

P0001/05B

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

*Ecole Nationale Polytechnique*



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

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

Thème :

Comportement  
hydrochimique de  
quelques aquifères cotiers:  
Isser, Soummam et Sebaou

Proposé par :

-Mr. A. SEMAR

Dirigé par :

-Mr. A. SEMAR  
-Mr. Y. Mouloudi

Etudié par :

-Mr. AZZEMOU Ali

**PROMOTION : 2005**

# Dédicaces



*A*

♥ *Mes très chers parents qui m'ont soutenu pour réaliser ce travail;*

♥ *Mes frères et sœurs, particulièrement Mohécine et Khouela ;*

♥ *Ma grande famille ;*

♥ *Tous mes amis de la cité universitaire BOURAOUI Amar et de l'Ecole Nationale Polytechnique.*

♥ *Et à M. ATTABA ; M.ITIM ; L.RAHIM ; L.ISMAIL.*

*Je dédie ce modeste travail*

# Remerciements



- ★ *Je tiens à remercier Monsieur Semar pour sa générosité, sa gentillesse, sa patience et ses conseils pour l'établissement de ce travail;*
  
- ★ *Je remercie Monsieur Mouloudi pour son aide et ses encouragements;*
  
- ★ *Je remercie l'ensemble des enseignants du département d'hydraulique;*
  
- ★ *Je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réussite de ce travail.*



# Sommaire



## Introduction générale

### Chapitre I : Présentation du milieu physique

I.1 Situation géographique .....	2
I.1.1 Cas de la Vallée de l'Isser.....	2
I.1.2 Cas de la vallée de la Soummam .....	2
I.1.3 cas de la Vallée de Sebaou.....	2
I.2 Aspect Socio-économique de la Région.....	3
I.2-1 Activités agricoles.....	3
I.2-2 Activité industrielle .....	3

### Chapitre II Etude hydroclimatologique

II-1 Introduction.....	3
II-2 Le bassin versant .....	3
II-2.1 basse Isser .....	3
II.3- Etude des précipitations .....	6
II.3-1 Réseau pluviométrique .....	6
II-3.2 Précipitations mensuelles et annuelle .....	7
II.4- La température .....	11
II.5 Les vents .....	14
II.6 L'Humidité .....	15
II.7 Conclusion .....	16

### Chapitre III Aperçu géologique

III 1 Introduction .....	17
III 2 géologie de la Basse vallée de l' Isser.....	17
III 2.1 Description lithologique .....	17
III 2.1.1 Le socle cristallophyllien.....	17
III 2.1.2 Les formations intrusives.....	17
III 2.2 Tectonique.....	21
IV2.3 Comportement hydrogéologique des formations.....	21
III-3 géologies de la vallée de la Soummam .....	22
III 3.1 Aperçu géologique sur l'Algérie septentrionale.....	22
III 3.2 Cadre géologique local.....	22
III.3.2 Caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations.....	24
III.4 Basse vallée de la Sebaou.....	25
III.4.1 Cadre géologique régional.....	25
III.4.2 Cadre géologique local .....	26



III.4.3 Etude structurale.....	28
III.5- Conclusion.....	

**Chapitre IV :**

**Hydrogéologie**

IV.1 Introduction.....	30
IV.2- Piézométrie .....	30
IV.2.1- Introduction.....	30
IV.3 Gradient hydraulique .....	32
IV.4 Alimentation de la nappe alluviale .....	32
IV.5 Paramètres hydrodynamiques.....	33
IV.5.1 la perméabilité .....	33
IV.5.2 La transmissivité .....	33
IV.5.3 Le coefficient d'emmagasinement.....	34

**Chapitre V :**

**Analyse statistique élémentaire**

V.1 Introduction.....	35
V.2 Statistique élémentaire.....	35
V.2.1-Introduction.....	35
V.2.2- Paramètres statistiques.....	35
V.2.2-1 Paramètres de position .....	35
V.2.2-2 Les paramètres de dispersion.....	36
V.3 Application aux données hydrochimique des aquifères côtiers.....	37
V.3.1 Basse Vallée de l'Isser.....	37
V.3.2-Basse Vallée de la Soummam.....	46
V.3.3 Basse Vallée de Sebaou.....	55
V.4 Corrélation entre les variables.....	63
V.5 Conclusion.....	68

**Chapitre VI :**

**analyse en composantes principales**

VI.1 But et principe de l'analyse en composantes principales.....	70
VI.2 Résultats et interprétations.....	71
VI.2.1 Les valeurs propres .....	71
VI.2.2 Les vecteurs propres .....	73
VI.2.3 Etude des variables.....	74
VI.2.4 Etude des cerces de corrélation.....	75
VI.2.5 Etude des individus.....	82
VI.3 Conclusion.....	83
Conclusion générale .....	84



## 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 de l'Algérie septentrionale, les vallées de l'Isser, de la Soummam et du Sebaou sont caractérisées par des activités économique et agricole relativement importantes.

Les pompages d'eau excessifs, non contrôlés, à proximité de la mer sont souvent sujets au problème d'invasion marine. En effet, les plaines alluviales du domaine Nord tellien et plus particulièrement des Kabylies où il existe une forte densité humaine, l'exploitation des ressources en eaux souterraines ( vallées du bas Isser, de la basse Soummam et du bas Sebaou) connaissent une forte salinité en plus du problème de pollution.

Dans ce cadre, l'étude entreprise au niveau de ces 3 basses vallées consiste, à partir des données hydrochimiques disponibles, de réaliser un bilan ionique et de faire ressortir les caractéristiques chimiques des réservoirs hydrogéologiques. Il sera également évalué du point de vue statistique, le comportement des variables hydrochimiques en relation avec le contexte géologique. Il sera enfin identifié et localisé les anomalies que représentent certains points d'eau soumis à une pollution aussi que ceux affectés par l'intrusion marine.

Afin de réaliser cette étude, la démarche retenue est la suivante :

1. Représentation géographique des régions d'étude est l'objet du 1<sup>er</sup> chapitre;
2. Le 2<sup>ème</sup> chapitre sera consacré à l'étude climatologique : elle est d'une grande importance car les caractéristiques hydro-climatologiques conditionnent les potentialités en eaux des aquifères ;
3. L'étude géologique est attribuée au chapitre 3.
4. Le chapitre 4 est consacré à l'étude hydrogéologique : elle se propose de déterminer de la direction principale d'écoulement des eaux, la variation des transmissivités et des perméabilités.



5. Analyse statistique élémentaire fera l'objet du chapitre 5.

6. Et le chapitre 6 est porté sur l'analyse en composantes principales.

Nous terminons par une conclusion générale.

## Chapitre I : Présentation du milieu physique

### I- Situation géographique

#### I-1 Cas de la Vallée de l'Isser

La région d'étude est située dans le bassin versant du bas Isser à 60 Km à l'est d'Alger, entre les altitudes 36°56' et 36°85' Nord et les longitudes 3°50' et 3°84' Est. (figI.1) Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Nord-Est par le massif de Cap-Djenet, à l'Est par les massifs de Raicha et Chender, à l'Ouest par le Dj-Bou-Arous, le Mont de Lala-Taouila et les collines de Isser-Ouidéne, au Sud par les contreforts de la dorsale Kabyle et du Djbel-Ahmed.

La séparation entre le bassin versant du bas et moyen Isser est marquée par le massif de Krachena.

#### I-2 Cas de la vallée de la Soummam

Le bassin versant de la basse Soummam est une partie intégrante du bassin hydrologique de la Soummam située au Nord-Est d'Alger, entre 3°40' et 5°45' de longitude, 3° et 36°45' de l'altitude. Sa superficie est de 9125Km<sup>2</sup> (figI.2), il est subdivisé en 10 sous bassins dont celui de la basse Soummam. Il est limité :

- Au Nord par les monts de Taourit Ighil, de Gouraya et Arbalou ;
- Au Sud par les collines de Oral-Hadja et les chainons des baborspar ;
- A l'Est par la mer Méditerranée,
- A l'Ouest par le seuil de Sidi-Aich.

#### I-3 Cas de la Vallée du Sebaou

La vallée du bas Sebaou s'étend sur une superficie proche de 229km<sup>2</sup> ; localisée entre 3°48' et 3°58' de longitude Est, 36°50' et 36°62' de l'altitude Nord. Elle se situe à 80km à l'Est d'Alger est limitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée ;
- Au Sud par le massif de Sidi-Ali Bounab, au Sud-Est par le Djebel Tamerabet et le relief de Draa Karrouch et au Sud-Ouest par le massif de Naciria ;
- A l'Est par les collines de Dar Bejda ;
- A l'Ouest par les djebels Bouberak et El-Gueblia.

## II- Aspect socio-économique des Régions

Les basses vallées de l'Isser, Soummam et Sebaou sont des régions à diverses activités économiques, parmi lesquelles, on peut citer :

- les activités agricoles ;
- les activités industrielles



## II-1 Activités agricoles

Ces régions sont à vocation agricole, on y cultive de céréale, des oliviers, des vignes des maraîchages des agrumes et d'autres arbres fruitiers.

## II-2 Activités industrielles

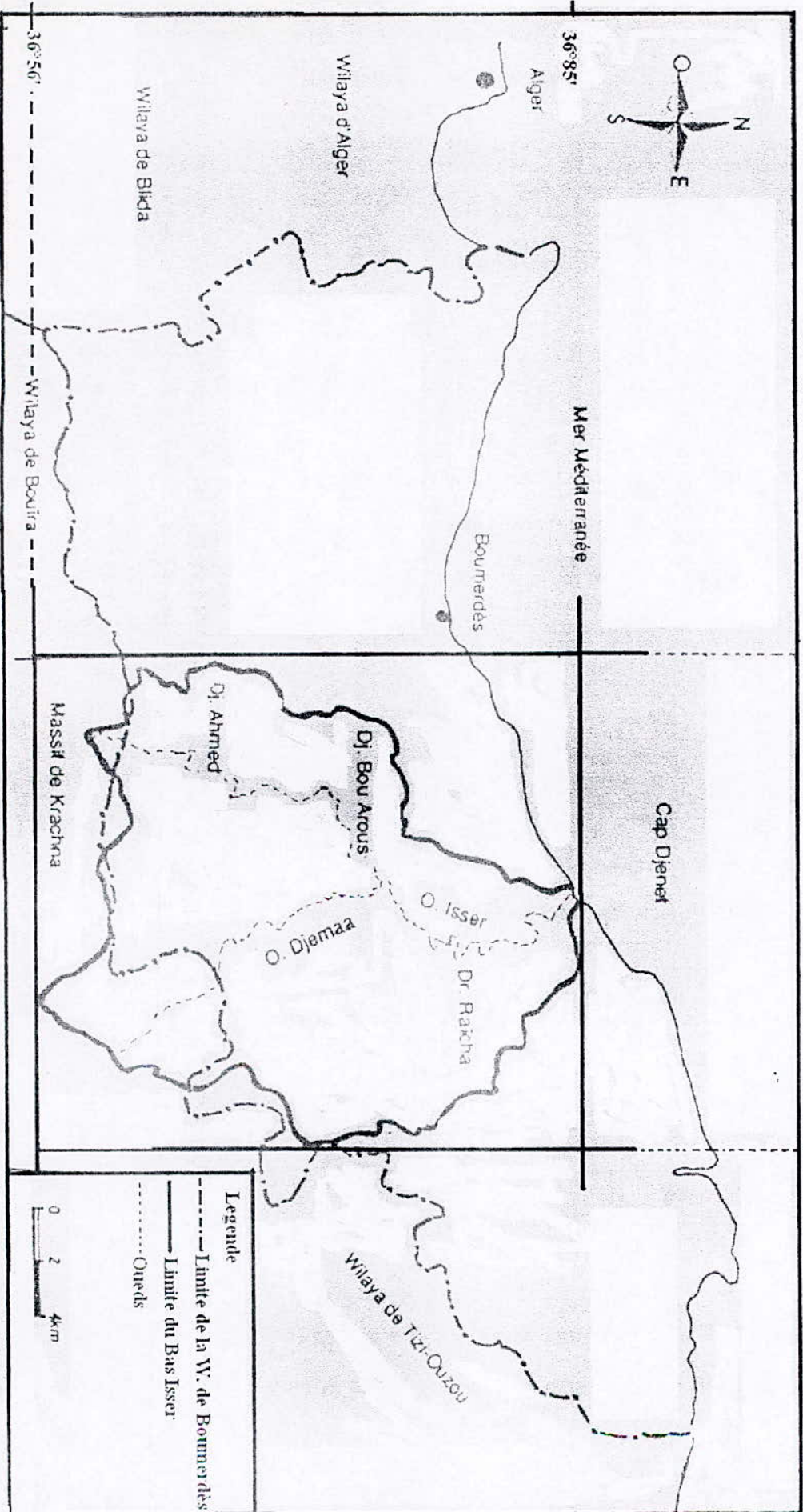
L'industrie occupe une place importante dans ces régions. Parmi les principales industries existantes, on trouve : les unités textile, ... ect.

Les régions possèdent un potentiel humain très important ce qui induirait automatiquement de fortes consommation en eaux.

## II- Aspect socio-économique des Régions

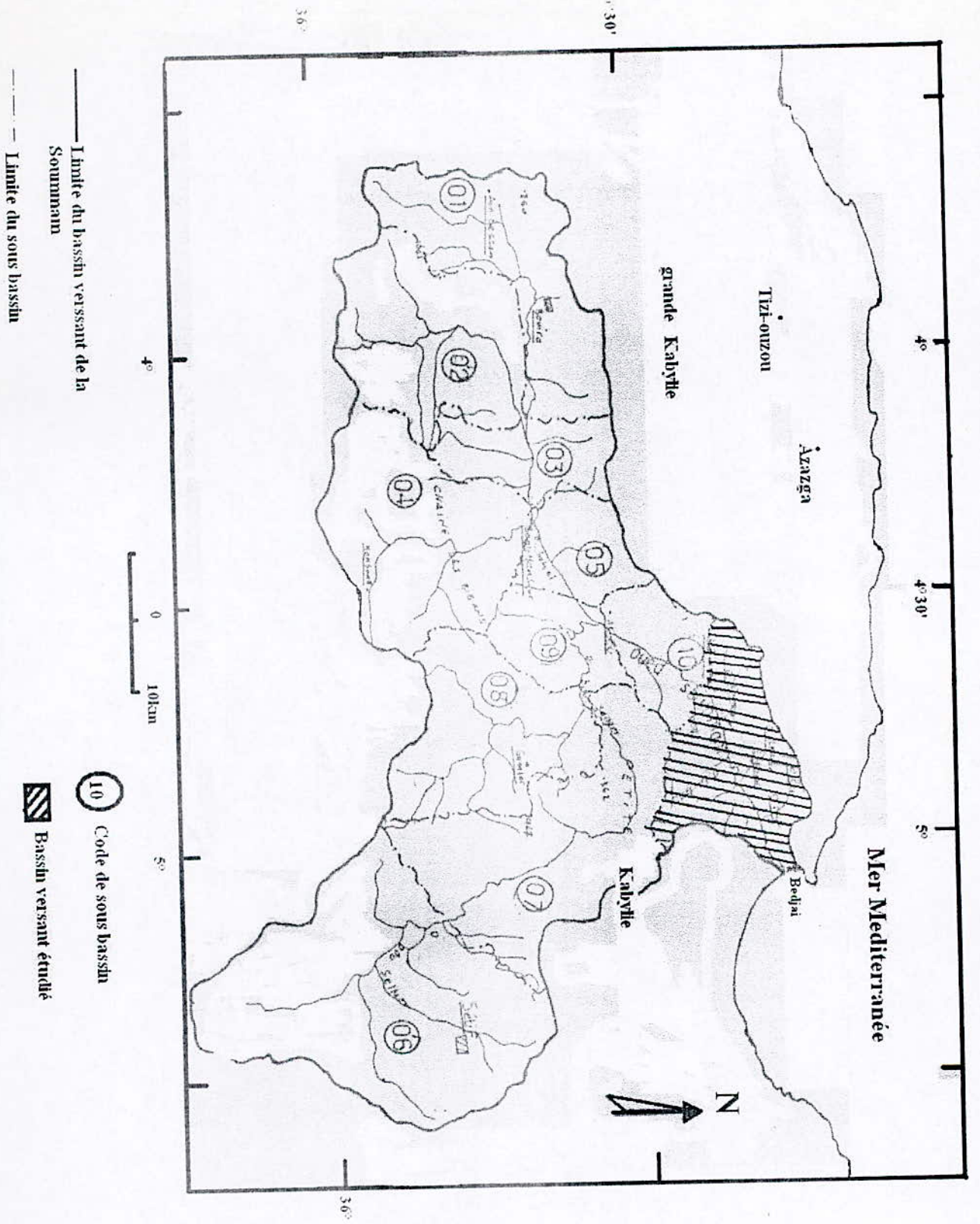
Les basses vallées de l'assoussoum et de la vallée de la Soudan ont des régions à vocation agricole et industrielle.

- les activités agricoles ;
- les activités industrielles ;



**Fig.1.1** Carte de situation du bassin versant du bas Isser





Echelle 1/1000000

Fig.I.2 Situation du bassin versant de la basse Soummam

## Chapitre II Etude hydroclimatologique

### II-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 climatiques (précipitation, température,...) et permettra d'estimer le bilan hydrologique.

