

Wilaya Tizi-Ouzou	Type	Nombre de site	Quantité abattue(T/an)		Lieu de rejet (Exutoire)
	Abattoir	2	8917	3566800	Oued Sébaou
	Tuerie avicole	4	838	335200	

	Tuerie	13	19589	7835600	
Total		19	29344	11737600	

Tableau V.3 : Sites et charges polluantes au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou (Source, agence des bassins versants, 2006)

## II.7. Les déchets hospitaliers :

Les déchets hospitaliers ne sont pas en reste dans la wilaya de Tizi-Ouzou. En effet, avec une dizaine (10) d'établissements fonctionnels (Tableau V.4), la quantité de déchets produite quotidiennement est de 1223 kg/lit/jour. Ces déchets sont en principe incinérés au niveau des établissements respectifs.

Wilaya Tizi-Ouzou	Type et nombres des établissements hospitaliers			Nombres d'incinérateurs	
	Service sanitaire	CHU	EHS	Fonctionnel	Non fonctionnel
	8	1	1	10	0
	Nombre de lits organisés			Quantité de déchets (kg/lit/jour)	
	1223			1223	

Tableau V.4 : Etablissements de santé de la wilaya de Tizi-Ouzou-Charge polluante (Source, agence des bassins versants, 2006)

## II.8. Les sablières :

Le sable étant le matériau de construction de base, en 1970, la wilaya et la direction de l'hydraulique de la wilaya de Tizi-Ouzou ont autorisé conjointement un certain nombre d'entreprises (Tableau V.1) (Figure V.4) à extraire des volumes donnés pour répondre aux besoins des programmes de construction à travers la wilaya de Tizi-Ouzou. Présentement, la sécheresse aidant, la situation n'est plus propice pour cette activité, du fait du non renouvellement conséquent des volumes extraits; entraînant ainsi une destruction et une réduction du volume de l'aquifère. De plus, les huiles des engins ou tout autre rejet nocif peuvent contribuer à la pollution de la nappe alluviale à travers l'infiltration des eaux stagnantes dans des excavations qui ne sont généralement jamais refermées. . (DJEMAI MOHAMMED et MESBAH MOHAMED)

Localisation	Propriétaire	Date d'implantation	Volumes annuels extraits (m <sup>3</sup> )
Haut Sébaou	BAILECHE (1)	1986	50000
	AMRI (2)	//	//
	EWMC (3)	//	//
	HADDAD (4)	//	//

Tableau V.5 : Principales sablières du haut Sébaou (Source, agence des bassins versants, 2006)

**III. Les paramètres bactériologiques :**

Les données de MELLAL. N, 2001 révèlent la présence de contamination fécale sur l'ensemble des stations (Tableau V.6).

Stations	Coliformes	Escherichia-coli	Streptocoques
1 : Fréha	>240 c/ml	>240 c/ml	>240 c/ml
2 : Mekla	//	//	//
3 : Tamda	//	//	//
4 : O .Aissi	//	//	//
5 : P .Bougie	//	//	//

Tableau V.6 : résultat des analyses bactériologiques (Source, agence des bassins versants, 2006)

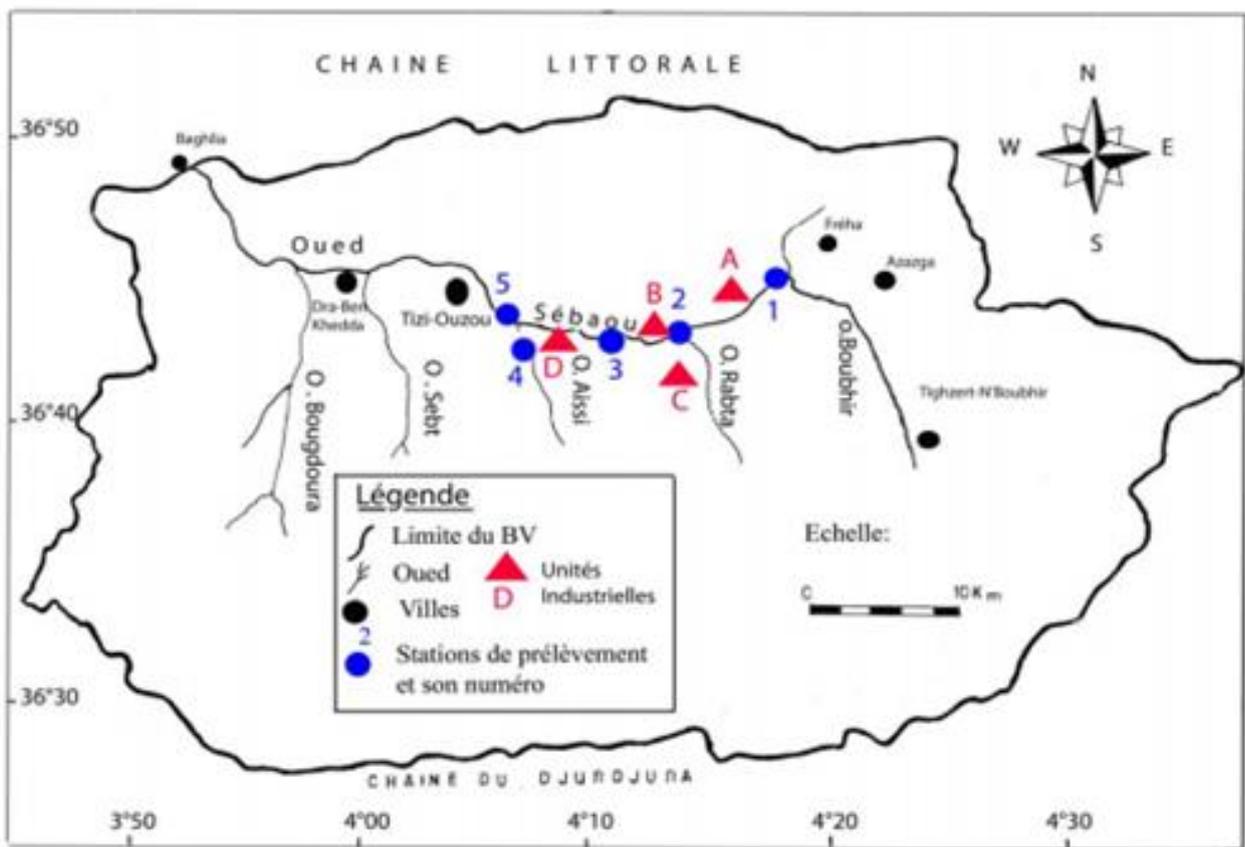


Figure V.4 : Localisation des points de prélèvement (analyses bactériologiques) et des unités industrielle (A : ENEL, B : ORAC, C : ENATB, D : ENIEM) source : (Eaux Souterraines, Mellal : 2001)

### III.1. La pollution par les métaux :

#### III.1.1. Les rejets des unités industrielles :

Les données relatives aux métaux lourds (Tableau V.7) proviennent des analyses des rejets des unités industrielles (A : ENEL, B : ORAC, C : ENATB et D : ENIEM) installées dans la vallée de l'oued Sébaou (Figure V.4).

Paramètres Stations	Métaux lourds						
	Cr	Fe	Zn	Cd	Pb	Cu	Mn
ENEL (A)	0,00	0,00	0,00	0,00	2,89	0,10	0,00
ORAC (B)	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	0,10	0,00
ENATB (C)	0,00	0,00	0,00	0,00	2,63	0,10	0,00
ENIEM (D)	0,12	5,13	1,31	0,00	2,66	0,09	0,16

Tableau V.7 : Résultats d'analyses de rejets d'unités industrielles (Source, agence des bassins versants, 2006)

Les résultats des analyses montrent que les concentrations en plomb sont supérieures aux normes Algériennes en vigueur (J.O, RADP, n°46 du 14/07/1993) Tableau suivant :

Paramètres	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	MES	DCO	T°c	Ph
Concentrations (mg/l)	0,2	0,1	3	5	1	5	30	120	30	5,5-8,5

Tableau V.8 : Valeurs limites maximales des paramètres de rejets d'unités industrielles

### III.2. Les eaux de l'oued Sébaou :

Des analyses de métaux lourds ont été effectuées d'amont en aval de l'oued Sébaou en périodes de hautes et de basses eaux, elles ont fourni les résultats ci-après (Tableaux V.9 et V.10).

En période de hautes eaux, à l'exception des concentrations du plomb, celles des autres métaux dosés sont inférieures aux normes algériennes.

Ces concentrations élevées en plomb s'observent en aval des unités industrielles (Figure V.4) : ORAC, ENATB et ENIEM.

Paramètres Station	Concentrations (mg/l)						
	Cr	Fe	Zn	Cd	Pb	Cu	Mn
1	0	0	0.001	0	0.5	0.065	0
2	0	0	0	0	0.8	0.067	0
4	0	0	0	0	1.36	0.0079	0
6	0	0	0	0	1.92	0.085	0
7	0	0	0	0	2.13	0.09	0

Tableau V.9 : Concentrations des métaux lourds) (période de hautes eaux) (Années, 2000) (Mellal.N, 2001)

Paramètres Station	Concentrations (mg/l)						
	Cr	Fe	Zn	Cd	Pb	Cu	Mn
1	0.023	0.036	0.007	0.0	0.0	0.0	0.003
2	0.003	0.078	0.055	0.0	0.0	0.0	0.003
4	0.001	0.266	0.0576	0.0	0.0	0.0039	0.015
6	0.08	0.383	0.191	0.0	0.0	0.006	0.053
7	0.015	0.603	0.257	0.0	0.0	0.0	0.130

Tableau V.10 : Concentration en métaux lourds (Périodes basses eaux) (Années ,1999) (Mellal.N, 2001)

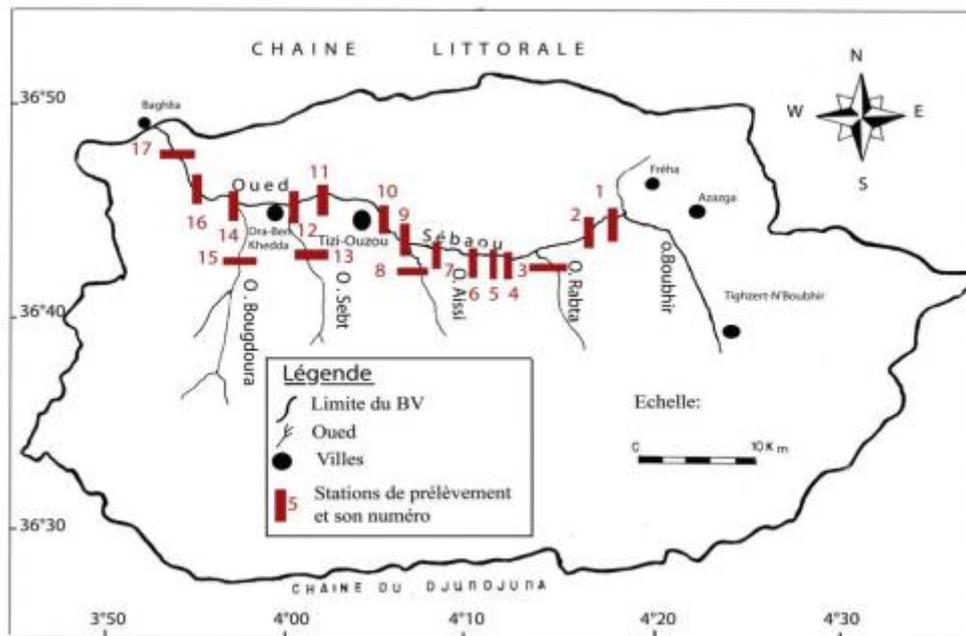


Figure V.5 : localisation des Stations de prélèvement (Eaux Souterraines, Mellal : 2001)

#### IV. La protection des eaux souterraines :

##### IV.1.Principes :

La législation sur la protection des eaux vise à protéger les eaux souterraines contre toute atteinte nuisible et à permettre leur exploitation durable tout en respectant l'équilibre écologique. Comme les eaux souterraines sont menacées de tous côtés et qu'elles sont omniprésentes, Il est nécessaire d'assurer leur protection en tenant compte de leur utilisation pour la production d'eau potable tout en respectant les objectifs écologiques. (Muet,2011)

##### IV.2. Les enjeux associés à la protection des eaux souterraines :

La protection des eaux souterraines constitue, pour plusieurs raisons, une priorité de la

politique environnementale de l'état :

-Une fois contaminées, les eaux souterraines sont plus difficiles à 'nettoyer' que les eaux superficielles et les conséquences peuvent se prolonger pendant des décennies puisque les eaux souterraines sont très utilisées pour l'alimentation en eau potable, pour l'industrie et pour l'agriculture, sa pollution peut être dangereuse pour la santé humaine et pour le bon déroulement des activités économiques,

- Les eaux souterraines fournissent le débit de base de bon nombre de fleuves (elles peuvent représenter jusqu'à 90 % du débit de certains cours d'eau) et peuvent ainsi influencer la qualité des eaux de surface, elles servent de tampon dans les périodes de sécheresse et deviennent alors essentielles pour conserver les zones humides. (Marchal, 2007)

#### **IV.3. La protection de l'eau :**

Dans les pays du Maghreb, l'eau potable provient à des eaux souterraines (sources et nappes phréatiques) en grande partie, est subit dans la plupart des cas uniquement une désinfection, contrairement à l'eau du lac ou du barrage, qui nécessite un traitement plus important. Des mesures de protection (normes, lois) ont été prises à partir de la fin des années 70, afin de protéger l'eau souterraine des risques causés par les activités humaines (industrie, agriculture, loisirs, ...) et garantir ainsi une eau de qualité, (El Bennoury, 2002).

#### **V. Risques de contamination des eaux souterraines :**

Selon l'OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et paysage, 2004), la protection des eaux souterraines d'un point de vue qualitatif, de manière à garantir une offre suffisante en eaux de bonne qualité. Cette philosophie vise à préserver les eaux souterraines, dans un sens très large, c'est-à-dire en tenant compte de leur environnement géologique et hydrogéologique, de leur régime hydraulique et de leurs propriétés chimiques et biologiques.

Les objectifs à atteindre sont ainsi les suivants :

- Conservation des aquifères, des aquicludes et des couches de couverture, ainsi que du régime hydraulique des eaux souterraines ;
- Conservation de la qualité chimique naturelle des eaux souterraines;
- Conservation des biocénoses naturelles des eaux souterraines.

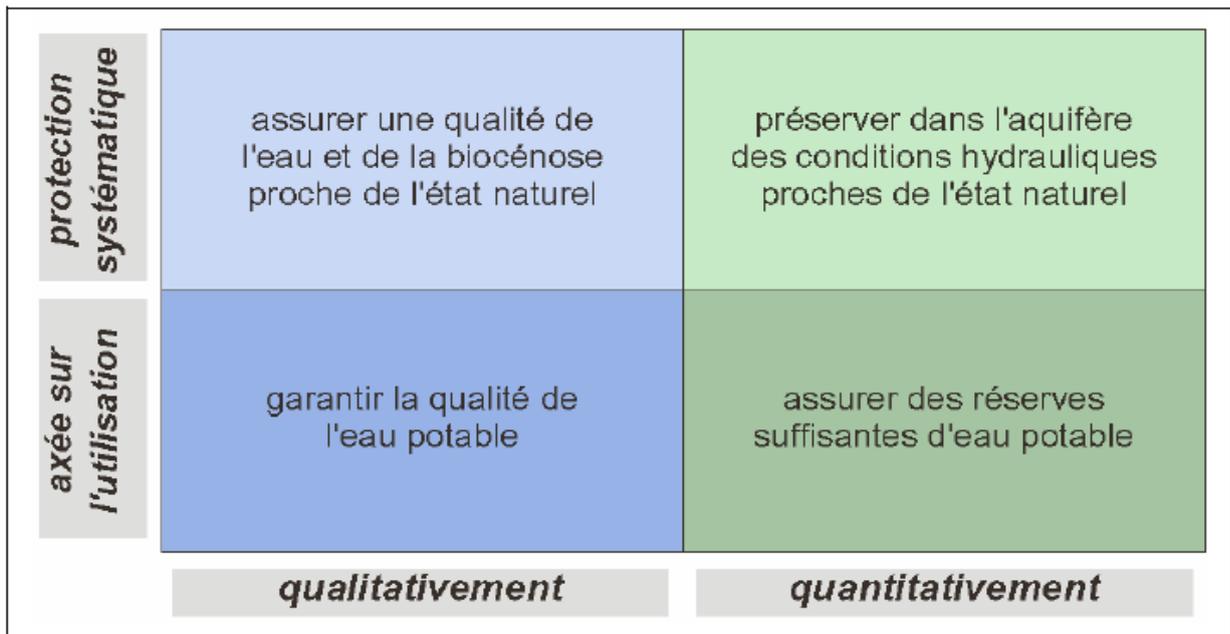


Figure V.6 : Objectifs de la protection des eaux souterraines (OFEFP, 2004).

### V.1.Aspects qualitatifs :

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être modifiée ou au moins menacée par les activités humaines. En voici quelques exemples :

- Lessivage d'engrais (nitrate) et de produits phytosanitaires (herbicides) sur des surfaces agricoles, des jardins et des terrains de sport ;
- Épandage de purin, lors de fortes précipitations ou de gel, en dehors de la période de végétation ou, par exemple, en région karstique, à proximité de gouffres ou de dolines ;
- Infiltration dans le sous-sol des eaux de lixiviation de sites contaminés ;
- Pertes de collecteurs d'eaux usées, de fosses à purin et de réservoirs non étanches ;
- Entraînement de polluants atmosphériques dans le sous-sol (solvants, nutriments, produits phytosanitaires, additifs de carburant) ;
- Accidents conduisant à des pertes de polluants dans le sous-sol.

