

# Ecole Nationale Polytechnique

Département : Hydraulique

5/04



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'étude  
Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat

## THÈME

Étude des ressources en eau  
souterraine de la basse vallée  
de Soummam

Proposé et Dirigé par : Mr. A.SEMAR

Étudié par : Mr. BENOUIS ALI

~~2007/2004~~

E.N.P. 10, Avenue Hacene Badi, El-Harrach, Alger

10/10

10/10

### *Remerciements*

*Je tiens à remercier Monsieur A.SEMAR pour sa disponibilité et sa patience dans le suivi et la promotion de ce modeste travail.*

*Je présent, également, me vif remerciement à l'ensemble des enseignants du département hydraulique, pour leur service et conseil dans l'objectif de réussir notre travail.*

*Je remercie aussi, tout les personne qui ont participé prés ou loin à la réussite de notre projet de plus particulièrement à mes collègue B.Hichem,*

*G.farid et Salah-eddin.B lors volontés et lors aides.*

**Résumé :**

Au cours de notre travail qui s'inscrit dans le cadre de la synthèse hydrogéologique de la basse vallée de la Soummam nous avons évaluée les paramètres du bilan hydrologique pour la période (1991/2001) les résultats sont confrontés à ceux de la période (1970/1985).

Après avoir synthétisé les informations du milieu (cadre géologique, hydrogéologique) nous avons effectué la cartographie automatique par approche géostatistique des éléments conditionnant la qualité chimique (CE, Cl, NO<sub>3</sub>, Na) des eaux souterraines.

**Mots clés :** Soummam, hydrologie, chimie, pollution.

**Summary:**

During our work which lies within the scope of the hydro geologic synthesis of the low valley of Soummam we evaluated the parameters of the hydrological assessment for the period (1991/2001) the results are confront with those of the period (1970/1985).

After having synthesized information of the medium (tallies geological, hydro geologic) we carried out the automatic cartography by geostatistic approach of the elements conditioning the chemical quality (EC, Cl, NO<sub>3</sub>, Na) of subsoil waters.

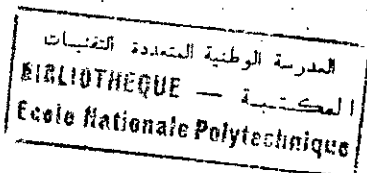
**Key words:** Soummam, hydrology, chemistry, pollution.

**ملخص:**

من خلال عملنا الذي يندرج في إطار الملخص الهيدرولوجي للنهر المنخفض- الصومام- . فلقد قِيمنا عناصر الموازنة الهيدروجيولوجية لما بين سنتي (2001/1991) بمقارنتها مع النتائج المحصل عليها ما بين سنتي (1970/1985)، و بعد جمع المعلومات الخاصة بالوسط (الإطار الجيولوجي و الهيدروجيولوجي )، ثم قمنا برسم تخطيطي الي بالتقريب الجيوباحصاني (الجيوستاتستيكي) للعناصر المشتركة للطبيعة الكيميائية للمياه الجوفية(النترات، الصوديوم، الكلور، الناقلية الكهربائية).

**المفردات المفتاحية:** الصومام، علم المياه السطحية، الكيمياء، التلوث.

## -Sommaire-



### Introduction générale

#### Chapitre I : Cadre géomorphologique

1.1 - Situation géographique.....	1
1.2 - Topographie.....	3
1.3 - Couvert végétal.....	4
1.4 - Paramètres morpho métriques.....	4
1.4.1 Superficie.....	4
1.4.2 Paramètres de relief.....	6
1.4.2.1 Courbe hypsométrique.....	6
1.4.2.2 élévations.....	7
1.4.3 Paramètres de formes.....	7
1.4.3.1 Indice de compacité de Graveluis.....	7
1.4.3.2 Dimension du rectangle équivalent.....	7
1.4.3.3 Indice de pente globale.....	7
1.4.3.4 La pente moyenne.....	8
1.4.3.5 Dénivelée spécifique.....	8
1.5 - Influence de la morphométrie sur l'hydrogéologie.....	9
1.6 - Conclusion.....	10

#### Chapitre II : Etude Climatique

2.1-Introduction.....	11
2.2-Pluviométrie.....	11
2.3-Répartition des précipitations moyennes annuelles.....	14
2.4-Variabilité des précipitations.....	17
2.5-Humidité de l'air.....	18
2.6-Vent.....	18
2.7-Température.....	19
2.8-Evapotranspiration.....	21
2.8.1-Estimation de l'évapotranspiration potentielle.....	21
2.8.2-Estimation de l'évapotranspiration réelle.....	21
a)- E.T.P mensuelle d'après Thornthwaite.....	22
b)-Calcul de l'E.T.R à partir des formules empiriques.....	23
b.1)-Formule de Turc.....	23
b.2)-Formule de Coutagne.....	24
b.3)-Méthode de Wundt.....	24
c)-Interprétation.....	26
2.9-Estimation du bilan hydrologique.....	27
2.9.1-Estimation du ruissellement.....	27
2.9.2-Estimation de la lame infiltrée.....	28
2.10-Conclusion.....	29

<b>Chapitre III :</b>	<b>Cadres Géologique et Hydrogéologique</b>	
3.1-Cadre géologique.....		30
3.1.1-Aperçu géologique sur l'Algérie septentrionale.....		30
3.1.2-Cadre géologique local.....		31
3.1.2.1-Description litho stratigraphique.....		31
3.1.2.2-Tectonique.....		34
3.1.2.3-Formation du remplissage de la vallée.....		34
3.1.2.4-Description et géométrie de l'aquifère.....		34
3.2-Apport de la géophysique.....		35
3.3-Hydrogéologie.....		39
3.3.1-Etude hydrodynamique.....		39
3.3.1.1-Inventaire des points d'eau.....		39
3.3.1.2-Piézomètre.....		40
3.3.1.3-Paramètres hydrodynamiques.....		41
3.3.1.3.1-charge hydraulique.....		41
3.3.1.3.2-Perméabilité.....		41
3.3.1.3.3-Transmissivité.....		42
3.3.1.3.4-Coefficient d'emmagasinement.....		42
3.4-Conclusion.....		43
<b>Chapitre IV :</b>	<b>Hydrochimie</b>	
4.1-Introduction .....		44
4.2-Paramètres chimiques.....		44
4.3-Caractéristiques des paramètres chimiques.....		45
4.3.1-Conductivité électrique.....		45
4.3.2-Nitrates.....		45
4.3.3-Chlore.....		45
4.3.4-Sodium.....		45
4.4-Description cartographique des paramètres chimiques.....		46
4.4.1-Construction du variogramme.....		46
4.4.2-Résultats obtenus par le logiciel VARJOWIN.....		46
4.4.2.1-Ajustement et validation.....		46
4.4.2.2- Krigeage.....		57
4.5-Interprétations des phénomènes.....		57
4.5.1- conductivité électrique.....		57
4.5.1- Chlorures.....		57
4.5.2- Nitrates.....		58
4.5.3- Sodium.....		58
5.1-Conclusion.....		61
<b>Conclusion générale.....</b>		<b>62</b>

## **Introduction générale**

En Algérie, le problème de la satisfaction des besoins en eaux demeure primordial. L'évaluation de la ressource en eau tant quantitative que qualitative devient une urgence pour répondre aux besoins en eau de l'AEP, de l'agriculture et de l'industrie. Dans ce sens, en particulier dans les régions montagneuses, la Basse vallée de la Soummam est caractérisée par un fort potentiel humain, des activités économique et agricole relativement importantes.

L'évaluation des ressources hydriques est une nécessité absolue pour une gestion durable.

L'étude hydrogéologique de la vallée de la Soummam se limite à la partie avale du bassin versant de l'oued Soummam. Ce travail va tenter de répondre aux besoins en eau des principales activités de la région, comme la connaissance des ressources en eau souterraine, l'évaluation de leur chimisme, leurs exploitation et leurs conservation sont d'une importance capitale pour la mise en valeur et le développement agricole, ou industriel, et devenue un besoin impérieux avec l'accroissement démographique.

Concrètement ce présent travail se veut pour objectifs, une synthèse hydrogéologique et une actualisation des travaux réalisés dans cette région.

Pour ce faire, nous avons adopté le plan de travail suivant :

- Un 1<sup>ère</sup> chapitre concerne la géomorphologie : Elle se propose de déterminer les caractéristique physiographiques du bassin versant de la basse vallée de la Soummam ;
- Un 2<sup>ème</sup> chapitre portera sur l'étude climatologique : elle est d'une grande importance car les caractéristiques hydro-climatologiques conditionnent les potentialités en eau des aquifères. Elle a porté sur l'analyse et l'interprétation des paramètres hydro-climatologiques portant essentiellement sur la température l'évapotranspiration et le pluviométrie, dans le but est l'établissement du bilan ;
- Un 3<sup>ème</sup> chapitre traite l'hydrogéologie : Elle comporte les étapes :

La géologie : Elle portera sur la synthèse des travaux antérieurs, nous nous intéresserons essentiellement à la lithologie et à la structure des terrains aquifères ;

La géophysique : Elle a pour but la connaissances des aquifères de la basse vallée de la Soummam et, plus particulièrement des alluvions ;

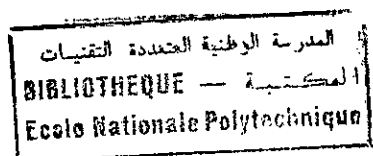
L'hydrodynamisme : Une campagne piézométrique a été analysée et ce, dans le but de mieux comprendre le comportement hydrodynamique de l'aquifère ;

- Et enfin un 4<sup>ème</sup> chapitre évaluera l'hydrochimie : Elle portera sur l'interprétation des analyses chimiques et à la cartographie de certaines éléments jugés importants dans ce travail.



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

# Chapitre I



## Cadre géomorphologique

### 1.1-Situation géographique

Le bassin versant de la Soummam (fig.1.1), vaste de 9125km<sup>2</sup> est situé dans la patrie Nord-Est de l'Algérie entre les méridiens 3°38' et 5°38' et les parallèles de 35°45' et 36°45'.

Il est subdivisé en 10 sous bassins versants, et le bassin de la Basse Soummam est sous le code 15-10 qui est localisé à 240km à l'Est d'Alger.

Il couvre une superficie de 808.5km<sup>2</sup>, a été délimité à partir de l'assemblage de 05 cartes topographiques au 1/50.000 (Zerourou, 1990), (Sidi-Aich, Oued Amizour, Bejaia, Djebaa et Ain Roua), il est limité de Sidi-Aich à la mer.

La plaine alluviale de la Soummam s'étend sur une longueur d'environ 35km et sa largeur est comprise entre 700m et 2km.

Elle est limitée à l'ouest par le seuil de Sidi-Aich, au Nord par les monts de Taourirt-Iril et la ligne de crête de Djebels Arbalou et Gouraya ; au Sud par les collines schisteuses et mollement ondulées du Dralhdja et les reliefs plus accentués et gréseux de Sidi-Bou-Draham et Draham et Manchar-Trilaji, à l'Est par la mer.

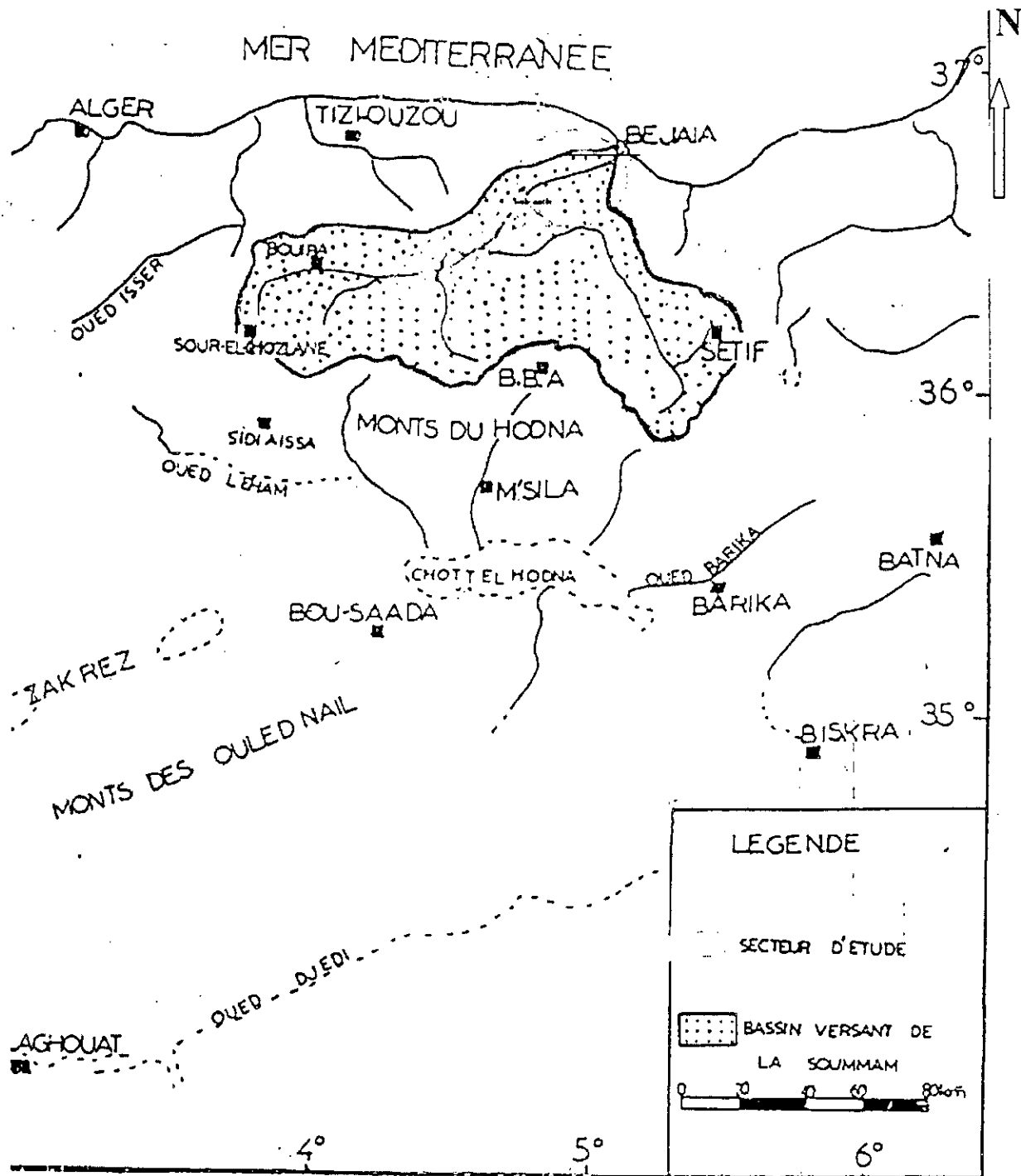


Fig1.1 : Situation du bassin versant de la Soummam

(In M.Hassissene, 1990).

## 1.2-Topographie

La vallée de l'oued Soummam est une région accidentée, elle est caractérisée par trois grands ensembles géomorphologiques distincts, (Clinks, 1973) :

- l'ensemble géomorphologique septentrional, constitué par des formations compétentes, d'âge secondaire et tertiaire, formant des escarpements inaccessibles, dont les sommets culminent à plus de 1600m dans l'Akfadou, la terminaison orientale de cet ensemble est caractérisée par les crêtes calcaires de l'Arbalou et du Gouraya dont les sommets culminent respectivement à 1313m (Djemaa N'Techériat) et à 672m (pic de la dent) ;
- L'ensemble géomorphologique méridional, constitué essentiellement par des formations au sein desquelles percent des "lames calcaires" ; ces formations sont d'âge secondaire. Seules les "lames calcaires" forment les sommets culminants à plus de 1657m, très caractéristiques des Babors ;
- L'ensemble géomorphologique comprend, la plaine de l'oued Soummam, les vallées des principaux affluents et les reliefs intermédiaires bordant la plaine.

La plaine forme une bande très étroite et très allongée, suivant la direction Nord-Est, Sud-Ouest. Elle est caractérisée par une altitude relativement faible (<100m) et une inclinaison de l'ordre de 2% vers l'Est. Elle est constituée par des alluvions d'âge quaternaire.

### 1.3-Couvert végétal

Le couvert végétal est dense et varie sur les hauts reliefs de l'Akfadou et de Taourirt, ainsi que sur les sommets du massif de Timzirit et des Babors. Il est moins dense et localisé sur les reliefs intermédiaires, par endroits les collines marneuses sont dénuées de couvert végétal tandis que dans la plaine, il est très dense, mais essentiellement temporaire.

### 1.4-Paramètres morphométriques

#### 1.4.1-Superficie

Le bassin versant de la basse Soummam a une superficie totale de  $808\text{Km}^2$  dont  $60\text{Km}^2$  sont occupés par des formations quaternaires.

La superficie couverte par chacun des 8 sous bassins constitue le bassin versant Soummam (fig.1.2).

La superficie de la plaine de la Basse Soummam est estimée à  $75\text{Km}^2$  soit 10% de la superficie totale du bassin versant.