Cette étude est basée sur les séries de données pluviométriques, recueillies au niveau des archives de l'A.N.R.H pour la période de 1975 à 1995.

### II-2 Bassins versants

#### II-2.1 bas Isser

Le bassin versant de l'Oued Isser (codé 09 au répertoire de l'ANRH) avec une superficie de 4162km<sup>2</sup> est subdivisé en cinq sous-bassins dont celui du bas Isser (codé 09.05) d'une superficie de 546km<sup>2</sup> et d'un périmètre de 118km.

L'étude physiographique de ce bassin (Abdelli et Oustani, 1997) est résumée dans le tableau suivant :

**Tableau II-1 : Paramètres physiographiques du BV de l'Isser**

Paramètres physiographiques	unités	valeurs
Surface	Km <sup>2</sup>	546.00
Périmètre	Km	118.00
Indice de compacité		1.41
Longueur du rectangle équivalent	Km	47.28
Largeur du rectangle équivalent	Km	11.54
Altitude maximale	m	1031.00
Altitude minimale	m	0.00
Altitude moyenne	m	325.00
Altitude de fréquence 50%	m	275.00
Indice de pente globale	%	1.25

Tous ces paramètres favorisent le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

#### II-2.2 Basse Soummam

D'après le codage utilisé par l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrologiques), ce bassin est connu sous le numéro 15 et le secteur étudié appartient au sous bassin code 15.10.



La basse Soummam est une vallée intra montagneuse. Selon le rapport établi par (Clincks, 1973), la vallée est caractérisée par trois grands ensembles géomorphologique distincts :

- Un ensemble géomorphologique septentrional;
- Un ensemble géomorphologique méridional ;
- Un ensemble géomorphologique correspondant à l'Oued Soummam ;

L'étude physiographique de se bassin (Amgar, 1991) donne un indice de compacité de 1.66, ce qui traduit un temps de concentration des eaux de ruissellement assez long et donc une augmentation des possibilités d'infiltration des eaux superficielles.

La plaine est caractérisée par une altitude relativement faible (inférieur à 100 m) et une inclinaison de l'ordre de 2 % vers l'est.

La plaine de la basse Soummam est parcourue par 6 principaux affluents se répartissant comme suit :

En rive gauche : l'Oued Remila, l'Oued Kseur, l'Oued Ghir.

En rive droite : l'Oued Amassine, l'Oued Amizour, l'Oued Tiachiche.

**Tableau II-2 : Paramètres physiographiques du BV de la Soummam**

<b>Paramètres physiographiques</b>	<b>unités</b>	<b>valeurs</b>
<b>Surface</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>808</b>
<b>Périmètre</b>	<b>Km</b>	<b>169</b>
<b>Indice de compacité</b>		<b>1.66</b>
<b>Longueur du rectangle équivalent</b>	<b>Km</b>	<b>73.2</b>
<b>Largeur du rectangle équivalent</b>	<b>Km</b>	<b>11.3</b>
<b>Altitude maximale</b>	<b>M</b>	<b>1560</b>
<b>Altitude minimale</b>	<b>M</b>	<b>2</b>
<b>Altitude moyenne</b>	<b>M</b>	<b>430.7</b>
<b>Altitude de fréquence 50%</b>	<b>M</b>	<b>475</b>
<b>Indice de pente globale</b>	<b>%</b>	<b>1.5</b>

### II-2.3 Bas Sebaou

Le bassin versant de l'Oued Sebaou (codé 02 au répertoire de l'ANRH) avec une superficie de 4162km<sup>2</sup> est subdivisé en six sous-bassins dont celui du bas Sebaou (codé 02.20) d'une superficie de 229km<sup>2</sup> et d'un périmètre de 66km. Il correspond au bassin récepteur du haut et moyen Sebaou.

L'étude physiographique de ce bassin (Sais et Simohand, 1993) donne les paramètres suivants (tableau II.3):



**Tableau II-3 : Paramètres physiographiques du BV du Sebaou**

Paramètres physiographiques	Unités	valeurs
Surface	Km <sup>2</sup>	229
périmètre	Km	66
Indice de compacité		1.22
Longueur du rectangle équivalent	Km	23
Largeur du rectangle équivalent	Km	10
Altitude maximale	M	845
Altitude minimale	M	0
Altitude moyenne	M	240
Altitude de fréquence 50%	M	210
Indice de pente globale faible	%	2.3

## II.3- Etude des précipitations

### II.3-1 Réseau pluviométrique

Le climat dans ces régions sont conditionnés généralement par la température de l'air, les précipitations, la présence de relief et la proximité de la mer.

#### II.3.1.1 Basse Vallée de l'Isser

Pour une bonne répartition et homogénéisation des données, une sélection des stations nous est indispensable. Le tableau II-4 présente des relevés complets bien répartis dans le temps et dans l'espace.

Le tableau II.4, indique la nomenclature, l'équipement et la période de fonctionnement de ces stations.

**Tableau II-4 : Nomenclature, équipement et période de fonctionnement des stations pluviométriques du BV de l'Isser**

Bassin versant	station	code	Altitude (m)	coordonnées		Equipt	Période de fonctionnement	Durée (ans)
				X(km)	Y(km)			
Moyen Isser	Ouled Bou Haddad	090503	424	574.55	372.30	Pluviomètre	1975-1996	22
Moyen Isser	Lakdaria	090502	75	570.00	369.50	Pluviomètre	1975-1996	22
Bas Isser	Tizi-Ghenniff	090506	415	596.30	366.10	Pluviomètre	1975-1996	22
Bas Isser	Chaerbet El-Ameur	090512	235	588.00	374.40	Pluviomètre	1975-1996	22



### II.3.1.2 Basse Vallée de la Soummam

Pour l'étude des précipitations dans la région de la basse Soummam, nous avons choisi trois stations pluviométriques (Sidi Aich, Tifra et Domaine Maouche Ahmed). Ces stations ont fonctionné de façons irrégulières et réparties d'une façon irrégulière.

Le tableau II.5, indique la nomenclature, l'équipement et la période de fonctionnement de ces stations.

**Tableau II-5 : Nomenclature, équipement et période de fonctionnement des stations pluviométriques du BV de la Soummam**

station	code	Altitude (m)	coordonnées		Equipt	Période de fonctionnement	Durée (ans)
			X(km)	Y(km)			
Sidi Aich	151001	80	678.20	369.25	Pluviomètre	1975-1996	22
Tifra	151007	450	678.25	375.75	Pluviomètre	1975-1996	22
Domaine Maouche Ahmed	151004	50	692.75	373.4	Pluviomètre	1975-1996	22

### II.3.1.3 Basse Vallée du Sebaou

Pour l'étude des précipitations cinq stations pluviométriques ont été choisies, elles sont réparties d'une façon irrégulière sur l'ensemble de la zone d'étude.

Le tableau II.6, indique la nomenclature, l'équipement et la période de fonctionnement de ces stations.

**Tableau II-6 Nomenclature, équipement et période de fonctionnement des stations pluviométriques du BV du Sebaou**

station	code	Altitude (m)	coordonnées		Equipt	Période de fonctionnement	Durée (ans)
			X(Km)	Y(Km)			
Draa Benkhadda	021804	600	614.32	382.50	Pluviomètre	1975-1996	22
Larba Makouda	021805	470	622.45	387.90	Pluviomètre	1975-1996	22
Argoub	021915	78	612.30	379.15	Pluviomètre	1975-1996	22
Baghlia Village	022002	30	603.25	391.15	Pluviomètre	1975-1996	22
Freha	021603	40.84	641.65	383.90	Pluviomètre	1975-1996	22

## II-3.2 Précipitations mensuelles et annuelle

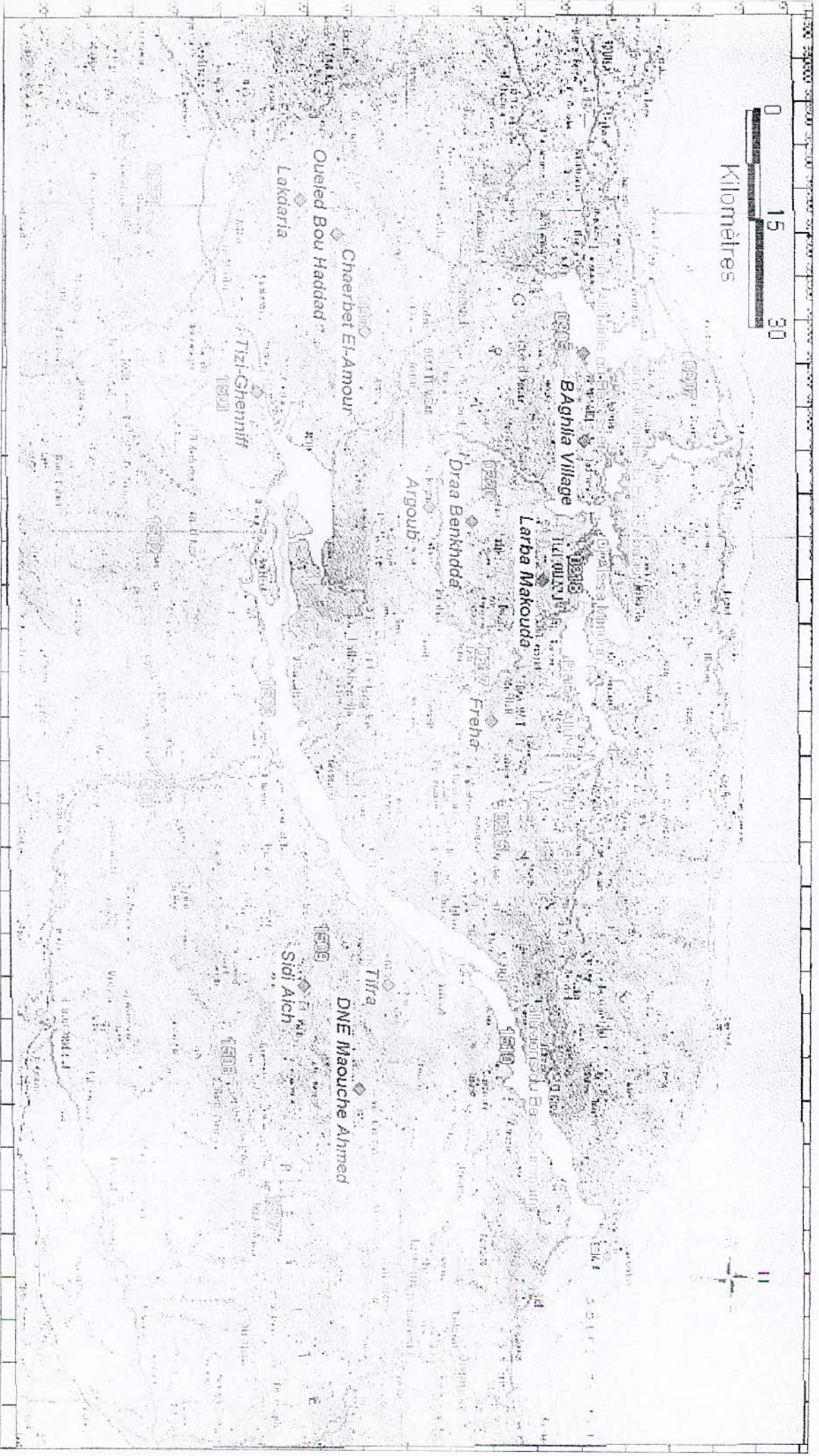
### II-3.2.1 Bas Isser

La vallée du bas Isser est située sur le littoral, de ce fait, elle est soumise à l'influence d'un régime climatique méditerranéen, caractérisé par un hiver pluvieux et doux et un été sec et chaud, avec des précipitations d'origine cyclonique très irrégulières, dont le maximum est enregistré au mois de Janvier.





Kilomètres



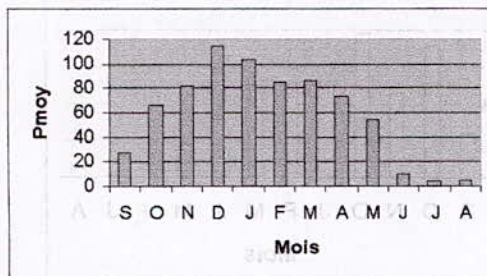


L'examen du tableau II-7 ainsi que les histogrammes (fig II.1, fig II.2, fig II.3 et fig II.4) montrent que pour la période de 1975-1996 la distribution des précipitations mensuelles est sensiblement la même au niveau de toutes les stations.

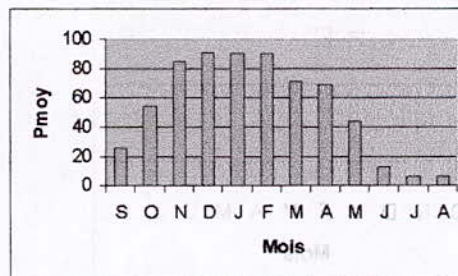
Les histogrammes (fig II.1, fig II.2, fig II.3 et fig II.4) montrent aussi qu'au cours de l'année hydrologique, la période humide débute à partir du mois de septembre. Les mois les plus pluvieux sont, novembre, décembre et février. La période sèche débute à partir du mois du juillet et août.

**Tableau II-7 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelle en (mm) période 1975/1996**

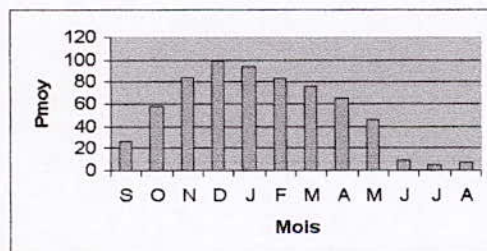
Station Mois	Ouled Bou Haddad	Lakhdaria	Chaerbet El-Ameur	Tizi- Ghenniff
SEP	27.7	26.3	26.5	50.5
OCT	66.5	53.9	57.5	56.3
NOV	81.9	85	83.7	80
DEC	114.1	91.4	98.4	102
JAN	103.8	89.8	93.9	100.4
FEV	84.9	89.9	82.4	90
MAR	86	71.1	75.8	88.1
AVR	72.8	68.7	64.7	76
MAI	53.7	44.3	45.6	48.8
JUI	9.1	12.8	10.2	10.3
JUL	3.5	5.9	5.0	4.1
AOUT	4.6	5.7	6.7	4.8
<b>P<sub>annuelle</sub>(mm)</b>	<b>708.8</b>	<b>645.4</b>	<b>650.8</b>	<b>711.5</b>



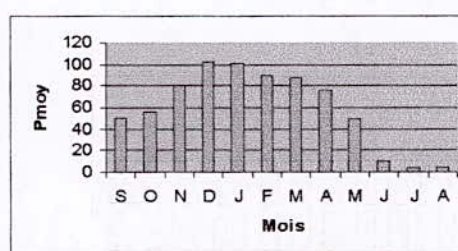
**Fig II.1 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Ouled Bou Haddad**



**Fig II.2 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Lakhdaria**



**Fig II.3 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Chaerbet El-Amour**



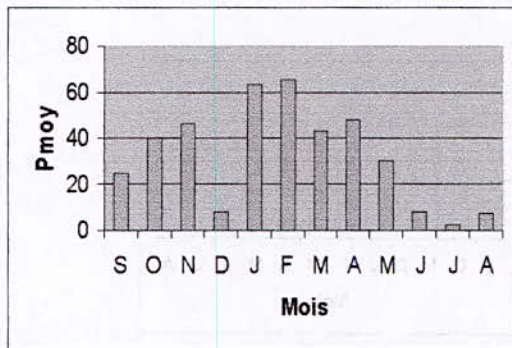
**Fig II.4 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Tizi-Ghenniff**

**II-3.2.2 Basse Soummam**

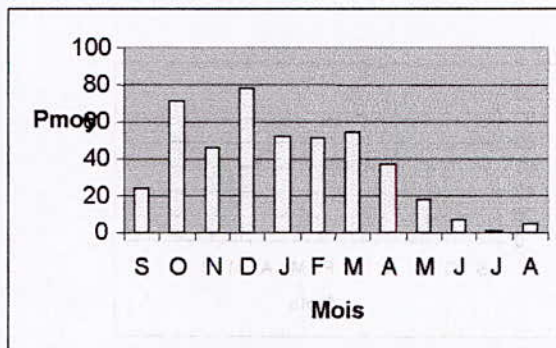
D'après le tableau II-8 et les figures : II.5, II.6 et II.7, on constate dans les trois stations pluviométriques, que les mois pluvieux vont de Septembre à Mai avec un maximum en décembre. Les mois secs vont de Juin à Août. Le minimum est enregistré au mois de Juillet.