Les polluants non ou difficilement dégradables sont particulièrement dangereux pour les eaux souterraines, lorsqu'ils parviennent à traverser le sol et les couches de couverture (Marchal, 2007).

**V.2.Aspects quantitatifs :**

Les eaux souterraines sont menacées au plan quantitatif, lorsque la capacité d'emmagasinement des aquifères et/ou leur section d'écoulement vient à être réduite et lorsque les niveaux piézométriques des nappes d'eaux souterraines sont rabattus de manière durable. De plus, l'augmentation de l'imperméabilisation des sols réduit l'alimentation des nappes d'eaux souterraines (Muet, 2011).

❖ Voici quelques exemples d'interventions propres qui peuvent influencer le régime des eaux souterraines :

- Construction au-dessous du niveau des nappes d'eaux souterraines, notamment d'ouvrages souterrains drainants ;
- Urbanisation, avec imperméabilisation des terrains correspondants ;
- Surexploitation par suite de prélèvements dépassant à long terme l'alimentation naturelle des nappes d'eaux souterraines ;
- Extraction de sable ou de gravier, et comblement des excavations avec des matériaux inappropriés ;
- Drainage de zones agricoles, avec réduction de l'alimentation naturelle de nappes d'eaux souterraines ou rabattement durable de leur niveau piézométrique ;
- Compactage des sols par l'agriculture ;
- Etanchéité du lit de cours d'eau alimentant des nappes d'eaux souterraines par infiltration ;
- Prélèvement d'eau et de matériaux dans les cours d'eau, avec diminution du charriage, colmatage du lit et réduction des infiltrations d'eau dans le sous-sol.

### V.3.Périmètres, secteurs et zones de protection des eaux souterraines :

Pour une gestion efficace et durable des eaux souterraines, les départements (U.E), ont subdivisé leur territoire en périmètres, secteurs et zones de protection (OFEFP, 2004).

#### V.3.1. Périmètres :

Les départements délimitent les périmètres de protection des eaux souterraines afin de protéger les eaux souterraines pour une utilisation future (exploitation ou alimentation artificielle).

#### V.3.2. Secteurs :

Les secteurs de protection des eaux souterraines regroupent les secteurs particulièrement menacés: le secteur d'eau exploitable AU et d'alimentation ZU.

#### V.3.3 Zones de protection :

Les zones de protection des eaux souterraines visent à protéger les eaux alimentant les captages d'intérêt public contre les risques de pollution. Ces zones sont subdivisées en trois catégories: S1, S2 et S3. Le règlement d'application des zones de protection régit les mesures et les restrictions d'utilisation du sol pour les différentes zones S 3.

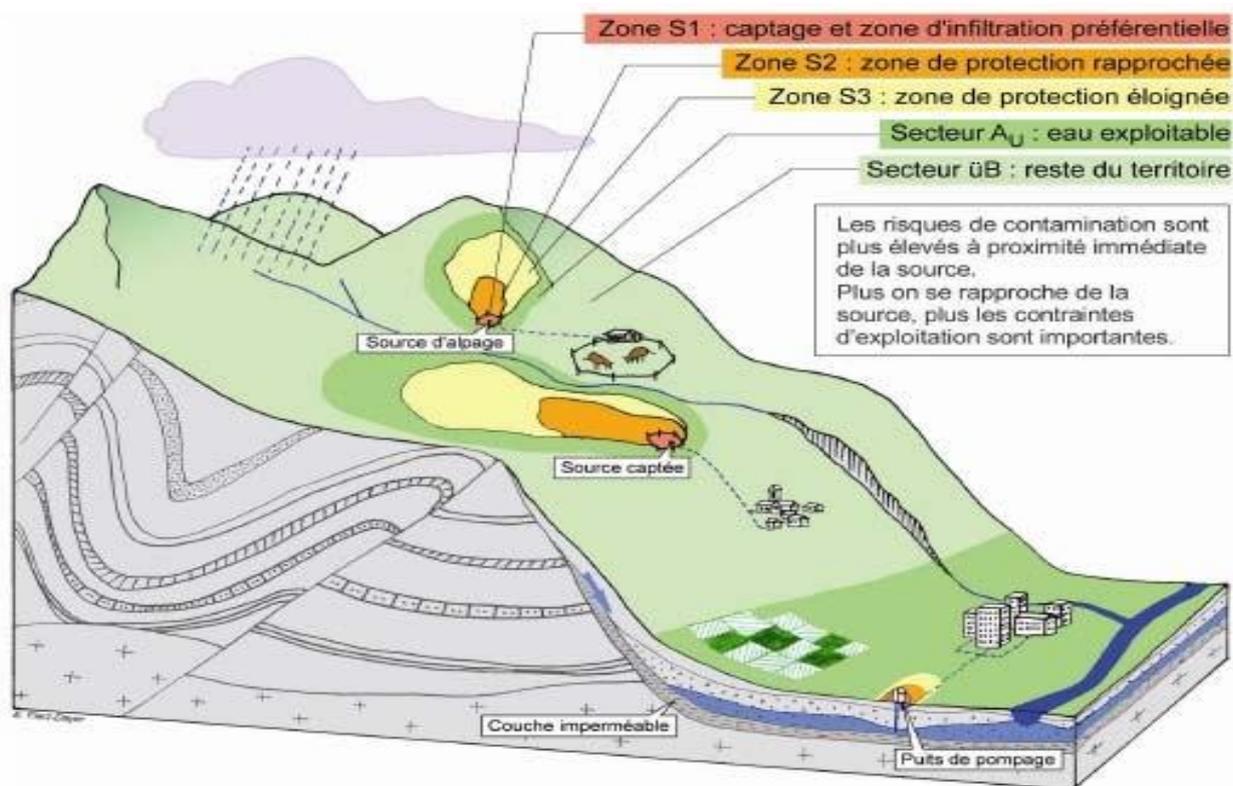


Figure V.7 : Schéma illustrant les différents zones de protection de l'aquifère (OFEFP, 2004)

**a. Zone de captage (zone S1) :**

Elle comprend le captage lui-même et les terrains directement environnants.

Elle devrait appartenir au détenteur du captage et être clôturée. Elle doit empêcher:

- La pénétration directe de polluants dans le captage;
- La dégradation ou la destruction des installations.

En milieu karstique ou dans les roches fissurées, les parties les plus vulnérables du bassin d'alimentation sont également classées en zone S1.

**b. Zone de protection rapprochée (zone S2) :**

Elle a la fonction d'une zone tampon entre la zone S1 et la zone S3. Elle est délimitée de telle sorte que l'eau souterraine mette au moins dix jours pour la traverser. Elle doit empêcher :

- L'arrivée au captage de germes et de virus pathogènes, ainsi que de liquides pouvant polluer les eaux, comme l'essence ou le mazout;
- La pollution des eaux souterraines par suite de l'exécution de fouilles ou de travaux, ainsi que l'affaiblissement de la capacité de filtration naturelle du sol et du sous-sol;
- L'arrivée au captage de polluants en fortes concentrations;
- La création de barrages souterrains modifiant les écoulements.

**c. Zone de protection éloignée (zone S3) :**

Elle a la fonction d'une zone tampon entre la zone S2 et le secteur Au. Elle est délimitée de telle sorte que l'eau souterraine mette au moins vingt jours pour arriver jusqu'au captage. Elle constitue une protection contre les installations et activités qui présentent un risque important pour les eaux souterraines.

En cas de danger critique (p. ex. en cas d'accident impliquant des marchandises dangereuses), elle permet de disposer de suffisamment d'espace et de temps pour intervenir et pour prendre les mesures d'assainissement nécessaires.

**d. Un périmètre de protection :** des eaux souterraines peut être délimité autour de sources non captées présentant un intérêt pour l'approvisionnement futur. L'utilisation du sol et les autres activités exécutées dans ce périmètre doivent satisfaire à la quasi-totalité des exigences fixées pour la zone de protection rapprochée (zone S2).

- e. L'aire d'alimentation Zu :** est précisée lorsque les zones de protection ne suffisent pas à garantir la qualité des eaux prélevées par un captage. L'aire d'alimentation Zu couvre la zone où se forme environ 90% des eaux du sous-sol parvenant au captage considéré et fait l'objet de mesures de protection et d'assainissement spécifiques.
- f. L'aire d'alimentation Zo :** est destinée à protéger la qualité des eaux superficielles qui ont une utilisation particulière. Elle couvre le bassin d'alimentation du quel provient la majeure partie de la pollution des eaux superficielles.
- g. Le secteur Au :** de protection des eaux s'étend à l'ensemble des eaux souterraines potentiellement exploitables pour l'approvisionnement en eau potable et englobe les zones attenantes nécessaires à leur protection.
- h. Le secteur üB :** de protection des eaux englobe le reste du territoire. La législation sur la protection des eaux concerne aussi ce secteur puisque toutes les dispositions de protection générale
- notamment le principe de diligence et l'interdiction de polluer les eaux – doivent y être appliqués.

#### **V.3.4. Le Concept de base de protection des eaux souterraines en Algérie :**

Les méthodes appliquées pour la mise en évidence des zones sensibles à la pollution et par conséquent le dimensionnement des zones de protection sont basées sur certains critères qui peuvent influencer sur la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, dont les plus importants (Derni, 2011) :

- Le type de la nappe.
- L'épaisseur de la zone non saturée.
- La nature géologique de la roche réservoir et son pouvoir filtrant.
- La vitesse d'écoulement des eaux souterraines.
- La nature géologique et l'épaisseur des couches de couverture.

L'Algérie a adopté plusieurs politiques concernant la protection des ressources en eau souterraine. Généralement elles sont matérialisées par le code des eaux mais aussi par le code de la protection de l'environnement et le code de la santé publique.

## Conclusion

Dans la perspective d'une exploitation future, la protection des eaux souterraines passe par la délimitation des secteurs particulièrement menacés.

Ces mesures d'organisation du territoire sont associées aux mesures de protection et des droits d'utilisation de ces ressources. Lorsque les eaux souterraines sont exploitées pour la production d'eau potable ou qu'elles sont destinées à cet usage, leur qualité doit satisfaire aux exigences fixées dans la législation sur les denrées alimentaires.

Par contre, si l'autorité constate que les eaux souterraines sont polluées, elle doit :

- Déterminer et évaluer la nature et l'ampleur de la pollution;
- En déterminer les causes;
- Apprécier l'efficacité des mesures possibles;
- Veiller à ce que les mesures nécessaires soient prises en vertu des prescriptions légales correspondantes.

Cependant, la réglementation de l'eau en Algérie a connu une évolution positive depuis l'indépendance jusqu'au moment actuel elles ont contribué à la protection des ressources en eau sans à l'aide des méthodes de cartographie de la vulnérabilité, aussi la détermination des périmètres de protection dans les milieux karstiques, ainsi que l'application de ces législation reste loin d'être stricte. (KAMAL ZGHID, 2013)

# **Chapitre VI : Etude Hydrodynamique**

**Introduction :**

Les formations aquifères de la vallée du Sébaou sont constituées de dépôts détritiques où sont incorporés des horizons argileux discontinus.

Ces formations détritiques d'âge quaternaire représentent l'aquifère de la vallée, qui constitue le remplissage d'un synclinal à cœur miocène, on retrouve dans cette dernière un matériau hétérogène, formé de sables, galets, graviers et limons.

La puissance de l'aquifère alluvial varie d'amont en aval, il est égale en moyenne à 10 m dans le haut Sébaou, dans cette zone la nappe est libre.

**VI.1.Etude piézométrique :****VI.1-1.Inventaire des points d'eau :**

La synthèse des différents inventaires a été possible grâce aux travaux réalisés depuis plusieurs années. La première campagne piézométrique qui a couvert toute la vallée du Sébaou a été réalisée par Y.Chadrin, (septembre, octobre 1972 et mars, avril 1973). Le tableau VI.1 représente les différentes campagnes réalisées sur le Sébaou depuis 1973 à ce jour.

**VI.1.2.Caractéristiques des points d'eaux :**

Les points d'eaux choisis sont généralement des puits réalisés par la population local qui sont pour la plupart des ouvrages artisanaux construits en briques ces puits servent pour la majorité à l'irrigation et très peu à l'alimentation en eau potable.

Période et auteur	Région d'étude	Type de Prélèvement
1972 - 1973 (Y.Chadrine, ANRH)	Haut Sébaou	Hautes eaux Basses eaux
1980 (Bouzar-USTB mémoire d'ingénieur)		Basses eaux
1982-1983 (M.Djemai, Grenoble Thèse de Magister)		Hautes eaux Basses eaux
1999 (Bouadjla - ANRH)		Hautes eaux Basses eaux
2000, 2001, 2002, 2003,2004 (Bouadjla, ANRH)		Hautes eaux Basses eaux
2006 (Bouadjla, ANRH)		Hautes eaux

Tableau VI.1 : les mesures piézométriques effectuées dans la plaine alluviale du haut Sébaou

### VI.1.3. Interprétation des cartes piézométriques :

Cette interprétation va permettre de :

- Définir l'écoulement souterrain des eaux de l'aquifère.
- Définir les relations hydrauliques qui pourraient exister entre les différentes terrasses.
- calculer les gradients hydrauliques, importants dans la quantification des différents apports latéraux.

Les cartes piézométriques ont été établies par différents auteurs pour différentes périodes (CHADRINE 1975, DJEMAI 1980 et 1983 et ANRH 2004) ne montrent pas de grandes variations dans la position des équipotentielles (figures VI.1, VI.2, VI.3).

D'après les cartes piézométriques réalisées par l'ANRH de Tizi-Ouzou en 2004 On peut conclure que dans le haut Sébaou, les écoulements souterrains se font dans la direction Sud-Nord dans sa partie Est jusqu'aux environs de Fréha où ils prennent la direction Est-Ouest pour traverser la cluse de Belloua.

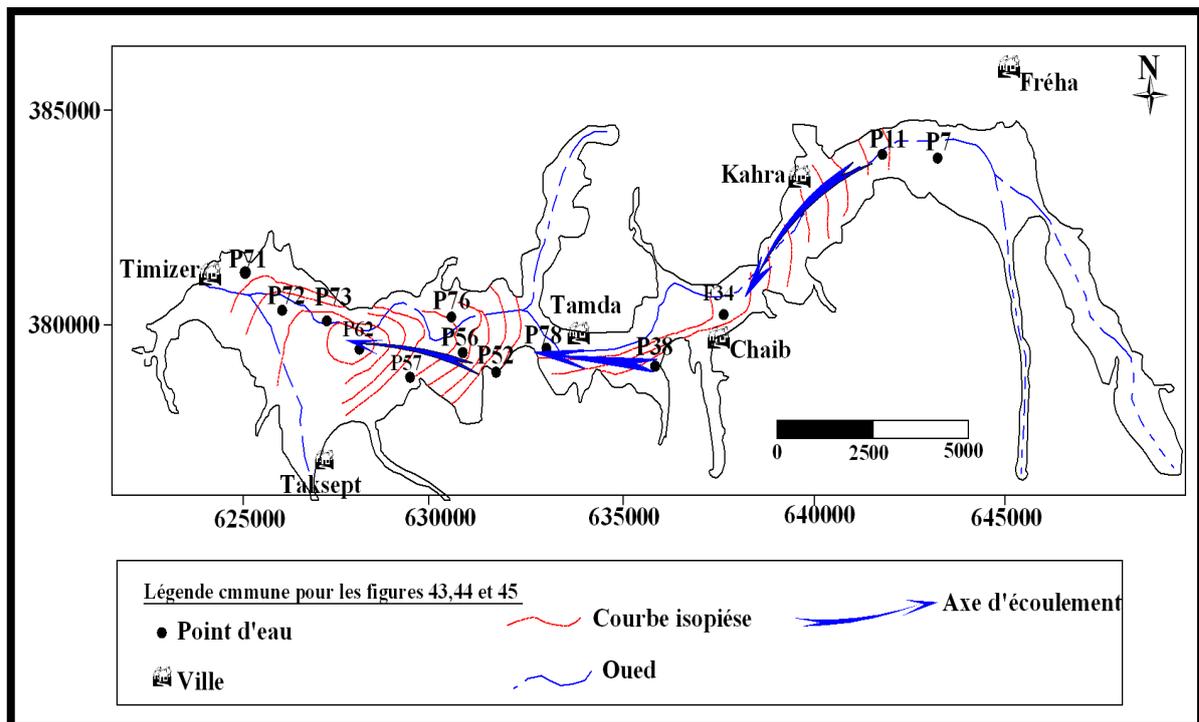


Figure VI.1: Carte piézométrique (Haut Sébaou, hautes eaux 2004) (Source : ANRH Tizi-ouzou)