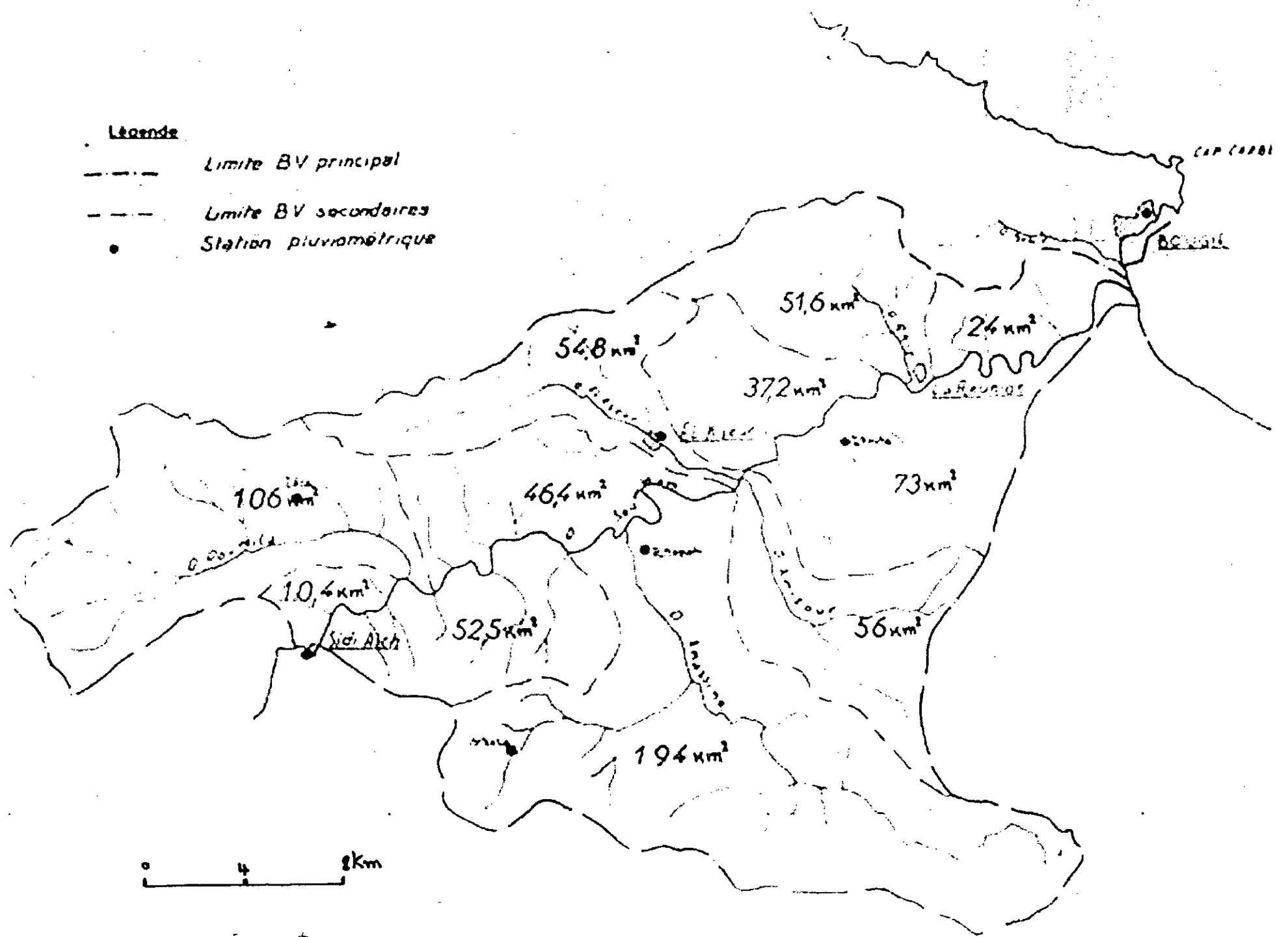


Fig.1.2: Bassin versant de la Soummam (in A.Coutelle, 1979).

## 1.4.2-Paramètres de relief

### 1.4.2.1-Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Le tracé de la courbe est représenté par le (fig.1.3) (Amghar, 1991) :

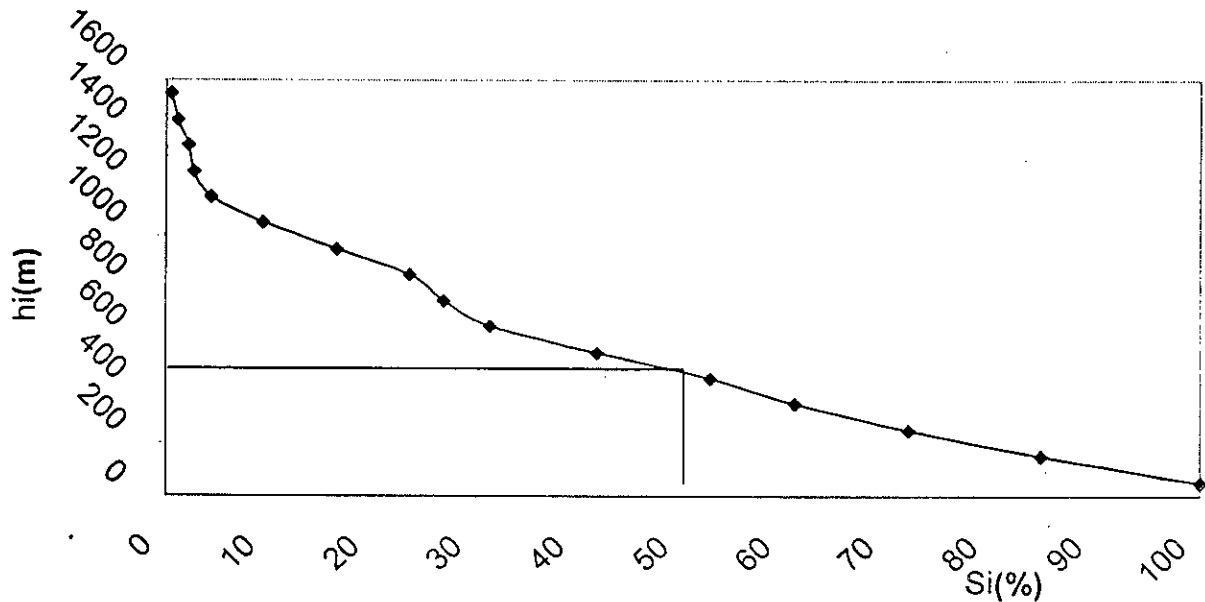


fig. 1.3: Courbe hypsométrique de la Basse vallée de la Soummam

On constate d'après la courbe hypsométrique que près de 60% de la superficie partielle du bassin est compris dans une altitude variant de 0m à l'embouchure de l'oued Soummam à 300m.

Les surfaces comprises entre 1150m et 1550m occupant moins de 5% de la surface totale.

#### 1.4.2.2-Elévation

Les variations d'élévations à l'intérieur d'un bassin ainsi que son élévation moyenne sont des données essentielles à l'étude de la température et de la précipitation

$$h_{moy} = \frac{\sum S_i h}{\sum S_i} = \frac{87500}{182} = 480.77 \approx 480.8m$$

#### 1.4.3-Paramètres des formes

##### 1.4.3.1-Indice de compacité de Graveluis (Kg)

$$K_x = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad p : \text{périmètre du bassin versant [Km] ;}$$

S : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>] ;

Pour un bassin circulaire, l'indice de compacité est égal à l'unité, la valeur de celui-ci augmente avec l'allongement du bassin. La valeur de Kg est chiffré à 1.66 (Zerourou, 1990),

Le périmètre est estimé à 169km (Ider, 2004);

##### 1.4.3.2-Dimension du rectangle équivalent

Elle est obtenue par deux méthodes ; méthodes graphique et numérique (par la relation de ROCHE): est estimé avec la méthode numérique par Zerourou (1990) :

$$\text{Longueur : } L_{RE} = 73.3Km \quad \text{largeur : } l_{RE} = 11Km$$

##### 1.4.3.3-Indice de pente Globale (Ig)

Il est donné par la relation suivante ;

$$I_g = \frac{D}{L_{RE}} \quad \text{Il caractérise l'altitude du bassin au ruissellement ;}$$



Où,  $D$  : dénivelée ou la différence :  $H_{5\%} - H_{95\%}$   
 $H_{5\%}$  : L'altitude correspond de 5% de surface du bassin ;  
 $H_{90\%}$  : L'altitude correspond de 90% de surface du bassin.  
 $D=1075-50=1025\text{m}$  ;  
 D'où:  $I_g=1.50\text{m/Km}$

La valeur de l'indice de pente global de Roche traduit une bonne aptitude du bassin de la Soummam au ruissellement;

#### 1.4.3.4-La pente moyenne

La pente moyenne du cours d'eau est donnée par la formule :

$$I_{c.moy} = \frac{\Delta H_{MAX}}{L} \quad \Delta H_{MAX} : \text{Dénivelée maximale du cours d'eau en [m] ;}$$

$L$  : longueur du cours d'eau principale en [m] ;

$I_{c.moy}$  : La pente moyenne.

$$L=46.7\text{Km (Ider, 2004)}$$

$$I_{c.moy} = \frac{H_{S_{aich}} - H_{Bejato}}{L} = \frac{90.5-0}{46.7 \cdot 10^3} = 1.9\text{m/Km}$$

La pente moyenne présente une valeur forte à celle de  $I_g$  qui donne un faible temps de concentration et aussi un fort débit du cours d'eau.

#### 1.4.3.5-Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique est le produit de l'indice de pente global ( $I_g$ ) par la racine carrée de la superficie du bassin( $S$ ):  $D_s = I_g \sqrt{S}$

Pour le bassin de notre étude, nous avons  $D_s = 203\text{m}$  (Ider, 2004). Nous concluons que le bassin de la basse Soummam possède un relief fort.

### 1.5- Influence de la morphométrie sur l'hydrogéologie

L'analyse précédente de la morphométrie, nous permet d'apporter un certain nombre d'éléments à l'hydrogéologie :

- Dans les régions Nord-Ouest et Sud-Ouest, le réseau hydrographique est très dense, le recouvrement est argileux et marneux d'où un écoulement important et une faible infiltration ;
- Dans les parties Nord-Est et Sud-Est, le recouvrement est grés-argileux affecté par un réseau de failles qui drainent tout l'écoulement superficiel, dans la plaine alluviale, l'infiltration est très importante eu égard à la nature lithologique alluvionnaire.

## 1.6-Conclusion

La Basse Soummam forme une vallée intra- montagneuse, très allongée suivant la direction NE-SO, a une superficie de 808Km<sup>2</sup>, un périmètre de 169Km et un indice de pente assez élevé de 1.5m/Km.

Le couvert végétal est dense et varie sur les hauts reliefs, où dominant les forêts de chênes Zeen et de chênes liéges. Les caractéristiques morphologiques, témoignent en faveur d'un régime hydro- climatologique particulier dans la région.

# Chapitre II

## Etude climatique

### 2.1-Introduction

Le climat est une ressource naturelle qui affecte une bonne partie des activités humaines telles que la production agricole, l'utilisation de certaines ressources telle que l'eau... etc.

L'étude climatique portera sur l'analyse des données climatologiques (précipitation, température,.....) et permettra d'estimer le bilan hydrologique.

Les stations climatiques étudiées sont : Béjaia Aéroport (longitude : 05°04', latitude : 36°43', altitude : 2m), Béjaia port (long : 05°06', lat. : 36°45', alt. : 9m) et celle du Domaine Maouche (long : 04°51', lat. : 36°38', alt. : 50m).

### 2.2-Pluviométrie

La pluviométrie est le facteur climatique le mieux connu dans la basse Soummam. D'après les résultats des études antérieures, la carte pluviométrique de la vallée de la Soummam (extraite de la « carte isohyètes de l'Algérie » dressée par Chaumont) (Zerourou, 1990) montre une répartition particulière des hauteurs de pluie à travers le bassin. Cette répartition est caractérisée par :

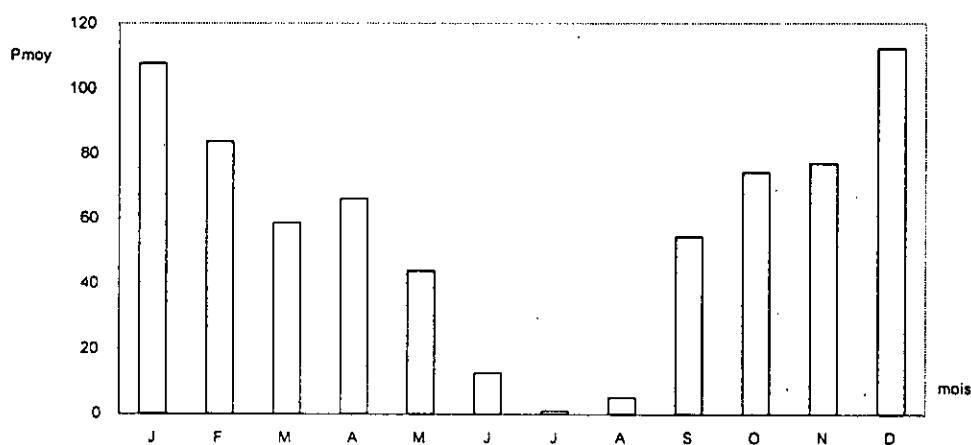
- Une augmentation systématique de la hauteur de pluie sur le versant Nord et sur les sommets des Babors, dans le versant Sud ;
- Une diminution progressive de la hauteur de pluie au fur et à mesure que nous nous éloignons de la zone littorale vers l'intérieur de bassin.

Les précipitations moyennes mensuelles observées dans la région de la basse Soummam pendant la période 1975-1987 pour la station du Domaine-Maouche et a été actualisée pour la période 1991-2001(Agence Nationale des Ressources Hydrique),aussi bien pour les stations de Bejaia Port et Bejaia Aéroport (Office National Météorologique).

Les tableaux 1, 2, 3, 4 représentent des précipitations moyennes mensuelles et ses caractéristiques statistiques ;

**Tableau. 1** : Précipitation moyenne mensuelle : station Bejaia Aéroport (1991-2001).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Moyenne mm	107.7	83.6	58.6	65.9	43.8	12.6	1.1	5.2	54.3	74.1	76.9	112.2	694.4
Ecat – type mm	69.5	53.7	50.9	35.3	41.7	14.8	1.04	4.2	34.6	69.9	47.2	72.4	148.4
Coefficient de variation $C_v$ %	64.2	64.2	86.8	53.6	95.2	117.5	94.5	80.7	63.7	94.3	61.4	64.5	21.4



**Fig.2.1** : Précipitation moyenne mensuelle dans la Bejaia Aéroport (1990-2001).

D'après le tableau 1 et fig.2.1, on constate que durant les mois pluvieux sont Septembre à Mai avec un maximum en décembre. Les mois secs vont de juin à Août. L'écart-type présente une irrégularité dans leur distribution et l'importance de la dispersion de la moyenne.

Le coefficient de variation est plus important en été qu'en hiver, il présente un maximum de 117.5% au mois de juin et un minimum de 53.6% au mois d'août.

**Tableau. 2** : Précipitation moyenne mensuelle de station Bejaia port (1991-2001).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Moyenne mm	110.5	77.3	48.1	75.2	47.5	9.9	4.1	5.2	50.5	56.7	81.5	127.7	691.3
Ecat – type mm	53	59	35.2	39.3	51.3	11.9	3.2	6.9	36.7	37.8	55.1	75.6	189.7
Coefficient de variation $C_v$ %	47.9	76.3	73.2	52.3	108	120.2	78	132.7	72.7	66.7	67.6	59.2	27.4

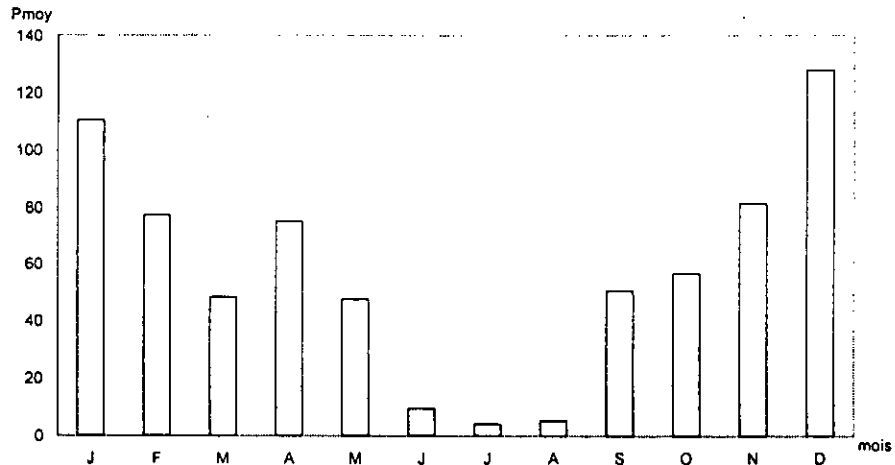


Fig.2.2 : Précipitation moyenne mensuelle dans la Béjaïa port (1991-2001).

D’après la fig.2.2 et le tableau 2 on remarque que les mois pluvieux vont septembre à Mai, le maximum est enregistré au mois de Décembre et le minimum au mois de juillet.

Une distribution irrégulière autour de la moyenne, le coefficient de variation est plus élevé en Août avec 132.7% et plutôt faible en Janvier avec 47.9%.

Tableau. 3 : Précipitation moyenne mensuelle de station Domaine- Maouche (1969-2000).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Moyenne (mm)	58.4	52.8	56.3	41.9	27.5	7.9	1.12	4.5	31.2	49.9	48.2	78.8	458.2
Ecat – type (mm)	48.6	42.7	36.8	29	30.1	8.5	1.4	7.2	23.5	32.1	30.5	57.6	118.5
Coefficient de variation (%)	83.2	80.8	65.4	69.2	109.5	107.6	125	160	75.3	64.4	63.3	73.1	25.86

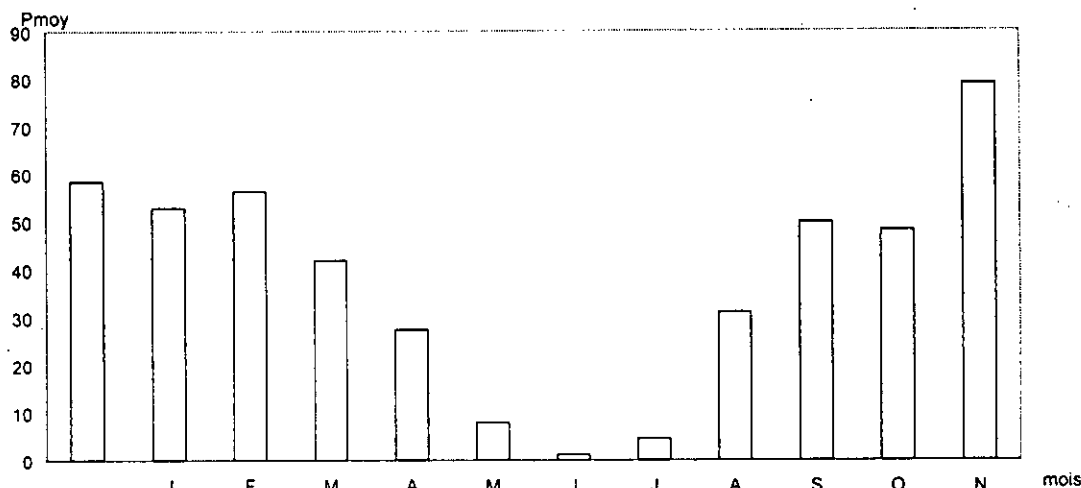


Fig.2.3 : Précipitation moyenne mensuelle au niveau de la station Domaine-Maouche (1969-2000)

Également la figure 2.3 et le tableau 3 les mois les plus pluvieux vont de Septembre Mai et les mois de Juin à Août sont secs.