**Tableau 8 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelle en (mm) période 1975/1996**

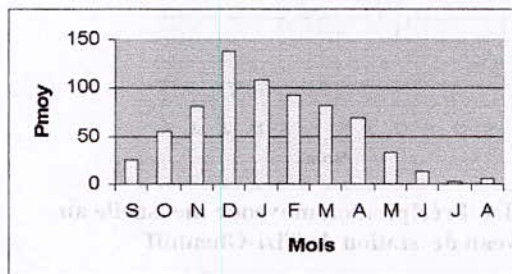
Station Mois	Sidi Aich	Domaine Maouche Ahmed	Tifra
SEP	25	24.2	25.2
OCT	40.2	70.9	56
NOV	46.1	46.1	81.2
DEC	79	77.9	137.6
JAN	63.5	51.9	108
FEV	65.8	51.4	93.6
MAR	43.1	53.9	82.3
AVR	48.3	37.1	69.2
MAI	30.1	18.2	32.4
JUI	8.4	7.1	13.5
JUL	2.3	1.1	3.7
AOUT	7.6	5.2	6.5
<b>P<sub>annulle</sub> (mm)</b>	<b>457.4</b>	<b>445.6</b>	<b>709.36</b>



**Fig II.5 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Sidi Aich**



**Fig II.6 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de DNE Maouche Ahmed**



**Fig II.7 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Tifra**

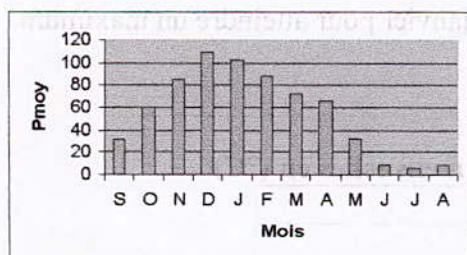


### II-3.2.3 Bas Sebaou

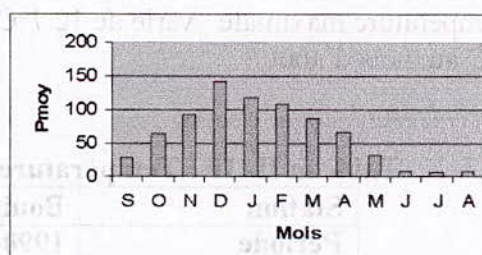
D'après le tableau II-9 et les figures (II.8, II.9, II.10, II.11 et II.12) on constate dans les cinq stations pluviométriques, que les mois pluvieux vont de septembre à mai avec un maximum en décembre. Les mois secs vont de juin à août. Le minimum est enregistré au mois de juillet.

**Tableau II.9 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelle en (mm) période 1975/1996**

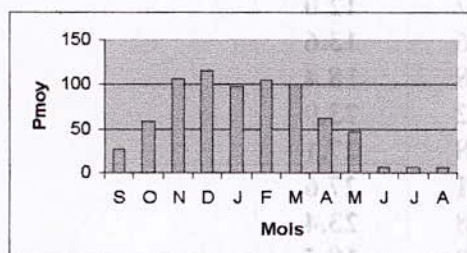
Station Mois	Draa Benkhadda	Larba Makouda	Argoub	Baghlia Village	Freha
SEP	30.6	28.8	26.7	30.1	27.4
OCT	59.9	63.2	58.3	64.7	98.3
NOV	85.8	91.8	106.1	99.8	90.4
DEC	108.9	143	115	111.9	119.4
JAN	102.2	117.3	98.1	97.9	106
FEV	87.6	108.4	104.4	91.7	87.9
MAR	71.4	85.7	101.2	67.4	77.8
AVR	66.6	65.4	61.4	70.5	67.2
MAI	32.6	33	46.7	38.4	37.9
JUI	8.3	7.8	5.9	9.3	8
JUL	5.7	5.8	5.6	4.6	4.9
AOUT	8.2	7.7	6.1	8.6	6.8
<b>P annuelle (mm)</b>	<b>668</b>	<b>758.6</b>	<b>736</b>	<b>595.2</b>	<b>732.3</b>



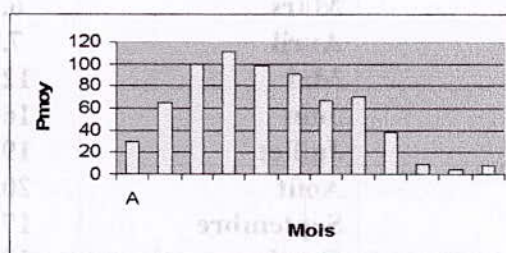
**Fig II.8 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Draa Benkhadda**



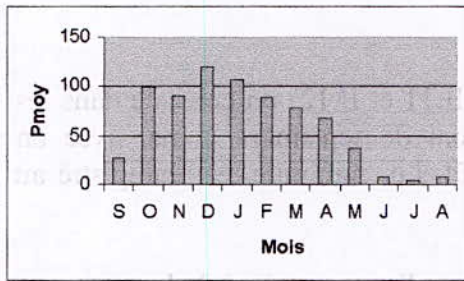
**Fig II.9 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Larba Makouda**



**Fig II.10 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Argoub**



**Fig II.11 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Freha**



**Fig II.12 Précipitation moyenne mensuelle au niveau de station de Freha**

## II.4- Température

Le second facteur important qui conditionne l'hydroclimatologie après la pluviométrie est la température.

### II.4-1 Bas Isser

La région d'étude renferme peu de station de mesures de la température. Nous avons donc utilisé les données d'une station de Bouira.

A partir de tableau II-10 et de la fig.II.13 nous noterons que la période chaude s'étale de juin à septembre avec un pic maximum durant le mois d'août. Les mois les plus froids généralement sont décembre, janvier et février.

La température minimale varie de 4.2°C aux mois de janvier et février pour atteindre un maximum de 20.2°C au mois d'août.

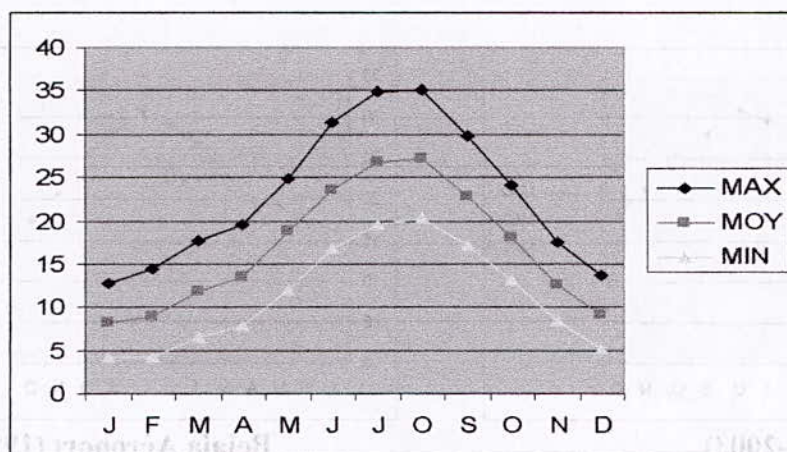
La température moyenne varie de 8.4°C au mois de janvier pour atteindre un maximum de 27.6°C au mois d'août.

La température maximale varie de 12.7°C au mois de janvier pour atteindre un maximum de 35.1°C au mois d'août.

**Tableau II- 10 : Températures moyennes mensuelles en (°C)**

Station	Bouira		
Période	1990-2003		
Moyenne	Tmin	Tmax	Tmoy
Janvier	4.2	12.7	8.4
Février	4.2	14.4	9.3
Mars	6.4	17.7	12.0
Avril	7.7	19.6	13.6
Mai	12.0	24.8	18.4
Juin	16.7	31.2	23.9
Juillet	19.5	34.8	27.1
Août	20.2	35.1	27.6
Septembre	17.1	29.8	23.4
Octobre	13.1	24.0	18.5
Novembre	8.4	17.4	12.9
Décembre	5.2	13.7	9.4





**Fig II.13 Variations mensuelles inter-annuelles des Minima, Maxima et Moyenne Station de Bouira (période : 1990-2003)**

## II.4-2 Basse Soummam

Nous disposons, pour notre étude, deux stations météorologiques Bejaia Port et Bejaia Aéroport (tableau II-11) où la température a été relevée à la période 1990-2003 :

D'après le tableau II -11 et la fig.II.14 nous constatons :

Dans les deux stations le mois d'août est le plus chaud de l'année, alors que janvier et février sont les mois les plus humides.

La température minimale est de 7.5°C au niveau de la station Bejaia Aéroport et une valeur maximale de 30.6°C au mois d'août.

La température maximale enregistrée au niveau de la station Bejaia Port varie de 17.2°C aux mois de janvier et février pour atteindre un maximum de 31.1°C au mois d'août.

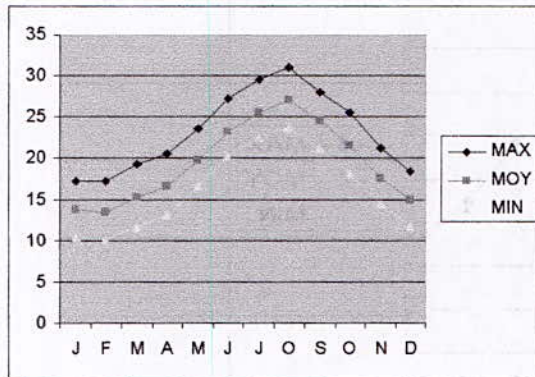
La température maximale enregistrée au niveau de la station Bejaia Aéroport varie de 16.5°C au mois de janvier pour atteindre un maximum de 30.6°C au mois d'août.

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.

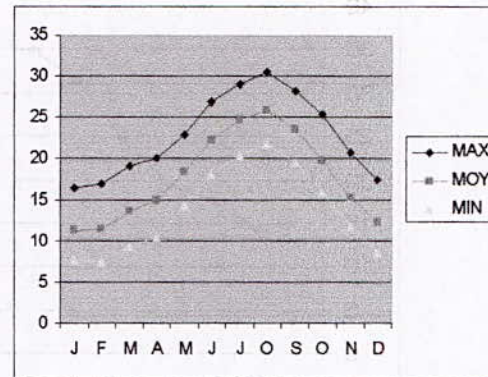
**Tableau II-11 : Températures moyennes mensuelles en (°C)**

Station	Bejaia Port			Bejaia Aéroport		
	1990-2003			1990-2003		
Moyenne	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy
Janvier	10.5	17.2	13.8	7.6	16.5	12
Février	10.1	17.2	13.6	7.5	17.0	12.25
Mars	11.6	19.2	15.4	9.3	19.0	14.15
Avril	13.1	20.5	16.8	10.5	20.0	15.25
Mai	16.6	23.5	20.05	14.2	22.9	18.55
Juin	20.2	27.2	23.7	18	26.8	22.4
Juillet	22.6	29.5	26	20.4	29.0	24.7
Août	23.8	31.1	27.4	21.7	30.6	26.1
Septembre	21.3	28.1	24.7	19.6	28.2	23.9
Octobre	18.1	25.6	21.8	16.0	25.3	20.6
Novembre	14.4	21.2	17.8	11.8	20.7	16.2
Décembre	11.8	18.4	15.1	8.7	17.5	13.1





Bejaia Port (1990-2003)



Bejaia Aéroport (1990-2003)

FigII-14 Variations mensuelles inter-annuelles des Minima, Maxima et Moyenne

### II.4.3 Bas Sebaou

D'après le tableau II -12 et la fig.II.15 nous constatons :

Dans les deux stations le moi d'août est le plus chaud de l'année, alors que Janvier et février sont les mois les plus humides.

La température minimale est de 10°C au niveau de la station Tizi Ouzou et une valeur maximale de 36.1°C au mois d'août.

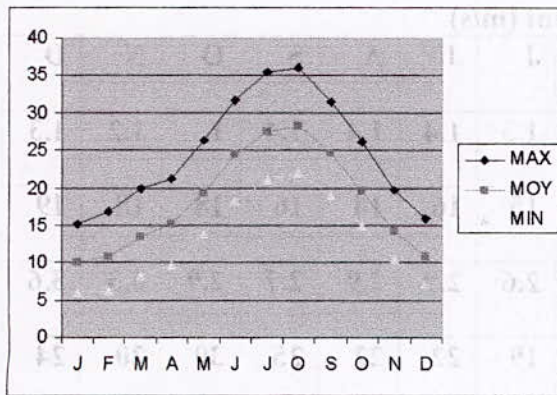
La température moyenne enregistrée au niveau de la station Tizi Ouzou varie de 10.6°C au mois de janvier pour atteindre un maximum de 29°C au mois d'août.

La température moyenne enregistrée au niveau de la station Dellys varie de 12.1°C au mois de février pour atteindre un maximum de 25.3°C au mois d'août.

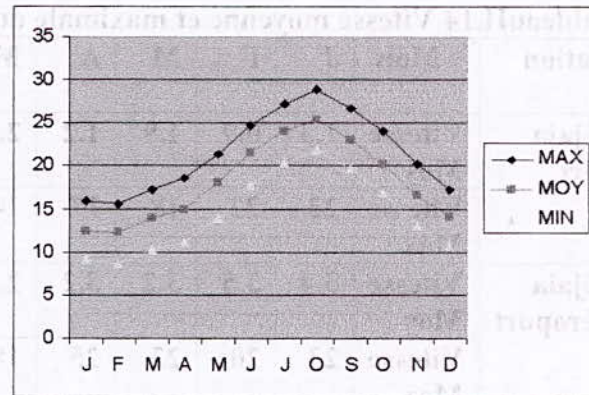
TableauII.12 : Températures moyennes mensuelles en (°C)

Station	Tizi Ouzou			Dellys		
	1990-2003			1990-2003		
Moyenne	Tmin	Tmax	Tmoy	Tmin	Tmax	Tmoy
Janvier	6.1	15.1	10.6	9.2	16.0	12.6
Février	6.2	16.8	11.5	8.7	15.6	12.1
Mars	8.4	19.9	14.5	10.3	17.3	13.8
Avril	9.7	21.3	15.5	11.1	18.5	14.8
Mai	13.9	26.3	20.1	14.0	21.4	17.7
Juin	18.2	31.7	24.9	17.8	24.7	21.2
Juillet	21.0	35.4	28.2	20.4	27.2	23.8
Août	21.9	36.1	29.0	21.9	28.8	25.3
Septembre	19.0	31.5	25.2	19.7	26.7	23.2
Octobre	14.9	26.1	20.5	17.0	24.0	20.5
Novembre	10.5	19.8	15.1	13.1	20.2	16.5
Décembre	7.2	15.9	11.5	10.7	17.2	13.9





Tizi Ouzou (1990-2003)



Dellys (1990-2003)

FigII-15 Variations mensuelles inter-annuelles des Minima, Maxima et Moyenne

## II.5 Vents

Les vents représentent aussi un élément important du climat, son action s'accompagne d'une évaporation plus ou moins accentuée à la surface du sol et du dessèchement de la couverture végétale.

### II.5-1 Bas Isser

Deux directions prédominantes (tableauII.13) existent dans le Bas Isser en période d'hiver et d'été avec des vents chauds (Siroco) soufflant Est à Nord-Est pendant le mois d'août.

La vitesse moyenne du vent à Bouira varie de 2.9m/s aux mois d'octobre et novembre pour atteindre un maximum de 3.7m/s au mois de avril. La vitesse maximum du vent varie entre 25m/s au mois de janvier pour atteindre un maximum de 43m/s au mois de juin.

TableauII.13 : Vitesse moyenne et maximale du vent en (m/s)

station	Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Bouira	Vitesse Moy	3.1	3.0	3.3	3.7	3.4	3.6	3.3	3.0	3.0	2.9	2.9	3.0
	Vitesse Max	25	37	36	38	28	43	31	29	34	31	29	36

### II-5.2 Basse Soummam

La vitesse moyenne du vent à Bejaia Port varie de 0.9m/s au mois de février pour atteindre un maximum de 2.6m/s au mois de mai. La vitesse maximum du vent varie entre 14m/s aux mois de mai et août pour atteindre un maximum de 23m/s au mois de janvier.

La vitesse moyenne du vent à Bejaia Aéroport varie de 2.6m/s au mois de juin pour atteindre un maximum de 3.6m/s au mois de décembre. La vitesse maximum du vent varie entre 19m/s au mois de juin et pour atteindre un maximum de 30m/s au mois d'octobre.



**Tableau II.14 Vitesse moyenne et maximale du vent (m/s)**

Station	Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Béjaia Port	Vitesse Moy	1.3	0.9	1.9	1.2	2.6	1.3	1.4	1.4	1.4	1	1.2	1.3
	Vitesse Max	23	22	18	17	14	15	16	14	16	18	18	19
Béjaia Aéroport	Vitesse Moy	3.4	3.5	3.2	3.2	2.8	2.6	2.9	2.9	2.7	2.9	3.3	3.6
	Vitesse Max	23	20	23	25	18	19	22	22	25	30	20	24

### II.5-3 Bas Sebaou

La vitesse moyenne du vent à Tizi Ouzou varie de 1.4m/s au mois de février pour atteindre un maximum de 2.4m/s au mois de juin. La vitesse maximum du vent varie entre 23m/s au mois de juin pour atteindre un maximum de 37m/s au mois de juillet.

La vitesse moyenne du vent à Dellys varie de 2.7m/s au mois d'août pour atteindre un maximum de 3.9m/s au mois de février. La vitesse maximum du vent varie entre 18m/s au mois de septembre pour atteindre un maximum de 47m/s au mois de mars.

**Tableau II.15 : Vitesse moyenne et maximale du vent (m/s)**

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tizi Ouzou	Vitesse Moy	1.6	1.4	1.7	1.7	1.9	2.4	2.1	2.1	1.8	1.5	1.6	1.6
	Vitesse Max	33	29	33	31	24	23	37	33	31	34	32	30
Dellys	Vitesse Moy	3.7	3.9	3.8	3.5	3.2	3.1	2.8	2.7	3.0	3.0	3.4	3.8
	Vitesse Max	22	21	47	25	20	21	24	20	18	27	26	25

## II.6 Humidité

### II.6.1 Bas Isser

Les moyennes mensuelles d'humidité relative à la station de Bouira pour la période 1990-2003 (tableau II.16), varie de 47% à 81%.