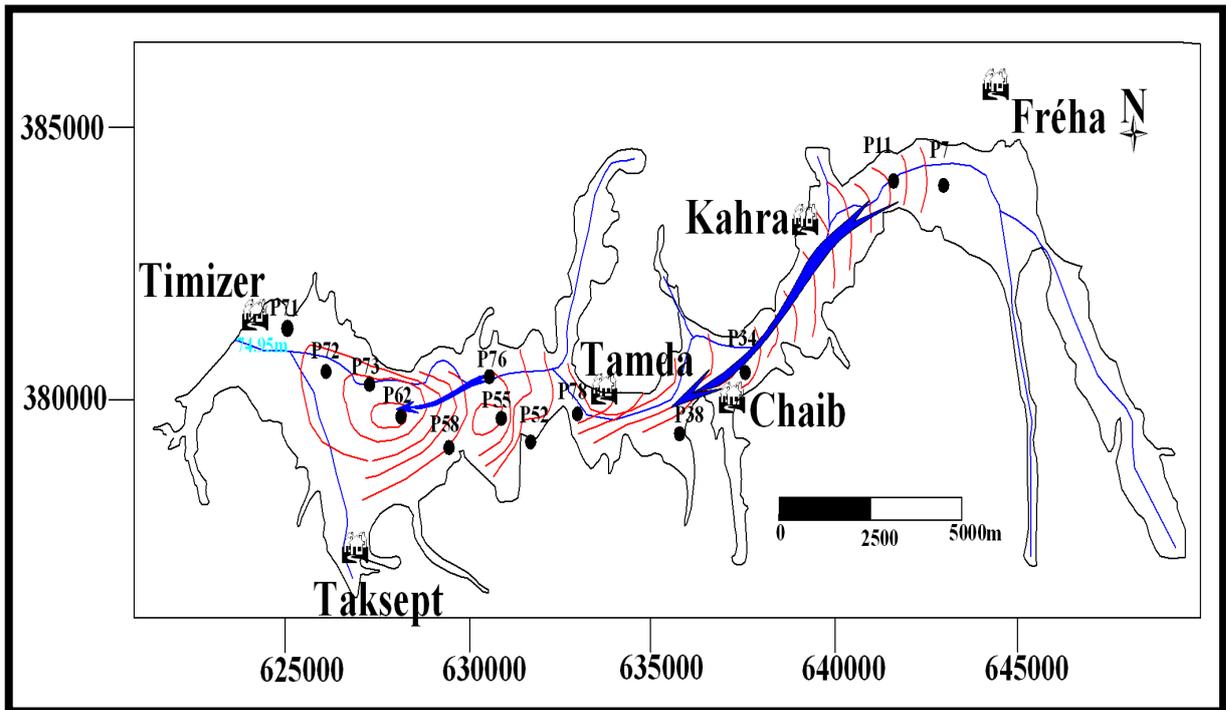


Figure VI.2 :Carte piézométrique (Haut Sébaou ,Basses eaux 2004) (source : ANRH Tizi-ouzou)

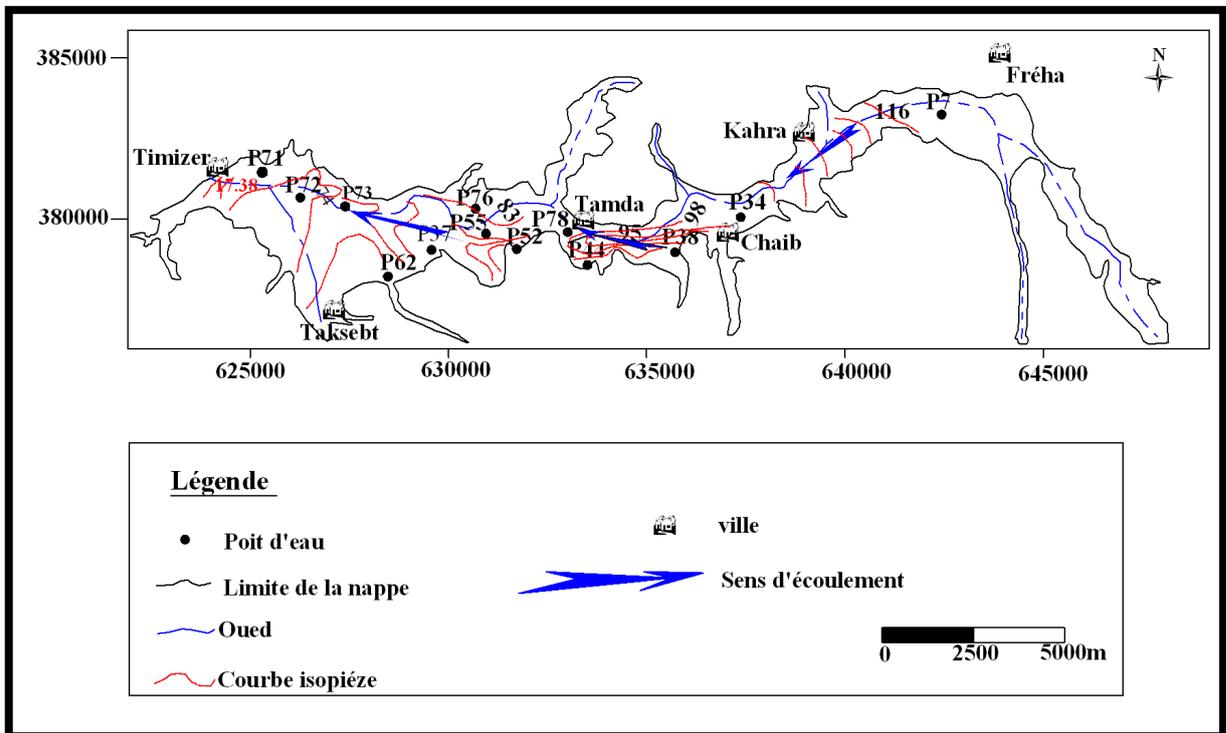


Figure VI.3 :Carte piézométrique (Haut Sébaou ,Avril2006) (Source : ANRH Tizi-ouzou)

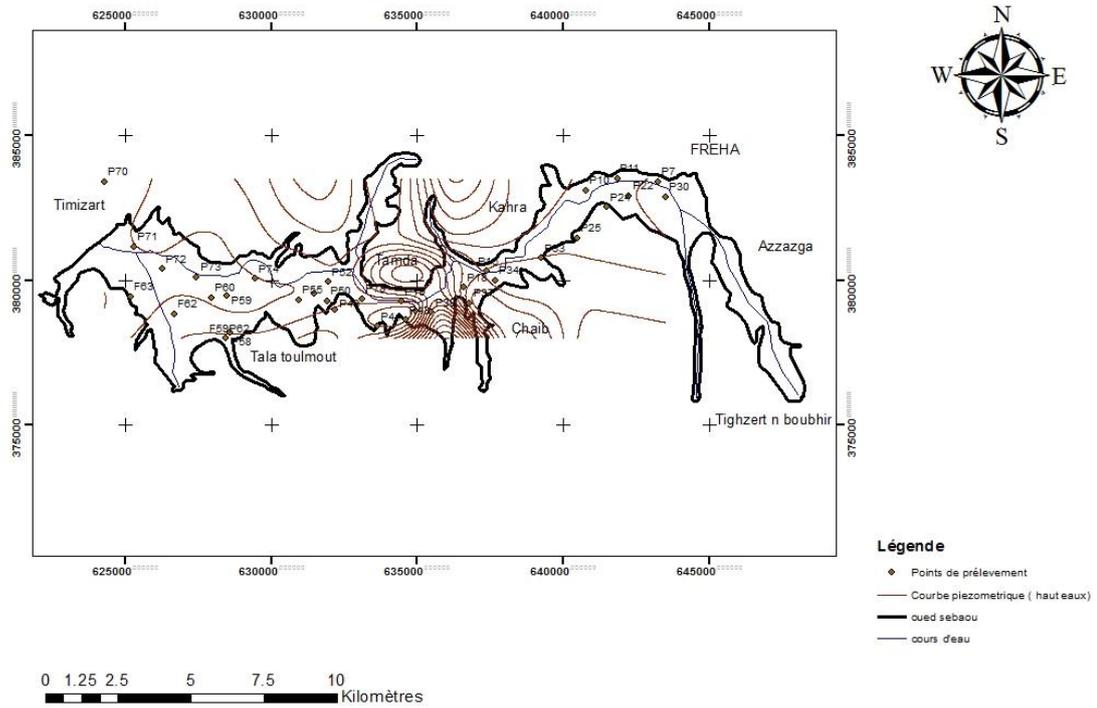


Figure VI.4 :Carte piézométrique des haute eaux (Haut Sébaou ,2009)

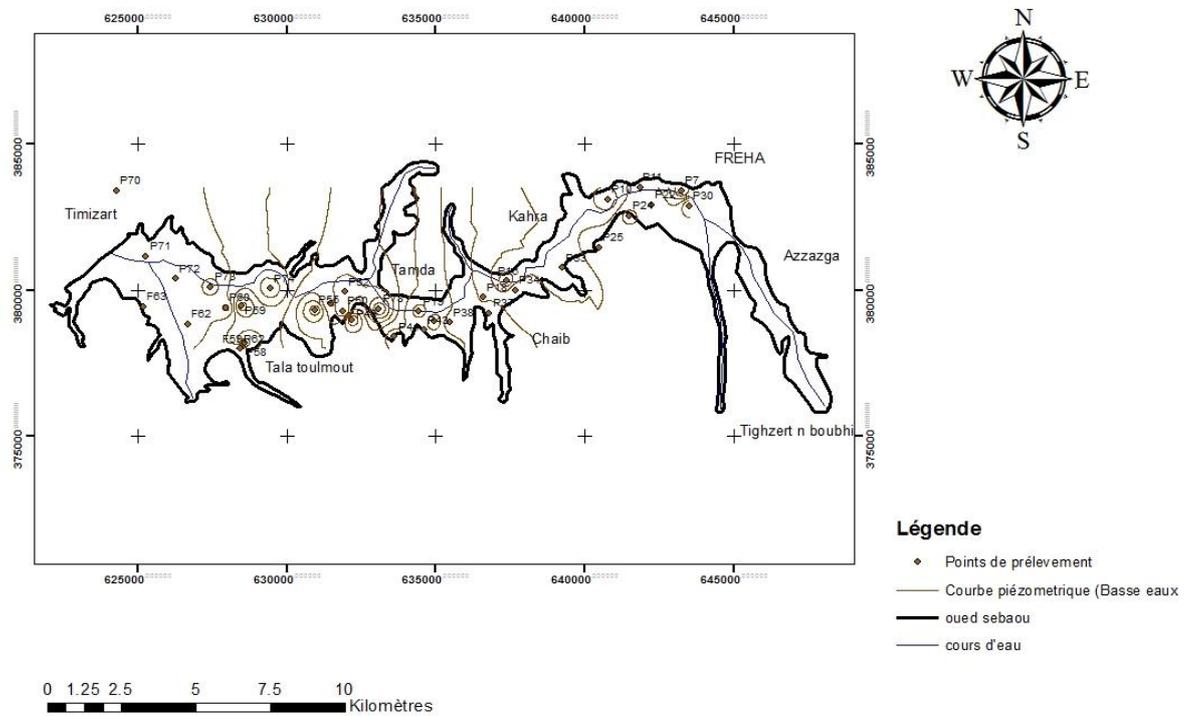


Figure VI.5 :Carte piézométrique des basse eaux (haut Sébaou ,2009)

### VI.1.4.Fluctuation piézométrique :

#### a) Profondeur de la nappe :

L'étude d'Y.Chadrine Sep-Oct1972 en période d'étiage a montré une variation de profondeur de 0.4 à 5.7 m pour le haut Sébaou.

Une étude réalisée en septembre 1999 a estimé la profondeur de la nappe entre 2.55 à 14.8m.

On constate une baisse importante des niveaux des eaux souterraines relativement par rapport à l'année 1972 .Cela est dû principalement à :

- La surexploitation de la nappe causée par le nombre important de forages implantés après 1974.
- L'impact du barrage de TAKSEBT implanté à l'amont de l'oued Aissi.

Pour bien comprendre l'évolution de la profondeur de la nappe alluviale du Sébaou en fonction du temps, des mesures ont été effectuées en 1999 jusqu'à la dernière campagne Piézométrique des hautes eaux effectuée en avril 2006 (campagnes réalisées par ANRH de Tizi-Ouzou), on a établi des graphes (figures VI .6, VI.7) dont l'interprétation nous Permet de constater :

- Les profondeurs du niveau statique évoluent en dents de scies, reflétant des fluctuations relativement importantes entre les basses eaux et les hautes eaux.
- les niveaux statiques augmentent dans les puits de façon progressive depuis 1999 à 2002, au-delà de cette période les profondeurs ont diminué considérablement, par rapport aux années précédentes et les résultats des dernières campagnes illustrent bien cette évolution. Ces variations sont étroitement liées aux régimes des précipitations.

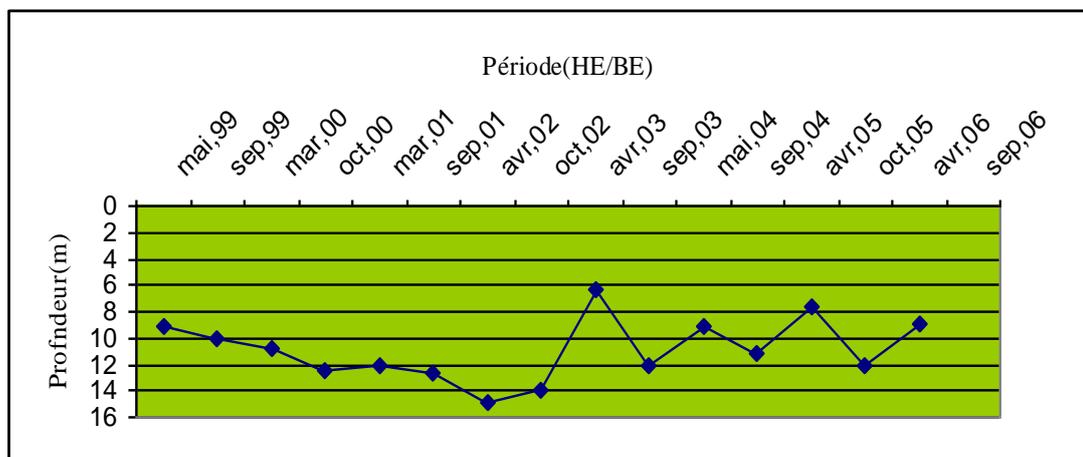


Figure VI.6:Evolution des niveaux statiques à Tamda (Source : ANRH T.O)

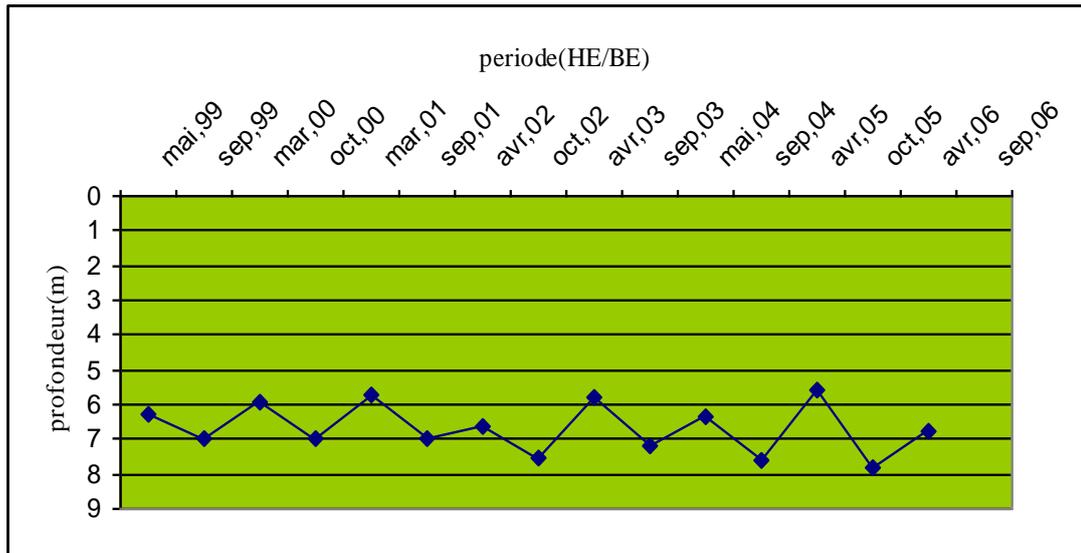


Figure VI.7 :Evolution des niveaux statiques au puit P52 (Tala Toulmout) (Source : ANRH T.O)

#### b) Influence du barrage de TAKSEBT sur les niveaux piézométriques :

D'après les données issues du réseau des eaux souterraines du haut Sébaou (campagnes piézométriques 2002, 2003, 2004,2005), il est possible de tirer l'influence du barrage de TAKSEBT sur les niveaux piézométriques.

La campagne de mesure menée en 2002 sur les forages situés en aval de barrage de TAKSEBT (puits P61 et P62 Figure VI.4) montre que le niveau piézométrique de la nappe semble être plus élevé que les années antérieures notamment en période d'étiage (ces puits étaient sec durant l'étiage de 1999 et 2000 et ne l'étaient pas en 2002). Ce phénomène est dû à la mise en eau de la retenue qui provoque un relèvement du niveau piézométrique à l'aval immédiat de la retenue.

Par contre on remarque une baisse notable du niveau piézométrique de -5m par rapport aux années antérieures (points d'eau P71 et P72) en période d'étiage ou de crue des que on s'éloigne du barrage. Rappelons que la nappe du haut Sébaou est libre et alimentée principalement par les eaux superficielles et par les affluents principaux.

La campagne piézométrique effectuée l'ANRH de Tizi-Ouzou en 2004 a révélé que dans la nappe de l'oued Aissi, le niveau statique est de l'ordre de 12.50 m au point F62, situé juste en aval de la digue du barrage de TAKSEBT et que la plupart des puits ne dépassant pas 10 m de profondeur.

#### VI.1.5. La recharge de la nappe :

La recharge de la nappe peut se fait par :

- infiltration efficace des précipitations, notamment dans les secteurs où la nappe est libre comme le haut Sébaou.

➤ alimentation à partir des eaux de l'oued Sébaou.

Les apports des eaux souterraines qui proviennent soit, des terrains de bordures perméables représentés principalement par les micaschistes et les schistes altérés, les conglomérats et les grès du Miocène, soit des terrains plus éloignés tel que la chaîne du Djurdjura située plus au sud. Ces apports se font à partir des écoulements latéraux ou par l'intermédiaire des accidents géologiques qui peuvent constituer des drains non négligeables s'ils ne sont pas colmatés.

### **Conclusion :**

Dans la vallée alluviale du Sébaou la recharge de la nappe est assurée essentiellement par l'infiltration des eaux de précipitations et par les eaux de ruissellement s'effectuant le long des cours d'eau dans les secteurs où la nappe est libre.