Quand on compare les périodes 1975-1987 et 1969-2000, nous constatons que les dernières années sont des années sèches.

### 2.3-Répartition des précipitations moyennes annuelles

Les données des précipitations annuelles sont insérées dans le tableau 4 et les caractéristiques statistiques dans le tableau 5:

Tableau.4 : Précipitation annuelle de la vallée de la basse soummam.

Domaine – Maouche (1969-2000)					
Année	P an	Année	P an	Année	P an
1969	770.8	1980	506.8	1990	476.8
1970	389.2	1981	512.2	1991	455
1971	552.7	1982	335.8	1992	432.3
1972	672.7	1983	471.9	1993	304.1
1973	535.6	1984	601.4	1994	552.1
1974	392	1985	435.7	1995	499
1975	460.7	1986	570.2	1996	262.6
1976	220.5	1987	333.9	1997	618.5
1977	471.9	1988	445.3	1998	511.5
1978	359.2	1989	421.4	1999	335.6
1989	363.4			2000	392.4

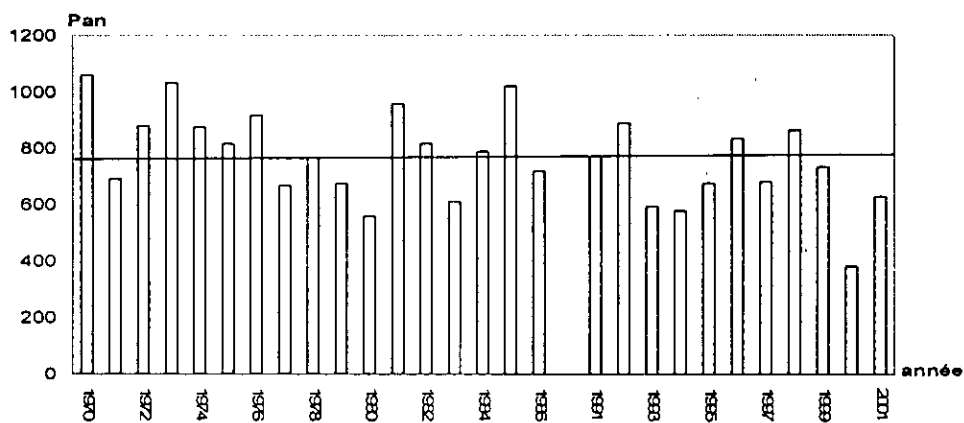


Bejaia Aéroport (1970-2001)					
Année	P an	Année	P an	Année	P an
1970	1059.7	1980	559.4	1993	593.2
1971	691.2	1981	958.8	1994	578.6
1972	880.6	1982	817	1995	676
1973	1032.9	1983	611.4	1996	835
1974	875.9	1984	788.7	1997	682
1975	916.6	1985	1020.4	1998	865
1976	918.2	1986	718.4	1999	734
1977	667.3	1991	772.6	2000	383
1978	767.2	1992	593.2	2001	629
1979	674.4				

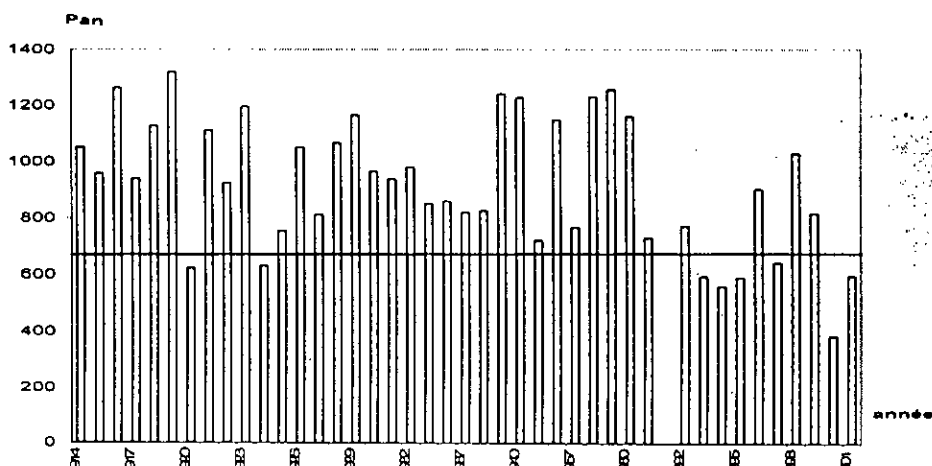
Bejaia port (1913-1962)					
Année	P an	Année	P an	Année	P an
1914	1052.4	1928	1067.8	1958	1231
1915	959	1929	1165.8	1959	1256.5
1916	1262.7	1930	966.3	1960	1161.8
1917	940.5	1931	939.4	1962	732.3
1918	1127.3	1932	982.5	1992	773.5
1919	1319.8	1933	854.4	1993	596.2
1920	623.3	1936	860.9	1994	561.9
1921	1112.1	1937	821.1	1995	593
1922	925.7	1938	828	1996	955
1923	1195.1	1939	1242	1997	645
1924	631.9	1940	1227.7	1998	1032
1925	755.4	1955	722.4	1999	820
1926	1051.9	1956	1148.5	2000	387
1927	813.1	1957	769.1	2001	599

**Tableau.5** : Les caractéristiques statistiques des trois stations sont les suivantes :

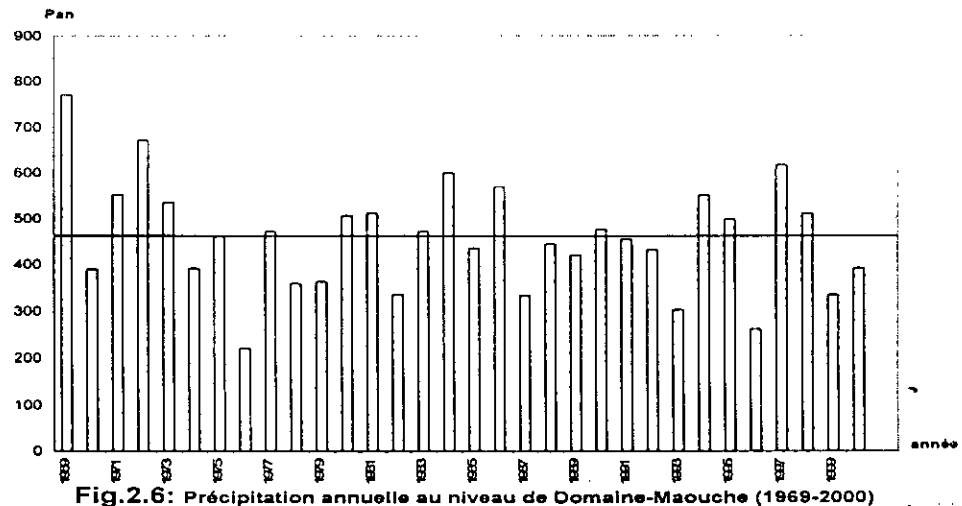
	Domaine - Maouche	Béjaia Aéroport	Béjaia port
Valeur minimale	220.5	383	38.7
Valeur maximale	770.8	1059.7	38.7
Moyenne	458.225	767.7	673.6
Médiane	457.8	769.9	49.3
Ecar type	118.5	159	234.6
Coefficient de Variation (%)	25.86	20.71	34.8



**Fig.2.4** : Précipitation annuelle de station Bejaia Aéroport (1970-2001).



**Fig. 2.5**: Précipitation annuelle de station Bejaia port(1914-2001).



D'après le tableau 4 et les figures 2.4, 2.5, 2.6 ; on constate une nette variation des précipitations annuelles d'une station à une autre, ceci est du, d'une part, à l'influence de la mer ou en s'éloignant du littoral, la pluviométrie décroît et à l'influence de l'altitude.

Les années où les précipitations sont supérieures à la moyenne sont des années humides alors que les années dont les précipitations sont inférieures à la moyenne sont dites sèches.

#### 2.4-Variabilité des précipitations

D'après ces figures nous constatons que les mois les plus pluvieux de l'année sont décembre et janvier, alors que les mois les plus secs sont juin et juillet ; la saison pluvieuse est beaucoup plus longue que la saison sèche ;

Les caractéristiques statistiques des précipitations moyennes mensuelles illustrées dans les tableaux précédents sont :

- Ecart-type : les précipitations moyenne mensuelle présentent une irrégularité dans leur distribution ;
- Coefficient de variation : Il marque l'importance de la dispersion autour de la moyenne, la dispersion des précipitations moyennes mensuelles est plus fort en été qu'en hiver.

On constate une nette variation des précipitations annuelles d'une station à une autre, ceci est du, d'une part, à l'influence de la mer ou en s'éloignant du littoral, la pluviométrie décroît, et d'autre part à l'influence de l'altitude.

### 2.5-Humidité de l'air

Les moyennes mensuelles d'humidité relative à la station de Béjaia Aéroport et Béjaia port pour la période 1991/1993 (tableau 6) ; varient respectivement de 73% et 65% à 88% et 73%.

La valeur moyenne annuelle est de 77% à Béjaia Aéroport et 70% à Béjaia port, On constate également que l'humidité relative mensuelle ne descend pas en deçà de 50% ceci est du à la proximité de la mer.

**Tableau.6:** Données de l'humidité relative d'après l'ONM (1991-1993).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Béjaia Aéroport	80	81	77	77	77.6	76	76	73	75	74	80	80	77
Béjaia port	67	70	70	69	73	72	71	70	67	65	70	67	70

### 2.6-Vent

Le vent est une caractéristique importante du climat Son action s'accompagne d'une évaporation plus ou mois accentuée à la surface du sol et du dessèchement de la couverture végétale. Nous ne disposons de données qu'à la station de Béjaia Aéroport pour la période 1991-2001(tableau 7) :

**Tableau.7:** Vitesse moyenne du vent (m/s) à la station de Béjaia Aéroport d'après l'ONM (1991-2001).

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Vitesse moyenne	3.4	3.5	3.1	3.3	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.9	3.3	3.5	3.1

La vitesse moyenne du vent à Béjaia Aéroport est de 3.1m/s, son maximum est atteint au mois de Décembre avec 3.5m/s et son minimum au mois de Septembre avec 2.7m/s.

## 2.7-Température

La température est un élément important conditionnant l'évaluation du déficit d'écoulement.

Nous disposons, pour notre étude, de deux stations météorologiques (tableau.8) où la température a été relevée à la période 1991/2001 :

**Tableau.8** : Températures mensuelle et annuelles en °C d'après l'ONM :

Station	Bejaia port			Bejaia Aéroport		
Période	1991-2001			1991-2001		
Moyenne	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
J	9.5	18	13.8	8.5	14.1	11.3
F	9.3	18.1	13.7	7.3	15.5	11.4
M	11.2	19.8	15.5	9.2	17.8	13.5
A	12.3	20.7	16.5	10.2	19.6	14.9
M	16.1	23.9	20	14.1	23	18.5
J	19.4	26.8	23.1	18	26.4	22.2
J	21.9	29.1	25.5	20.2	29	24.5
A	23.3	31.1	27.2	21.7	30.7	26
S	20.4	28.4	24.4	19.3	27.7	23.5
O	17.6	26	21.8	15.7	23.3	19.5
N	13.3	22.1	17.7	11.5	19.3	15.4
D	11.3	19.1	15.2	8.7	16.1	12.4
Année	15.5	23.5	19.5	13.6	22	17.8

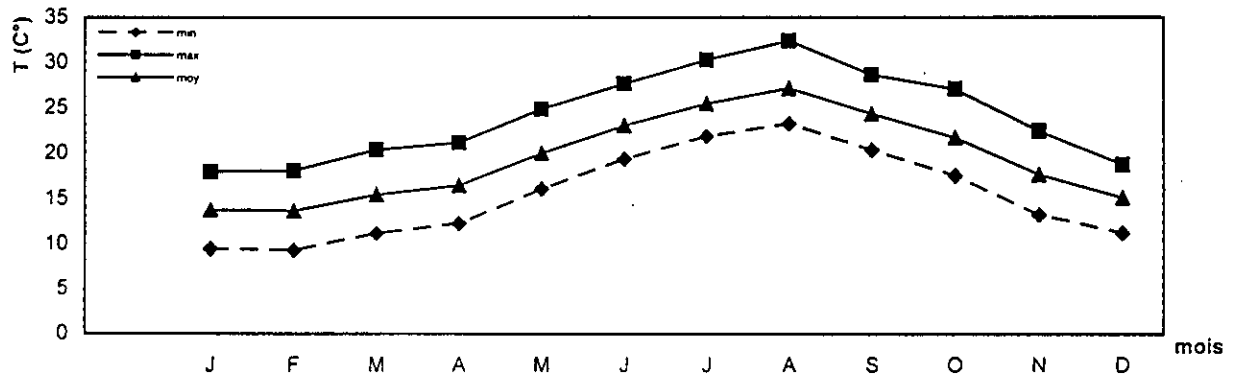


Fig.2.7: Variation de la température mensuelle au niveau de la station de Béjaia Port.

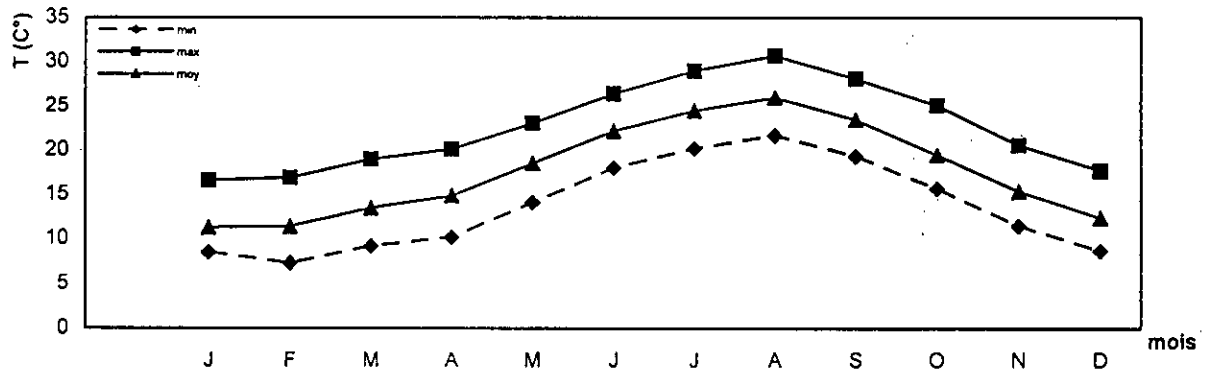


Fig.2.8: Variation mensuelle de la température au niveau de la station de Béjaia Aéroport.

D'après la répartition graphique et le tableau 7, nous constatons :

- Dans toutes les stations le mois d'août est le plus chaud de l'année, alors que janvier et février sont les mois les plus humides ;
- Le tableau 8 et les fig. 2.7, 2.8 montrent que la température minimale est de 8.5°C au niveau de la station de Béjaia Aéroport et une température de 21.7°C au mois d'août.
- La température maximale enregistrée au niveau de la station Béjaia Aéroport varie de 16.6°C au mois de janvier pour atteindre un maximum de 30.7°C au mois d'août.

Nous constatons que la température diminue du littoral vers l'intérieur du bassin, cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs dont les plus importants sont l'altitude et l'éloignement de la mer.

## **2.8-Evapotranspiration**

L'évapotranspiration est le principal facteur limitant les ressources en eaux exploitables dans un bassin versant.

Deux types d'évapotranspiration peuvent être défini :

- L'évapotranspiration potentielle ou E.T.P, représentant les pertes totales en eau du sol par évaporation directe et par transpiration biologique lorsque les réserves en eau du sol sont suffisantes et disponibles en permanence ;
- L'évapotranspiration réelle ou E.T.R, représentant la lame d'eau réellement évaporée par le sol et transpirée par l'action biologique.

### **2.8.1-Estimation de l'évapotranspiration potentielle**

L'évapotranspiration potentielle a été estimée à partir la méthode de Thornthwaite, tenant compte seulement de la température.

### **2.8.2-Estimation de l'évapotranspiration réelle**

L'évapotranspiration réelle a été estimée à partir de trois méthodes tenant en compte essentiellement de la température et de la pluie.

Les principales méthodes retenues pour l'estimation de l'E.T.R sont :

- Les méthodes empiriques de : Turc, Coutagne et Abaque de Wundt ;
- La méthode du bilan saisonnier de Thornthwaite.

## a)- E.T.P mensuelle d'après Thornthwaite

Pour estimer l'E.T.P nous avons utilisé la formule de Thornthwaite, elle est

donnée par la relation :  $E.T.P = 1.6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$

Avec : E.T.P : Evapotranspiration potentielle (cm) ;

T : Température moyenne mensuelle (°C) ;

a : Constante fonction de I ;

I : Indice Thermique annuelle ;

$$\text{Où : } I = \sum_{i=1}^{i=12} i \quad \text{et } i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = 0.492 + 1.7910^{-2}I - 7.7410^{-5}I^2 + 6.7510^{-7}I^3$$

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 9 ;

**Tableau.9** : Calcul de l'E.T.P par la méthode de Thornthwaite (période 1991/2001) :

Béjaia port (a=2.1)													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
T (°C)	13.8	13.7	15.5	16.5	20	23.1	25.5	27.2	24.4	21.8	17.7	15.2	19.5
I	4.70	4.45	5.55	6.10	8.16	10.15	11.57	12.99	10.89	9.29	6.78	5.38	96.01
E.T.P (cm)	3.48	3.22	4.37	9.98	7.47	10.11	12.44	14.25	11.34	8.95	5.78	4.20	95.59
E.T.Pc (cm)	3.03	2.74	4.51	10.98	9.04	12.34	15.43	16.53	11.68	8.69	4.97	3.53	103.47
Béjaia Aéroport (a=1.85)													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
T (°C)	11.3	11.4	13.5	14.9	18.5	22.2	24.5	26	23.5	19.5	15.4	12.4	17.8
I	3.62	3.76	4.15	4.96	6.49	8.47	10.61	11.02	13.87	7.85	5.49	3.86	84.15
E.T.P (cm)	2.94	3.08	3.48	4.32	6	8.31	10.95	11.47	15.18	7.57	4.89	3.18	81.37
E.T.Pc (cm)	2.56	2.62	3.58	4.75	7.27	10.14	13.58	13.30	15.64	7.35	4.21	2.67	87.67



Le tableau fait apparaître une diminution progressive de l'E.T.P à partir de Septembre, avec un minimum en février et une augmentation de l'E.T.P à partir de Juin, avec un maximum en Août.