La valeur moyenne annuelle au niveau de la station de Bouira pour la période 1990-2003 (tableau II.16) est de 66.75%. Il a noté aussi que cette humidité ne descend jamais au dessous de 47% en raison de l'influence marine.

**Tableau II.16 : Données de l'humidité relative (%) d'après l'ONM (1990-2003)**

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Bouira	81	79	74	68	63	51	47	49	62	69	77	81	66,75



## II.6-2 Basse Soummam

Les moyennes mensuelles d'humidité relative à la station de Bejaia Aéroport et Bejaia Port pour la période 1990-2003 (tableau II.17), varient respectivement de 71% et de 63% à 77% et 70%, on constate également que l'humidité relative mensuelle ne descend jamais au dessous de 63% ceci est du à la proximité de la mer.

La valeur moyenne annuelle est de 66.5% à Bejaia Port et 74.3% à Bejaia Aéroport.

**Tableau17 : Données de l'humidité relative (%) d'après l'O.N.M (1990-2003)**

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
<b>Béjaia Port</b>	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>70</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>69</b>	<b>69</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>66</b>	<b>64</b>	<b>63</b>	<b>66,5</b>
<b>Béjaia Aéroport</b>	<b>75</b>	<b>76</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>77</b>	<b>74</b>	<b>73</b>	<b>71</b>	<b>73</b>	<b>75</b>	<b>74</b>	<b>74</b>	<b>74,3</b>

## II.6-3 Bas Sebaou

Les moyennes mensuelles d'humidité relative à la station de Tizi Ouzou et Dellys pour la période 1990-2003 (tableau II.18), varient respectivement de 49% et de 70% à 77%, on constate également que l'humidité relative mensuelle à la station de Dellys ne descend jamais au dessous de 70% ceci est du à la proximité de la mer.

La valeur moyenne annuelle est de 64.9% à Tizi-Ouzou et 73.9% à Dellys.

**TableauII.18 : Données de l'humidité relative (%) d'après l'O.N.M (1990-2003)**

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
<b>Tizi Ouzou</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>70</b>	<b>67</b>	<b>65</b>	<b>55</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	<b>56</b>	<b>67</b>	<b>75</b>	<b>77</b>	<b>64,9</b>
<b>Dellys</b>	<b>73</b>	<b>76</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>77</b>	<b>70</b>	<b>71</b>	<b>75</b>	<b>74</b>	<b>76</b>	<b>72</b>	<b>73</b>	<b>73,9</b>

## II.7 Conclusion

D'après ce que nous avons réalisé, les principales caractéristiques hydroclimatologiques avec la disponibilité des données relatives au climat au niveau des basses vallées de l'Isser, la Soummam et Sebaou sont :

- L'étude des facteurs climatiques nous a permis de distinguer deux saisons distinctes : Une saison humide froide, s'étendant de novembre à avril et une saison aride à semi aride à chaude s'étendant de mai à Octobre ;
- Les précipitations moyennes annuelles (période 1975-1996) au niveau des stations des basses vallées sont de : 692,02 mm, au niveau du Sebaou ; 537,45mm au niveau de la Soummam et 679,12mm au niveau de l'Isser.
- La température moyenne annuelle dans les trois bassins (Isser, Soummam et Sebaou) est respectivement de 17.04°C, 19.67°C et 19.55°C (période 1990-2003).

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



## Chapitre III : Aperçu géologique

### III-1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement la structure géologique et la description lithologique des vallées étudiées. Il sera également décrit le comportement hydrogéologique des différentes formations, en s'appuyant sur les données disponibles.

Les zones d'étude s'intègrent dans le Tell septentrional Kabyle, qui a été affecté par l'orogénèse alpine.

Ce domaine est caractérisé par un empilement de nappes contenues dans un édifice structural complexe.

Les plaines alluviales sont des bassins intra- montagneux allongés suivant une direction W-SW et E-NE, où se sont accumulées les formations néogènes et quaternaires.

Dans cette étude nous nous intéressons à la lithologie et à la structure géologique dans le but d'identifier les horizons aquifères.

### III-2 Géologie de la Basse vallée de l' Isser

#### III-2.1 Description lithologique

Notre région d'étude est marquée par la présence des terrains métamorphiques précambriens recoupés localement par des intrusions de roches acides représentées par des grano- diorites et granites leucocrates et roche basique (rhyolites), ainsi que par la présence de formation sédimentaire (fig.III.2.1).

##### III-2.1.1 Socle cristallophyllien

Il s'agit de puissantes séries de roche métamorphique affleurant à Beni-Amrane, au NW de Si- Mustapha, dans l'Ouest du massif de Thenia et à l'Est de Souk-El-Had.

Ces formations sont divisées en deux assises classées d'après le degré de métamorphisme qui les affecte.

##### - Assise inférieure du schiste cristallophyllien

Cette assise inférieure de schiste cristallophyllien puissante de 100 m est constituée de mica- schiste à biotite, de schiste à deux micas, de lentilles de gneiss ouillés à biotite et de marbre.

##### - Assise supérieure des phyllades

L'assise supérieure des phyllades est représentée par des schistes satinés à quartz de chlorites et séricites, elle forme le cœur du synclinal du Djebel-Bou-Arous.

##### III-2.1.2 Formations intrusives

Ces formations intrusives sont constituées de roche d'âge anté- tertiaire et tertiaire.

Les roches d'âge anté- tertiaire sont rares et constituent un complexe tardif et des films de pegmatite, on les trouve dans la région de Beni-Amrane et de Bordj-Menail. Quand aux



roches éruptives d'âge tertiaire, elles se caractérisent par les massifs de Thénia et celui de Cap-Djenet.

### III.2.1.2.1 Les massifs

#### -Le massif de Thénia

C'est un massif intrusif représenté par des granodiorites et granites leucocrates, affleurant respectivement au Nord de Thénia et au Sud-Est de Bordj-Menail.

L'altération de la granodiorite de Thénia a produit une arène granitique perméable.

#### - Le massif de Cap-Djenet

Il occupe une superficie de plusieurs km<sup>2</sup>, ou affleurent des roches basaltiques (Labradorites). Ces roches constituent la partie Ouest du massif, sous forme d'andésites et de dolomites. Dans la région de Dar-Raicha, cette formation dessine un anticlinal dont le cœur est occupé par le Sénonien.

### III.2.1.3 Les formations sédimentaires méso-cénozoïques

#### III.2.1.3.1 Formations allochtones

Ces formations correspondent essentiellement aux flyschs massyliens comprenant :

##### - Eocène supérieur (Préabonien)

Ces formations de type flyschs, sont représentées par les argiles et les marnes, contenant des intercalations de grès et de calcaire. Elles sont observées à l'Est de Chabel-El Aneur, à l'Ouest de Souk-El-Had. Ces formations peuvent se présenter sous formes de séquence rythmiques dont la base est microbréchique carbonatée le tout surmonté de grès calcaires et de marnes.

##### - L'oligocène

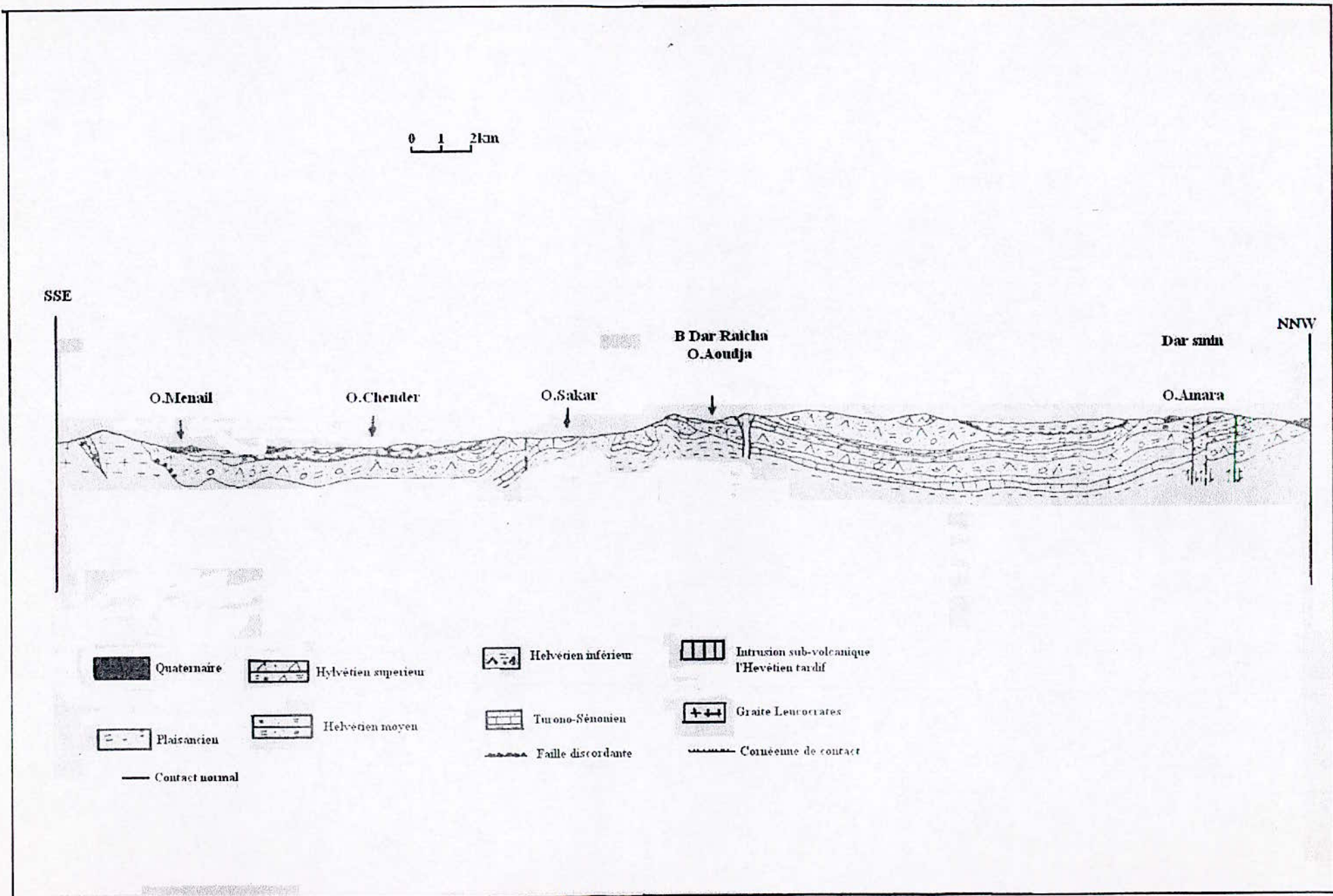
L'Oligocène affleure essentiellement dans la partie orientale de la région. Il est constitué d'une alternance de bancs grès quartzeux micacés et d'argile grises légèrement calcaires.

Ces bandes confinant au dépôt du flyschs paléocène, laissant supposer un contact tectonique entre les deux formations.

#### III.2.1.3.2 Formations autochtones

##### - Le Maestrichtien

Il est représenté par une alternance d'argile et de calcaires béchique, d'une épaisseur de 300m. Il constitue un pointement anticlinal étroit émergeant au Nord de Bordj-Menail et fait partie des formations tertiaires de Djebel-Raicha.



**Fig.III.2.1 coupe géologique de la vallée du Bas Isser  
(Boumaza-Hamouri) Sonarem 1970**



### **- Le Miocène**

On y distingue :

### **- Le Burdigalien**

Les dépôts marins du Burdigalien ne sont répandus que dans la partie amont du secteur d'étude.

A l'Ouest de Thénia, ces roches atteignent une épaisseur de 300m, où l'on retrouve une série plus complète. Cette formation est subdivisée en quatre assises différentes :

- Poudingues grossiers à intercalation de grès ;
- Marnes argileuses à inter- lits de gypses ;
- Grès calcareux et graviers cimentés ;
- Marnes.

### **-L'Helvétien**

Les terrains helvétiques forment de grandes étendues discordantes sur toutes les formations excepté le Burdigalien.

Ces terrains affleurent vers les bordures de la vallée de l'Oued Isser entouverts les pointements du socle cristallophyllien, épaisse de 1000m environ et sont divisées en quatre assises :

Une assise volcano- sédimentaire de 300m d'épaisseur avec une composition lithostratigraphique variable ;

Une assise représentée par des argiles et des marnes gréseuses avec quelques rares passages de grès calcaires ;

Une assise volcano- sédimentaire, on y trouve des bancs de grès, de poudingue et de marnes. Elle affleure à l'Est de la région et forme les des synclinaux ;

Une assise constituée de lave-andésico-andésico-basaltiques intercalée avec des bancs de brèches de même composition lithologique.

### **- Pliocène supérieur (Plaisancien)**

Il est épais de 200m et constitue le substratum des formations quaternaires. Il repose en discordance angulaire et stratigraphique sur la quasi-totalité des formations géologiques.

Ces dépôts sont représentés par des marnes blanches et des argiles calcaires, affleurant dans les parties basses du secteur, essentiellement sur la rive gauche.

Dans la partie amont de la région, le Plaisancien est quasiment absent.

### **- Quaternaire**

Il comble les dépressions étroites et allongées de la vallée, il est représenté par des faciès marins et alluviaux, comblant les dépressions étroites et allongées de la vallée.

### **-Terrasses marines**

On y distingue les plages actuelles et les dunes anciennes.



## -Terrasses alluviales

L'étude paléogéomorphologique réalisée par Chemlal (1983), a mis en évidence sept terrasses alluviales étagées et partiellement emboîtées lors du déplacement progressif du lit de Oued Isser vers l'Est.

### 1<sup>er</sup> Terrasse :

C'est la plus ancienne des terrasses. Elle est formée de grès, de galets de nature variable emballés dans un ciment sablo-argileux. L'ensemble a une épaisseur d'environ 30m et affleure localement au Sud-Ouest de Zemmouri.

### 2<sup>ème</sup> Terrasse :

Elle est constituée de lambeaux de pouding et de schistes, de phyllades, de grès, de calcaires et de quartzites emballés dans une gangue sableuse. L'ensemble a une épaisseur de 6 à 10m. Elle est affleurante à Sidi Benour et Lala Touila.

### 3<sup>ème</sup> Terrasse :

Elle se présente sous forme d'une bande étroite de 30 à 40m de long, constituée de dépôts alluviaux (sables argileux, galets et graviers) à s'étalant du Nord de Leghata jusqu'au plateau de Béni-Kous.

### 4<sup>ème</sup> Terrasse :

Elle apparaît sur la rive gauche du Bas Isser. Elle forme sur la rive droite, une bande large de 1000 à 2000m de long et d'une épaisseur de 0.40m. La quatrième terrasse est moins importante, l'ensemble repose sur le Plais ancien.

### 5<sup>ème</sup> Terrasse :

On la rencontre sous forme de lambeaux étroits. Elle est plaquée contre le substratum marneux, elle est formée d'alluvions. On la retrouve au Nord de Bordj-Menail où elle s'étend de Si-Mustapha à Laghata.

### 6<sup>ème</sup> Terrasse :

Elle forme un lambeau unique de conglomérats qui apparaît au niveau de la gare de Si-Mustapha.

### 7<sup>ème</sup> Terrasse :

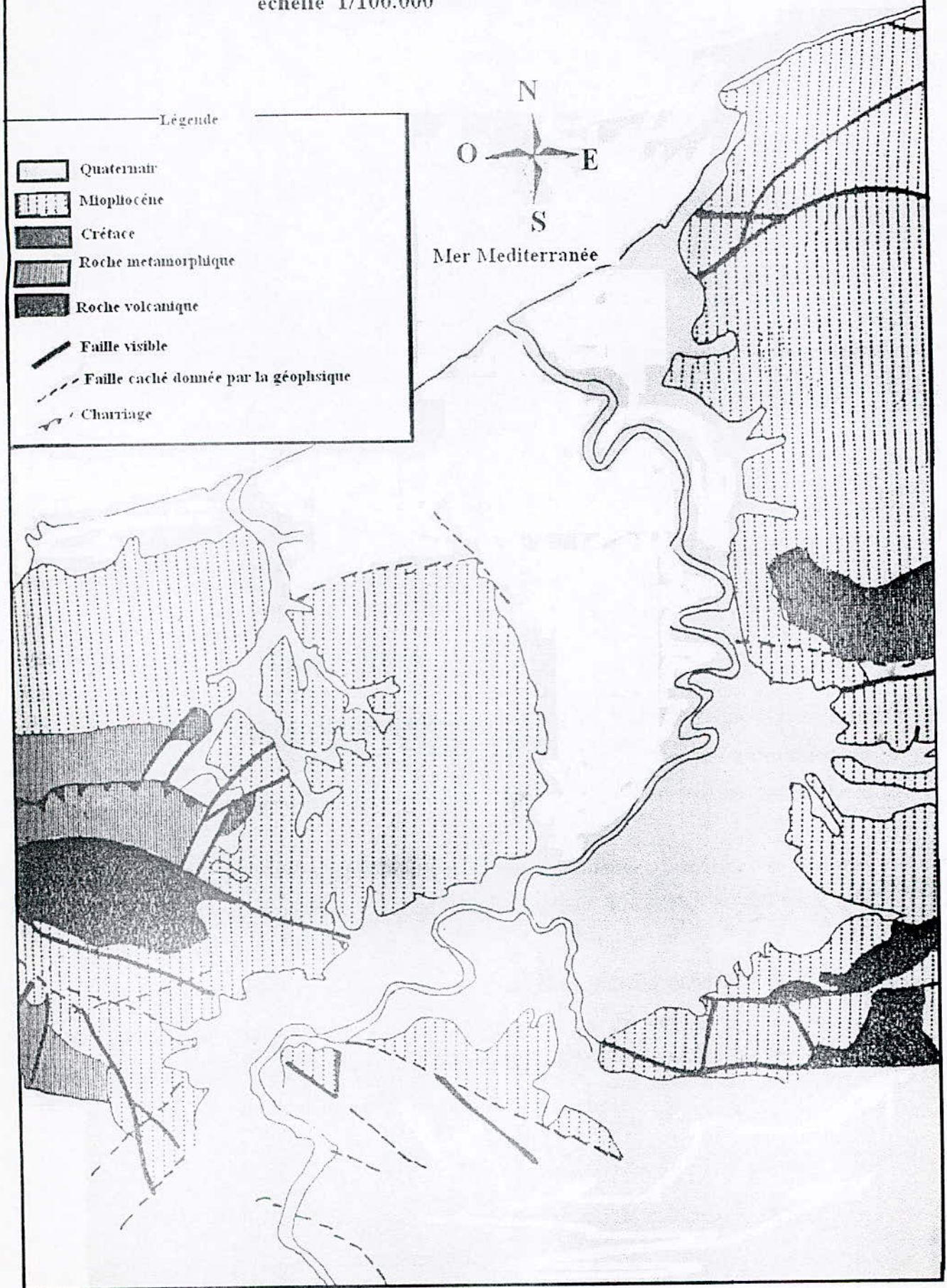
C'est la plus récente des terrasses, s'étend de Beni-Amrane jusqu'à l'embouchure de Oued-Isser. Elle occupe tout le fond de la vallée du Bas Isser, sur une longueur de 20 à 25km et une largeur de 1 à 4 km. Elle est constituée de remplissage quaternaire montrant une grande hétérogénéité typique des dépôts alluviaux. Son épaisseur maximale est d'environ 80m dans l'axe de la vallée et diminue progressivement vers les bordures.