### **VI.2.Caractéristiques hydrodynamiques :**

Les caractéristiques hydrodynamiques transmissivité (T), le coefficient d'emmagasinement (S) et la perméabilité (K) nous permettent d'établir un bilan hydrogéologique et d'estimer les réserves en eaux souterraines des différentes formations alluviales du Sébaou.

La mesure de ces paramètres est effectuée sur le terrain à partir des essais de pompages ou plus précisément de leur interprétation graphique.

Dans notre étude on utilise les résultats des essais de pompage réalisés en mois de novembre et décembre 2004 par le bureau d'étude BETA-Consult.

#### **VI.2.1.Définition :**

##### **a) la transmissivité (T) :**

La transmissivité (T) est un débit régissant le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de la zone saturée aquifère et par unité de gradient hydraulique. Elle est égale au produit du coefficient de perméabilité **K** par l'épaisseur de l'aquifère **e**.

Elle s'exprime en mètre carré par second ( $m^2/s$ ). (G.castany, J.Margat 1977)

##### **b) Perméabilité (K) :**

C'est la faculté avec laquelle un milieu poreux peut laisser circuler l'eau. Elle s'exprime en mètre par second (Chettouh, 1997)  $K=T/e$  .....(VI.1)

K : perméabilité (m/s).

T : Transmissivité ( $m^2/s$ ).

E : épaisseur de la nappe au niveau du forage (m).

Le coefficient de perméabilité défini par Darcy est le volume d'eau gravitaire en  $m^3$  traversant, en une unité de temps (1second), sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section orthogonale à la direction de l'écoulement.

**c) le coefficient d'emménagement (S) :**

Le coefficient d'emménagement est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasinée par unité de surface d'un aquifère à la variation de recharge hydraulique correspondante, sans référence au temps.

Dans un aquifère captif ce paramètre est lié à la compressibilité et à l'extensibilité de l'eau et du milieu aquifère, le coefficient est égal à la porosité efficace. Il est sans unité (G.Castany, J-Margat 1977)

**d) porosité efficace ( $Q_e$ ) :**

La porosité efficace est un paramètre sans dimension, exprimé en (%). Il est défini par le rapport du volume d'eau gravitaire à son volume d'eau total. Il est déterminé par la méthode d'Archie.

**VI.2.2. Les essais de pompage réalisés :**

Les essais de pompage qui ont été réalisés au mois de novembre et décembre 2004, par le bureau d'étude BETA-CONSULTS en vue de mieux approcher les caractéristiques hydrodynamiques des formations alluvionnaires de la nappe du Sébaou.

Les études anciennes réalisées par le service forage de la D.H. W de Tizi-Ouzou, et la quantification des paramètres hydrodynamiques se limitaient généralement à celle des transmissivités. En effet le manque de renseignements précis relatifs à la réaction de l'aquifère et à sa granulométrie a conduit à une estimation approximative de leur ordre de grandeur.

Les forages prise en compte dans notre étude sont représentées dans le tableau VI.2 ci-dessous :

Lieu	Forage	X Km	Y Km	Z m	NS/sol m	Cote piéz(m)	Distance Forage- Piézo(m)
Haut Sébaou	Tamda TM1 FM1 Piézomètre (FTM2)	633.2 82 /	379.31 6 /	95.3 / /	6.13 8.49	89.17 /	285
	Fréha FR3 Piézomètre(Puit N°5)	642.2 98 /	382.98 0 /	170 / /	5.45 3.79	146.46 /	60

Tableau VI.2 : Coordonnées des forages et piézomètres (BETA-CONSULT/ANRH)

L'interprétation des courbes obtenues à partir des mesures effectuées dans ces forages nous permet de déterminer la transmissivité (T) et la perméabilité (K) de l'aquifère constitué par des formations alluvionnaires quaternaires.

En outre ; l'interprétation des courbes issues des mesures effectuées dans des Piézomètres permet également de déterminer ces paramètres ainsi que le coefficient d'emmagasinement (S) et le rayon d'influence ( $r_0$ ).

#### VI.2.5. Tableau des résultats :

<b>Haut Sébaou</b>	Pompage dans F 4 (Fréha) Q=6.91l/s	<b>Forage</b>		<b>Piézomètre</b>	
		Descente	Remontée	Descente	Remontée
	-Transmissivité <b>T</b> m <sup>2</sup> /s	3.71*10 <sup>-3</sup>	11.47*10 <sup>-3</sup>	4.05*10 <sup>-2</sup>	1.62*10 <sup>-2</sup>
	-Perméabilité <b>K</b>	1.45*10 <sup>-3</sup>	4.5*10 <sup>-3</sup>		
	Coefficient.			3.1*10 <sup>-1</sup>	
	Rayon d'influence <b>r<sub>0</sub></b>			1517m	
	Pompage dans F TM1(Tamda) Q=27l/s	<b>Forage</b>		<b>Piézomètre</b>	
		Descente	Remontée	Descente	Remontée
	-Transmissivité <b>T</b> m <sup>2</sup> /s	3.09*10 <sup>-2</sup>	4.29*10 <sup>-2</sup>	15.44*10 <sup>-2</sup>	1.46*10 <sup>-2</sup>
	-Perméabilité <b>K</b>	5.1*10 <sup>-3</sup>	7.3*10 <sup>-3</sup>	2.62*10 <sup>-3</sup>	7.9*10 <sup>-3</sup>
Coefficient. d'emmagasinement <b>S</b>			1.14*10 <sup>-2</sup>		
Rayon d'influence <b>r<sub>0</sub></b>			2810m		

Tableau VI.3 : Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques du haut Sébaou (BETA- CONSULTS/ANRH)

#### VI.2.6. Discussion des résultats :

D'après l'étude réalisée dans des forages et piézomètres captant la nappe alluviale du Sébaou, on a remarqué :

Les transmissivités ainsi évaluées sont assez élevées. Elles varient entre 3.71x10<sup>-3</sup> et 4.05x10<sup>-2</sup>m<sup>2</sup>/s.

Les perméabilités correspondantes sont également très élevées ; elles sont comprises entre  $7.9 \times 10^{-4}$  et  $1.76 \times 10^{-2}$  m/s. Ces bonnes perméabilités enregistrées dans le haut Sébaou (voir tableau précédent) ; s'expliquent par la nature alluvionnaire assez grossière de l'aquifère.

Les valeurs de coefficient d'emmagasinement (S) évaluées au niveau des piézomètres sont moyennes, elles oscillent entre  $3.1 \times 10^{-1}$  (31%) pour Fréha et  $1.14 \times 10^{-1}$  (11.4%) pour Tamda. De même ; pour ce qui est de la porosité efficace ; elle a été déterminée pour la première fois par la C.G.G (la compagnie générale de la géophysique) (1964) et la valeur moyenne donnée est égale à 22%.

### Conclusion à l'étude hydrodynamique :

L'étude piézométrique a permis de mettre en évidence les sens d'écoulements des bordures de l'aquifère alluvial qui convergent vers l'axe de la vallée montrant ainsi une alimentation à partir de celles-ci, ainsi qu'un axe de drainage des eaux souterraines qui coïncide avec l'écoulement superficiel de l'oued Sébaou.

Les compagnes piézométriques réalisées en hautes et basses eaux dans la nappe alluviale du Sébaou, montre que la nappe fluctue de 0.5 à 4 m. Ces variations sont étroitement liées aux régimes des précipitations.

L'influence des précipitations sur les fluctuations piézométriques (ANRH) sont résumé dans le tableau suivant :

Périodes	L'ordre des fluctuations moyennes entre les compagnes basses eaux et hautes eaux	Pluviométries moyennes annuelles
Compagnes 1999	1.5m	853.3mm
Compagnes 2000	3.5m	578.5mm
Compagnes 2001	2.5m	647.3mm
Compagnes 2002	3m	493.5mm
Compagnes 2003	1.5m	1312mm
Compagnes 2004	1.8 m	865.3mm

Tableau VI.4 : Influence des précipitations sur les fluctuations piézométriques

(Source : ANRH Tizi-Ouzou)

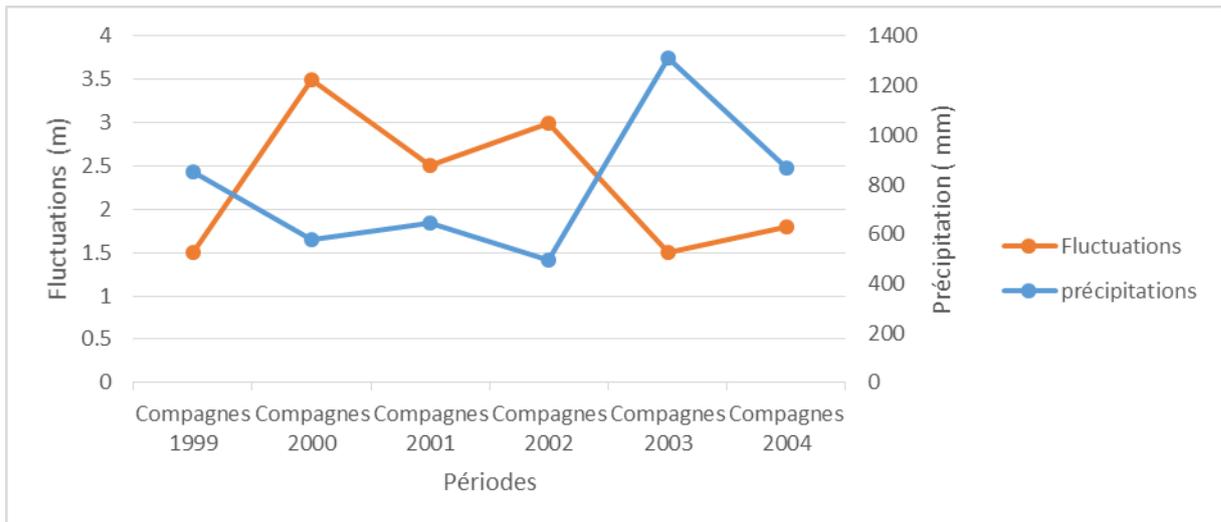


Figure N°VI-6 : Influence des précipitations sur les fluctuations piézométriques

Nous estimons que ces pompages d'essai réalisés dans deux (2) forages pour le haut Sébaou seulement ne permettent pas une approche d'étude hydrodynamique assez complète. Mais d'après les quatre essais réalisées on peut dire que l'aquifère présente des bonnes caractéristiques hydrodynamiques, les valeurs de transmissivité et de perméabilité assez grandes, ce qui atteste le caractère grossier des alluvions quaternaires.

**Chapitre VII : Etude et  
application de la  
méthode de  
vulnérabilité  
PRASTCHIM**

**Introduction :**

L'eau qui s'infiltré dans le sol subit invariablement un certain nombre de changements physiques, chimiques ou biologiques, qui affectent sa composition. Ces modifications sont fonction de la nature des terrains traversés, de la durée du transit mais aussi de la composition initiale de l'eau, particulièrement lorsque cette eau est polluée. Pendant le transport du polluant à travers les couches superficielles, il subit une migration verticale à travers la zone saturée vers la nappe puis une migration horizontale suivant le sens d'écoulement. Ainsi la zone non saturée intercepte les substances lors de la filtration en retenant certaines substances. Cette action est bien marquée lorsque la granulométrie est faible et l'épaisseur de la zone non saturée est importante et la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible, d'où le rôle protecteur de cette zone qui fait un obstacle contre la migration des polluants vers l'aquifère (zone saturée).

**I-Concept de la vulnérabilité :****I.1.Origine de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines :**

Le concept de vulnérabilité des eaux souterraines est basé sur un modèle « origine-écoulements- cible ». Dans le cadre de la cartographie de la vulnérabilité, on suppose que la contamination prend place au niveau de la surface (abstraction faite de fuites de réseau d'assainissement enterré par ex.) : c'est l'origine (Zwahlen, 2004). Le terme écoulements correspond au trajet du contaminant de son point d'origine à travers le système (zone non saturée et/ ou zone saturée jusqu'au point d'eau) jusqu'à la cible à protéger. La cible est quant à elle l'eau souterraine qui fait l'objet d'une protection : pour la protection de la ressource, il s'agit de la surface des eaux souterraines (interface entre la zone non saturée et la zone saturée) et pour la protection d'une source, il s'agit du captage d'eau (forage, exutoire) (COST 620).

**I.2.Définition de la vulnérabilité :**

« La vulnérabilité à la contamination est définie comme étant la protection naturelle contre la contamination ».

Le concept est basé sur l'hypothèse suivante : l'environnement physique fournit une protection naturelle des eaux souterraines vis-à-vis des impacts anthropiques, essentiellement les contaminants pouvant pénétrer l'environnement souterrain (Düggel et al, 2004, In Vrba & Zaporozec, 1994).

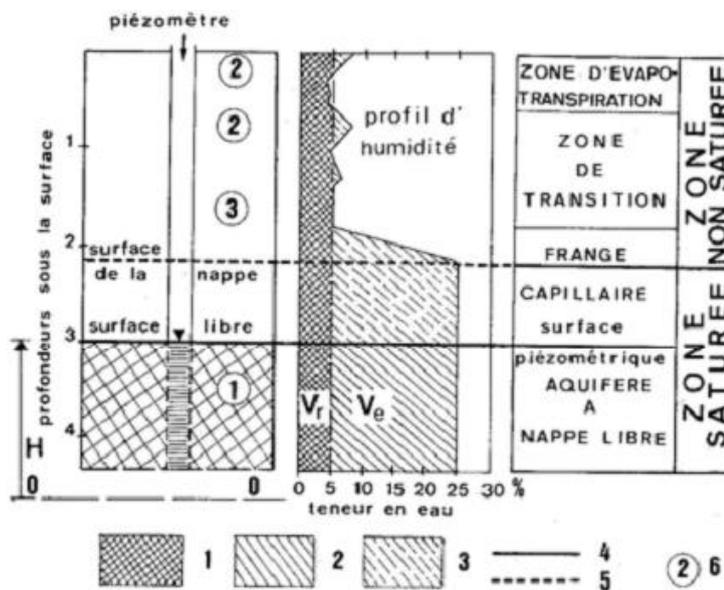
La vulnérabilité est une propriété relative, non mesurable et sans dimension. Elle a été définie dans le cadre de l'action européenne COST 620 (COST ACTION 620, 2003) – [Vulnerability and Risk mapping for the Protection of Carbonate (karst) aquifère].

Elle peut aussi être représentée par la capacité donnée à l'eau située en surface de rejoindre le milieu souterrain saturé en eau. La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique en relation avec la nappe d'eau souterraine procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions suivant les caractéristiques de ce milieu.

On distingue deux types de vulnérabilité ; la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique (Schnebelen et al. 2002) :

- 1) **la vulnérabilité intrinsèque** : est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines qui est généralement la plus répandue.
- 2) **la vulnérabilité spécifique** : est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants comme les produits chimiques à savoir comme exemple les nitrates. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

Dans l'étude d'une vulnérabilité intrinsèque, l'enjeu est représenté par l'eau souterraine mobilisable dans les nappes phréatiques quel qu'en soit son usage. Ou le transfert des polluants dans le sol s'effectue d'abord à travers la zone non saturée (ZNS) avant d'atteindre la zone saturée. Sachant que cette dernière est la zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe libre. A cet endroit, la quantité d'eau gravitaire est temporaire, en transit.



1, eau de rétention ; 2, eau gravitaire ; 3, eau capillaire ; 4, surface piézométrique ou surface libre ; 5, surface de la nappe

Figure VII.1 : Définition de la zone non saturée (Source : Hydrogéologie, G.Castany, 2000)

### I.3.Effet de la pollution sur l'étude de vulnérabilité :

Dans le contexte actuel de la politique de gestion durable des ressources en eau, la prédiction du risque de pollution et la protection de ces ressources sont d'une importance capitale. Pour cela, la sauvegarde, à moyen et à long terme, de la qualité de ces ressources s'impose. Cette protection peut se faire, d'abord par la délimitation des zones susceptibles d'être atteintes par la pollution que l'on qualifiera de vulnérables ou à risques. Toutefois, la quantification du risque de pollution reste encore un problème difficile à appréhender. Le risque a été toujours associé à un aléa ou probabilité entre autres paramètres et c'est ainsi que le risque s'oppose à une certitude certain dans des cas (Aurousseau, 1999).

- ✓ La vulnérabilité est essentiellement liée à la nature de la zone considérée.2003).comme elle est aussi définie en partant d'une évaluation qualitative des mécanismes de transfert d'un polluant qui repose sur une conceptualisation multicouche du milieu traversé.

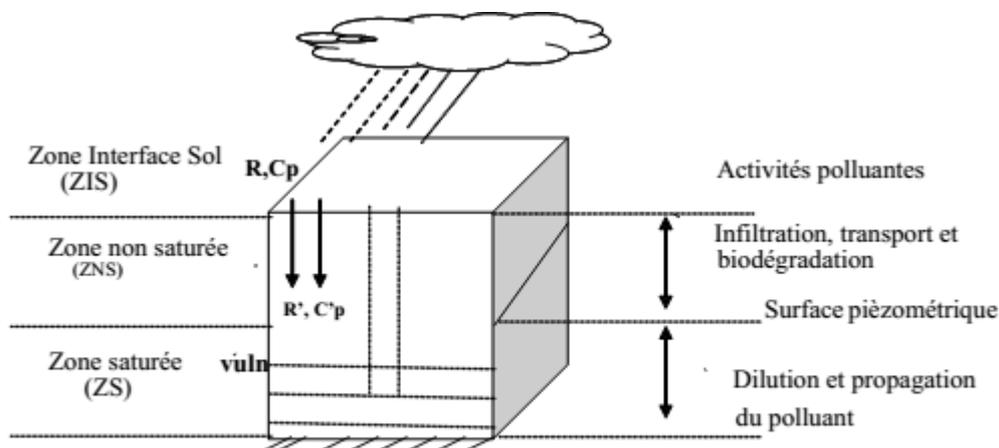


Figure VII.2 :Schéma de la contamination des eaux souterraine(Source :Mina AMHARREFF,Abdes samed BERNOUSSI Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines)

#### I.3.1.la vulnérabilité d'une nappe :

- 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).