## b)-Calcul de l'E.T.R à partir des formules empiriques

### b.1)-Formule de Turc

La formule de Turc est déduite d'observations faites sur de nombreux bassins et elle est applicable à tous les climats :

Elle s'écrit :

$$E.T.R = \frac{\bar{P}}{\left(0.9 + \left(\frac{\bar{P}}{L}\right)^2\right)^{1/2}}$$

avec :

$$L = 300 + 25T + 0.05T^2$$

Où :  
 P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;  
 L : Pouvoir évaporant fonction de la température (°C) ;  
 E.T.R : évapotranspiration réelle annuelle en (mm/an) ;  
 T : température moyenne annuelle en (°C).

Le résultat est présenté sur le tableau 10.

**Tableau.10** : Variation de l'E.T.R annuelle d'après la méthode de Turc.

	T (°C)	P <sub>an</sub> (mm)	L (°C)	E.T.R (mm/an)
Béjaia - port	19.5	691.3	1158.24	616.8
Bejaia Aéroport	17.8	694.5	1026.9	596.10

### b.2)-Formule de Coutagne

Cette formule tient essentiellement compte des précipitations et de la température. Son application est restreinte à la condition suivante :

$$\frac{1}{4\lambda} < p < \frac{1}{2\lambda}$$

La formule de coutagne s'écrit comme suit :

$$E.T.R = p - \lambda p^2 \quad \text{Avec :} \quad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

Où :            p : Précipitations moyenne annuelle en (m) ;  
                   T : température moyenne annuelle en (°C)

A partir le tableau 11, la condition est vérifiée.

**Tableau.11** : Calcul de l'E.T.R annuelle d'après la méthode de Coutagne.

	T(°C)	P (mm)	$\lambda$	E.T.R (mm)
Béjaia port	19.5	691.3	0.28	557.31
Béjaia Aéroport	17.8	694.5	0.30	550.1

### b.3)-Méthode de Wundt

L'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement déduit du diagramme de Wundt, est fonction de la température et les précipitations moyennes annuelles.

Les valeurs de l'E.T.R obtenues sont représentées dans le tableau 12 ;

**Tableau.12** : Calcul de l'E.T.R d'après la méthode de wundt.

	T(°C)	P (mm)	E.T.R (mm)
Béjaia port	19.5	691.3	630
Béjaia Aéroport	17.8	694.3	660

La valeur moyenne de l'E.T.R calculée à partir des formules empiriques précédentes est de :

Béjaia port : 601.37 (mm) ;

Béjaia Aéroport : 602.1 (mm).

Le bilan de Thornthwaite fait intervenir, d'une part, l'E.T.R et, d'autre part, les précipitations, les principes de la méthode de Thornthwaite a été décrit par Amghar, 1991. Les bilans sont présentes par le tableau 13.

**Tableau.13** : Calcul le bilan de Thornthwaite (période 1991/2001).

<b>Béjaia port a=2.10</b>													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P (mm)	110.5	77.3	48.1	75.2	47.5	9.9	4.1	5.2	50.5	56.7	81.5	127.7	<b>691.3</b>
E.T.P (mm)	30.3	27.4	45.1	109.8	90.4	123.4	154.3	165.3	116.8	96.9	49.7	35.3	<b>1034.7</b>
P- E.T.P	80.2	49.9	3	-34.6	-42.90	-113.5	-150.2	-160.1	-66.30	-30.20	31.80	92.40	-
R .F.U	100	100	100	65.40	22.5	0	0	0	0	0	31.80	100	-
E.T.R	30.3	27.4	45.1	109.8	90.4	32.4	4.1	5.2	50.5	56.7	49.7	35.3	<b>471.50</b>
Excédent (mm)	80.2	72.6	97	0	0	0	0	0	0	0	0	24.20	<b>274</b>
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	91	150.2	160.1	66.30	30.20	0	0	<b>497.80</b>
écoulement	38.2	34.6	46.2	21.9	10.5	5	2.4	1.1	0	0	0	11.52	<b>171.4</b>
<b>Béjaia Aéroport a=1.85</b>													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P (mm)	107.7	83.6	58.6	65.9	43.8	12.6	1.1	5.2	54.3	74.1	76.9	112.2	<b>694.4</b>
E.T.P (mm)	25.6	26.2	35.8	47.5	72.7	101.4	135.8	133	156.4	73.5	4.21	26.7	<b>876.7</b>
P- E.T.P	82.10	57.40	22.8	18.4	-28.90	-88.8	-134.7	-127.8	-102.1	0.60	72.69	85.5	-
R .F.U	100	100	100	100	71.10	0	0	0	0	0.60	73.29	100	-
E.T.R	25.6	26.2	35.80	47.5	72.7	83.7	1.1	5.2	54.3	73.5	4.21	26.7	<b>456.51</b>
Excédent (mm)	82.10	57.4	22.8	18.4	0	0	0	0	0	0	0	58.79	<b>239.49</b>
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	17.7	134.7	127.8	102.1	0	0	0	<b>382.3</b>
écoulement	43.2	30.2	12	9.68	5.1	2.7	1.4	0.7	0	0	0	30.9	<b>135.8</b>

## c)-Interprétation

**Tableau.14** : Résultats obtenus par le bilan de Thornthwaite.

	Béjaia port	Béjaia Aéroport
P (mm)	691.3	694.9
E.T.P (mm)	1034.7	876.7
E.T.R (mm)	471.5	456.5
Excédent (mm)	274	239.5
Déficit (mm)	497.8	382.3
Ecoulement (mm)	171.4	135.8

Les tableau 13 et 14 : permettent d'extraire les observations suivantes :

- Les précipitations annuelles dépassent l'évapotranspiration (E.T.P) pendant la période pluvieuse de Novembre jusqu'à Mars et le phénomène inverse pour le reste de l'année ;
- Au début de l'année agricole (Septembre et Octobre) les réserves utiles sont presque épuisées, il y a déficit d'écoulement pour le mois de septembre;  
Béjaia port est 66.30 mm ;  
Béjaia Aéroport est 102.1 mm.
- La période d'irrigation commence à partir du mois de juin et elle devient nécessaire, (période ou les réserves utilisées sont épuisées), le mois de la reconstitution du stock est Octobre (Béjaia Aéroport) et Novembre (Béjaia port) ;
- Le saison hiver, le sol est sature d'eau, avec un excédent d'eau qui va ruisseler à s'infiltrant dans la nappe ;
- L'écoulement commence à se manifester à partir du mois de décembre jusqu'au mois d'Août avec un maximum pour le mois de Mars à Béjaia port et Janvier à Béjaia Aéroport ;

- La valeur de l'E.T.R d'après la méthode du bilan de Thornthwaite est relativement faible par rapport à celle déterminée par d'autres méthodes.

## 2.9-Estimation du bilan hydrologique

L'équation classique du bilan hydrologique s'écrit :

$$P=ETR+R+I$$

- Où :
- P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;
  - R : Ruissellement moyen annuel en mm ;
  - I : Infiltration moyenne annuelle en mm ;
  - ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm.

### 2.9.1-Estimation du ruissellement

Le ruissellement de surface est généralement estimé à partir des débits journaliers mesurés à une station de jaugeage, mais l'indisponibilité de station hydrométrique à l'embouchure de l'oued Soummam, nous a contraint à utiliser la formule de Tisceront-Berkaloff pour estimer la lame ruisselée ; elle s'exprime :

$$R = \frac{P^3}{3 \cdot E.T.P^2}$$

- Où :
- P : Précipitations moyenne annuelle (mm) ;
  - E.T.P : Evapotranspiration potentielle annuelle (mm) ;
  - R : Ruissellement moyenne annuelle (mm).

Tableau.15 : Valeurs de ruissellement.

	Béjaia port	Béjaia Aéroport
P (mm)	691.3	694.4
E.T.P (mm)	1034.7	876.7
R (mm)	100	147.2

### 2.9.2-Estimation de la lame infiltrée

La lame infiltrée représente les apports à la nappe à partir des précipitations efficaces, elle est déduite d'après l'équation du bilan :

$$I=P-(E.T.R+R).$$

Avec:

Tableau.16 : Résultats de calcul de l'infiltration.

	Béjaia port	Béjaia Aéroport
P (mm)	691.3	694.4
R (mm)	100	147.2
E.T.R (mm)	471.5	456.5
I (mm)	119.8	90.7

La lame infiltrée dans la basse Soummam représente 17.3% au niveau de la station de Béjaia Aéroport ,13.1% dans la station Béjaia port ;

Ceci est du aux caractéristique géomorphologiques et à la prédominance des formations imperméable favorisant ainsi le ruissellement.

## 2.10-Conclusion

D'après ce que nous avons réalisé, les principales caractéristiques hydro climatologiques avec la disponibilité des données relatives au climat au niveau de la basse Soummam sont :

- 1- L'étude des facteurs climatiques nous a permis de distinguer deux saisons distinctes :

Une saison humide et froide, s'étendant de Novembre à avril et une saison aride à semi aride à chaude s'étendant de Mai à octobre ;

- 2- Les précipitations moyennes annuelles au niveau des deux stations étudiées (période 1991/ 2001) est de 693 mm cette valeur est proche de celle calculer par Amghar (1991) qui est de 609 mm relative à le période (1970/1985) ;

- 3- La température moyenne annuelle dans le bassin est de l'ordre 18.7°C (période 1991/2001) alors que celle la période 1970/1985 est de 16°C ;

Nous constatons que la température n'évalue pas relativement en fonction de temps en comparaison avec les précipitations ;

- 4- L'évapotranspiration potentielle est estimée à l'aide de la méthode de C.W.Thornthwaite, la moyenne est de l'ordre 956 mm (période 1991/2001) au niveau de bassin versant cette valeur est 864 mm (période 1970/1985);

- 5- L'évapotranspiration réelle estimée à partir des méthodes de Turc et de Coutagne donne une moyenne de 580.1 mm (période 1991/2001) au niveau du bassin versant cette valeur est 459 mm (période 1970/1985) :

- 6- La lame d'eau ruisselée est de 100 mm à Béjaia port et de 14 mm à Béjaia Aéroport et la lame infiltrée est de 120 mm à Béjaia port et 91mm à Béjaia Aéroport, et à l'échelle du bassin versant la lame ruisselée est de 100.3 mm, et la lame infiltrée de 49.7 mm (période 1970/1985) ;

# Chapitre III



## Cadres Géologique et hydrogéologique

### 3.1-Cadre géologique

Dans cette étude, nous décrivons la lithologie ainsi que la structure géologique dans le but d'identifier les horizons aquifères.

#### 3.1.1-Aperçu géologique de l'Algérie septentrionale

La chaîne des Maghrébides est une partie de la chaîne alpine périméditerranéenne qui se raccorde à l'Ouest et vers le Nord au niveau de l'arc de Gibraltar.

Il s'agit d'un domaine très affecté par des formations d'âge mésozoïque et cénozoïque.

La région est divisée en deux zones, du point de vue géologique (Clinks, 1973) :

- zones internes ;
- zones externes

Les zones internes comprennent le socle cristallin et sa couverture d'âge paléozoïque, sur ce paléozoïque viennent en discordance des termes argilo-gréseux d'âge triasique, des calcaires et marno-calcaire d'âge jurassique. Dans ces zones, on trouve aussi une zone de flyschs constituée de sédiments flyschoides (quartzo-pellitiques, conglomérats, marno- calcaires et des micro- brèches).

Dans cette région, on distingue deux types de flyschs :

- flyschs Mauritanien ;
- flyschs Massylien.

Les zones externes sont constituées par un ensemble d'unités para-autochtones et allochtones, on y distingue :

- Des nappes épitelliennes : comportent un trias gypsique, un crétacé inférieur marneux et un crétacé supérieur sous forme de marnes d'épaisseur kilométrique :

- Des nappes ultra- telliennes de formations d'âge Néocomien Eocène moyen ;
- Des nappes infra- telliennes : sont composées d'un empilement d'unités dont l'âge va du Sénonien à Eocène, le Crétacé est composé d'argile, l'Eocène de calcaire et de marnes et l'Oligocène de marnes gréseuses.

Enfin, dans cette région, on trouve aussi une nappe Numidienne composée d'épais bancs de grès grossiers essentiellement quartzeux ( Mhidi 1993 in Benaissa 2003), de teinte claire et de puissantes assises basaltiques ou argileuses de teinte grisâtre d'âge Oligocène supérieur à la base.

### 3.1.2-Cadre géologique local

#### 3.1.2.1-Description litho-stratigraphique

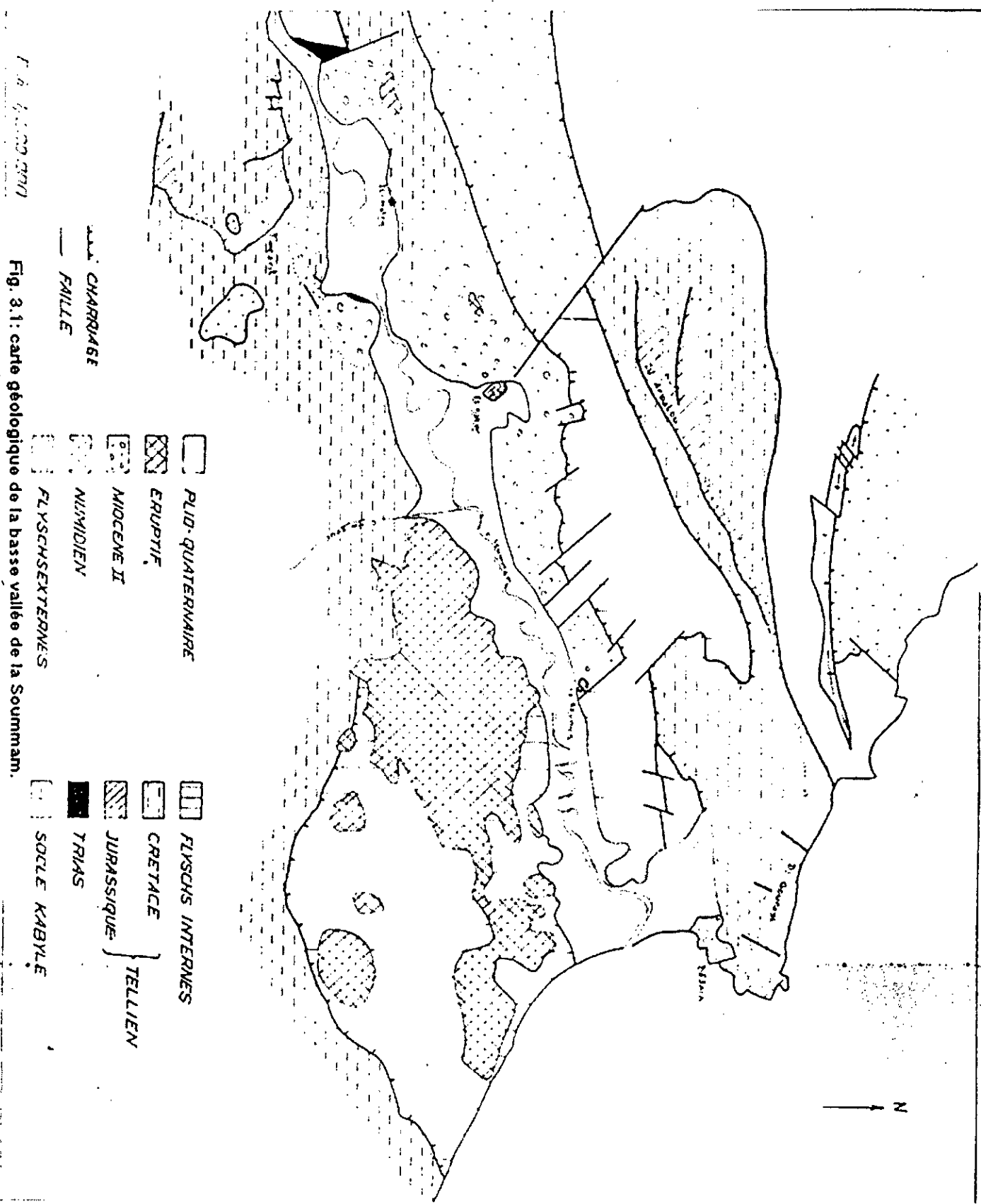
La série stratigraphique affleurant au niveau de la région de la basse Soummam en partant de la plus ancienne à la plus récente est la suivante (fig. 3.1 ; d'après A.Coutelle, 1979).

- Le trias : Il est présent dans la région d'étude sous forme de pointements locaux, on le trouve sous forme d'intrusion le long des accidents, et il est formé essentiellement de masses gypso- salines, d'argiles versicolores et de formation gréso- dolomitique.
- Le jurassique : Il affleure essentiellement au Nord du bassin, au niveau du Djebel Aghbalou – Gouraya et au Sud-Est de Sidi-Aich.  
Le jurassique est constitué :
  - 1- de calcaires dolomitiques plus au moins stratifiés ;
  - 2- de calcaires noires et de marno- calcaires.
- Le crétacé : Dans la région étudiée, le crétacé est caractérisé par une grande diversification de faciès. Pour simplifier les descriptions lithologiques, nous distinguerons deux types de faciès :
  - un faciès tellien constituant principalement les unités de Gouraya- Aghbalou et de Barbacha ;
  - Un faciès flysch représenté essentiellement par les flyschs massyliens.

Le crétacé tellien n'affleure qu'en rive droite de la Soummam (de Sidi-Aich à Oued Amizour), il est essentiellement formé de marnes schisteuses noires et de marno-calcaires.

Le crétacé à faciès flyschs affleure largement sur le versant Nord de la vallée de la Soummam, où il repose, par l'intermédiaire d'un contact anormal de base, sur les formations du crétacé tellien.