Fig.III.2.2

SCHEMA TECTONIQUE

à partir de la carte géologique de la vallée du Bas Isser  
échelle 1/100.000





### III-2.2 Tectonique

La vallée du Bas Isser est caractérisée par une tectonique complexe due à sa disposition structurale (fig.III.2.2). Elle est constituée d'un empilement de nappes imbriquées, mises en place à la suite d'une intense fracturation et de glissement du Sud vers le Nord, suivie par une compression.

Le socle cristallophyllien de Bou-Arous, montre un anticlinal de direction axiale Est-Ouest, les flancs à fort pendage sont affectés par des failles longitudinales et de micro plissements.

Les terrains autochtones ont subi une déformation caractérisée essentiellement par, des synclinaux sub-latitudinaux et des failles normales.

Le paléogène est constitué d'une ride d'anticlinaux en genoux.

La chaîne calcaire écaillée, présente en général des plis étroits renversés parfois même couchés, souvent dans la partie Nord.

Les formations néogènes de la dépression de Thenia, sont affectées par des plis larges et droits.

Deux réseaux principaux d'accidents tectoniques ont été observés dans le Bas Isser :

- Un réseau de direction Nord-Ouest, représenté essentiellement par des cassures d'âge post-plaisancien ;
- Un réseau de direction générale Nord-Est/Sud-Ouest, qui est lié à la phase distensive du miocène.

### IV2.3- Comportement hydrogéologique des formations

A partir des données géologiques (lithologiques et tectoniques) des différentes formations, il a été possible de définir leurs caractéristiques hydrogéologiques essentielles.

Les terrains susceptibles d'être aquifères sont :

- Les terrasses d'origines marines et alluviales du quaternaire, qui constituent un bon réservoir avec une épaisseur importante de 210 m environ surtout au centre de la vallée ;
- l'altération des roches plutoniques et cristallophylliennes diaclases et fissurées engendre en générale une certaine perméabilité, permettant la circulation des eaux à la faveur de ces discontinuités géologiques ;
- La Dorsale Kabyle est connue pour ces calcaires massifs diaclases, fracturés et karstifiés à grande perméabilité. Au niveau des gorges de Lakhdaria, des sources temporaires à fort débit émergent à la faveur des fractures.



### III-3 Géologie de la vallée de la Soummam

#### III 3.1 Aperçu géologique sur 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'âges mésozoïque et cénozoïque.

La région est divisée en 2 zones du point de vue géologique (Clinks, 1973);

- Zone interne;
- Zone externe.

Les zones internes comprenant le socle cristallin et sa couverture d'âge paléozoïque, sur ce paléozoïque viennent en discordance des termes argileux gréseux d'âge triasique, des calcaires et marno- calcaire d'âge jurassique.

Dans ces zones, on trouve aussi une zone de flyschs constituées de sédiments flyschyoides (quartzo- pellitiques, conglomérats, marno- calcaire et des micro- brèches).

Dans cette région, on distingue deux types de flyschs :

- flyschs mauritaniens ;
- Flyschs massyliens.

Les Zones externes sont constituées par un ensemble d'unités parautochtones et allochtones, on y distingue :

- Des nappes épi telliennes : comportant un trias gypsique, un crétacé inférieur marneux et un crétacé supérieur sous forme de marnes d'épaisseur kilométrique ;
- Des nappes ultra telliennes de formation d'âge néocomien à éocène moyen ;
- Des nappes infra telliennes : sont composées d'un empilement d'unités dont l'âge va du Sénonien et éocène. Le crétacé est composé d'argile, l'éocène de calcaire et de marne et l'oligocène de marne gréseuse.

Enfin, dans cette région, on trouve aussi, une nappe numidienne, composée d'épais bancs de grès grossier essentiellement quartzeux de teinte calcaire et de puissantes assises basaltiques ou argileuses de teintes grisantes d'âge oligocène supérieur à la base.

#### III 3.2 Cadre géologique local

##### III 3.2.1 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 (fig.III.3) et la suivante :

#### 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, est formé essentiellement de masses gypsosaline, d'argile versicolore, et de formations grésos - dolomitique.

#### 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 de :



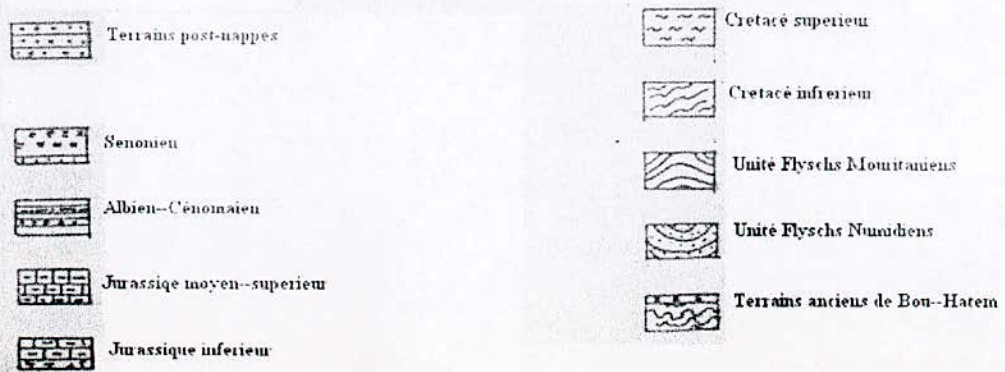
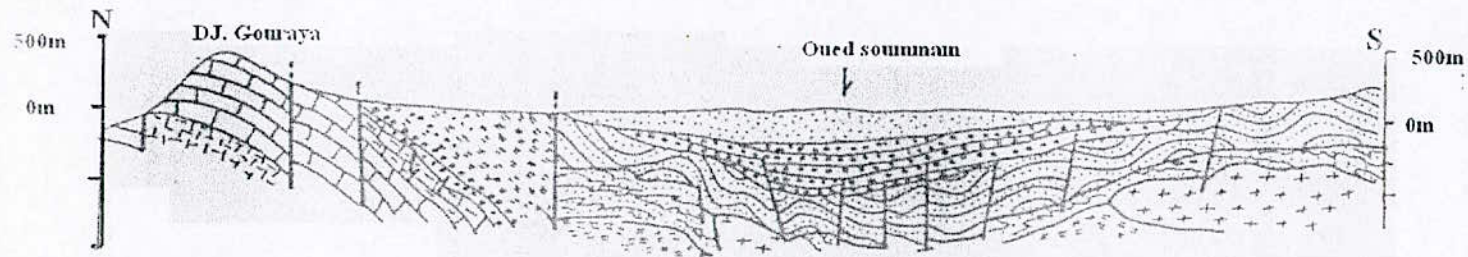
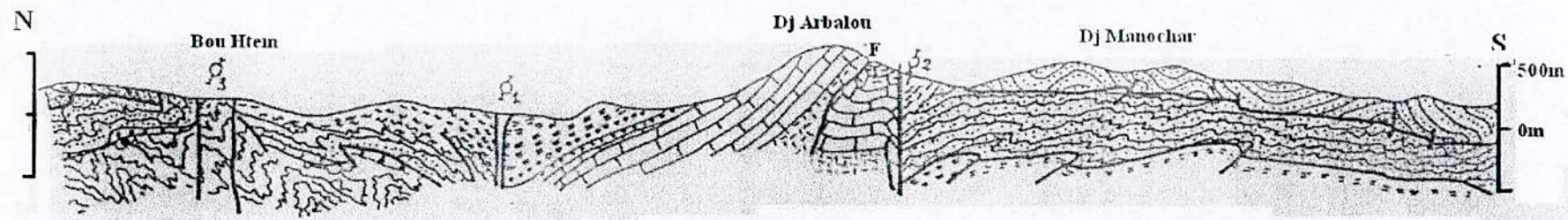


Fig. III.3 Coupe géologique de la Beiaia (M Hassissene, 1989)



- Calcaires dolomitique plus ou moins stratifiés ;
- Calcaires noires, et de marno- calcaire.

### 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 flysch 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.

### Miocène

Dans la région de la basse vallée de la Soummam, on en rencontre que le miocène II (miocène post-nappe). Il affleure sur la rive gauche de la Soummam (de Sidi-Aich) à la Réunion Oued Ghir), et sur la rive droite au sud de Bejaia à Oued Amizour. Il est représenté par :

- Des formations sédimentaires d'âge langhien ;
- Des formations éruptives.

### Pliocène

Il est représenté par deux faciès marins marneux passant latéralement à des argiles. Il affleure sur les bordures de Oued Ghir à Djabira. Un faciès continental formé de brèches et des poudings affleurent au pied du Djébel Gouraya et Bejaia ville.

### Quaternaire

Ce dernier est formé essentiellement :

- D'alluvions anciennes constituées de galets, de graviers et de sables à matrices sableuse;
- D'alluvions récentes formées de limons, de sables et de cailloutis au niveau du lit majeur de la Soummam ;
- Des brèches de pentes consolidées et de cônes d'éboulis récentes;
- De cônes de déjection des principaux affluents.

### Tectonique

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

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



Les phases tectoniques ont profondément fracturés cette région. On y décèle deux grandes familles de failles de direction NO et NE (Coutelle, 1979)

Cette dernière famille de failles a constitué de vraies zones de drainage dans certains endroits et donnent de véritables réseaux de drainage naturels d'eaux.

### III.3.2 Caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations

Les descriptions lithologiques et tectoniques permettent d'apprécier les caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations :

-Les formations calcaires jurassiques de l'Arbalou-Gouraya et de Timezrit constituent des milieux compétents où la circulation des eaux souterraines ne peut s'effectuer qu'à la faveur des discontinuités à circulation fissurale et à porosité de fracture.

Cependant, il existe quelques sources de résurgences à débits relativement importants telle que la source de Toudja (intersection de l'accident d'Arbalou N 140 avec N70). Ces formations peuvent constituer un bon aquifère mais leurs positions anticlinales ne permettent pas la constitution de réserves;

- Les formations des grès numidiens présentent une grande extension géologique et une granulométrie grossière favorable à l'infiltration des précipitations. Il a été décrit une existence de puits et sources alimentant plusieurs villages en eau potable.

Cette nappe est constituée par une alternance de grès et de pelites noires et à la base d'argiles, ce qui témoigne d'un aquifère multicouche;

- Les formations sédimentaires sont représentées par les terrasses alluviales très perméables. Elles constituent un bon aquifère.

Par leur épaisseur importante en éléments grossiers et leur porosité d'interstice.

Actuellement, ce sont les plus sollicitées dans l'aménagement des ressources souterraines du bassin hydrogéologique;

- Les formations éruptives du massif d'Amizour-Bejaia représentées par des laves et les granodiorites peuvent constituer des milieux favorables à l'exploitation des eaux souterraines du fait de degré de fracturation et d'altération très élevé des formations volcaniques ainsi que leur position structurale favorable à l'infiltration des précipitations.



## III.4 Basse vallée du Sebaou

### III.4.1 Cadre géologique régional

La basse vallée de l'Oued Sebaou est située au Nord de la grande Kabylie et fait partie de la chaîne des Magribides résultante de mouvements orogéniques hercyniens et alpins.

Du point de vue structural, la chaîne des Magribides est un domaine très affecté par des déformations, d'âges mésozoïque et cénozoïque, qui ce sont traduites en grande partie par des nappes de glissements mises en place durant cette période (fig.III.4).

On distingue trois ensembles géologiques représentés par :

- Les zones internes ou « Domaine Kabyle » ;
- La zone des flyschs ;
- Les zones externes ou « Telliennes ».

#### III.4.1.1 Zones internes ou « Domaine Kabyle »

Le secteur d'étude appartient aux zones internes regroupant les terrains métamorphiques du socle, la couverture sédimentaires paléozoïques, la dorsale Kabyle essentiellement carbonatée et l'Oligo- miocène Kabyle.

Le socle Kabyle est constitué par des formations cristallophylliennes d'âges paléozoïque ou même plus ancien. Ces terrains représentés par des gneiss, des micaschistes, des schistes, des amphibolites et des granulites.

La couverture sédimentaire paléozoïque Kabyle peu ou pas métamorphisée discordante sur le socle correspond à une formation essentiellement grésopellitique à intercalation carbonatées, regroupant des série allant du Cambrien supérieur au Carbonifère moyen.

La dorsale Kabyle, (Delga, 1969) ou chaîne calcaire (Glaugeaud, 1932) discordantes sur le socles Kabyle, elle représente la couverture de ce dernier.

Elle comprend des termes argilo- gréseux d'âge triasique, des calcaires et marnocalcaire jurassiques et des niveaux détritiques éocènes.

L'Oligo- Miocène Kabyle, correspond à une molasse résultant de l'érosion des reliefs après l'orogénèse éocène (ou pyrénéenne). Elle est discordante sur les écailles de la dorsale ou sur le socle Kabyle.

#### III.4.1.2 Zone des flyschs

Elle est constituée de sédiments flyschoides (quartzo- pellitiques, conglomérats, marnocalcaires à calcaires et microbrèches) d'âge créacé à Oligo- miocène inférieur.

Selon leur position par rapport aux crêtes de la dorsale Kabyle, ils sont dénommés soit « flyschs Nord Kabyle » F.N.K ou « flyschs Sud kabyle » F.S.K. Ils sont dénommés en contact anormal sur l'Oligo- miocène Kabyle pour les uns, ou sous la dorsale Kabyle pour les autres.

#### III.4.1.3 Zones externes ou telliennes

Les zones externes forment une large bande entre les zones internes et l'avant pays préaltasique, on y observe :

- Les unités autochtones ou para- autochtones constituées des terrains paléozoïques et mésozoïques souvent métamorphiques;



- Les nappes telliennes ou masses allochtones sont formées de terrains essentiellement marno- calcaire d'âge crétacé- éocène.

### III.4.2 Cadre géologique local

La basse vallée de l'Oued Sebaou correspond à une dépression où se sont accumulés des sédiments mio-plio- quaternaires.

#### III.4.2.1 Lithostratigraphie

La série stratigraphique affleurant au niveau de la basse Vallée de l'Oued Sebaou en partant de la plus ancienne à la plus récente est la suivante :

#### III.4.2.2 Socle Kabyle ou métamorphique

Il est constitué par des schistes, des micaschistes, des amphibolites et des gneiss ocellés marbres et blastomylonite, d'âge antécambrien apparaissant en fenêtre au milieu des marnes miocènes.

Dans la région de Dellys, Tizi-Ouzou, affleurent quatre massifs métamorphique de socle d'importance inégale, répartis suivant deux axes d'orientation N70 E et on distingue :

- Un alignement Nord, représenté à l'Est par la lame de Draa Karrouch et à l'Ouest le massif de Naciria (Raymond, 1976);
- Un alignement sud, représenté à l'Est par les djebels Boulloux et Aissa Mimoun et à l'Ouest le massif de Sidi-Ali Bounab (Raymond, 1976).

#### III.4.2.3 Unité d'afir- Azzefoun et oligocène grés- micacé

Cette unité d'afir-Azzefoun et Oligocène grés- micacé affleurent au S.E de Dellys dans les régions de Tazrout, de Dar Baida et de Bou Abachou.

L'unité d'afir-Azzefoun et un complexe comportant de bas en haut un flysch argilo-quartzitique d'âge crétacé inférieur, un mince niveau de phanites Cénomaniens petite rouge et vert d'âge lutétien supérieur Priabonien.