➤ 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 ; Indjouard 2003). Donc elle dépend du type de la nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère :

➤ Les nappes libres sont les plus vulnérables. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Pour atteindre une nappe libre en milieu poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles .

## **II. Critères de vulnérabilité :**

Plusieurs facteurs agissent sur la vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine, ces facteurs sont présents dans le sol, la zone non saturée et la zone saturée.

### **II.1. Critères relatifs au sol :**

#### **1) La topographie :**

C'est un critère qui contribue dans la détermination de la pente des terrains et l'évaluation de la vitesse d'écoulement des eaux superficielles (Derni, 2011).

#### **a) La couverture pédologique :**

La nature, l'épaisseur, la texture la teneur en argile et en matière organique influent sur le transfert des polluants dans la nappe d'eau souterraine.

### **II.2. Critères relatifs à la zone non saturée :**

#### **a) L'épaisseur de la Z.N.S :**

C'est l'horizon entre la surface topographique et la nappe d'eau souterraine, c'est la partie de transit d'un polluant vers les eaux souterraines.

#### **b) L'amplitude de battement de la nappe :**

Si le battement de la nappe est significatif, il devient donc un critère de vulnérabilité.

#### **c) La perméabilité verticale de la Z.N.S :**

Plus la perméabilité verticale est importante plus le temps de transfert d'un polluant vers la nappe est important (Ravbar N. et Goldscheider, 2007).

**d) La structure de la Z.N.S :**

La nature, la texture, la teneur en argile et en matière organique de la Z.N.S peut réduire la contamination des eaux souterraines par la pollution.

a) **Critères relatifs à la zone saturée :**

**a- Le type de nappe :** une nappe libre est plus vulnérable à la pollution qu'une nappe captive naturellement protégée par un toit imperméable ou peu perméable.

**b. Les paramètres hydrodynamiques :** perméabilité, transmissivité, coefficient d'emmagasinement et gradient hydraulique déterminent le temps de résidence d'un contaminant dans la nappe.

**c. La piézométrie :** Conditionne l'évolution des processus hydrodynamiques des phénomènes tels que la drainantes peuvent s'inverser.

**d. La direction et le sens d'écoulement :** déterminent le trajet d'un polluant dans la nappe d'eau souterraine.

**e. Le type du système hydrogéologique :** à partir de la réactivité aux impulsions pluviométriques du système, et donc de son caractère transmissif, la vulnérabilité du système peut être évaluée (Zwahlen, 2004, In Cazaux, 2007).

**f. Les relations nappe-cours d'eau :** l'alimentation des nappes d'eau souterraine par les cours d'eau superficiels ou par le drainage en sens contraire donne une idée sur la possibilité de contamination à la pollution.

**g. L'épaisseur de l'aquifère :** détermine la réserve d'eau dans l'aquifère. Plus la réserve est importante, plus la dilution du polluant n'est assurée.

**II.3. Critères communs à la zone non saturée et à la zone saturée**

**a. La fracturation :** la fracturation augmente la vitesse d'infiltration des polluants.

**b. La recharge :** c'est le volume d'eau atteignant la nappe d'eau souterraine et dépend de la pluie efficace s'infiltrant dans le sol puis dans la zone non saturée (Dörfliger et al, 2004).

**II.3.1. Vulnérabilité intrinsèque :**

<b>VULNERABILITE INTRINSEQUE</b>		
<b>Sol</b>	<b>Zone non saturée (ZNS)</b>	<b>Zone saturée (ZS)</b>
Topographie (pente)	Profondeur de la nappe libre ou épaisseur de la ZNS	Type de nappe (libre ou captive)
Pédologie (perméabilité verticale des sols, nature et texture des sols)	Temps de transfert (perméabilité verticale)	Temps de résidence (dépend de l'hydrodynamisme des formations aquifères)
Bilan hydrique (ruissellement et infiltration efficace)		Relation eaux souterraines/eaux superficielles
	Structure de la ZNS (variation de faciès, épaisseur des discontinuités de faciès, position dans le profil vertical, texture, teneur en matière organique et argile)	Piézométrie (sens et direction d'écoulement et évolutions selon la période du cycle hydrologique)
	Présence ou non d'un horizon moins perméable et position de celui-ci	Epaisseur de l'aquifère (quantité de réserve)
		La recharge (recharge annuelle nette).
		Type de système hydrogéologique (caractères plus ou moins capacitif et transmissif)
	Battement de nappe	
Fracturation (directions et densité)		

Tableau VII.1 : critères de vulnérabilité

L'exploitation de ces critères est souvent normalisée au travers de différentes méthodologies d'analyse de la vulnérabilité des eaux. Ainsi, de nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité (Gogu et Dassargues, 1998b).

**III. Définition des méthodes de vulnérabilité :****III.1. Méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines**

De nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte

les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité ( Gogu et Dassargues, 1998, In Dorni, 2011).

La vulnérabilité des eaux souterraines est déterminée à partir de différentes méthodes de cartographie.

**1. Les méthodes de cartographie à index :** elles sont basées sur la combinaison de cartes de divers paramètres (sols, géologie, profondeur de la nappe,...) d'une région en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. Dans les premières méthodes tous les paramètres avaient le même poids, leur importance relative vis-à-vis de la vulnérabilité n'était donc pas prise en compte. Ces méthodes se veulent plus quantitatives (Assi, 2007, In Zwahlen, 2004).

**2. Les modèles de simulation :** ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques qui représentent les processus couplés qui régissent les transports de contaminants. Cette catégorie comprend les méthodes basées sur les modèles simples de transport ainsi que les solutions analytiques ou numériques pour des modèles en une dimension de transport de contaminants à travers la zone non saturée, ou encore des modèles couplés saturé-insaturé, multi- phase, à deux ou trois dimensions.

**3. Les méthodes statistiques :** elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractérisations sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude.

### III.2. Description et comparaison de principales méthodes

**Historique :** Les premières cartes de vulnérabilité furent élaborées par des chercheurs français au début des années 70 (Albinet et Margat, 1970). Elles ont été ensuite expérimentées dans d'autres pays du monde. Le principe de leur élaboration consistait à réaliser la synthèse de quelques paramètres ayant une influence majeure dans la vulnérabilité des aquifères. Depuis une vingtaine d'années, plusieurs méthodes ont été proposées et expérimentées, afin d'aboutir à une caractérisation simple et précise de la vulnérabilité

La littérature afférente au sujet montre l'existence de plusieurs méthodes d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des nappes aux risques de pollution.

**Description :**

Les définitions généralement reconnues de l'A.I.H. en 1994 (Dörfliger et al, 2004, In Vrba et Zaporozec, 1994) et de l'Action européenne COST 620 permettent les considérations suivantes:

- Les méthodes développées pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque sont des méthodes de cartographie multicritères.
- La vulnérabilité des eaux souterraines est une propriété relative, non mesurable et sans dimension.
- Pour les différentes méthodes, de nombreux facteurs (liste ci-dessous) peuvent intervenir et être ensuite manipulés (Zwahlen, 2003), cartographiés et indexés selon différents critères que chacune des méthodes préconise d'employer (tableau 1) :
  - Recharge par les eaux météoriques,
  - Modalités d'Infiltrations,
  - Propriétés du sol,
  - Géochimie des eaux,
  - Bio-géochimie des eaux,
  - Caractéristiques de la Z.N.S. (lithologie et fracturation associée, épaisseur, porosité, transmissivité, temps de séjour, conductivité hydraulique),
  - Caractéristiques de la Z.S. (épaisseur, lithologie, perméabilité, temps de transit de l'eau dans l'aquifère),
  - Topographie,
  - Relations eaux de surface-eaux souterraines,
  - Nature de l'encaissant de l'aquifère.

#### **IV. Approche de la vulnérabilité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Sébaou par la méthode PRASTCHIM :**

La réalisation des cartes de vulnérabilité nécessite un grand nombre d'informations et de données difficiles à obtenir par investigation sur le terrain. Il est donc important d'utiliser les données anciennes et de consulter les études géologique, l'hydrogéologie, la morphologie, la climatologie, la pédologie...etc.

Ces données nécessaires pour la cartographie de chaque paramètre sont collectées de sources multiples (Tableau VII.2) et ont subi des traitements pour pouvoir aboutir à une représentation du phénomène étudié sur l'ensemble de la zone.

Afin de mieux apprécier les valeurs de vulnérabilité, l'approche géostatistique a été utilisée pour tous les paramètres. Le traitement de ces données a été réalisé avec le logiciel ARCGIS 10.1, afin d'améliorer leur qualité (étude statistique par interpolation). Ces cartes constituent un document de base des méthodes de la cartographie de la vulnérabilité et du risque de contamination des eaux souterraines à la pollution.

#### IV.1. Application du modèle PRAST :

Afin de réaliser la carte de vulnérabilité PRAST, nous avons, pour chaque paramètre, élaboré une carte paramétrique, nous avons estimé les valeurs de chaque paramètre par interpolation des données existantes et cela en utilisant les notations à savoir les cotes de chaque paramètre et le coefficient de pondération (Annexes N°4) correspondant à chaque paramètre.

##### IV.1.1 Acquisition des données

L'application de la méthode PRAST nécessite une collecte de données importante ayant un lien avec l'hydrogéologie, à la géologie, à la morphologie et à la pédologie du milieu naturel (Tableau VII.1).

##### IV.1.2 Résultats et interprétation des cartes paramétriques

Pour la représentation des cartes, nous avons utilisé pour chaque paramètre sa couleur conventionnelle. Les résultats de l'approche géostatistique ne seront détaillés que pour le paramètre D profondeur de la nappe.

Paramètres	Principales sources d'information
Pouvoir épurateur (P)	Logs lithologiques de forages analysés. (ANRH, Alger)
Recharge nette (R)	Déduite à partir du bilan hydrique Données pluviométriques (période 1980-2010)
Matériaux de l'Aquifère (A)	Logs lithologiques de forages analysés. (ANRH Blida)
Type de sol (S)	Etude Pédologique (MELLAL, 2001) Logs lithologiques de forages analysés. (ANRH Alger)
Topographie (T)	Données piézométriques dans les points d'eau de la vallée du Sébaou (ANRH, Alger)

Tableau VII.2: Principales sources d'informations utilisées

#### IV.1.3 Pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée (ZNS) :

L'estimation du pouvoir épurateur s'est basée sur l'utilisation de la Méthode de Rhèse mise au point en 1977. Elle 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 après un parcours horizontal dans la nappe jusqu'au point de prélèvement. Pour cela des index sont attribués aux différents types de roches qui sont implicitement liés à la perméabilité et au pouvoir de rétention des constituants des matériaux, et qui tiennent compte de l'épaisseur. Les quatre premiers mètres qui constituent la frange de terrain pouvant être affectés par des travaux de terrassement ou canalisation ne sont pas pris en compte dans le calcul. Les paramètres physiques et hydrodynamiques des différents matériaux ayant servi à calculer les épaisseurs H et les distances L sont donnés dans les tableaux VII.3 et VII.4 suivants :

Description du matériau	H (cm)	I = l/H
Humus et argiles (5 à 10%)	1.2	0.8
Argiles, limons argileux, sables très argileux	2	0.5
Silt argileux à silt	2.5	0.4
Silt sablés silteux, sable peu silteux	3 - 4.5	0.33 - 0.22
Sables fins à moyen	6	0.17
Sables moyens à grossier	10	0.1
Sables grossiers	15	0.07
Gravier silteux riche en sables et argiles	8	0.13
Gravier peu silteux beaucoup de sables	12	0.08
Gravier fin à moyen riche en sables	25	0.04
Gravier moyen à grossier peu de sable	35	0.03
Galets	50	0.02

Tableau VII.3 : Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (sol+zone non saturée) (selon REHSE, 1977)

Description du matériau	L (m)	Ia = 1/L
Gravier peu siliceux, bcp. de sables	a- 100	0.01
	b- 150	0.007
	c- 170	0.006
	d- 200	0.005
Gravier fin à moyen, riche en sable	a- 150	0.07
	b- 200	0.005
	c- 220	0.0045
	d- 250	0.004
Gravier moyen à grossier, peu de sable	a- 200	0.05
	b- 250	0.004
	c- 270	0.0037
	d- 300	0.0033
Gravier, galets	a- 300	0.0033
	e- 340	0.0029
	f- 360	0.0028
	g- 400	0.0025

Tableau VII.4 : Pouvoir épurateur du sol dans l'aquifère (REHZE, 1977)

Le pouvoir épurateur des terrains est calculé par la formule (VII.1) :

$$M_x = (M_d + M_r) \dots\dots\dots (VII.1)$$

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.

Sur le trajet vertical, le pouvoir épurateur est égal à :

$$M_d = h_1 i_1 + h_2 i_2 + h_3 i_3 + \dots\dots\dots h_n i_n \dots\dots\dots (VII.2)$$

Avec:  $h_1, h_2, h_3, h_n$ : hauteur des différentes catégories de terrains rencontrées;

$i_1, i_2, i_3, i_n$  : des index correspondants aux tableaux (Tableaux VII.3 et VII.4)

• Si  $M_d$  est supérieur à 1, cela signifie que l'épuration est totale dans les couches de couverture et que la délimitation d'un périmètre de protection rapproché n'est pas nécessaire selon Rehse ;

• Si  $M_d$  est inférieur à 1, la dépollution n'est pas totale, et 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 total sera :  $L = M_r / I_a$

Où  $I$  est l'index correspondant au matériau aquifère (Tab.7)

$L$  : correspondrait dans ce cas à la limite de la zone de protection rapproché s'il n'y a pas de couverture, toute épuration doit se faire horizontalement et  $M_r$  doit être égal à 1.

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 indices des terrains constituant la zone non saturée ont été calculés sur la base de l'étude des coupes lithologiques de forages. Le pouvoir épurateur est calculé pour chaque point d'eau moyennant la formule (VII.1)

Pour le calcul du pouvoir épurateur du sol de la région d'étude : nous avons appliqué la méthode de Rehse pour déterminer le pouvoir épurateur du remplissage quaternaire de la région d'étude.

D'après la carte d'indice du pouvoir épurateur (Figure VII.3), les valeurs de  $M_x$  calculées sont inférieures à 1 ce qui signifie que le pouvoir épurateur du sol, sur le trajet vertical, n'est pas total et que la nappe n'est pas bien protégée contre la pollution éventuelles au niveau de la région d'Azzaga et au centre de la plaine au niveau de Chaib on remarque aussi de petites plages au niveau de Freha et au sud de Timizart de la zone étudiée.

Par contre les valeurs de  $M_x$  sont supérieures à 1, ce qui signifie que la nappe est protégée dans le reste de la zone étudiée comme le montre la Figure VII.3

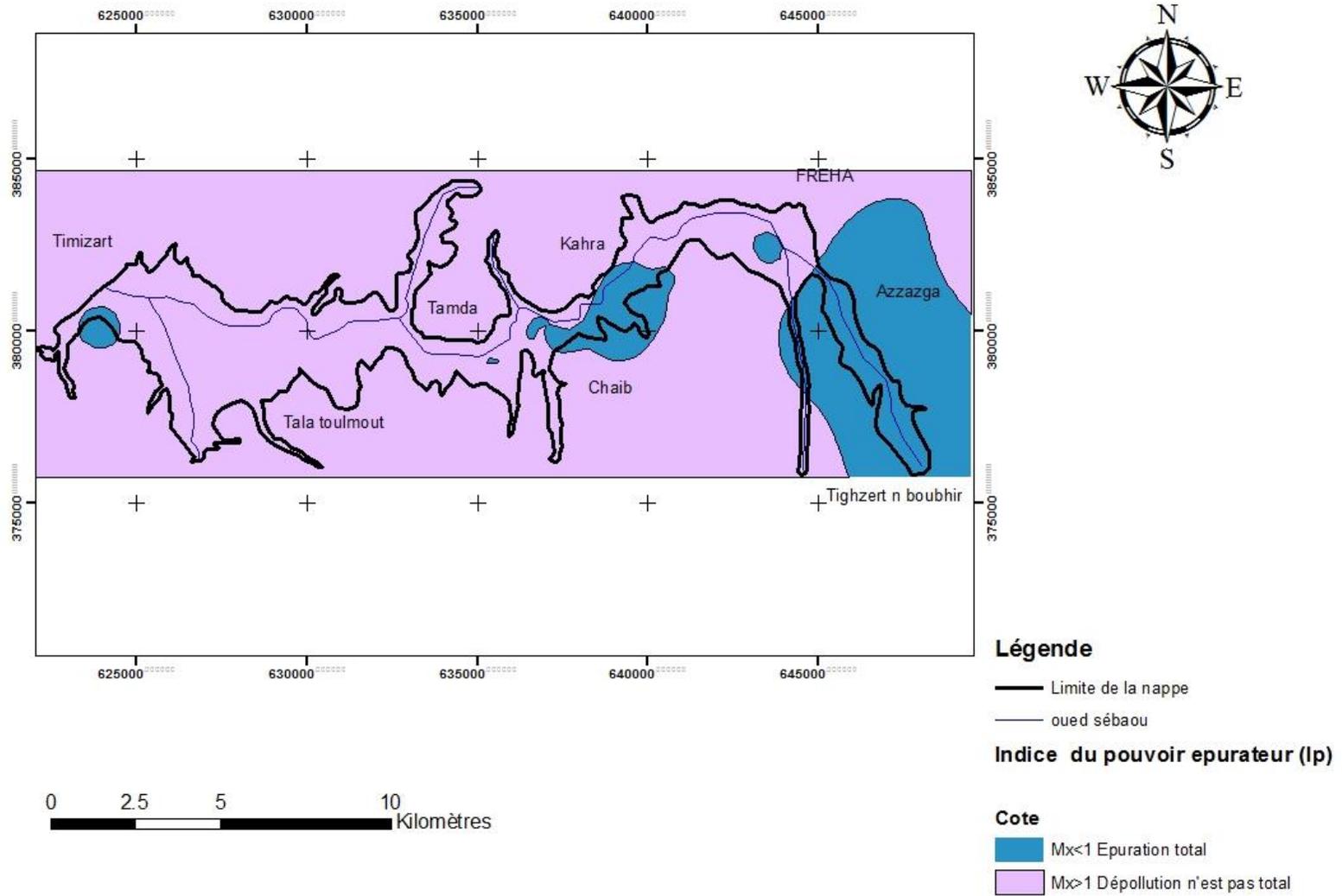


Figure VII.3 : Carte paramétrique du pouvoir épurateur du sol et de la ZNS de la nappe alluviale du haut Sébaou

#### **VI.1.4. Carte de recharge de la nappe (R)**

La recharge efficace joue un rôle déterminant dans le transfert de la lame d'eau depuis la surface du sol jusqu'à l'aquifère. Ce paramètre étant particulièrement difficile à évaluer lors des études hydrogéologiques. Pour l'estimation de ce paramètre dans la nappe du Sébaou, nous avons utilisé les résultats du bilan hydrique des stations pluviométriques bien répartis dans la plaine et établis par plusieurs auteurs ( Thornthwaite et Turc.....etc).