- Le miocène : Dans la région de la basse vallée de la Soummam, on ne rencontre que le Miocène 2 (Miocène post-nappe). Il affleure sur la rive gauche de la Soummam (de Sidi-Aich à Réunion "Oued Ghir"), et sur la rive droite, au Sud de Béjaïa à Oued Amizour. Il est représenté par :
  - Des formations sédimentaires d'âge Langhien ;
  - Des formations éruptives.
- Pliocène : Il est représenté par deux faciès marneux passant latéralement à des argiles. Il affleure sur les bordures de l'Oued Ghir à Djebira. Un faciès continental formé de brèches et de poudings affleurant au pied du Djebel Gouraya et Béjaïa ville.
- Le quaternaire : ce dernier est formé essentiellement :
  - D'alluvions anciennes constituées de galets, de graviers et de sables à matrice argileuse et sableuse ;
  - D'alluvions récentes formées de limons, de sables et de cailloutis au niveau du lit majeur de la Soummam ;
  - Des brèches de pentes consolidés et de cônes d'éboulis récents ;
  - De cônes de déjection des principaux affluents.



### 3.1.2.2-Tectonique

La tectonique de la région est composée de 4 phases tectoniques d'âge mésozoïque :

- La phase Néocomienne ;
- La phase Sénonienne;
- La phase Paléogène ;
- La phase Miocène.

Les phases tectoniques ont profondément fracturé cette région. On y décelera 2 grandes familles de failles de direction NO et NE (fig.3.1 ; d'après A.Coutelle, 1979).

Cette dernière famille de faille a constitué une vraie zone de drainage dont certains endroits forment de véritables réseaux de drainage naturel d'eau.

### 3.1.2.3-Formation du remplissage de la vallée

Les formations du remplissage Mio- plio- quaternaire, de la vallée de la basse Soummam, forment deux nappes superposées (Zerourou, 1990) :

- une nappe plus au moins profonde liée aux formations du Miocène continental ;
- une nappe superficielle associée aux alluvions quaternaires de la Soummam.

L'examen des coupes hydrogéologiques a permis d'identifier deux types de nappes aquifères, une nappe libre (de Sidi-Aich à El-Kseur), et une nappe semi-captive (d'El-Kseur jusqu'à Bejaia).

### 3.1.2.4-Description et géométrie de l'aquifère

Les travaux de la prospection géophysique réalisés par la compagnie générale de géophysique (CGG in Amghar, 1991) en 1961 et 1970, ainsi que les sondages effectués dans la plaine de la Soummam ont mis en évidence la structure du réservoir et sa forme géométrique.

Les formations aquifères de remplissage alluvial sont constituées principalement d'alluvions grossières. Ces dernières constituent une bande continue, allant de Sidi-Aich à la mer. Elles sont constituées de galets, de graviers, de sables et d'argiles.

Les formations grossières ont une épaisseur plus importante au Sud d'Il-Maten et d'El-Kseur (Amghar, 1991).

La bande s'étend sur une longueur d'environ 35 à 37 km et d'une largeur variant de 500 à 2500m. Cette bande atteint son maximum à Remila, El- Kseur et à la confluence de l'Oued Amassine et Oued Amizour.

Ces alluvions s'amincissent et s'approfondissent à partir de l'Oued Ghir pour laisser la place à un recouvrement argileux assez puissant (jusqu'à 50m d'épaisseur avec l'existence de lentilles de graviers et de galets).

Concernant sa capacité, le volume du réservoir a été estimé à partir des coupes géo- électriques réalisées par la C.G.G en 1970 et complétées par des forages mécaniques. Le volume du terrain aquifère est de l'ordre de 997Km<sup>3</sup> (Clinks, 1973).

### 3.2- Apport de la géophysique

L'examen des coupes géoélectriques transversales, orientées NS et SE- NW réalisée par la C.G.G en 1970 in Amghar, 1991 a permis de mettre en évidence deux niveaux de fortes résistivités apparentes et de profondeurs variables. Ces deux niveaux sont recouverts par un niveau très résistant, Les résistivités variant de 100 et 600  $\Omega\text{m}$ , et reposent sur un niveau très conducteur qui constitue le substratum dans la partie aval. Certaines coupes géoélectriques montrent une séparation très nette de niveau résistant superficiel ( $\rho_{\text{app}}=40$  à  $60 \Omega\text{m}$ ), par rapport au niveau résistant profond de  $\rho_{\text{app}}=80$  à  $90 \Omega\text{m}$  par l'existence d'un niveau intercalaire conducteur de  $\rho_{\text{app}}=10$  à  $15 \Omega\text{m}$  (Amghar, 1991).

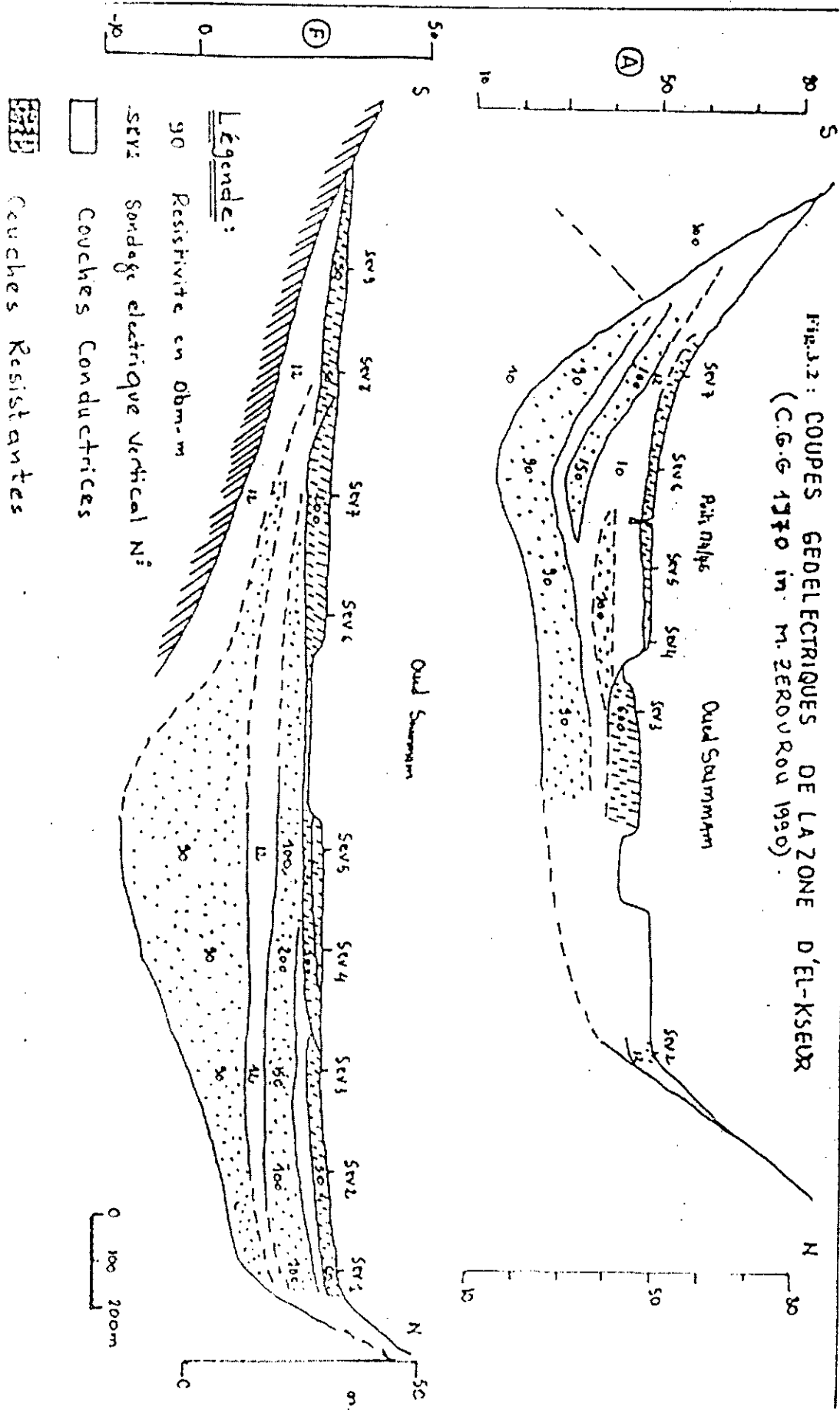
L'identification de ces différents niveaux à partir des résultats des sondages étalons ont permis d'attribuer :

- Les deux niveaux résistants d'épaisseur variable (fig. 3.2, 3.3) aux alluvions grossières humides ;

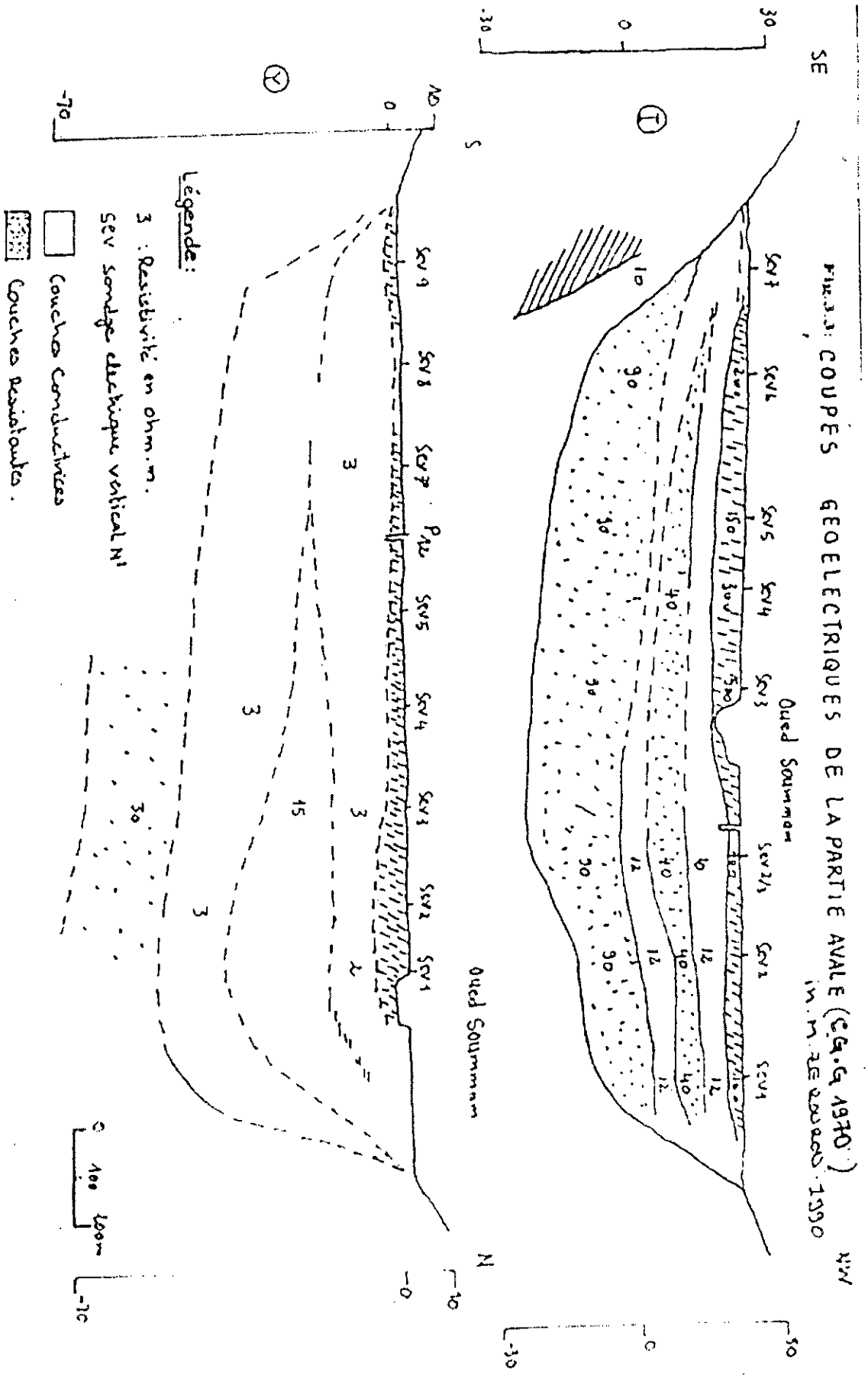
- Le niveau superficiel très résistant d'épaisseur (0 à 5m) à des limons et des alluvions limoneuses sèches ;
- Les niveaux conducteurs, d'épaisseurs variables, à des argiles ou des marnes de teinte grise ou gris bleue du pliocène dans la partie avale et numidien et du crétacé supérieur dans la partie amont.

Les études géologique et géophysique ainsi établies et en analysant les résultats obtenus, nous nous ont permis d'identifier un seul réservoir de formation hétérogène Mio- plio- quaternaire.

- *Le miocène grossier* : Il a été atteint dans la région d'El-Maten où son épaisseur est de 10 à 25m. On le rencontre d'ailleurs à l'affleurement en rive gauche et droite de l'oued Soummam.  
Dans la région d'El- Kseur où son épaisseur varie de 10 à 25m. Mais la différenciation Miocène- alluvions est très difficile, vers l'aval le Miocène semble uniquement argileux (Clinks, 1973).
- *Les alluvions* : dans l'axe de la vallée, de la confluence de l'oued Remila à Aguellal, l'épaisseur des alluvions varie de 35 à 40m, d'Aguellal à l'exutoire, elle augmente progressivement de 35m à plus de 70m. On notera d'autre part que les limons prennent de plus en plus d'importance au détriment des éléments grossiers de l'amont vers l'aval et dans l'axe de la vallée (2 à 3m dans la région d'El- Kseur, 37m dans la région de oued Ghir) (Clinks, 1973).







### 3.3-Hydrogéologie

Généralement l'hydrogéologie, a pour l'objet l'étude du rôle des matériaux constituant le sol et sous sol et des structures géologiques dans l'origine, la distribution et le mode de gisement, les modalités de l'écoulement et les propriétés physico-chimiques de l'eau. Elle se préoccupe également de l'exploitation (géologie appliquée) et de la conservation des ressources en eaux souterraines.

#### 3.3.1-Etude hydrodynamique

##### 3.3.1.1-Inventaire des points d'eau

Le réseau piézométrique de la nappe du remplissage alluvial de la basse Soummam a été réalisé par le S.E.S de 1966 à 1968 in Zerourou, 1990, un nombre important de puits (environ 140 existent dans la région), nous avons sélectionné 58 points d'eau pour lesquels, il a été analysé des éléments chimiques.

Nous avons choisi les mesures de l'année 1983 pour laquelle, nous disposons suffisamment de données.

Nous avons schématisé la carte des points d'eaux ci-dessous (fig.3-4) par 58 points disponibles dans notre étude.

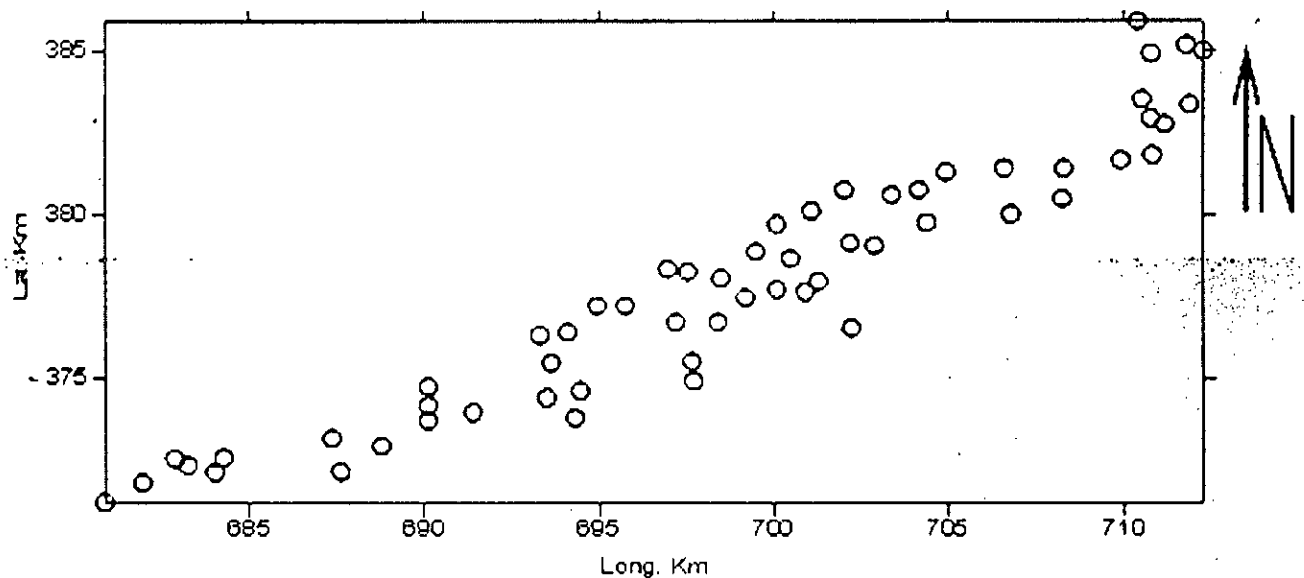


Fig. 3.4: Carte des points d'eaux

Nous constatons que la carte des points d'eaux fait ressortir le tracé de la vallée de la Basse Soummam, tracé orienté du NE vers le SW.

La zone montagneuse est représentée par l'absence de points d'eau.

### 3.3.1.2-Piézométrie

D'après l'interprétation de la carte piézométrique (Mars-Avril 1983) (Benaïssa, 2003) (Fig. 3.5), cette carte montre :

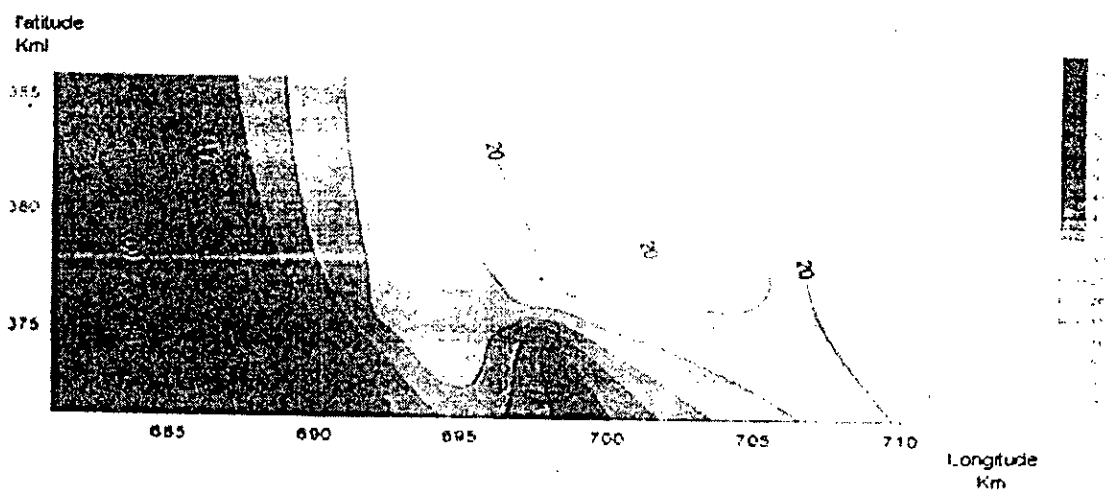


Fig.3.5 : Carte piézométrique krigée.