La série grés- micacé est flysch grés-micacé avec des dépôts de grés à faciès numidien d'âge Stampien- Châtien.

#### III.4.2.4 Unité tellienne de Dellys

Cette unité affleure en rive droite à Ouled Keddach et Baghlia, elle est constituée de terrains d'âge crétacé supérieur éocène.

Le crétacé supérieur est caractérisé par de puissantes séries (500-à 600m), montrant un faciès calcaro- marines.

Le complexe de marnes biomicrocrites est une série où alternent régulièrement un niveau n'excédant pas 3-4cm de marnes gris- olivâtre et de calcaires gris à microfaunes organiques (spicules de spongiaires. Prismes d'inocérames et Globotruncana) du Coniacien supérieur-Santonien au Mæstrichien.

L'Eocène est représenté par des marnes noirâtres à globorotalia pseudo bulloides surmontées de calcaires marneux (30 à 40m) à rares silex noirs en rognons fournissant une riche microfaune caractérisant l'ypresien et la partie inférieure du Lutétien et des calcaires pouvant être parfois complètement silicifiés.



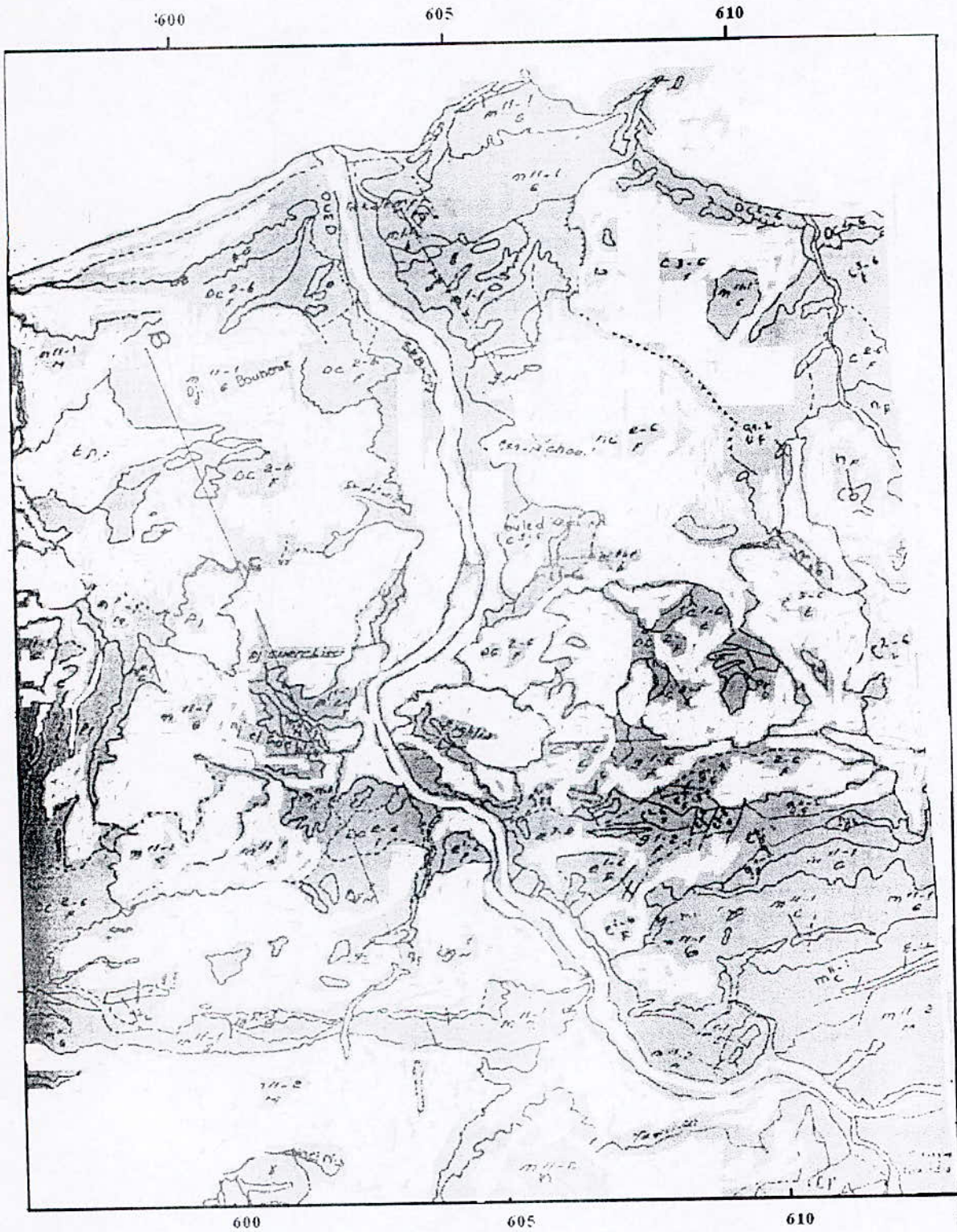


Fig.III.4 Géologique du Bas Sebaou (D.Raymond-1976)



Au sommet de cette série de calcaire, apparaissent des marnes noires à boules jaunes contenant des associations des foraminifères planctoniques.

#### III.4.2.4 Unité numidienne

Cette unité comprend la succession litho stratigraphique suivante :

- Les argiles sous- numidiennes de couleur brunes à Tobotomacidum fréquents d'âge oligocène (Gelard, 1979).

Les grès numidiens forment une série azoïque d'épaisseur 300-400m débutant par des grès quartzose et se poursuivent par un flysch grésopelitique d'âge aquitainien (Gelard, 1979).

- Les argiles supra- numidiennes sont constituées d'argiles et de marnes à intercalation de selexite d'âge aquitainien- burdigalien inférieur ( Gelard, 1979).

Cette unité affleure en rive gauche dans la région de Kouanine et Sebaou El Kedim.

#### III.4.2.5 Olistostromes

Ils sont liés à la mise en place des nappes sur le domaine interne et correspondent à une formation constituée par une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pelitique) lités ou chaotiques dans laquelle sont dispersés de menus débris accompagnés de blocs ou panneaux (olistolites) de tailles variables d'âge aquitainien supérieur burdigalien inférieur (Bouillin, 1973).

Les olistostromes apparaissent dans deux positions fondamentales venant se superposer stratigraphiquement :

- Superposition stratigraphique directe avec l'Oligo- miocène Kabyle : olistostrome 'I' ;
- Superposition stratigraphique à l'unité tellienne de Dellys (Crétacé supérieur ou Eocène) olistostrome 'II' .

Ces argiles à « blocs » affleurent à Ouled Keddach, Ben N'choud, Ben Archao, Cuerarda, Cherguia, Ouled Chabane.

#### III.4.2.6 Formations « POST-NAPPES »

Elles sont constituées de terrains d'âge miocène et pliocène et déposées postérieurement à la mise en place des nappes

Au Burdigalien terminal, le Miocène est essentiellement graveleux et conglomératique, il est représenté de la base au sommet par des marnes, des conglomérats, la molasse et se termine par des marnes. Il occupe une surface importante sur la rive gauche de l'Oued Sebaou au niveau des Djebels Bouberak, Guerbissa et El Gueblia et sur la rive droite au niveau de Draa Karrouch et le Djebel Takdempt.

Au Lughien, Serravalien, le Miocène est représenté par des grès surmontés de marnes et s'étale sur l'ensemble du bassin de Tizi-Ouzou et le sillon qui le continue jusqu'à la vallée de Naciria. Il constitue le substratum, imperméable des formations alluviales aquifères.

Au pliocène, les affleurements de marnes gris claires d'épaisseur 60m à intercalations de bancs conglomératique, reposent en discordance sur le Burdigalien supérieur. Ils sont d'extension relativement réduite dans la partie Ouest du bas Sebaou (Djarabet).

En général, le Miocène « post-nappe » discordant sur le socle Kabyle masque l'Oligo-miocène Kabyle, sauf en quelques endroits (SE de Draa Karrouch) et affleure également au cœur d'une zone anticlinale (Azib bou Moussa, Kouanine).



### III.4.2.7 Les roches volcaniques

Au sein des molasses miocènes apparaît un cortège de roches volcaniques (basaltes, rhyodacites, rhyolites, spilites et tufs). Ces formations sont en relation, avec le massif éruptif de cap Djenet et affleurent au Djebel Takadempt, à l'Est de Djebel Bouberak et sur le versant nord du massif de Naciria.

### III.4.2.8 Formations quaternaires

Elles occupent la vallée proprement dite de l'Oued Sebaou et ses principaux affluents.

Elles sont représentées par des dépôts alluvionnaires, constitué de niveaux à galets, à graviers, à sables grossiers et fins, à argiles et à limons.

Dans son ouvrage « Les modèles et les formations quaternaires dans la moyenne de l'oued Sebaou » Benhassaine, 1974 a donné une datation relative des différents niveaux de terrasses alluviales et ce en établissant une comparaison avec les résultats connus pour le Maroc.

Nous avons remarqué que pour la basse vallée du Sebaou, seuls deux niveaux stratigraphiques du Quaternaire récent peuvent être retenus, ce sont de bas en haut :

- Le Soltanien qui est constitué de sables, de graviers, de galets, d'argiles et qui correspond aux alluvions récentes et anciennes;
- Le Rharbien, qui est représenté par une accumulation de crues limono- argileuses et qui correspond aux alluvions actuelles.

Les éléments fins peu épais dans la partie amont prennent de plus en plus d'importance au détriment des éléments grossiers au fur et à mesure que l'on s'approche de l'embouchure de l'Oued Sebaou.

Dans le bas Sebaou, l'épaisseur de ce matériel alluvionnaire n'excède pas 70m.

### III.4.3 Etude structurale

Si l'on se réfère à l'esquisse structurale de la région de Dellys- Tizi-Ouzou, la basse vallée de l'Oued Sebaou présente un style tectonique plus souple qu'au voisinage du socle en montre un ensemble de nappes superposées d'extension variables localisée essentiellement à l'Est de notre secteur d'étude.

Au sud de celui-là les principales structures tectoniques affectant aussi bien le Miocène « post-nappes » que le socle Kabyle sont représentées par une série d'anticlinaux et de synclinaux d'orientation N70 E.

Les plis d'ampleur plurikilométrique ont une orientation Sud- Nord, on distingue :

- L'anticlinal de Aissa-Mimoun-Djebel Belloua qui prolonge à l'ouest celui de Sidi Ali Bounab;
- Le synclinal de Draa Karrouch qui se prolonge à l'Ouest par celui de Naciria.

Au Nord, les chaînons littoraux (Takdempt et Bouberak) montrent un système de plis N70 E déversés ver le Nord.

Les coupes A et B indiquent des déformation par serrage remarquable surtout dans les terrains relativement compétents que sont les molasses de la zone côtière (Takdampt).

Le phénomène tectonique responsable de ces déformations est la phase de plissement qui a eu lieu à la fin du Miocène.



La fracturation est très peu exprimée dans le bas Sebaou, cependant quelques failles peuvent être observées dans les niveaux compétents des molasses et conglomérats aux Djebels El Gueblia et Boubarak.

D'autres fractures d'orientation N70 E, EW et NE-SW affectent les terrains argilo-calcaires du Paléocène et du Lutétien (Dar Beida). De plus, un accident N 140E séparant l'ensemble Naciria- Sidi Ali Bounab de l'ensemble de Draa Karrouch-Belloua-Aissa Mimoun et un décrochement Nord-Sud supposé correspondre au tracé rectiligne du cours de l'Oued, et allant de Tadmait à Baghlia, ont été signalé par Raymond, 1976. En définitive, nous pouvons dire que la basse vallée de l'Oued Sebaou est affectée par plusieurs systèmes tectoniques superposés.

### **III.5- Conclusion**

Les régions d'étude sont caractérisées par une tectonique complexe et fait partie des zones du « Domaine Kabyle » structurée lors de l'orogénèse alpine. C'est au plio- Quaternaire que s'effectue l'ouverture des basses vallées qui suit une direction SSE - NNW sans doute liée à un décrochement de direction NW - SE (Raymond, 1976).

Les terrain méso- cénozoïques sont représentés par des terrains de nature lithologique variés, ce sont essentiellement des formations sédimentaires (marnes, argiles, molasses, conglomérats et grés) du Miocène qui affleurent dans les basses vallées de l'Oued Isser, l'Oued Soummam et l'Oued Sebaou. Elles reposent en discordance sur le socle ancien métamorphique qui apparaît en fenêtres.

Le remplissage quaternaire constitue en raison de l'importance de son développement et sa caractéristique hydrogéologique le meilleure aquifère de la région.



## Chapitre IV : Hydrogéologie

### IV.1 Introduction

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

### IV.2- Piézométrie

#### IV.2.1- Introduction

Avant d'entamer l'étude hydrochimique, il est nécessaire de déterminer la morphologie de la surface piézométrique de la nappe, afin d'avoir une meilleure connaissance du sens d'écoulement des eaux et les zones d'alimentation vers le nappe alluviale. Celle-ci contribue à nous apporter des précisions sur l'évolution chimique des eaux lors des transferts à travers la nappe.

#### IV.2.2- Basse vallée de l'Isser

La campagne de reconnaissance a été effectuée du 30 Novembre au 10 Décembre de l'année 1992 par Boumaza, Hamoni, Amouri et Sengad qui a porté sur :

- 120 puits dont la profondeur est inférieure à 25m ;
- 15 forages dont la profondeur est inférieure à 25m ;
- 7 sources.

Cette campagne portant essentiellement sur la septième terrasse alluviale montre les éléments suivants:

- L'écoulement général se fait suivant l'axe de la vallée, orienté du Sud vers le Nord ;
- A Souk-El-Had, l'écoulement des eaux souterraines se fait des terrains des bordures vers le lit de l'Oued orienté vers l'Est ;
- Les eaux convergent vers un cône de dépression résultant de l'influence de champs de captages de Si Mustapha, Bordj-Menail, Souk-El-Had et les Isser ;
- L'écoulement de la nappe au centre de la vallée alimente la dépression de la confluence entre l'Oued djemaa et l'Oued-Isser, suivant une direction SW-NE ;
- Au nord, les eaux souterraines transitent vers la mer dont l'écoulement est de direction SSE-NNW ;
- Un écoulement latéral en provenance des eaux rives de l'Oued dont l'ensemble se dirige vers l'axe de la vallée de l'Oued-Isser ;
- En rive gauche il est dirigé vers le SE, par contre en rive droite, il est orienté vers le NW entre les Issers et Bordj\_Menail.

La comparaison entre les niveaux piézométriques de 1983 et 1992 révèle qu'il y a eu une baisse du niveau de la nappe.



### IV.2.3- Basse Vallée de la Soummam

D'après l'interprétations de la carte piézométrique (Benaissa, 2003) fig.IV.2, cette carte montre :

- 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 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.

### IV.2.4- Basse vallée du Sebaou

D'après l'interprétations de la carte piézométrique fig.IV.3 de la vallée du bass Sebaou (Octobre à novembre 1992) (Sais et Si-Mohand) sur les 80 points d'eau certains n'ont pu être utilisés du fait de leurs exploitation.

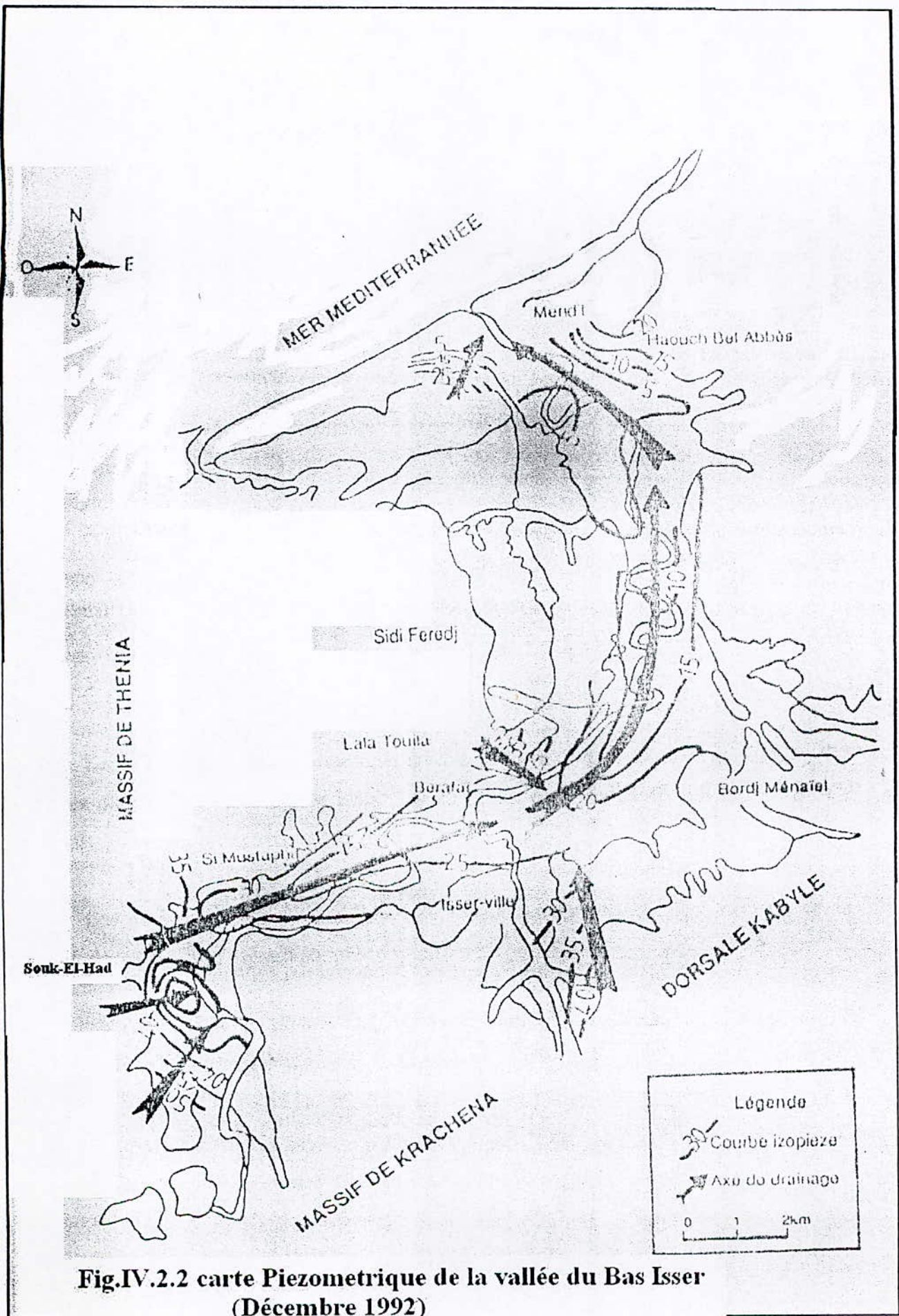
La carte piézométrique (fig.VI.3), montre un axe de drainage principal des eaux souterraines d'orientation Sud-Nord. L'augmentation du gradient hydraulique de 7% à 10% de part et d'autre de l'Oued Sebaou permet de mettre en évidence des écoulements latéraux des bordures vers le centre de la vallée confirmé par la présence de source à l'aval. Cette augmentation peut aussi s'expliquer par la forte pente en rive gauche et par les formations semi-perméables représentées par le Flysch chaotiques et la lithologie. Entre Ben Choud et Ouled Kheddache apparaît une zone de surexploitation représentée par des courbes isopièzes fermées.