La carte du paramètre "Recharge nette", ainsi obtenue, montre un domaine d'indice de vulnérabilité partiels (IR=6), occupant la majorité de la plaine avec une réalimentation d'environ 10 à 18 cm/an, on remarque aussi une plage occupant la partie Nord-est de la plaine sur un trajet allant de Fréha ver L'est de Tamda avec un indice de vulnérabilité partiels (IR=3) avec une réalimentation d'environ 5 à 10 mm/an

#### **VI.1.5. Carte du paramètre « A » zone saturée**

La description du matériel constituant la zone saturée et non saturée, a été réalisée grâce à la notice explicative de l'esquisse géologique de la région et des coupes géologiques, et lithologiques des forages captant l'aquifère.

La carte relative à ce paramètre (Figure VII.5), montre des plages au niveau nord-ouest et sud-est de Tamda aussi au niveau de la région d'Azazga avec des plages au niveau ouest avec un indice de vulnérabilité 5, il est caractérisé des terrains argileux sableux.

Par contre l'indice PRAST dont la valeur est de 8, il occupe la majeure partie de la plaine du Sébaou et il représente des terrains argilo- sableux et gravier.

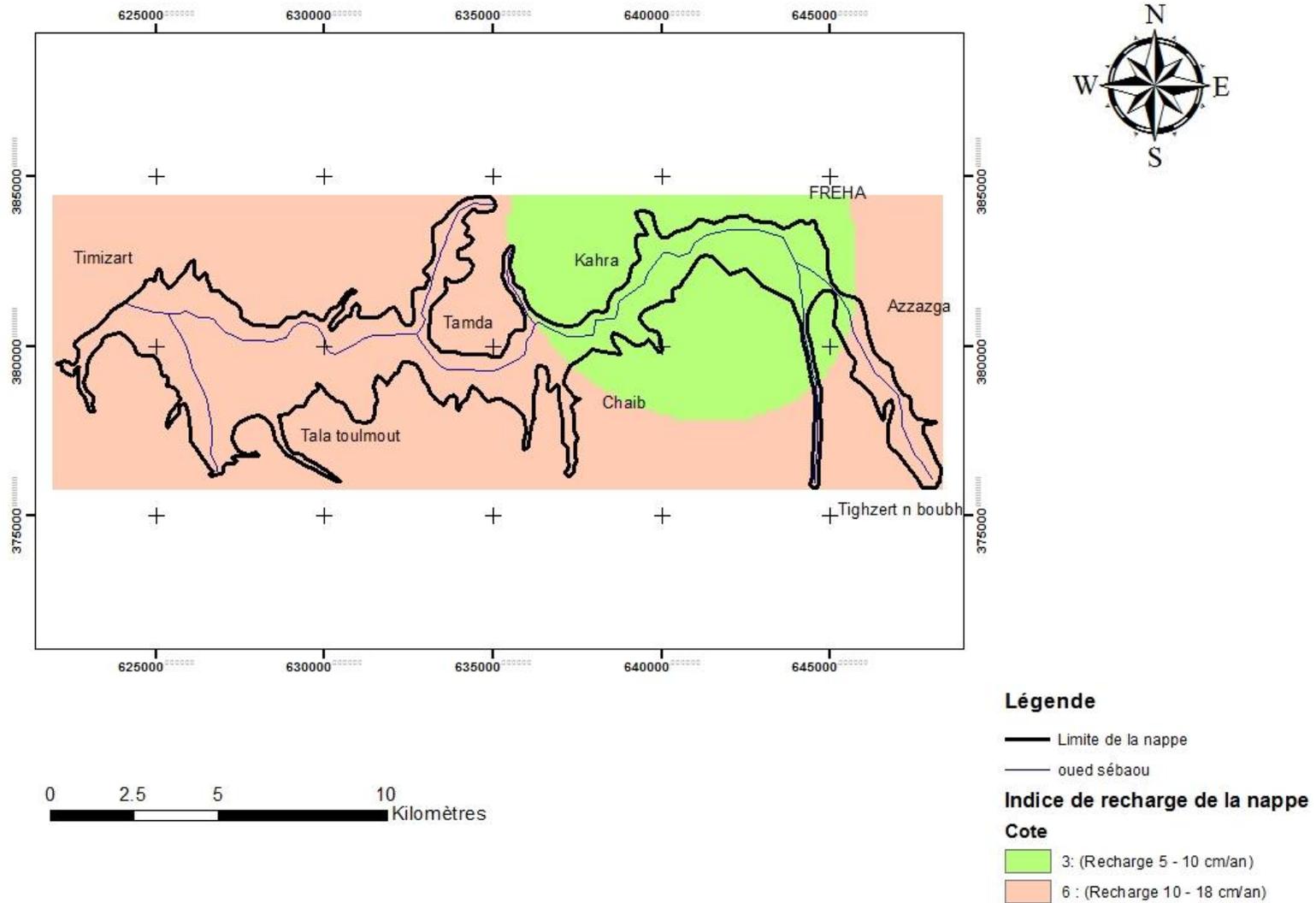


Figure VII.4: Carte paramétrique (R) de la recharge de la nappe alluviale du haut Sébaou

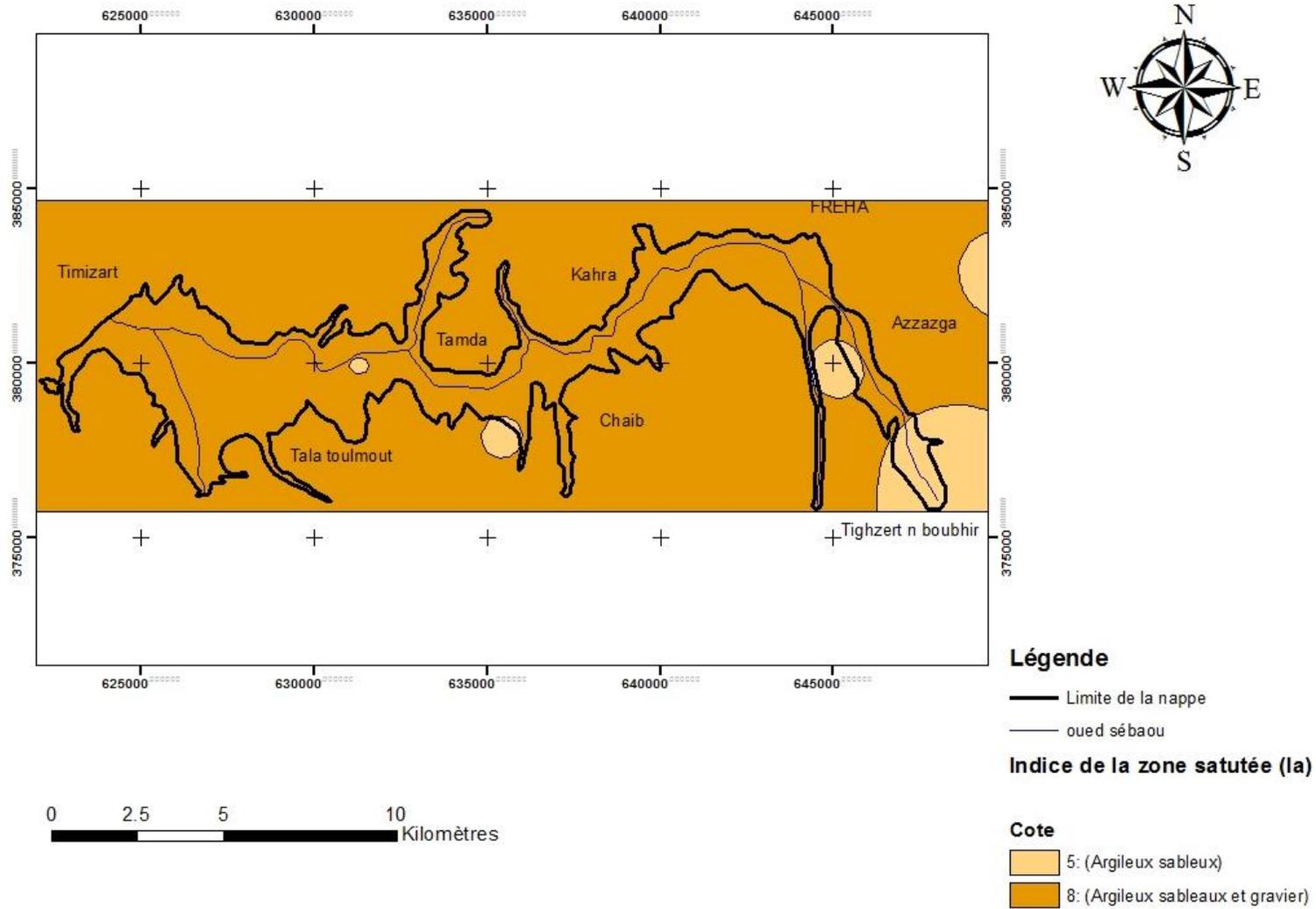


Figure VII.5: Carte paramétrique « A » zone saturée de la nappe alluviale du haut Sébaou

### VI.1.6. Carte du paramètre « S » nature du sol

Cette carte a fait ressortir trois types de sols :

Classe (01) : elle occupe presque toute la plaine du Sébaou elle représente des terrains riche en Sable.

Classe (02) : elle contient des terrains argileux donnant un indice de l'ordre de 1, ces terrains se situent dans la partie centrale de la plaine ou on remarque des plages au niveau sud et nord est de Tamda .

Classe (03) : elle correspond aux terrains riches en gravier avec un indice d'ordre de 10, ces terrains se situent au nord-est dans les régions de Fréha et Azazga et aussi la région de Timizart.

### VI.1.7. Carte du paramètre « T » topographie

La plaine alluviale du haut Sébaou est relativement accidenté, présentant des pentes assez conséquente , inclinée vers l'ouest .

La carte des pentes a été réalisée à partir des données d'élévation issues de la prospection piézométriques de l'année 2009 (Source ANRH ,Tizi-ouzou). Dans la carte paramétrique "Topographie" ( Figure VI.7), l'indice de vulnérabilité partiel (IT) est réparti comme suit :

- Dans la majorité de la plaine on observe des pentes allant de 0 à 2 % ce qui lui confère un indice partiel est de l'ordre de 10
- Les pentes de 2 à 6% se localisent au niveau des allontours de Tamda , la région Nord Est entre Kahra et Fréha ainsi qu'au sud de ces dernières avec un indice partiel de 9 .
- Quant aux pentes allant de 6 a 12% ,elles se localisent essentiellement au Sud de Tamda et dans la zone située entre Kahra et Fréha englobé dans la zone précédente avec un indice partiel de 5. On constate que la totalité de la région étudiée est favorable à un transfert de polluants de la surface vers la nappe puisqu'un indice partiel élevé (IT = 10), lui est assigné dans la majeure partie de la zone d'étude dont la pente varie de 0 à 2 %.

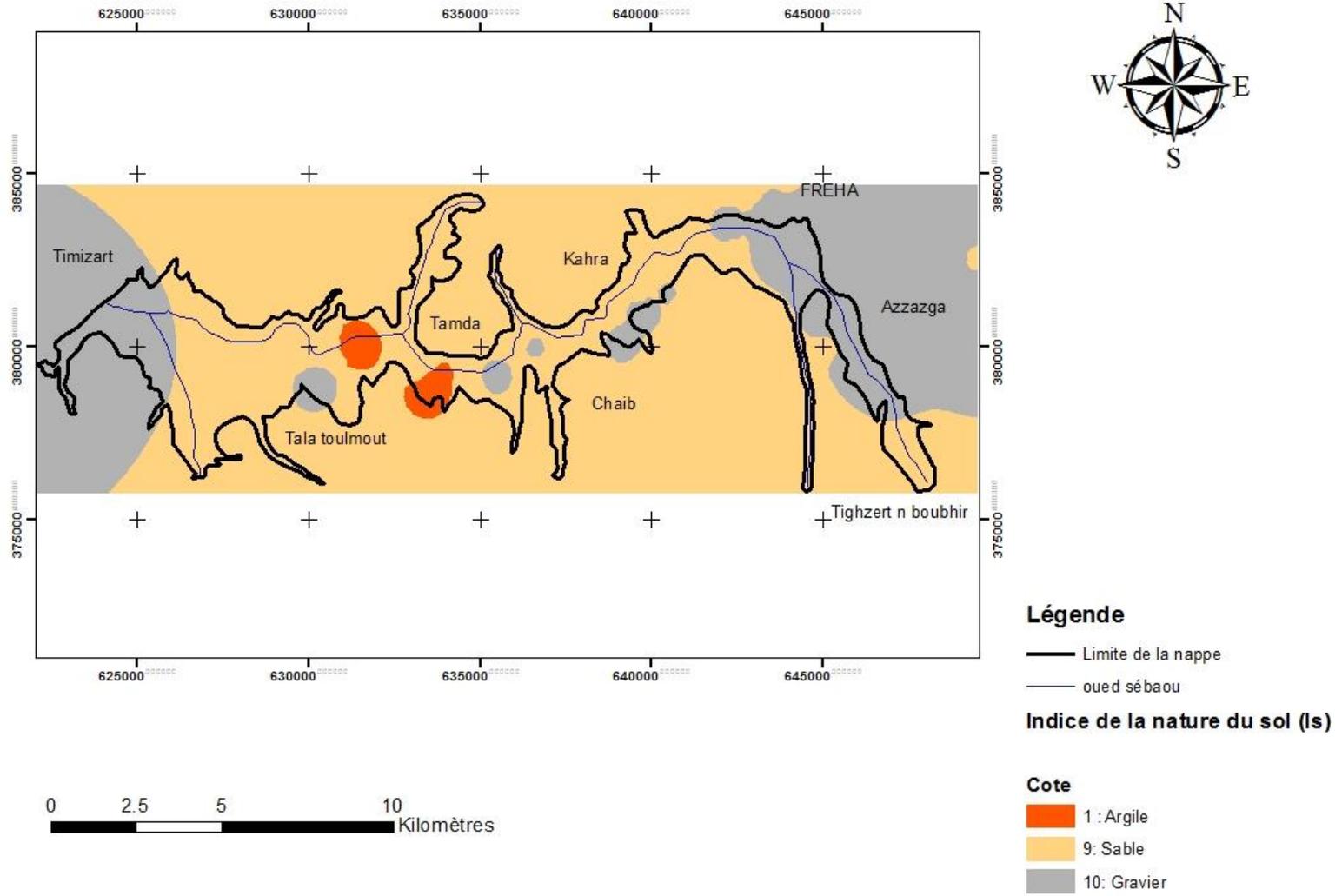


Figure VII.6: Carte paramétrique « S » nature du sol de la plaine du Sébaou

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

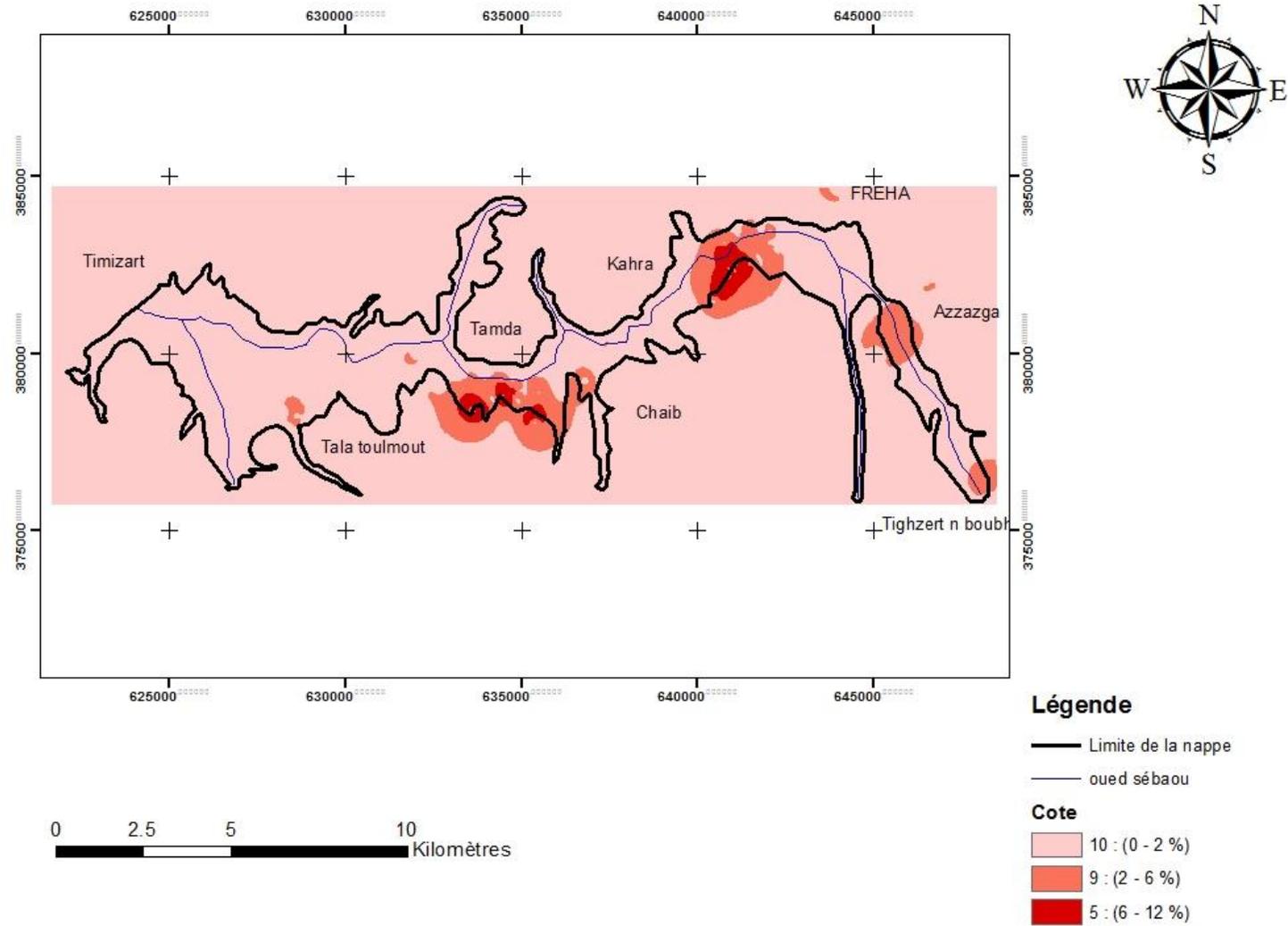


Figure VII.7 : Carte paramétrique (T) pente topographique de la nappe alluviale du Sébaou