- Une direction parallèle à l'allongement de la vallée d'orientation générale SW-NE ;
- Une direction normale à l'axe de la vallée d'orientation générale SE-NW ;
- L'écoulement de la nappe aquifère se fait du SW vers le NE, le sens d'écoulement caractérise la circulation principale du bassin hydrogéologique du remplissage alluvial, de l'amont vers l'aval, s'écoulant ainsi vers la mer ;
- L'écoulement principal de la nappe est convergent d'amont en aval, et divergent dans la plaine côtière ;

- Les axes de drainage des eaux souterraines sont nettement individualisés :
  - un axe principal à la partie centrale de la plaine ;
  - Des axes secondaires se superposent aux vallées des principaux affluents ;
  - Les eaux souterraines convergent toutes vers l'axe principal, sauf dans la plaine côtière.

### 3.3.1.3-Paramètres hydrodynamiques

#### Charge hydraulique et perméabilité :

La perméabilité et la charge hydraulique de la nappe du remplissage alluvial sont très variables.

Nous disposons des données de cartographie des paramètres hydrodynamiques réalisés par Ider et Amiri, 1998 et Benaissa, 2003, la cartographie a été réalisée par les méthodes géostatistique en utilisant les programmes GEO.EAS (Englund et Sparks, 1991) et VARIOWIN (Pannatier, 1998).

Les constatations que l'on peut énumérer concernant ces paramètres hydrodynamiques sont les suivantes :

#### 3.3.1.3.1-La charge hydraulique

- Les valeur minimale (-0.230m) et maximale (76.770m) est éloignées, ce qui montre que l'entendue est importante ;
- La direction principale de l'écoulement se fait de l'Ouest vers l'Est, le long de la vallée principale de la Soummam, des écoulements secondaires se fait des bordures Sud vers l'axe de la vallée ;
- Le gradient hydraulique diminue de l'Ouest vers l'aval ;
- la variation de gradient hydraulique est irrégulière de centre de la vallée jusqu'à l'exutoire ;

#### 3.3.1.3.2-La perméabilité

- La perméabilité est très faible de l'amont jusqu'à le centre de la vallée ;
- elle est très élevée au centre de la vallée jusqu'à la partie aval.

### 3.3.1.3.3-Transmissivité

La transmissivité varie dans les larges proportions, elle est de  $4.10^{-2}m^2/s$ , on distingue deux, particulières (Amghar, 1991) :

- La première, située entre Sidi- Aich et oued- Amizour où les valeurs sont plus élevées allant de  $9.10^{-2}$  à  $3.10^{-1} m^2/s$  ; à cause de l'importance de l'épaisseur des formations grossières et à la porosité d'interstice assez élevée;
- La seconde, située entre oued- Amizour et l'embouchure de l'oued Soummam ; les valeurs de la transmissivité sont faibles, de  $2.10^{-4}$  et  $9.10^{-3}m^2/s$ , ceci pourrait s'expliquer par l'épaississement du recouvrement limon- argileux qui réduit l'épaisseur de la formation grossière .

*Remarque* : En général, les valeurs de la transmissivité augmentent des terrains de bordures vers l'axe de l'oued et également dans le sens d'écoulement des eaux.

### 3.3.1.3.4-Coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement est le paramètre le moins caractérisé en raison du nombre limité de piézomètres, il varie de 0.07% à 0.74% dans la zone amont, et de 0.15% dans la zone avale.

### 3.4-Conclusion

- La plaine constitue un sillon intramontagneux de direction NE- SW ;
- Les formations géologiques susceptibles d'être aquifères dans notre région d'étude sont :
  - *Le crétacé* : Le faciès tellien et flysch Massylien grésocalcaire de Gouraya, Aghbalou et de Barbacha ;
  - *Le Miocène* : Comprenant les formations sédimentaires et magmatiques, ces dernières étant fortement altérées et fracturées ;
  - *Le pliocène* : faciès continental ;
  - Le remplissage alluvial quaternaire.
- Les formations du remplissage alluvial présentent une bonne perméabilité d'interstice d'épaisseur assez élevée, constituent ainsi un milieu d'investigation des eaux souterraines plus favorable ;
- L'étude piézométrique, nous a permis de définir la direction principale d'écoulement des eaux ;
- La répartition spatiale des paramètres hydrodynamiques montre de fortes valeurs au niveau de la zone amont que pour la zone avale.

De façon générale, les paramètres hydrodynamiques de la basse vallée de la Soummam sont élevés dans la zone amont où la nappe est libre et localement semi-captive et deviennent faibles dans la zone avale où la nappe est captive et légèrement artésienne dans la vallée de Oued Ghir (Zerourou, 1990).

# Chapitre IV

## Hydrochimie

### 4.1-Introduction

L'hydrochimie constitue une partie essentielle pour suivre l'évolution de la qualité des eaux souterraines.

L'objectif essentiel de ce chapitre sera d'élaborer des tracés de cartes d'égales valeurs.

Dans la vallée de la basse Soummam quatre campagnes hydrochimiques (1968-1974 par l'ANRH, 1971 par Clinks et 1983 par Zerrourou) ont été effectuées (Amghar, 1991).

Pour ce qui est de notre étude, nous disposons de 58 points pour la description cartographique des paramètres chimiques étudiés.

### 4.2-Paramètres chimiques

Les principaux ions choisis feront l'objet d'une cartographie automatique par krigeage. Les éléments chimiques retenus sont les suivants :

- Cations :  $\text{Na}^+$  ;
- Anions :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  ;
- Et la conductivité électrique CE;

Le choix de ces paramètres est justifié par plusieurs raisons :

- La CE représente la minéralisation des eaux, elle nous informe sur la charge saline des eaux souterraines ;
- Le Sodium est un élément contraignant, sa présence peut être reliée à la proximité de la mer ;
- Les chlorures sont associés à la mer et également à la pollution ;
- Les Nitrates ont pour origine la pollution.

Les eaux souterraines profondes ont une minéralisation plus stable dans le temps et plus importante que les eaux de surface ou de sub-surface.



### 4.3- Caractéristiques des paramètres chimiques

#### 4.3.1- Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique exprimée en (mmhos/cm) mesure la minéralisation. Elle dépend de la concentration en diverses substances minérales dissoutes lors de la traversée par l'eau des différentes roches.

#### 4.3.2- Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Les nitrates en (mg/l) sont des sels minéraux dissous, qui les plus nocifs sont les composés de l'azote, leur concentration provoque des troubles graves chez les jeunes vertébrés. Rarement rencontrés dans les formations géologiques, les nitrates sont essentiellement d'origine agricole.

#### 4.3.3- Chlore ( $\text{Cl}^-$ )

La teneur en chlore en (mg/l) des eaux est extrêmement variée, elle peut subir des variations provoquées :

- Dans les zones arides par un lessivage superficiel en cas de fortes pluies ;
- En zones côtières par des infiltrations d'eaux de mer dans les nappes, en particulier lors des pompages excessifs ;
- Par des rejets d'animaux et humaines (urines).

#### 4.3.4- Sodium (Na)

Le sodium est un élément constant de l'eau, leur concentration en (mg/l) parfois est variable, indépendamment des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les argiles sodiques, des retombées d'origine marine et de la venue d'eaux salées dans les aquifères.

D'une façon générale, il n'existe pas de dangers dans l'absorption de quantités relativement importantes, sauf pour certains malades.

## 4.4- Représentation cartographique des paramètres

### 4.4.1- Construction du variogramme

La cartographie des paramètres est basée sur l'analyse géostatistique nous avons utilisé le logiciel VARIOWIN (Pannatier, 1998) pour la détermination des variogrammes, ce logiciel est décrit en détail par Ider, 1998 et Benaissa, 2003.

La cartographie a été réalisée par Surfer 8.0 (Golden Software, 2002).

### 4.4.2- Résultats obtenus

#### 4.4.2.1- Ajustement et validation

Le programme VARIOWIN permet l'identification de la direction principale, d'évaluation du phénomène étudié par l'établissement du variogramme expérimental, qui montre une continuité maximale dans une direction donnée.

Les directions obtenues pour chaque élément analysés sont représentées dans le tableau 4.1 ;

Tableau. 4.1: Direction de continuité maximale des éléments analysés.

Eléments	CE	Na	Cl	NO <sub>3</sub>
Direction	90°	45°	35°	45°

En se référant au variogramme de surface, ce dernier donne la direction d'anisotropie et d'isotropie.

L'établissement des variogrammes en fonction de ces directions permet de déterminer le rapport d'anisotropie après leurs ajustements qui présente un paramètre important pour le krigeage.

Dans le programme Variowin2D, nous choisissons un Lag Spacing (espace entre les classes) et un nombre de classes par chaque élément étudié, les résultats obtenus figurent dans le tableau 4.2 ;

Tableau. 4.2: Caractéristiques des variogramme de surface.

	CE	Na	Cl	NO <sub>3</sub>
Lag spacing (km)	1.8	1.85	1.60	2.60
Number of Lag	5	3	4	3

Les variogrammes de surface montrent des directions privilégiées (Fig. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4);

On trace les variogrammes expérimentaux directionnels de chaque élément selon leurs directions (Fig. 4.5, 4.6, 4.7, 4.8):

Tableau.4.3 : Caractéristique des variogramme de surface.

	CE	Na	Cl	NO <sub>3</sub>
Direction	0	0	0	0
Angulaire tolérance	35°	45°	35°	45°

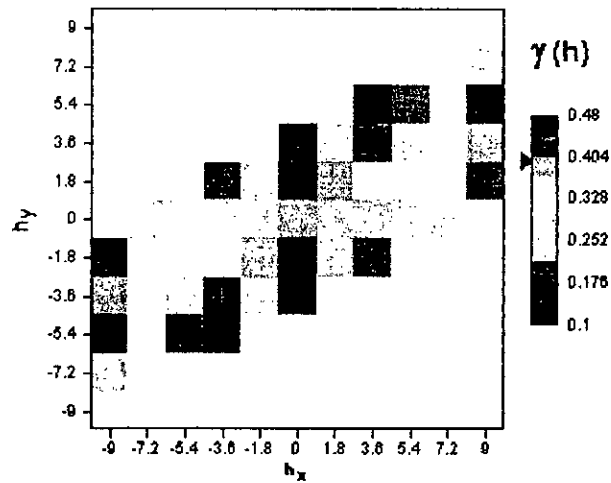


Fig.4.1 : Variogramme de surface de la CE.

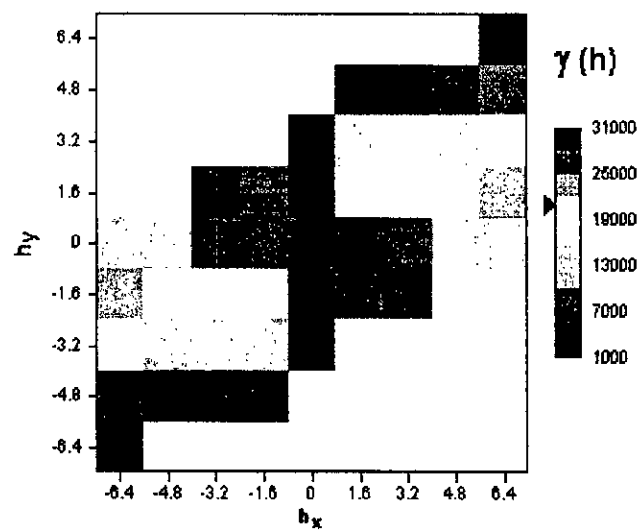


Fig.4.2 : Variogramme de surface des Chlorures.

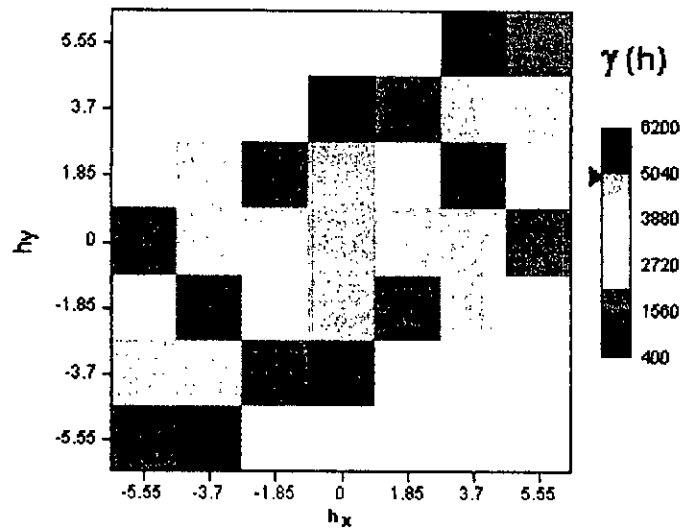


Fig.4.3 : Variogramme de surface des Sodium.

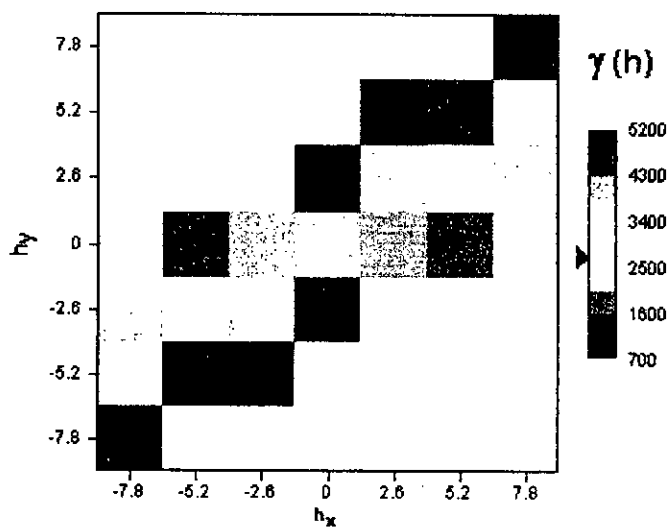


Fig.4.4 : Variogramme de surface du Nitrates.

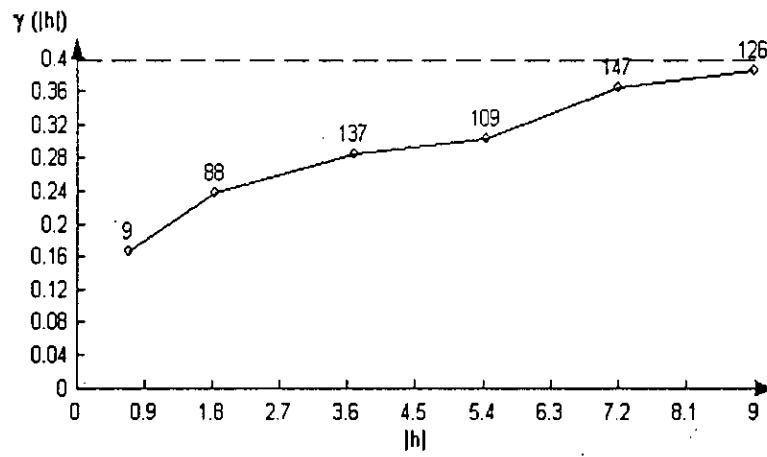


Fig.4.5a : Variogramme directionnel expérimental de CE (direction 0°).

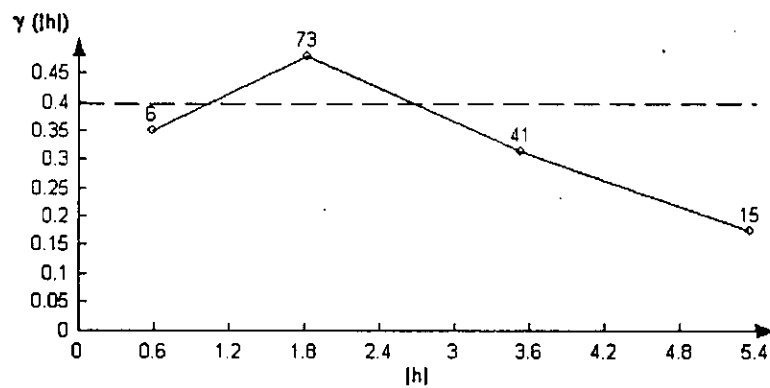


Fig.4.5b : Variogramme directionnel expérimental de CE (Direction 90°).

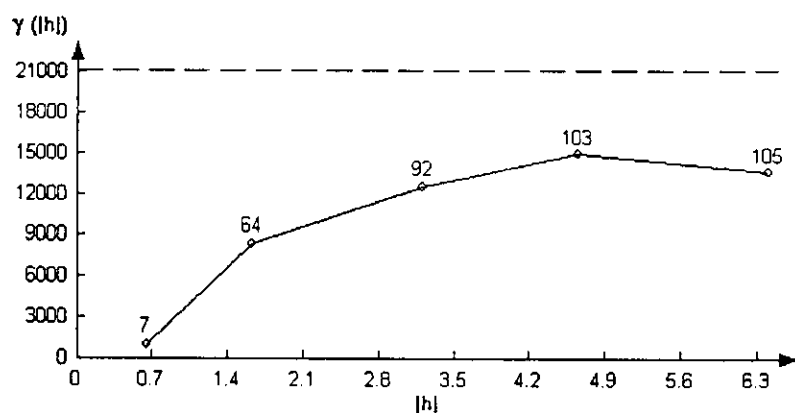


Fig.4.6a : Variogramme directionnel expérimental des Chlorures (Direction 0°).