Au centre de la vallée les courbes isopièzes sont espacées, cet espacement indique un gradient hydraulique faible de l'ordre de 7% ceci est du essentiellement aux transmissivités élevées et cette zone correspondant donc un canal principal suivant l'axe de drainage.

Immédiatement à l'amont de Sidi-Daoud, on note une zone de divergence de l'écoulement des eaux souterraines ceci est dû à la ligne de partage des eaux épousant approximativement la direction principale de l'Oued Besbes qui est probablement souligné par une fracture, donc le prolongeant et continuera à l'Est.

A l'Est de Sidi-Daoud apparaît une zone de convergence des eaux souterraines déterminant une zone de surexploitation localisée au niveau des champs de captage.





**Fig.IV.2.2** carte Piezometrique de la vallée du Bas Isser  
 (Décembre 1992)  
 (Amori--Sengad)



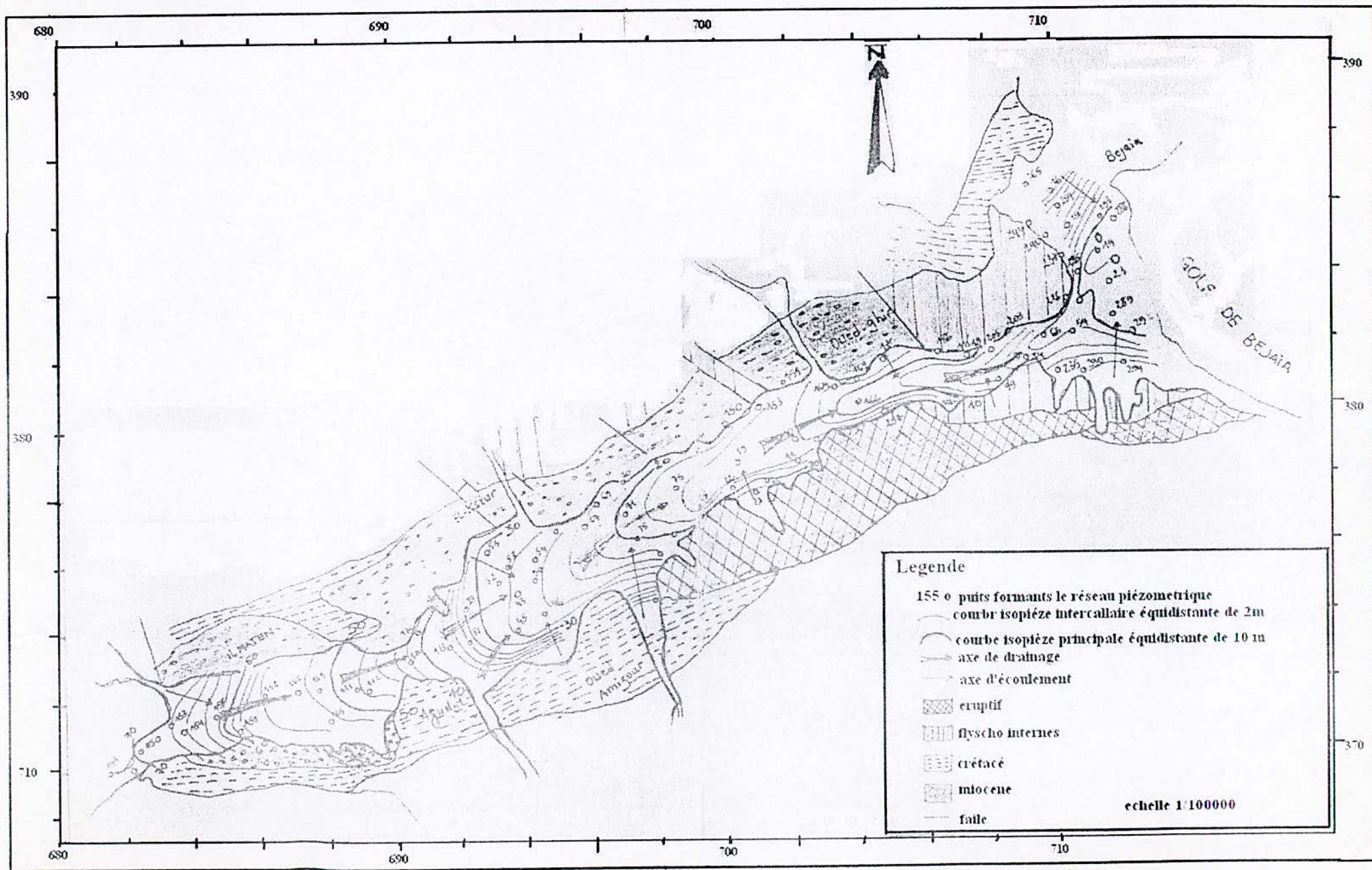


Fig.VI.2 Carte piézométrique de la nappe alluviale de la basse vallée de la Soummam pour la période des hautes eaux (Mars-Avril, 1983)



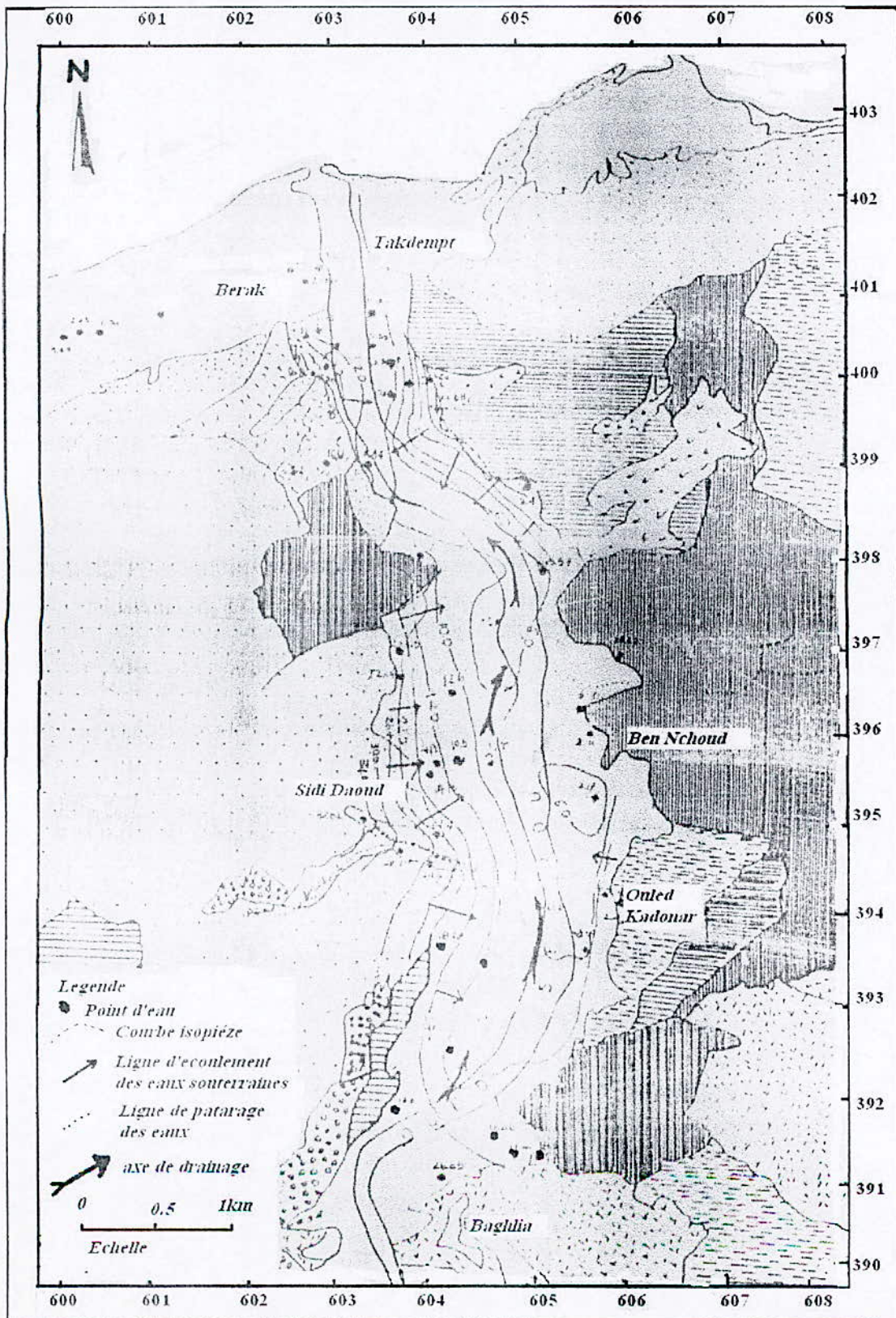


Fig.IV.3 Carte piezometrie de la vallée du bas Sebaou [Octobre--Novembre 1992]



### IV.3 Gradient hydraulique

#### IV.3.1 Basse vallée de l'Isser

La valeur du gradient hydraulique varie entre 0.3 et 2.8%, les plus faibles valeurs sont observées au centre de la vallée (Si-Mustapha, Bordj-Menail) qui est liée à l'épaisseur et à la perméabilité des alluvions de cette région.

Les gradients hydrauliques élevés se rencontrent au niveau des bordures de la vallée, dus aux pentes topographiques des terrains.

En aval dans la partie littorale, le gradient hydraulique est maximum, ce qui est lié au rétrécissement de la vallée.

#### IV.3.2 Basse vallée de la Soummam

A l'Ouest d'El-Maten (cône de déjection de l'Oued Roumilla), le gradient hydraulique est de l'ordre de 12%, il diminue ensuite jusqu'à 4.5% vers l'aval par suite de l'élargissement de la vallée.

Au niveau du seuil d'Aguellal, les isopièzes se ressentent normalement et le gradient est d'environ 8%, vers l'aval de l'Oued Amassine, le gradient augmente jusqu'à 15%.

Au niveau d'El-Kseur, la vallée s'élargit et le gradient passe à 4.5% enfin vers l'aval et jusqu'à l'exutoire, les variations du gradient sont irrégulières.

Sur le versant Nord et aux débouches des principaux affluents, les gradients restent forts (10 à 15%).

#### IV.3.3 Basse vallée du Sebaou

La valeur du gradient hydraulique varie entre 0.7 et 1%, les plus faibles valeurs sont observées au centre de la vallée 7%.

### IV.4 Alimentation de la nappe alluviale

Pour l'étude hydrochimique que nous aborderons avec plus de détail, il est nécessaire de connaître la source d'alimentation de la nappe.

#### IV.4.1 Basse vallée de l'Isser

A partir de la carte piézométrique fig.IV.1, la nappe en général alimente l'Oued Isser, sauf en période de hautes eaux ou lors de la lâchée des barrages, dans ce cas l'alimentation de la nappe se fait de l'Oued.

#### IV.4.2 Basse vallée de la Soummam

L'alimentation de la nappe se fait essentiellement à partir :

- Des précipitations qui s'infiltrèrent directement ;
- Des infero-flux des affluents ;
- Des formations affleurant sur le versant nord (Terrain jurassique de l'Arbalou et grés numidiens) ainsi que des formations du Miocène.



## IV.4.2 Basse vallée du Sebaou

L'alimentation de la nappe se fait essentiellement à partir :

- par l'infiltration directe des eaux des précipitations ;
- par l'infiltration à partir des bordures latérales plus accentuées en rive gauche qu'en rive droite ;
- par alimentation à partir des reliefs plus éloignés.

## IV.5 Paramètres hydrodynamiques :

Les principales caractéristiques hydrodynamiques sont la transmissivité (T), la perméabilité (K) et le coefficient d'emmagasinement (S). Ce sont des paramètres importants dans l'évaluation du bilan hydrogéologique des nappes alluviales des basses vallées (Isser, Soummam et Sebaou).

### IV.5.1 Perméabilité

La perméabilité (K) d'une formation s'obtient par la relation suivante :

$$K=T/H$$

K : la perméabilité de la formation (m/s);

T : la transmissivité de l'aquifère ( $m^2/s$ );

H : épaisseur de l'aquifère (m).

#### IV.5.1.1 Basse vallée de la Soummam

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 avale.

#### IV.5.1.2 Basse vallée du Sebaou

Les valeurs de la perméabilité (Sais et Si-Mohand, 1993), varient de  $3,22 \cdot 10^{-4} m/s$  à  $16,65 \cdot 10^{-4} m/s$ , elles montrent assez bien l'hétérogénéité des formations alluviales, et confirment les données de la carte piézométrique et les variations du gradient hydraulique

### IV.5.2 La transmissivité

#### IV.5.2.1 Basse vallée de l'Isser

Les valeurs de la transmissivité (Bouzar et Messaoud, 1987) varient de  $0,6 \cdot 10^{-3} m^2/s$  à  $1,6 \cdot 10^{-3} m^2/s$  dus à l'hétérogénéité des formations.

#### IV.5.2.2 Basse vallée de la Soummam

La transmissivité varie dans les larges proportions, elle est de  $4 \cdot 10^{-2} m^2/s$ , on distingue deux zones 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 est 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 générale, 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.

### **IV.5.2.3 Basse vallée du Sebaou**

Les valeurs de la transmissivité (Sais et Si-Mohand, 1993), varient de  $1.42.10^{-2}m^2/s$  à  $8,75.10^{-2}m^2/s$  dus à l'hétérogénéité des formations.

## **IV.5.3 Le coefficient d'emmagasinement**

### **IV.5.3.1 Basse vallée de l'Isser**

Les coefficients d'emmagasinement sont beaucoup plus variables (Bouzar et Messaoud 1987), variant de 0.1% à 24% et estimés en 1974 par GuirKanow à 10% pour l'ensemble de la vallée. Les valeurs les plus élevées s'observent au niveau de Si Mustapha, les Issers et Bordj Menail probablement dues à la granulométrie très grossière et variable de la formation.

### **IV.5.3.2 Basse vallée de la Soummam**

Le coefficient d'emmagasinement est le paramètre le moins caractérisé en raison du nombre limité de piézomètres, il varie de 0.17% de 0.74% dans la zone amont et de 0.15% dans la zone avale.



## Chapitre V : Analyse statistique élémentaire

### V.1 Introduction

Les méthodes statistiques sont aujourd'hui utilisées dans presque tous les secteurs d'activités scientifiques et font partie des connaissances de base de l'ingénieur, du gestionnaire, de l'économiste, ... etc.

### V.2 Statistique élémentaire

#### V.2.1-Introduction

Il s'agit de la statistique descriptive qui a pour but de présenter les données observées sous une forme telle que l'on puisse en prendre connaissance facilement. Mais avant toute chose, nous devons donner quelques précisions essentielles quant à la nature des observations considérées.

Concernant notre étude, les observations, les mesures sont effectuées sur un certain nombre d'individus. Les variables numériques sont de type continue : ce sont des concentrations en ions et cations des échantillons d'eau et des paramètres physico- chimiques des eaux souterraines de trois aquifères côtiers.

#### V.2.2- Paramètres statistiques

Les paramètres statistiques les plus couramment utilisés sont :

- Les paramètres de position ;
- Les paramètres de dispersion ;
- Les paramètres de formes.

##### V.2.2-1 Paramètres de position

Ces paramètres sont également appelés paramètres de tendances centrales ou de valeurs moyennes. Il s'agit en quelque sorte de définir une valeur « c » autour de laquelle se répartissent les « n » observations. Les paramètres les plus utilisés sont :

##### a. Moyenne arithmétique

Elle est égale à la somme des valeurs correspondant aux divers éléments d'une série divisée par le nombre d'éléments de cette série.