### **VI.1.8.Indice de vulnérabilité PRAST**

La carte PRAST ainsi obtenue (Figure VII.6) permet de distinguer trois unités hydrogéologiques ayant des degrés de vulnérabilité différents. Après traitement d'un nombre de paramètres que fait intervenir cette méthode ; a savoir le paramètre « P » relatif au pouvoir épurateur vertical du sol et du sous-sol, le paramètre R qui est la recharge qui dépend des précipitation ,l'indice A la zone non sature obtenue après traitement des données de logs de forages ; l'indice S nature du sol qui joue un rôle important dans la transfert des polluant par infiltration et enfin la topographie qui joue un rôle important dans le ruissèlement et le transfert des effluent vers la plaine du Sébaou.

#### **a) Unité hydrogéologique à vulnérabilité très élevée 2A (124 – 127) :**

Cette unité caractérise les régions d'Azazga vers Fréha on observe aussi des plages au niveau de kahra avec un indice 2A compris entre 124 et 127 ce qui correspond à des conditions de vulnérabilité très élevées. L'indice PRAST est supérieur à 124 ce qui favorise la propagation des substances polluantes déversées en surface vers l'aquifère.

#### **b) Unité hydrogéologique à vulnérabilité élevée 2B (99 – 124)**

Cette unité occupe la majeure partie de la plaine du haut Sébaou avec un indice PRAST supérieure à 99 et cela en tenant compte des paramètres tels la topographie qui varie de 0 à 2 % des zones planes ou la recharge est élevée.

#### **c) Unité hydrogéologique à vulnérabilité moyenne 2D (< 99)**

Elle est définie par un indice PRAST supérieur à 70. Elle correspond à des conditions de vulnérabilité moyenne. Elle occupe la zone centrale dans la région de Tamda suivant un axe nord sud ,Ce qui s'explique par la nature du sol de type argileux, et une zone marneuses, sables argileux et marnes graveleuses, c'est une couverture protectrice empêchant le polluant d'atteindre l'aquifère.

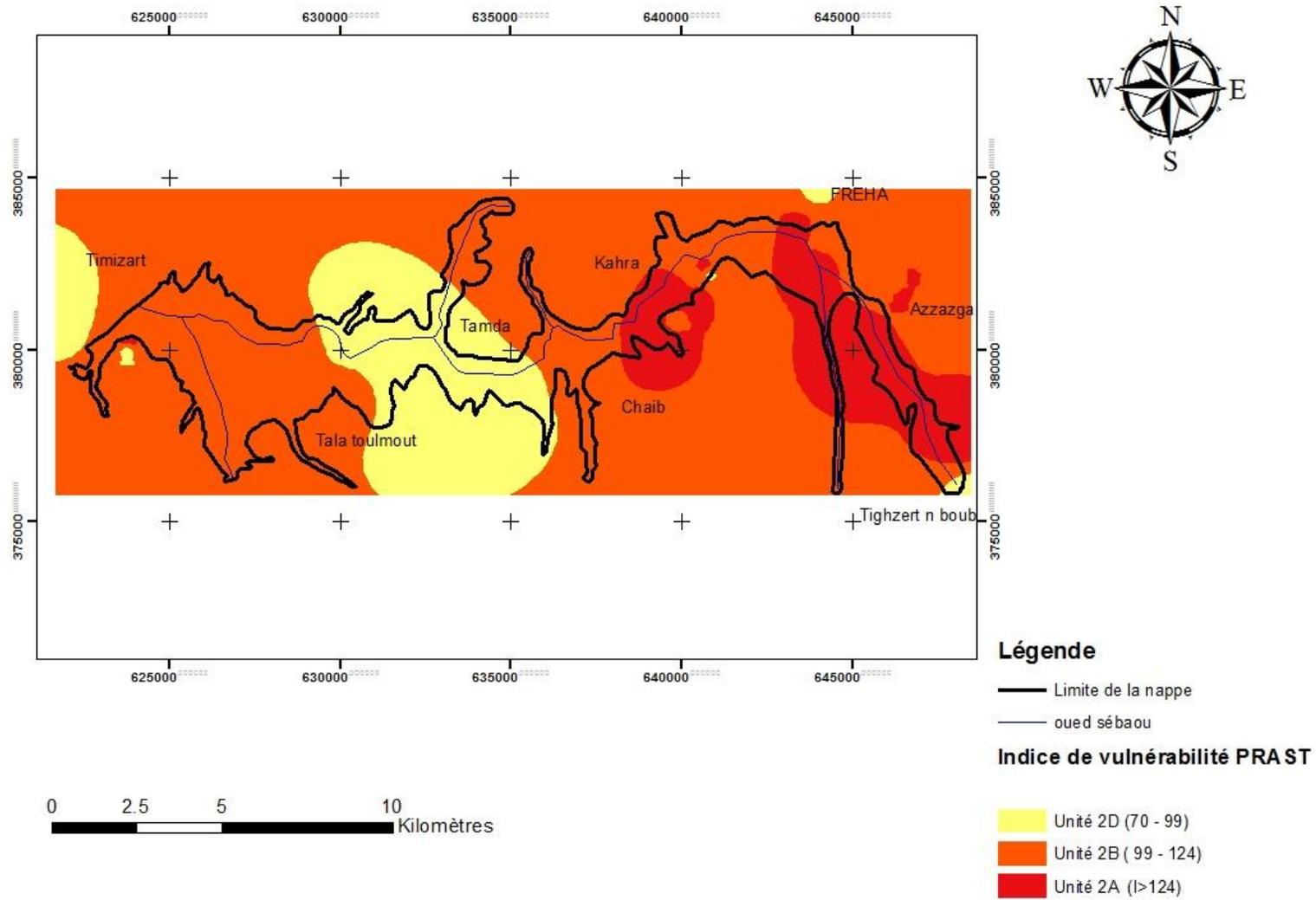


Figure VII.8 : Carte de la vulnérabilité « PRAST » de la nappe alluviale du Sébaou

## **V. Cartographie de l'indice de la sensibilité à la pollution des eaux PRASTCHIM :**

Pour la réalisation des cartes de sensibilité PRASTCHIM on a combiné des données issues de l'indice PRAST et celle de la chimie pour chaque point de prélèvement.

Pour tracer la carte de l'indice de sensibilité (IS) des eaux souterraines à la pollution, nous avons utilisé les données :

- de la qualité chimique des eaux (2010-2015) en particulier pour la carte d'indice AEP ou on a utilisé les données chimiques à savoir la pollution par le chlore et les nitrates.
- des paramètres PRAST
  - Recharge de la nappe (Figure III.4)
  - Zone saturée (Figure III.5)
  - Nature du sol (Figure III.6)
  - Topographie (Figure III.7)
  - Pouvoir épurateur du sol (Figure III.3)

Vu que la région du Sébaou est une zone fortement urbanisée et à vocation agricole, l'étude portera sur le calcul de l'indice de sensibilité à la pollution de deux types d'eau ; les eaux destinées à l'alimentation en eau potable AEP et les eaux destinées à l'irrigation.

### **V.1. Interprétation de la carte de l'indice de sensibilité PRASTCHIM des eaux destinées à l'alimentation en eau potable**

D'après la carte (Figure VI.9) on remarque que l'eau est globalement de faible à moyenne sensibilité dans les parties extrêmes de la plaine du Sébaou à l'extrémité est (Azazga) et ouest (Timizart) et au sud ou l'industrie est inexistante.

Les zones de forte à très forte sensibilité (supérieure à 4000), occupent la majeure partie de la superficie et sont localisées essentiellement dans les zones industrialisées au Nord du côté Fréha jusqu'à Tala-Toulmout.

### **V.2. Interprétation de la carte de l'indice de sensibilité PRASTCHIM des eaux destinées à l'irrigation**

D'après la carte (Figure IV.10), les eaux destinées à l'irrigation sont globalement de faible à moyenne sensibilité, elles s'étendent de la région extrême de la plaine à savoir la région d'azazga et celle de Timizart on remarque aussi des plages au niveau de Tamda et Kahra

Quant aux plages de forte à très forte sensibilité, elles occupent toute la plaine du Sébaou ou la zone et fortement industrialisée et urbanisée allant de d'Azazga Ouest vers le de la commune de Timizart Est.

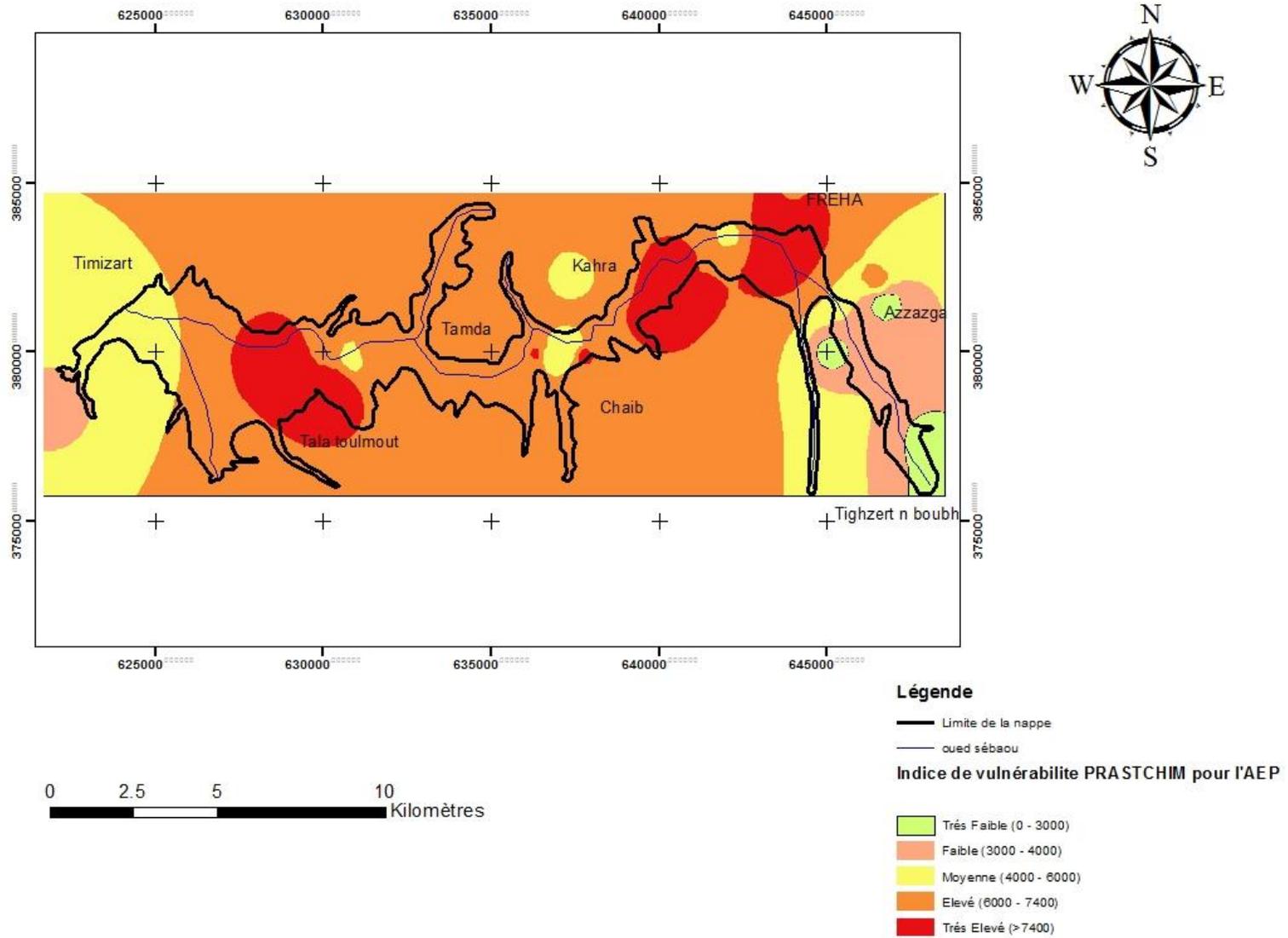


Figure VII.9 : Carte de sensibilité PRASTCHIM des eaux destinées à l'alimentation en eau potable de la nappe alluviale du Sébaou

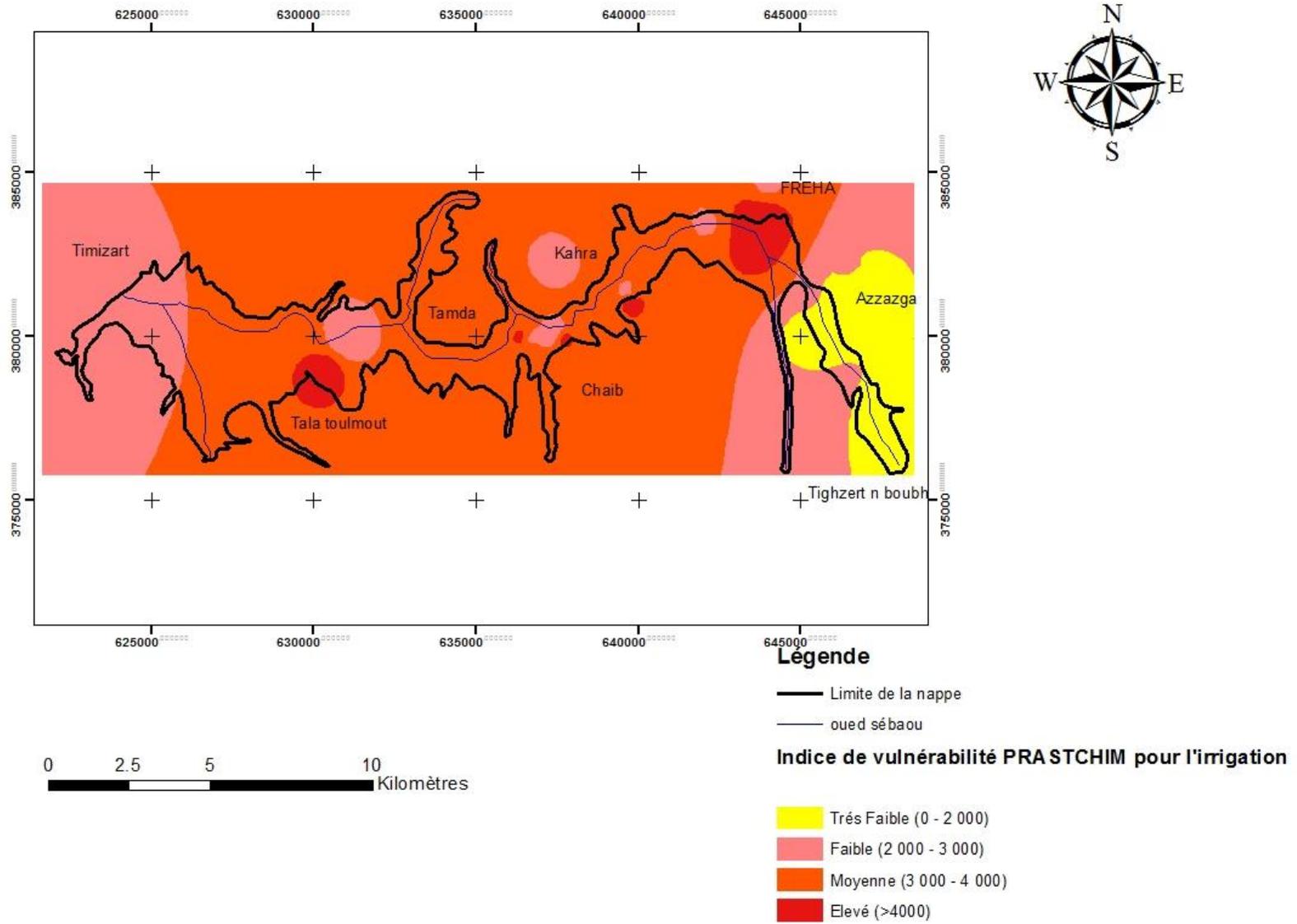


Figure VII.10: Carte de l'indice de sensibilité PRASTCHIM pour les eaux d'irrigation de la nappe alluviale du Sébaou

### V.3. Discussion des résultats

La comparaison entre les cartes d'indices de sensibilités des eaux d'AEP et celle des eaux d'irrigation (Figure IV.9 et IV.10) montre de grande ressemblance. Toutefois, les indices d'eau potable sont nécessairement plus stricts que ceux des eaux d'irrigation surtout à l'Est de la région d'étude.