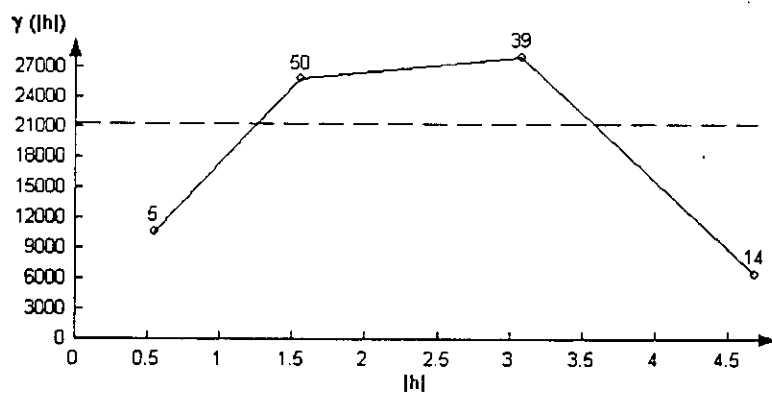


Fig.4.6b : Variogramme directionnel expérimental des Chlorures (Direction 90°).

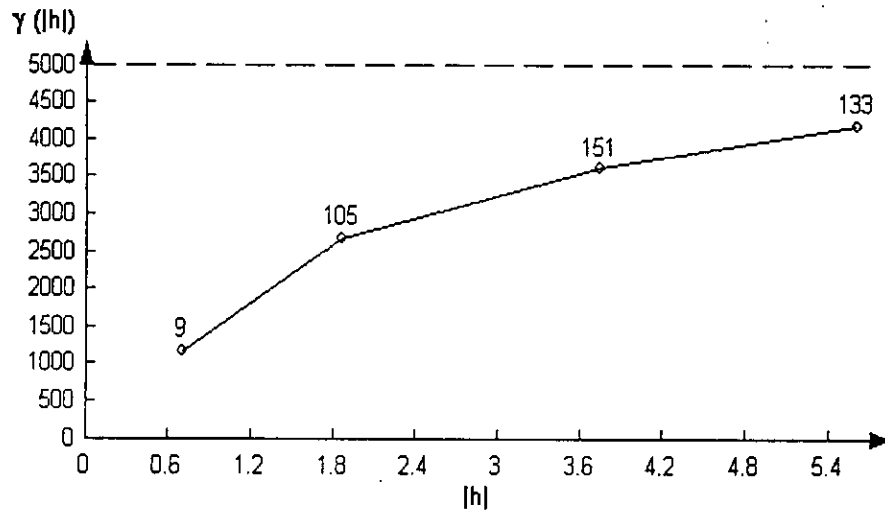


Fig.4.7a : Variogramme directionnel expérimental du Sodium (Direction 0°).

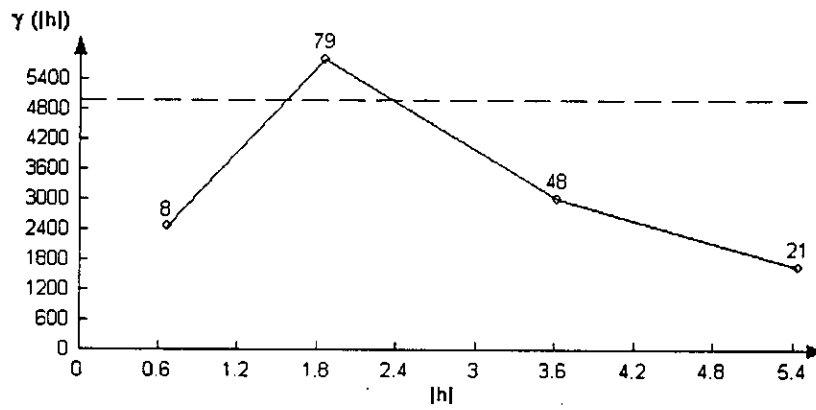


Fig.4.7b : Variogramme directionnel expérimental du Sodium (Direction 90°).



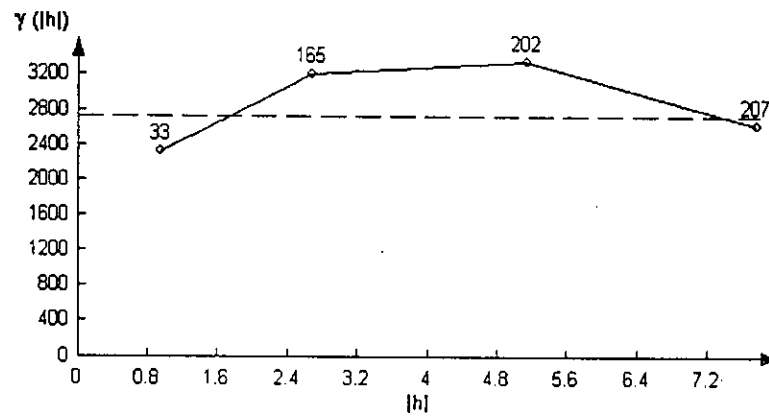


Fig.4.8a : Variogramme directionnel expérimental des Nitrates (Direction 0°).

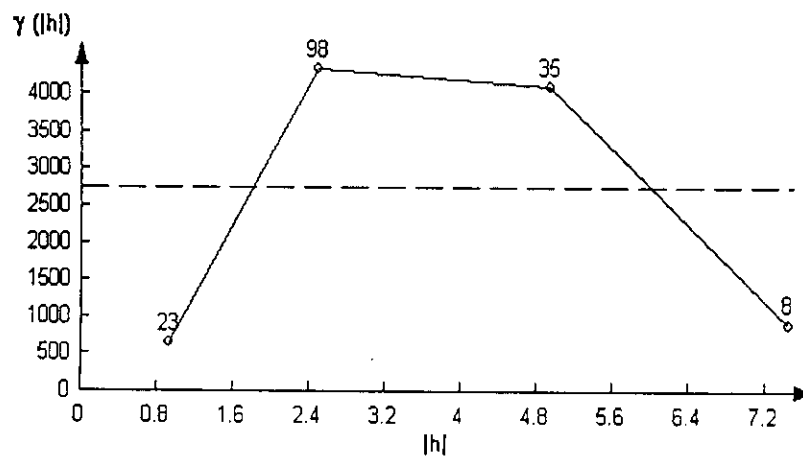


Fig.4.8b : Variogramme directionnel expérimental des Nitrates (direction 90°).

Pour leur caler ensuite deux variogrammes directionnels théoriques dans le but de déterminer le rapport d'anisotropie (Anis).

On prend ces direction car le variogramme de surface montre bien une continuité maximale dans la direction correspond à chaque élément, il apparaît une continuité plus ou moins prépondérante mais qui existe ayant une direction d'un angle  $0^\circ$ .

Donc nous prenons ces directions pour balayer des points pouvant apporter une information au comportement du phénomène.

L'ajustement se fait graphiquement en s'orientant grâce à l'indice IGF (Indicative Goodness of Fit) calculé automatiquement en prenant en compte les paramètres du variogramme.

Les variogrammes expérimentaux obtenus pour les différents paramètres étudiés sont présentés dans les Fig. 4.9 ; 4.10 ; 4.11 et 4.12 ;

C'est un nombre sans unité indiquant un bon ajustement lorsqu'il est proche de zéro.

Les modèles et les variogrammes théoriques retenues respectivement pour l'ajustement de chaque élément sont les suivants (tableau 4.4) :

Tableau. 4.4 : Caractéristiques des variogrammes théoriques.

	CE	Na	Cl	NO <sub>3</sub>
Modèle	Exponentiel	Sphérique	Gaussien	Gaussien
IGF	$4.9 \cdot 10^{-2}$	$9.3 \cdot 10^{-2}$	$9.3 \cdot 10^{-2}$	$2.5 \cdot 10^{-1}$
Nugget	0.028	250	440	848.4
Rang	9.1	5.7	6.435	2.8069
Sill	0.4	4500	22000	2800
Anis	9.09	3	5.2	1.05

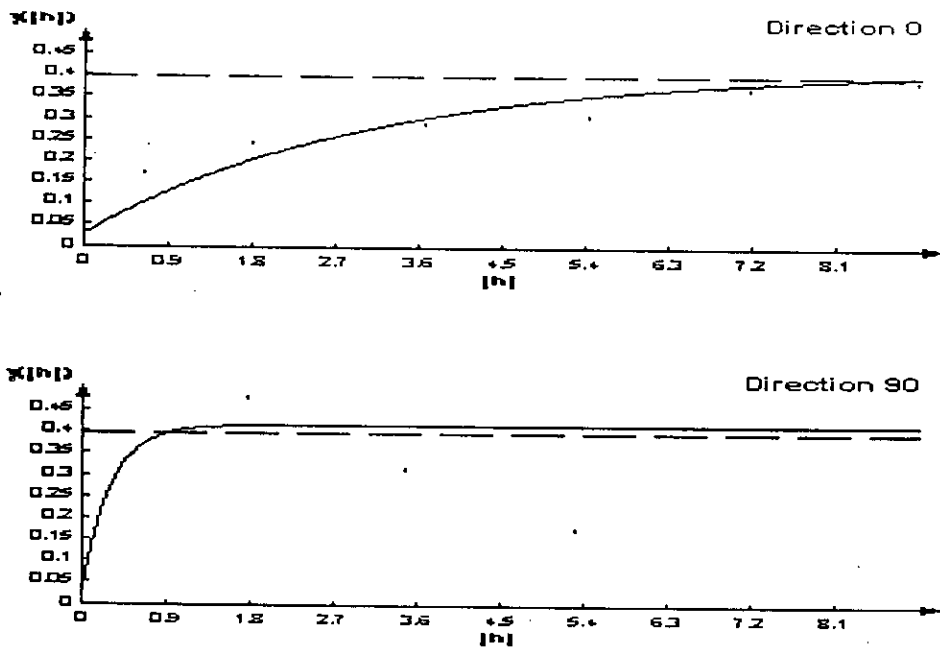


Fig.4.9 : Variogrammes de la conductivité électrique.

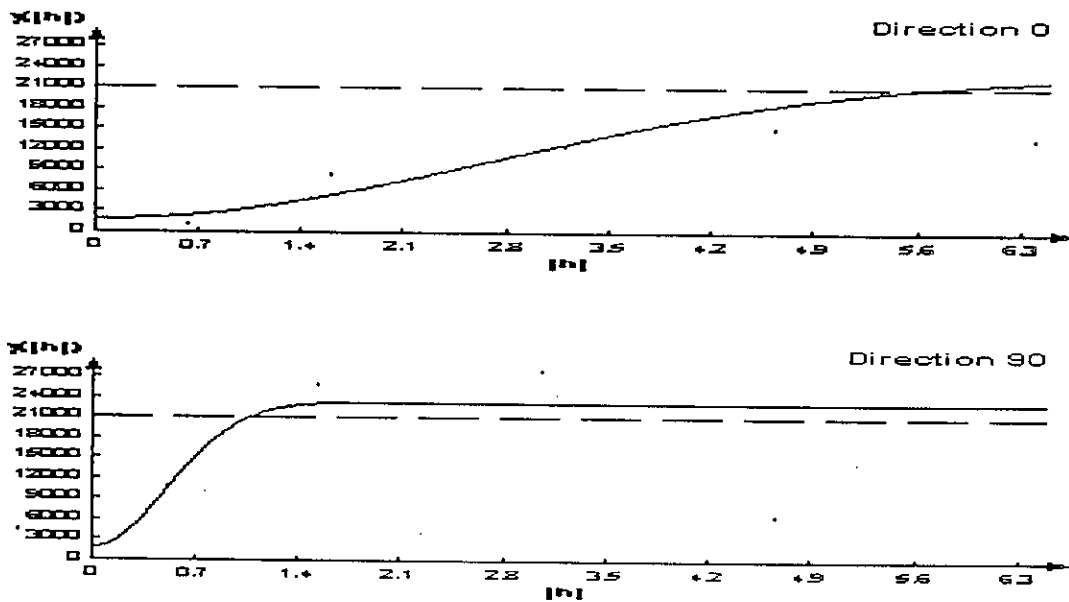


Fig.4.10 : Variogrammes des chlorures.

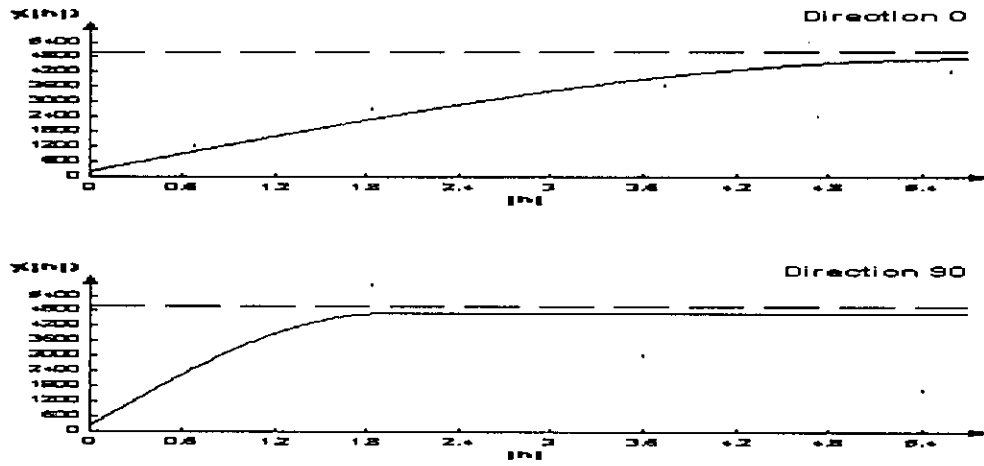


Fig.4.11 : Variogrammes du Sodium.

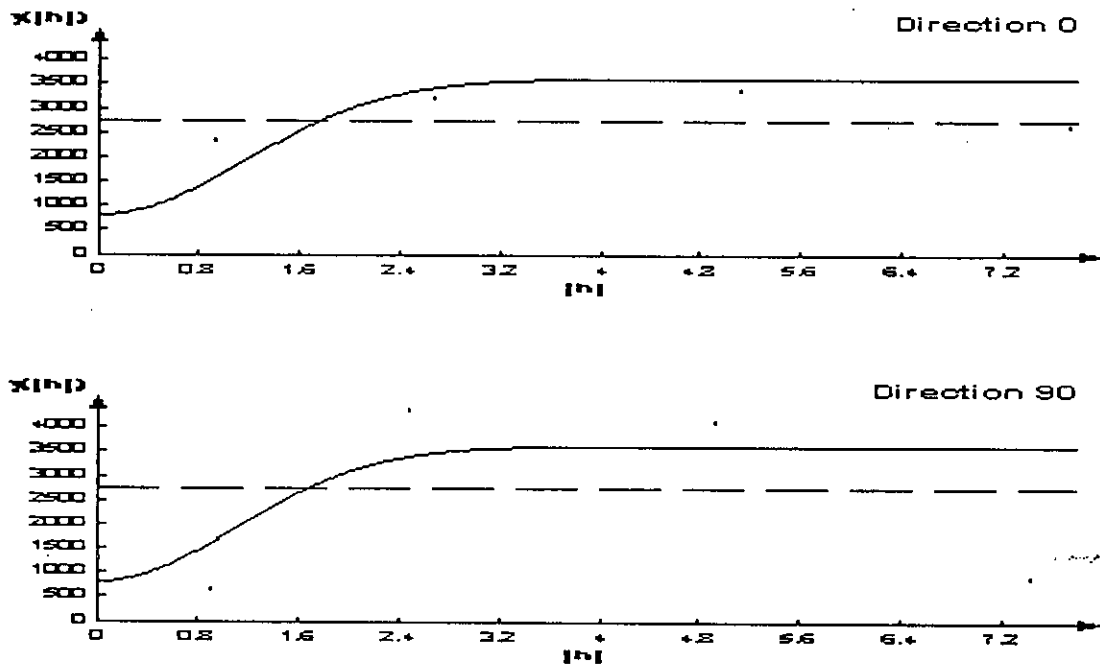


Fig.4.12 : Variogrammes des Nitrates.

#### 4.4.2.2-Le Krigeage

Le krigeage est l'étape d'estimation qui vient après avoir choisi et validé les différentes structures des paramètres étudiés.

La méthode d'estimation (d'interpolation) a été décrite en détail par Benaissa, (2003).

La méthode géostatistique nous donne des informations sur le réseau de mesure, l'intervalle dans lequel varie un paramètre dans le cas d'une éventuelle modélisation de la nappe et permet d'optimiser et de revoir le réseau de mesure.

Les cartes piézométrique krigées (fig. 4.13 ; 4.14 ; 4.15 et 4.16) ont été établies en utilisant le logiciel Surfer 8.0 (Golden Software, 2002).

De plus grâce à l'utilisation du logiciel VARIOWIN, l'établissement de la carte krigée par Surfer 8.0 a utilisé les paramètres lors de l'ajustement du modèle, la carte krigée nous donne une approximation correcte du comportement des variables des paramètres chimiques.

### 4.5-Interprétation des phénomènes

#### 4.5.1- conductivité électrique

L'allure générale des courbes iso-valeurs montre une augmentation des bordures vers le centre de la plaine alluviale, de plus, la conductivité croît d'amont en aval dans le sens de l'écoulement (fig. 4.13).

Les eaux, durant leur trajet dans les roches encaissantes, se chargent en sels dissoutes.

#### 4.5.1- Chlorures

La teneur en chlorures est relativement élevée et particulièrement au niveau de l'embouchure (fig. 4.16), ces derniers peuvent s'expliquer par la dissolution des formations triasiques, se présentant en lits irréguliers à la base du miocène.

D'autre par l'augmentation à l'embouchure et une évaporation intense à ce niveau due à une surface piézométrique relativement peu profond.

L'invasion saline par l'eau de mer due à un surpompage des eaux souterraines du littoral peuvent être également à l'origine de ces concentrations élevés.

#### 4.5.2- Nitrates

La carte fait apparaître des zones à fortes teneurs en nitrates au centre de la plaine (fig. 4.15), en générale les teneurs en nitrates de la plaine sont faibles ; à cause d'une part, à l'étanchéité assurée par les formations alluviales et, d'autre part, la majorité des puits se situent en amont des zones urbaines et agricoles.

#### 4.5.3- Sodium

La carte de Sodium présente une forte variation au niveau de la bordure de la mer ; c'est le point où la minéralisation est forte ;

Selon l'axe (fig. 4.14) de la vallée de l'amont vers l'aval, nous distinguons 3 plages.