Selon l'indice de sensibilité des eaux potables, la majeure partie de la plaine du Sébaou, ne peuvent être exploitée pour la consommation humaine pour des raisons de pollution mais peuvent être exploitée pour l'irrigation des surface agricole qui se trouve au alentour. On remarque que les zones où on a obtenu des taux élevés de sensibilité correspondent aux zones où sont concentrées les activités anthropiques à savoir les zones industrielles (Zone industrielle AISSAT IDIR) qui s'étale de Fréha vers Tala-Toulmout, Mais aussi où se trouve les périmètres irrigués qui pollue la nappe par infiltration des eaux infectées par les engrais et pesticides, aussi on peut citer les zones à forte agglomération qui jette leurs dépôts ménagers et autres, les décharges illicites participent aussi à la forte hausse de la sensibilité de la nappe à la pollution, enfin on peut dire que la validité de la méthode d'indice de sensibilité de PRASTCHIM, utilisée dans l'établissement des documents de synthèse reste un outil d'aide à la prise de décision pour d'éventuels aménagements ou protections de ces eaux.

**Conclusion :** La cartographie de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines. Elle apparaît donc nécessaire et incontournable car ce type de carte permet d'identifier très facilement les zones à risques de pollutions potentielles. Elle servira donc comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire. Dans ce travail, nous avons considéré le cas de la plaine du Sébaou en tenant compte essentiellement des activités agricoles et industrielles en fonction des données disponibles. Par ailleurs, l'évaluation quantitative du risque et par suite l'élaboration de cartes plus précises nécessite l'évaluation des lois aléatoires qui décrivent les activités à la surface sol.

## Conclusion général

La cartographie de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les divers activités humaines ;Elles apparait donc nécessaire et incontournable car ce type de carte permet d'identifier très facilement les zones à risques de pollutions potentielles.Elle servira donc comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire.Dans ce travail , nous avonc considéré le cas de la plaine alluvial du Sébaou en tenant compte essentiellement des activités agricoles et agro-industrielles en fonction des données disponibles .Par ailleurs ,l'évaluation quantitative du risque et par suite l'élaboration de cartes plus précises nécessite l'évaluation quantitative du risque et par suite l'élaboration de cartes plus précises nécessite l'évaluation des lois aléatoires qui décrivent les activités à la surface sol (Travail en cours).

au terme de cette étude relative aux eaux du bassin versant du Haut Sébaou , la méthode PRASTCHIM a été sélectionnée ,après avoir fait une étude bibliographique des méthodes de cartographie de la vulnérabilité à la pollution dédiées aux différents types de milieux aquifères ,pour évaluer la valeur de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource en eau souterraine dans le bassin versant du sébaou.

il apparait urgent, par mesure préventive:

- d'instaurer un contrôle rigoureux des rejets domestiques en procédant à l'assainissement de toutes les contrées environnantes dont les rejets véhiculés par le réseau hydrographique aboutissent dans la plaine alluviale, souvent au voisinage d'un champ de captage.
- d'assurer une gestion rationnelle de l'entretien des stations d'épuration existantes.
- De réaliser de nouvelles stations d'épuration appropriées aux agglomérations
- De réglementer l'emploi des engrais fertilisants aux abords des ouvrages d'exploitation
- d'assurer une gestion rationnelle d'extraction des alluvions afin d'atténuer la vulnérabilité de la nappe alluviale vis-à-vis des infiltrations d'eaux de surface en délimitant des périmètres de protection rapprochée.

## Annexes 1

Point d'eau	x	y	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Carbonates	Nitrates	pH	CE $\mu/cm$	Résidu Sec
W045-004	648124,0 0	376740,0 0	101,81	53,70	49,17	5,15	73,33	142,00	415,08	0,00	10,83	7,62	1143,17	576,84
W045-015	635223,0 0	381937,0 0	122,40	32,17	52,17	4,22	119,33	86,67	402,67	0,00	23,33	7,85	1244,33	637,92
W24-011	643740,0 0	382970,0 0	112,30	75,20	37,47	5,97	55,67	214,83	454,45	0,00	27,30	7,75	1421,00	878,67
W23-029	623000,0 0	379890,0 0	131,20	40,66	41,17	3,25	56,83	161,33	427,51	0,00	5,67	7,55	1217,67	757,33
W23-032	626170,0 0	380650,0 0	132,23	24,23	36,67	3,00	85,00	74,67	373,27	0,00	11,18	7,77	1082,33	711,33
W24-007	636990,0 0	379820,0 0	61,55	31,30	23,67	5,10	36,33	55,83	290,67	0,00	5,50	7,65	712,00	474,00
W45-002	646 900	379270,0 0	108,14	51,39	46,17	5,63	91,33	116,33	406,67	0,00	13,67	7,88	1166,67	738,50
W24-001	644300,0 0	382730,0 0	97,88	38,04	58,17	4,63	70,33	79,00	427,20	0,00	15,98	7,70	1071,17	675,33
W24-034	629870,0 0	379900,0 0	94,49	42,88	50,67	6,40	108,83	79,83	347,19	0,00	23,67	7,93	1104,33	700,67
W45-016	634770,0 0	378830,0 0	96,46	38,49	40,17	5,10	91,50	76,33	325,28	0,00	14,85	7,85	999,17	685,17
W45-021	630900	379320	98	38	43	5	81	80	362	0	14	8	1 023	664
W45-025	628150,0 0	379300,0 0	160,04	34,93	63,00	5,13	131,25	170,08	391,42	0,00	19,93	7,82	1360,33	870,50
W023-31	626678,0 0	378280,0 0	92,17	29,45	40,67	6,18	68,67	84,50	333,50	0,00	13,67	7,87	986,17	558,49
W24-005	640340,0 0	382620,0 0	61,86	36,32	29,50	4,58	37,67	68,67	297,88	0,00	6,85	7,78	715,33	449,83

## Annexes 2

Point d'eau	x	y	TH	TAC	TA
W045-004	648124,00	376740,00	44,14	28,67	0,00
W045-015	635223,00	381937,00	47,68	29,04	0,00
W24-011	643740,00	382970,00	59,41	37,15	0,00
W23-029	623000,00	379890,00	49,74	34,95	0,00
W23-032	626170,00	380650,00	41,21	30,53	0,00
W24-007	636990,00	379820,00	28,43	23,76	0,00
W45-002	646 900	379270,00	48,45	33,23	0,00
W24-001	644300,00	382730,00	40,32	34,93	0,00
W24-034	629870,00	379900,00	41,49	28,38	0,00
W45-016	634770,00	378830,00	40,15	26,58	0,00
W45-021	630900	379320	40	30	0
W45-025	628150,00	379300,00	54,56	31,88	0,00
W023-31	626678,00	378280,00	37,56	21,58	0,00
W24-005	640340,00	382620,00	33,75	26,02	0,00

## Annexes 3

Nom du point	x	y	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	SAR
P11	641879,00	383601,00	101,81	53,70	49,17	5,15	6,16
P34	639154,00	381405,00	122,40	32,17	52,17	4,22	6,41
P10	643740,00	382970,00	112,30	75,20	37,47	5,97	4,49
P72	624206,00	380956,00	131,20	40,66	41,17	3,25	4,79
P73	626170,00	380650,00	132,23	24,23	36,67	3,00	4,48
F38	636990,00	379820,00	61,55	31,30	23,67	5,10	4,22
P22	643 387	381961,00	108,14	51,39	46,17	5,63	5,80
P7	644300,00	382730,00	97,88	38,04	58,17	4,63	7,62
P60	629870,00	379900,00	94,49	42,88	50,67	6,40	6,89
P49	634770,00	378830,00	96,46	38,49	40,17	5,10	5,51
P55	630900	379320	98	38	43	5	5,76
F59	628150,00	379300,00	160,04	34,93	63,00	5,13	6,90
F63	626678,00	378280,00	92,17	29,45	40,67	6,18	6,01
P24	640340,00	382620,00	61,86	36,32	29,50	4,58	4,86

## Annexes 4

Parametre Prast	RECHARGE NETTE (cm)	
	INTERVALLE	COTE
	0 – 5	1
	5 – 10	3
	10 – 18	6
	18 – 25	8
	25 +	9
	Poids : 4	Poids pour Pesticides : 4

MILIEU AQUIFERE		
Nature du milieu aquifère	COTE	Cote type
Schiste massif	1 – 3	2
Roches métamorphiques/ignées	2 – 5	3
Roches métamorphiques/ignées altérées	3 – 5	4
Lits de grès, calcaire et argile schisteuse	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		TOPOGRAPHIE (%)	
NATURE DU SOL	COTE	INTERVALLE	COTE
Sol mince	10	0 - 2	10
Gravier	10	2 - 6	9
Sable	9	6 - 12	5
Argile fissurée	7	12 - 18	3
Terre grasse sableuse	6	18 +	1
Terre grasse	5	Poids : 1	Poids pour Pesticides : 3
Terre limoneuse	4		
Terre argileuse	3		
Argile non fissurée	1		
Poids : 2	Poids pour Pesticides : 5		

## Annexes 5

Eléments/substance	Symbole/formule	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al	0,2 mg/l
Ammonium	Nh4 <sup>+</sup>	Pas de contrainte
Antimoine	Sb	0,02 mg/l
Arsenic	As	0,01 mg/l
Amiante		Pas de valeur guide
Baryum	Ba	0,7 mg/l
Bérylium	Be	Pas de valeur guide
Bore	B	0,5 mg/l
Cadmium	Cd	0,003 mg/l
Chlore	Cl	Pas de valeur mais on peut noter un gout à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr <sup>+3</sup> ,Cr <sup>+6</sup>	Chrome total :0,05 mg/l
Cuivre	Cu <sup>2+</sup>	2 mg/l
Cyanure	CN <sup>-</sup>	0,07 mg/l
Oxygène dissous	O <sub>2</sub>	Pas de valeur guide
Fluorure		1,5 mg/l
Dureté	CaCO <sub>3</sub>	200 ppm
Sulfure d'hydrogènes	H <sub>2</sub> S	0,05 à 1 mg/l
Fer	Fe	Pas de valeur guide
Plomb	Pb	0,01 mg/l
Maganése	Mn	0,4 mg/l
Mercure	Hg	Inorganique :0,006 mg/l
Molybdène	Mb	0,07 mg/l
Nickel	Ni	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO <sub>3</sub> ,NO <sub>2</sub>	50 et 3 mg/l (exposition
Turbidité		Non mentionnée
PH		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 9,5
Sélénium		0,01 mg/l
Argent	Ag	Pas de valeur guide
Sodium	Na	Pas de valeur guide
Sulfate	So <sub>4</sub>	500 mg/l
Etain inorganique	Sn	Pas de valeur guide : peu toxique
TDS		Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U	0,015 mg/l
Zinc		3 mg/l



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie :

- [1] **Djoudar /Hallal D. et Toubal AC., 2010** : «Application de la méthode « DRASTIC modifiée» à la cartographie de la vulnérabilité de la nappe alluviale du Sébaou » 5<sup>ème</sup> Conférence internationale « sur les ressources en eau du bassin méditerranéen » du 26-28 mai 2010, Polytech 'LILLE, cité scientifique, Villeneuve d'Ascq, France.
- [2] **Djoudar /Hallal D ,2014** : « Approche Méthodologique De La Vulnérabilité De La Ressource En Eau Souterraine En Milieu Fortement Urbanise : Exemple En Algérie Des Plaines Littorales (Mitidja) » 29 septembre 2014, thèse de doctorat Es-Sciences, 178p, FSTGAT, USTHB Alger.
- [3] **Djoudar/Hallal D. et Toubal AC., 2012** : « Contribution à l'étude de la pollution des eaux souterraines : Cas de la nappe du Haut Chellif ». Bulletin du Service Géologique National de l'Algérie (SGA) , ANGCM, Vol. 23, N°1, pp 71-83, 2012.
- [4] **M<sup>r</sup> BOUADJEL Chouaib** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée du Sébaou
- [5] **Alious .S** ,2004 : Méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité à la pollution du Sébaou. Mémoire d'ingénieur, USTHB.
- [6] **Baraka.S** , 1990 :synthèse des études hydrogéologiques de la vallée de l'oued Sébaou. Mémoire d'ingénieur, USTHB.
- [7] **Benhassaine M.**, 1980 Recherche sur les modèles des reliefs et les formations superficielles dans la nappe de l'Oued Sébaou. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle.
- [8] **Bouadjla ,1996** : Rapport sur l'extraction de sable à partir de l'oued Sébaou , ANRH Tizi-Ouzou.
- [9] **Boumaza N .2001** : Cartographie hydrogéologie de la vallée de Sébaou Thèse de magister, USTHB.
- [10] **Bouzar I. 1980** : Hydrogéologie du haut Sébaou Mémoire d'ingénieur, USTHB. **C.G.G, 1964** : Prospection électrique électrique des plaines d'oueds : Sébaou, Isser , et Assif El Hammam.
- [11] **Chadrine, Y.1972** : Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du sébaou Mémoire d'ingénieur .ANRH, Alger.
- [12] **Djemai M.1982** : Hydrogéologie du moyen Sébaou Mémoire d'ingénieur. USTHB.
- [13] **Durand Delga M .1968** : Mise au point sur la structure de Nord Est de la berbérie, ANRH Tizi-Ouzou.
- [14] **Hiaddihine .H ,1996** : approche du bilan hydrologique du bassin versant du sébaou .Mémoire d'ingénieur. USTHB.

- [15] **Malek .A** : structure et fonctionnement d'un Karst de Montagne sous climat méditerranéenne : exemple du Djurdjura occidental (Grande Kabylie – Algérie). Pour l'obtention du diplôme de docteur d'état de l'université de FRANCE-COMTE.
- [16] **Ramdane .S** ,1999 : vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines -Méthode et cartographie- (Application aux aquifères du moyen Sébaou et la Matidja centrale) USTHB.
- [17] **Alious .S** ,2004 : Méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité à la pollution du Sébaou. Mémoire d'ingénieur, USTHB.
- [18] **Baraka.S** , 1990 :synthèse des études hydrogéologiques de la vallée de l'oued Sébaou. Mémoire d'ingénieur, USTHB.
- [19] **Benhassaine M.**, 1980 Recherche sur les modèles des reliefs et les formations superficielles dans la nappe de l'Oued Sébaou. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle.
- [20] **Bouadjla ,1996** : Rapport sur l'extraction de sable à partir de l'oued Sébaou, ANRH Tizi-Ouzou.
- [21] **Boumaza N .2001** : Cartographie hydrogéologie de la vallée de Sébaou Thèse de magister, USTHB.
- [22] **Bouzar I. 1980** : Hydrogéologie du haut Sébaou Mémoire d'ingénieur, USTHB. **C.G.G, 1964** : Prospection électrique électrique des plaines d'oueds : Sébaou, Isser , et Assif El Hammam.
- [23] **Chadrine, Y.1972** : Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du sébaou Mémoire d'ingénieur .ANRH, Alger.
- [24] **Djemai M.1982** : Hydrogéologie du moyen Sébaou Mémoire d'ingénieur. USTHB.
- [25] **Durand Delga M .1968** : Mise au point sur la structure de Nord Est de la berbérie, ANRH Tizi-Ouzou.
- [26] **Hiaddihine .H ,1996** : approche du bilan hydrologique du bassin versant du sébaou .Mémoire d'ingénieur. USTHB.
- [27] **Malek .A** : structure et fonctionnement d'un Karst de Montagne sous climat méditerranéenne : exemple du Djurdjura occidental (Grande Kabylie – Algérie). Pour l'obtention du diplôme de docteur d'état de l'université de FRANCE-COMTE.
- [28] **Ramdane .S** ,1999 : vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines -Méthode et cartographie- (Application aux aquifères du moyen Sébaou et la Mitidja centrale) USTHB.
- [29] **TIRECHE SIHEM 2006** : Contribution à l'évaluation de la pollution au profit des collectivités locales, application s'un système d'évaluation de la qualité
- [30] **ALI SI SMAIL, ALI BOUHERAOUA ET MALEK ABDESSELAM ,2013** : Caractérisation hydrodynamique des sols de la haute vallée de l'oued Sébaou (Algérie) : étude expérimentale, numérique et analytique

**[31]J. Pranville, V. Plagnes, F. Rejiba, J. Tremoulet Septembre 2007** : Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie sud du Causse de Gramat

**[32]FATIH. Boucenna 2008/2009** : CARTOGRAPHIE PAR LES DIFFERENTES METHODES DE VULNERABILITE A LA POLLUTION D'UNE NAPPE COTIERE CAS DE LA PLAINE ALLUVIALE DE L'OUED DJENDJEN (JIJEL, NORD-EST ALGERIEN

**[33]Mina AMHARREF, Abdes Samed BERNOUSSI 2007** : Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines

**[34]Kamal ZEGHID 2013** : Cartographie de la vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines karstiques ces du bassin versant du MEFFROUCHE

**[35]DJEMAI MOHAMMED et MESBAH MOHAMED** : ressource en eau de la plaine alluviale du haut Sébaou impact de l'urbanisation, l'industrie et l'agriculture sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de surface et souterraines (grande KABYLIE, ALGERIE)