Une première zone située vers l'amont présent des valeurs de sodium variant de 80 à 220 mg/l. Les deux autres plages (centre de la plaine et vers la partie avale) ont des teneurs en Sodium qui variant de 40 mg/l voire 60 mg/l à 140 mg/l. Vers les bordures Nord et Sud, les teneurs atteignent les 120 mg/l.

Ces teneurs résultent probablement des conditions géologiques locales (terrains salifères), de la pollution et enfin au niveau excessifs entraînant la remontée du biseau salé.

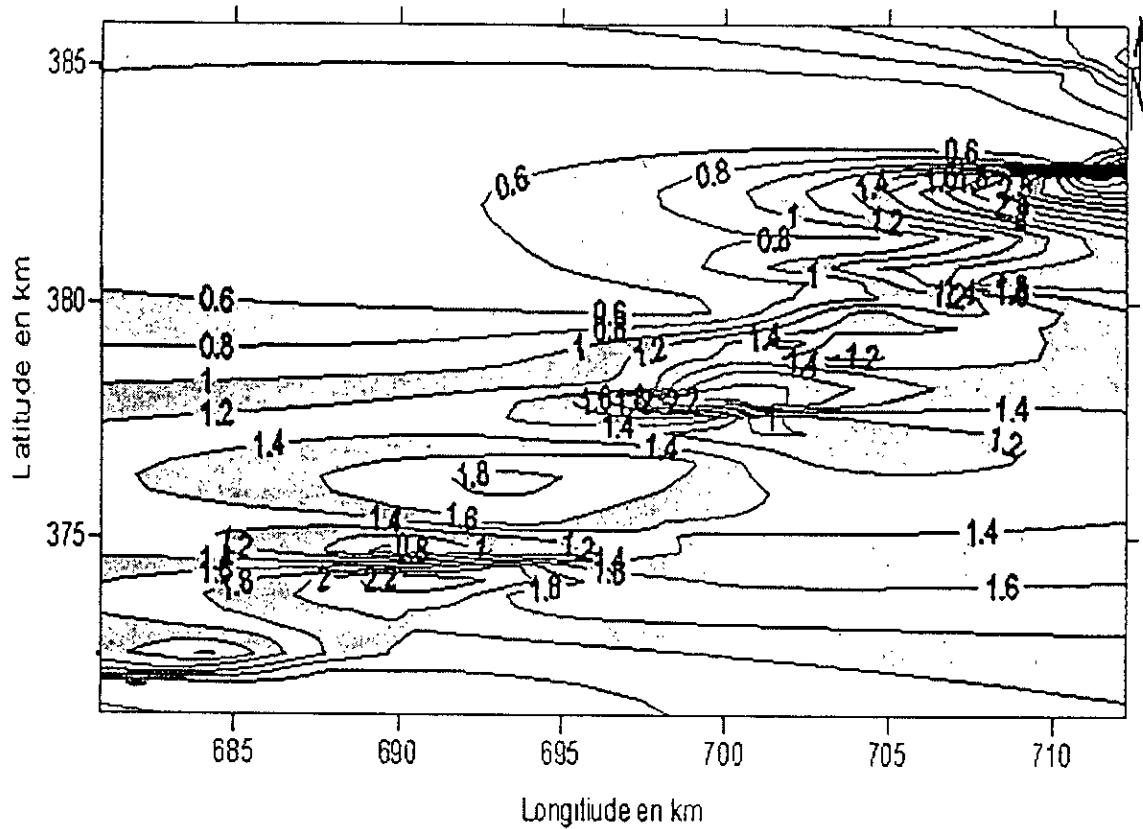


Fig. 4.13: Carte krigée de la CE des eaux souterraines de la Basse vallée de la Soummam.

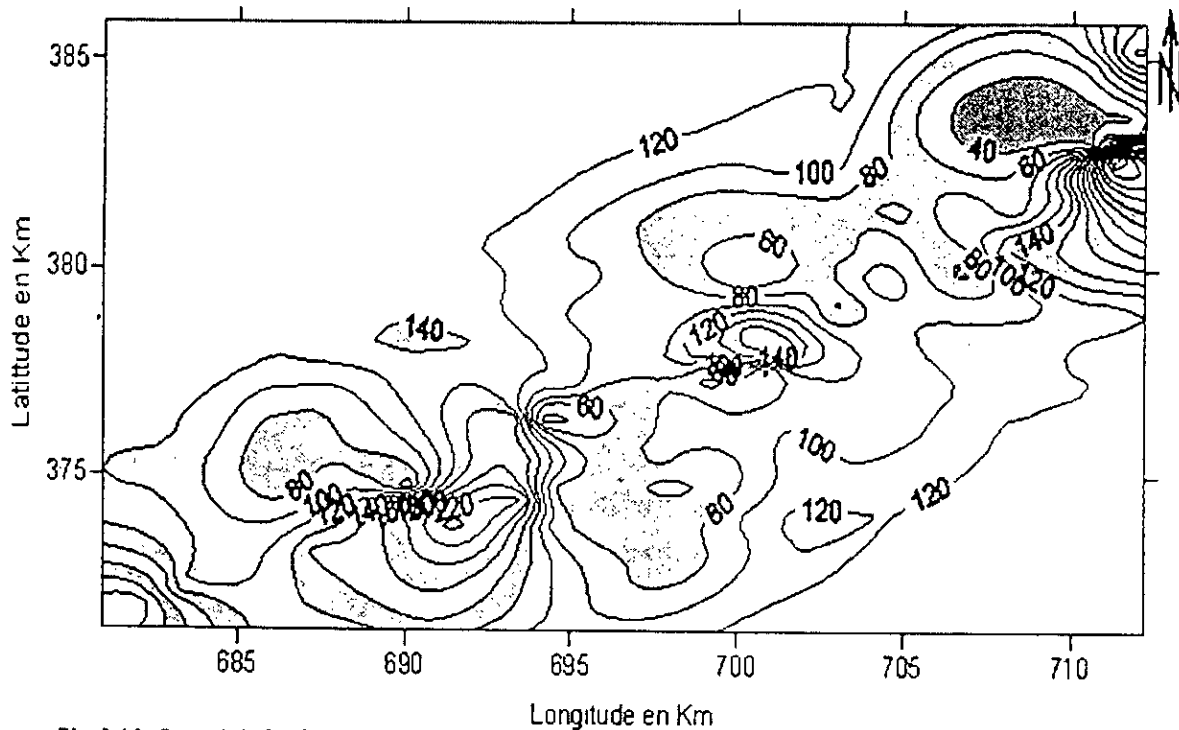


Fig.4.14: Carte krigée des teneurs en sodium dans les eaux souterraines de la Basse Vallée de la Soummam

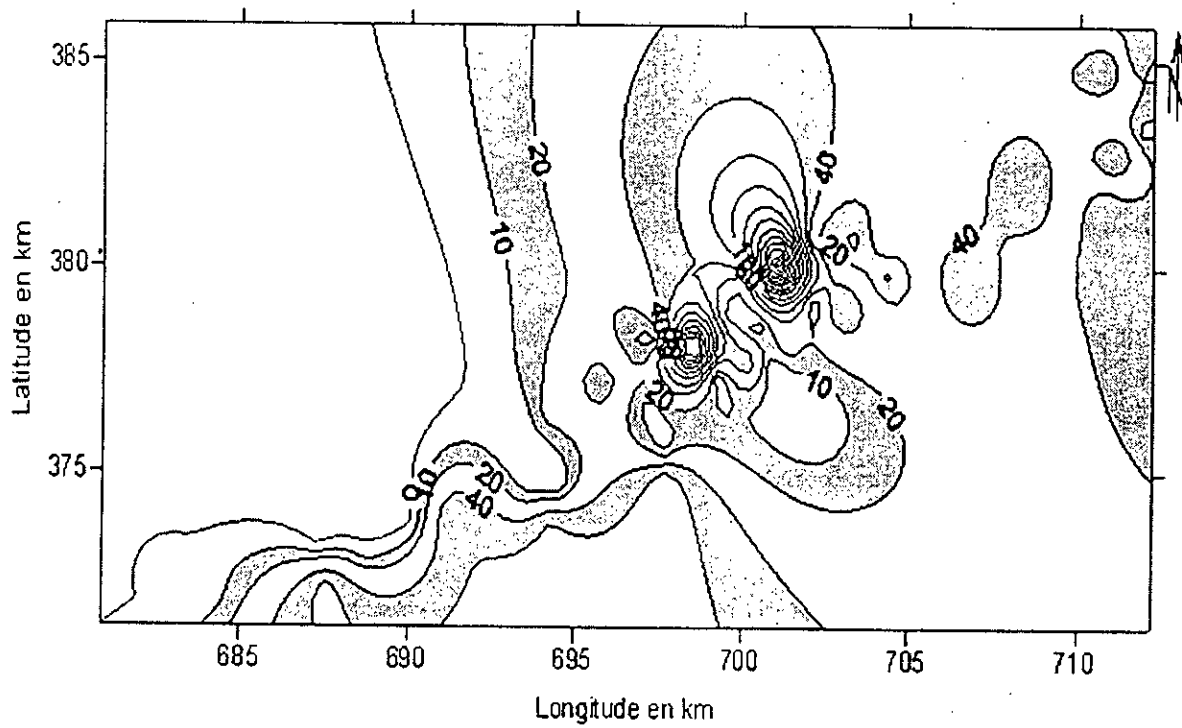


Fig. 4.15: Carte krigée de la teneur en nitrates dans les eaux souterraines de la Basse vallée de la Soummam

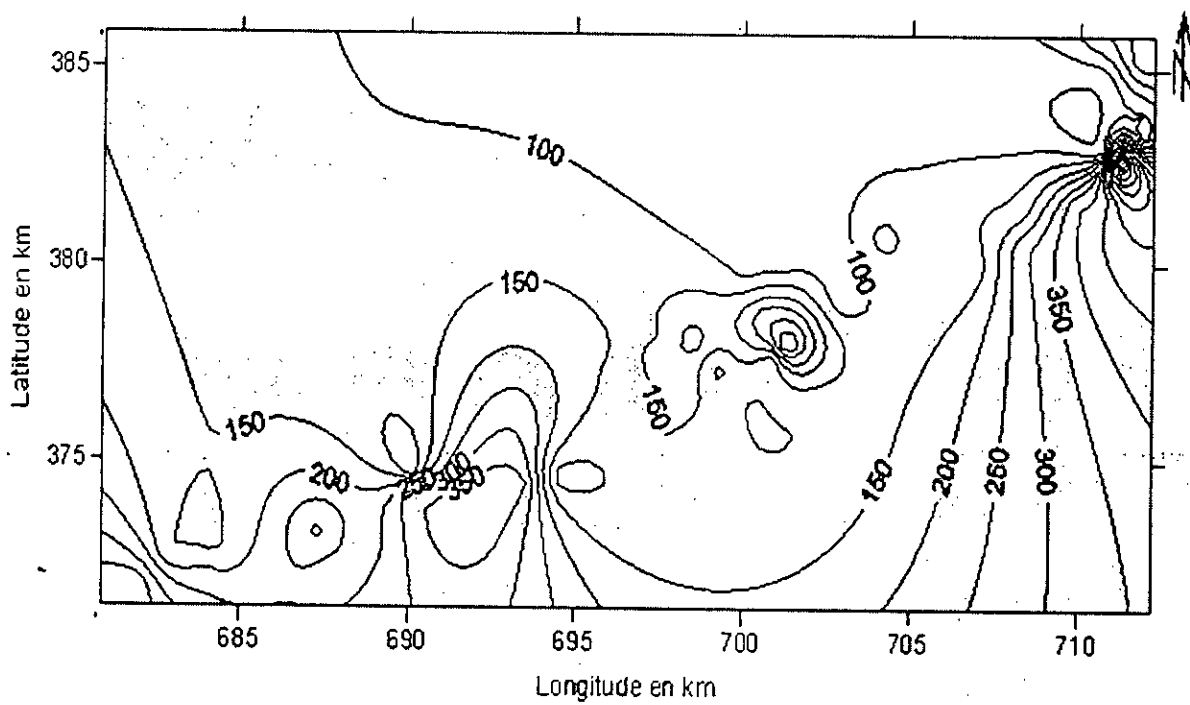


Fig. 4.16: Carte krigée de la teneur en Chlorure dans les eaux souterraines de la Basse vallée de la Soummam.



## 5-Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la vallée de la basse Soummam montre :

- La minéralisation augmente d'amont en aval par échange de base dans le sens d'écoulement des eaux souterraines ;
- Les eaux de la nappe alluviale sont relativement minéralisées, et excessivement chargées en chlorures ;
- La carte de conductivité électrique montre une augmentation des bordures vers le centre de la plaine alluviale, de plus, la conductivité croît d'amont en aval dans le sens de l'écoulement ;
- La teneur en chlorures est relativement élevée et particulièrement au niveau de l'embouchure ;
- Nitrates sont un élément important lors de l'utilisation agricole, il donne une forte teneur au niveau de la partie centrale de la plaine ;
- le Sodium varie du côté de la mer à l'amont, il est des conditions géologiques et de la pollution. Cette dernière explique également les teneurs élevées en Nitrates et Chlorures.

## Conclusion générale

Au terme de ce modeste travail, nous rappèlerons les résultats obtenus des paramètres étudiés au niveau de la basse vallée de la Soummam. Cette synthèse hydrogéologique portant sur la ressource en eau de la Basse vallée de la Soummam a été réalisée en fonctions des données et des informations disponibles. Ces informations concernant la climatologie, l'hydrodynamisme et le chimisme des eaux souterraines. Les résultats de cette synthèse ont permis d'actualiser certaines données, en particulier :

- L'étude géomorphologie nous a permis de déterminer de quelques caractéristiques physiographique du bassin versant :
  - La superficie est de 808Km<sup>2</sup> ;
  - L'indice de compacité de 1.66 ;
  - Une pente moyenne de 1.9m/km ;
  
- L'étude climatique a permis de dégager le régime climatique à partir des paramètres hydro- climatologie sur la basse Soummam, et d'établie le bilan hydrologique pour la période récent allons de 1991 à 2001 avec des méthodes théorique, par conséquences :
  - Les précipitations moyennes annuelles sont estimées à 693 mm ;
  - la température moyenne annuelle dans le bassin est de l'ordre 18.7°C ;
  - La lame d'eau ruisselée est de :
    - 100mm à Béjaia port ;
    - 147.2mm à Béjaia Aéroport.
  - La lame infiltrée est de :
    - 119.8mm à Béjaia port ;
    - 90.7mm à Béjaia Aéroport.

- Le Cadre géologique fait apparaître une série stratigraphique dans la région de la basse Soummam telle que le trias, le jurassique, le crétacé, le miocène, Pliocène, le quaternaire. Les phases tectoniques ont profondément fracturé cette région. On y décéléra 2 grandes familles de failles de direction NO et NE ;

Cette dernière famille de faille a constitué une vraie zone de drainage dont certains endroits forment de véritables réseaux de drainage naturel d'eau.

Les formations du remplissage alluvial présentent une bonne perméabilité d'interstice et une épaisseur assez élevée ; l'aquifère est libre dans la zone amont et captive à l'aval ;

L'étude hydrogéologique permis de définir la direction principale d'écoulement des eaux ; la variation de transmissivités et des perméabilités montre des fortes valeurs dans la zone amont (nappe libre) et de faibles valeurs à l'aval (nappe captive) ;

- L'étude chimique recouvre une partie essentielle dans cette étude, l'utilisation des logiciels de cartographie tels que Variowin et Surfer 8.0, pour mieux connaître la répartition et l'évaluation spatiale des éléments chimiques grâce à l'utilisation de l'approche géostatistique.

- L'étude a montre que la minéralisation augmente d'amont en aval par échange de base dans le sens d'écoulement des eaux souterraines ;
- La teneur en chlorures est relativement élevée et particulièrement au niveau de l'embouchure. Ces fortes valeurs peuvent être attribuées aux pompages excessifs, responsables de la remontée du biseau salé. Ailleurs, au niveau de la plaine l'origine des chlorures sont dues aux conditions géologiques particulières (présence de trias) et à la pollution (activité agricole,...).
- Au niveau de la plain les nitrates proviennent essentiellement de la pollution agricole, ils donnent une forte teneur au niveau de la partie centrale de la plaine ;
- Le Sodium varie de la proximité de la mer à l'amont, il est du aux conditions géologiques et à la pollution.

En guise de recommandation, nous proposons du point de vue climatique, une installation d'un réseau climatologique beaucoup plus dense avec un suivi des données.

De même qu'en hydrogéologie, un réseau de mesures doit être déterminée.

Le suivi des fluctuations du niveau d'eau d'eaux ainsi que celui du chimisme de la nappe souterraine sont préconisés pour surveiller la qualité d cette ressource.

# Bibliographie

- Amghar.M, 1991 : Synthèse hydrogéologique de la plaine de la basse Soummam.  
Thèse d'ing, USTHB.
- A.N.R.H : Archives et données pluviométrique de l'agence Nationale des Ressources Hydrique.  
Birmouradreis, Alger
- Benaissa, 2003 : Etude de la variabilité spatiale de la charge hydraulique et perméabilité de l'aquifère superficiel de la basse Soummam.  
Thèse d'ing, ENP.
- Clinks.C, 1973 : Etude hydrogéologique de la nappe alluviale de la basse Soummam (Sidi-Aich-Béjaia).  
Rapport de l'A.N.R.H, Alger.
- Englund.E et Sparks.A, 1991 : Geo-EAS 1.2.1 User's Guide  
EPA Report #600/8-91/008  
EPA-EMSL Lasvegs, NV.
- Ider.K et Amiri.B, 1998 : Etude de la variabilité spatiale de la charge hydraulique de l'aquifère superficiel de la basse soummam.  
Thèse d'ing, ENP.
- Ider.K, 2004 : Elaboration du modèle numérique d'altitude de la Soummam  
Thèse magister, ENP.
- Liams.L, 1989 : Hydrologie générale, 2<sup>eme</sup> édition.
- O.N.M : Données climatiques de l'Office National Météorologique.  
Dar el Beida, Alger.
- Zerourou.M, 1990 : Contribution à l'étude hydrogéologique de la basse Soummam.  
Thèse d'ing, USTHB.