C'est la mesure de la valeur centrale la plus utilisée en statistique.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

X : valeur de l'observation i ;

n : taille de l'échantillon.

##### b. Mode

C'est la valeur de caractère ayant la fréquence maximale.



### c. Médiane

C'est la valeur pour laquelle, il y a autant des valeurs inférieures que supérieures.

## V.2.2-2 Paramètres de dispersion

Ces paramètres permettent de chiffrer la variabilité des valeurs observées, autour d'un paramètre de position, ce sont principalement :

### a. Variance :

Par définition, la variance d'une population est donnée par :

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

### b. Ecart type :

Noté  $\sigma$ , il est donné par :

$$\sigma = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

### c. Coefficient de variation :

Le coefficient de variation permet de comparer la variabilité relative de plusieurs séries statistiques ou de plusieurs distributions de fréquences dont les ordres de grandeurs sont très différents et il est nul que si les valeurs observées sont égales entre elles, et donc égales à leur moyenne. Ces coefficients sont estimés en pourcentage. Il est donné par :

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$



### V.3 Application aux données hydrochimique des aquifères côtiers

#### V.3.1 Basse Vallée de l'Isser

##### V.3.1.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

D'après les valeurs du pH (tableau V.3.1.1), il est bien clair que les eaux souterraines de la basse vallée de l'Isser sont généralement basique car il présente une valeur minimale est de 6.7 alors que la valeur maximale est égale à 8.0 La moyenne est de 7.41 cette valeur est très proche de la médiane qui présente une valeur de 7.40 et un coefficient de variation de 4.27%, ce dernier traduit une distribution proche de la loi normale. Cette basicité s'explique (Abdelli, 1997) par :

- L'alimentation de la nappe par les eaux du massif de Cap-Djenet ;
- Les rejets d'eaux usées liés à l'absence de réseaux d'assainissement.

Tableau V.3.1.1 Paramètres statistiques du pH

Paramètres statistiques	pH
Taille	25
Valeur Minimum	6,70
Valeur Maximum	8,00
Moyenne Arithmétique	7,41
Médiane	7,40
Ecart Type	0,32
Variance	0,100
Coefficient de Variation	4,27%

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.1) de cette variable présente deux classes dominantes, il s'agit des classes (7.2 - 7.4 et 7.4 - 7.6) qui renferment chacune environs 28% du nombre d'observation, suivi de deux classes (7-7.2 et 7.6-7.8) qui renferment environs 12% pour chacune.

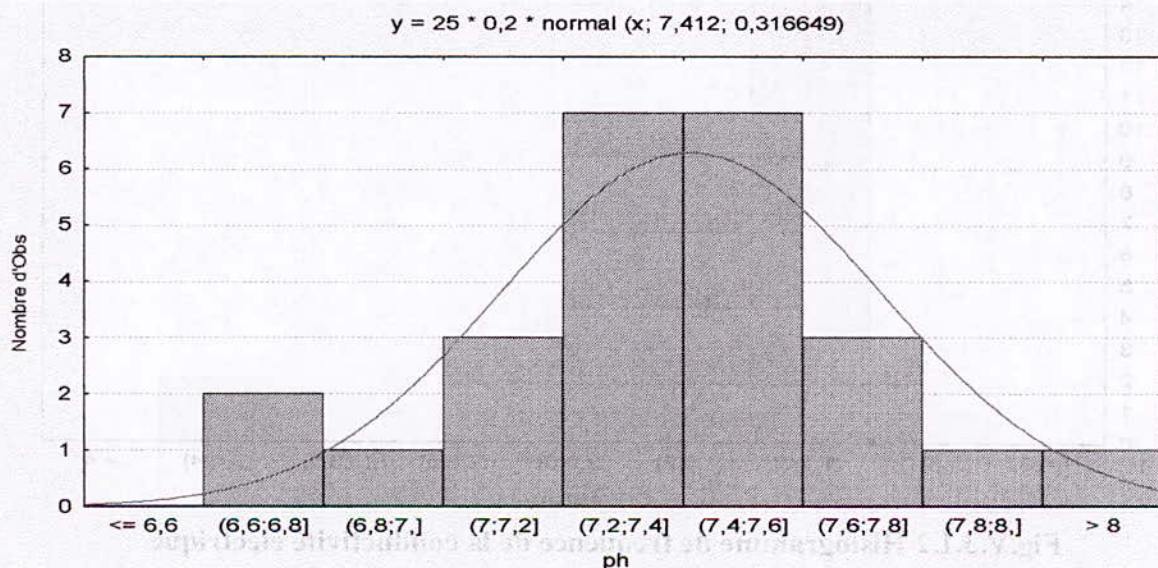


Fig.V.3.1.1 Histogramme de fréquence du pH



### V.3.1.2 Conductivité électrique (CE)

Le tableau V.3.1.2, indique que la valeur minimale est de 0.63 mS/cm alors que la valeur maximale est égale à 3.70 mS/cm La moyenne est de 1.59mS/cm, cette valeur est proche de la médiane qui présente une valeur de 1.37 mS/cm et un coefficient de variation de 44.58%. Plusieurs facteurs interviennent dans l'augmentation de la conductivité parmi les quels nous avons (Abdelli, 1997) :

- La circulation des eaux souterraines au niveau des terrasses marines ;
- L'utilisation excessive des pesticides ;
- La situation des points d'eaux à proximité des eaux usées.

Tableau V.3.1.2 Paramètres statistiques de la CE

Paramètres statistiques	CE (mS/cm)
Taille	25
Valeur Minimum	0.63
Valeur Maximum	3.70
Moyenne Arithmétique	1.59
Médiane	1.37
Ecart Type	0.71
Variance	0.50
Coefficient de Variation	44.58%

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.2) de cette variable présente cinq classes, la plus dominante est celle de 1-1.5 mS/cm qui renferme environ 56% du nombre d'observation. La deuxième classe est 1.5-2 mS/cm qui présente 28%. A la troisième position on trouve une classe loin de l'ensemble est celle de 3.5-4 mS/cm qui caractérise les points P30 (CE=3.64mS/cm) et P21 (CE=3.70mS/cm).

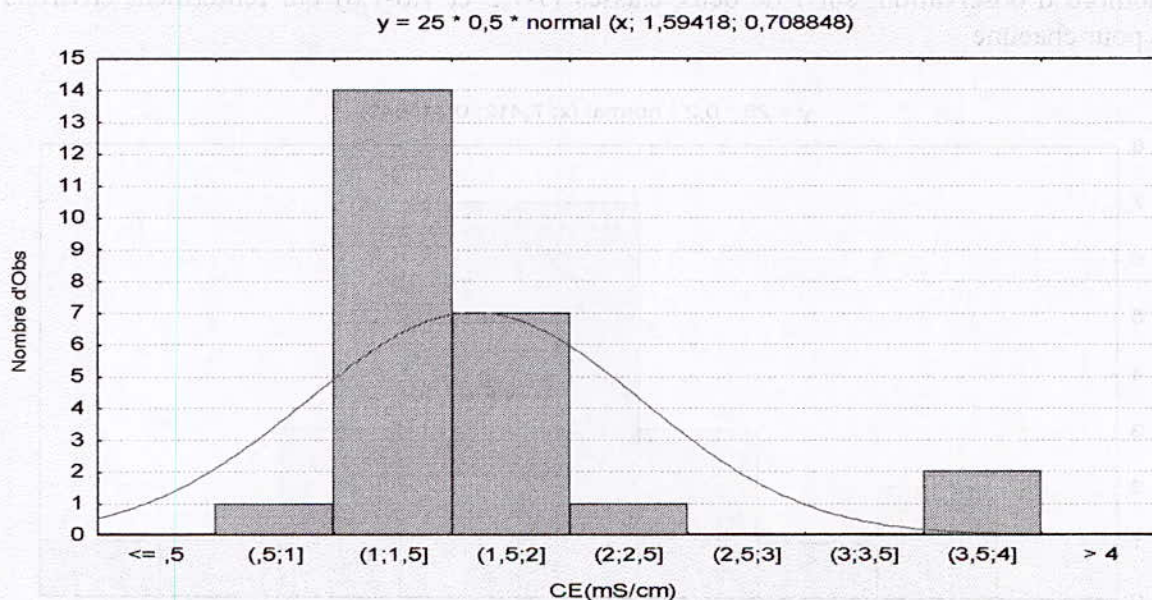


Fig.V.3.1.2 Histogramme de fréquence de la conductivité électrique



### V.3.1.3 Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ )

D'après le tableau V.3.1.3, les teneurs en calcium sont généralement moyennes. Le calcium présente une valeur minimale de 3.32 méq/l et une valeur maximale de 16.92 méq/l. La moyenne est de 8.88 méq/l, qui est proche de la médiane avec 8.59 méq/l. L'écart type est de 2.95 méq/l avec un coefficient de variation de 33.27%, qui exprime une distribution proche de la loi normale.

Tableau V.3.1.3 Paramètres statistiques du  $\text{Ca}^{++}$

Paramètres statistiques	$\text{Ca}^{++}$ (mg/l)	$\text{Ca}^{++}$ (méq/l)
Taille	25	25
Valeur Minimum	66.40	3.32
Valeur Maximum	338.31	16.92
Moyenne Arithmétique	177.55	8.88
Médiane	171.88	8.59
Ecart Type	59.01	2.95
Variance	3482.53	8.70
Coefficient de Variation	33.27 %	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.3) de cette variable présente plusieurs classes, la plus dominante est celle de 10-12 méq/l qui renferme environ 28% de l'effectif total suivi par deux classes (6-8 méq/l et 8-10 méq/l) qui présentent 24% du nombre d'observation chacune.

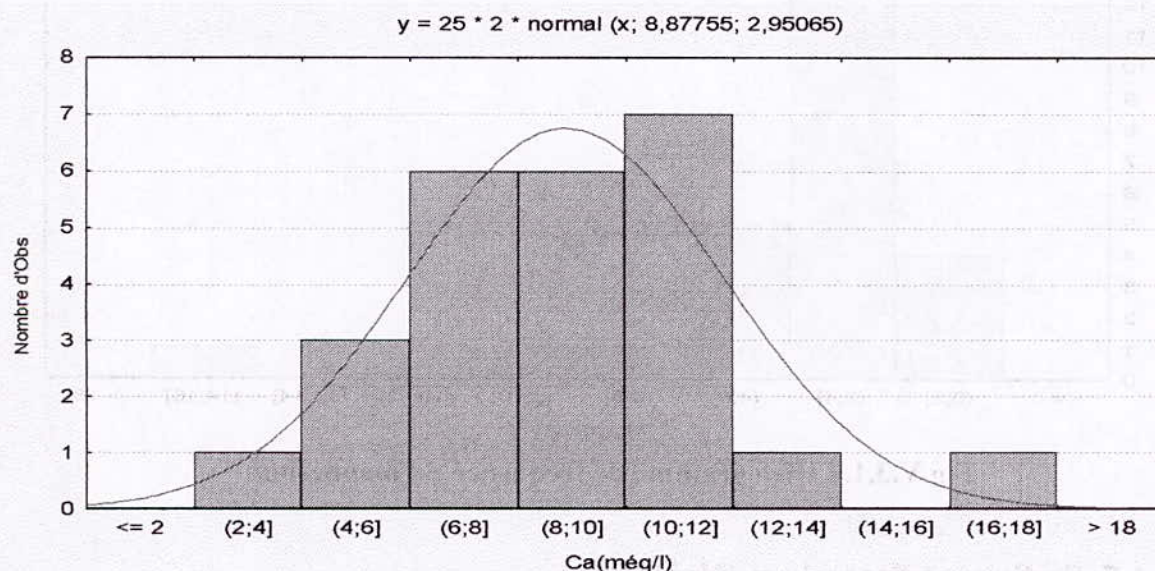


Fig.V.3.1.3 Histogramme de fréquence du calcium

### V.3.1.4 Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ )

Ce tableau V.3.1.4, indique que le magnésium présente une valeur minimale de 0.63 méq/l et une valeur maximale de 15.11 méq/l. La moyenne est de 3.96 méq/l, qui est proche de la médiane avec 3.20 méq/l. L'écart type est de 2.86 méq/l avec un coefficient de variation de 72.38%, la distribution de cette variable peut être loin de la loi normale.

Le magnésium a une origine essentiellement naturelle (Abdelli, 1997), il peut provenir :

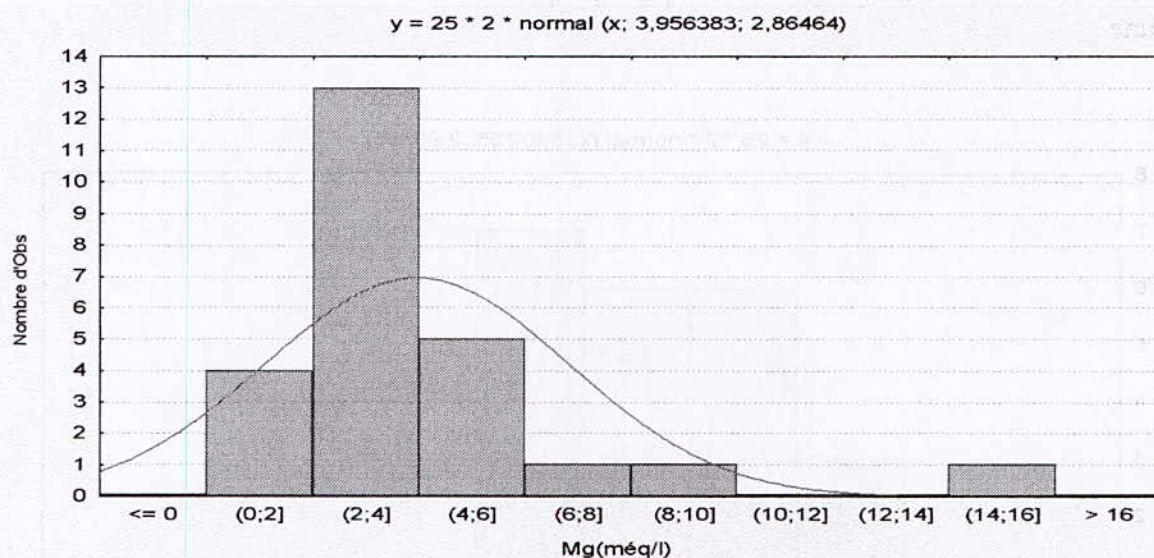


- De l'altération des minéraux présents dans les roches magmatiques et métamorphiques ;
- De l'eau de la mer ( $Mg^{++}$  présent à 13% du total des sels dissous).

**Tableau V.3.1.4 Paramètres statistiques du  $Mg^{++}$**

Paramètres statistiques	$Mg^{++}$ (mg/l)	$Mg^{++}$ (méq/l)
Taille	25	25
Valeur Minimum	7.54	0.63
Valeur Maximum	181.30	15.11
Moyenne Arithmétique	47.48	3.96
Médiane	38.43	3.20
Ecart Type	34.37	2.86
Variance	1181.68	8.20
Coefficient de Variation	72.38 %	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.4) de cette variable présente une classe dominante qui est 2-4 méq/l, qui renferme environ 52% de l'effectif total suivi d'une deuxième classe 4-6 méq/l et d'une troisième classe 0-2 méq/l qui renferment respectivement environs 20% et 16% du nombre d'observation. La classe 14-16 méq/l éloignée de l'ensemble, elle présente le point P30.



**Fig.V.3.1.4 Histogramme de fréquence du magnésium**

### V.3.1.5 Sodium et Potassium ( $Na^+ + K^+$ )

Les teneurs en sodium et potassium (tableau V.3.1.5), sont généralement moyennes. Les teneurs en sodium et en potassium présentent une valeur minimale de 1.14 méq/l et une valeur maximale de 6.96 méq/l. La moyenne est de 2.66 méq/l, qui est proche de la médiane avec 2.23 méq/l. L'écart type est de 1.37 méq/l avec un coefficient de variation de 49.82%, qui exprime une distribution proche de la loi normale.

Ces teneurs en sodium proviennent :

- De lessivage des formations géologiques telles que les argiles ;



- De la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium présents dans les roches magmatiques et métamorphiques ;
- Des retombées d'origine marine ;
- Des rejets domestiques et industriels ;
- Du lessivage des roches magmatiques ;

Tableau V.3.1.4 Paramètres statistiques du Na+K

Paramètres statistiques	Na+K (mg/l)	Na+K (még/l)
Taille	25	25
Valeur Minimum	27.00	1.14
Valeur Maximum	160.00	6.96
Moyenne Arithmétique	64.48	2.66
Médiane	55.00	2.23
Ecart Type	32.13	1.37
Variance	1032.84	1.90
Coefficient de Variation	49.82 %	

D'après l'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.5), le sodium et le potassium présentent une classe dominante, c'est celle de 2-2.5 még/l, qui renferme environ 24% de l'effectif total suivi d'une deuxième classe de 1.5-2 még/l qui renferme environ 20%, du nombre d'observation suivi par trois classes (1-1.5még/l, 3-3.5még/l et 4-4.5még/l) qui renferment environ 16% chacune. La classe 6.5-7 még/l loin des autres classes, elle caractérise le point P30 (Na+K=6.96 még/l soit 160mg/l).

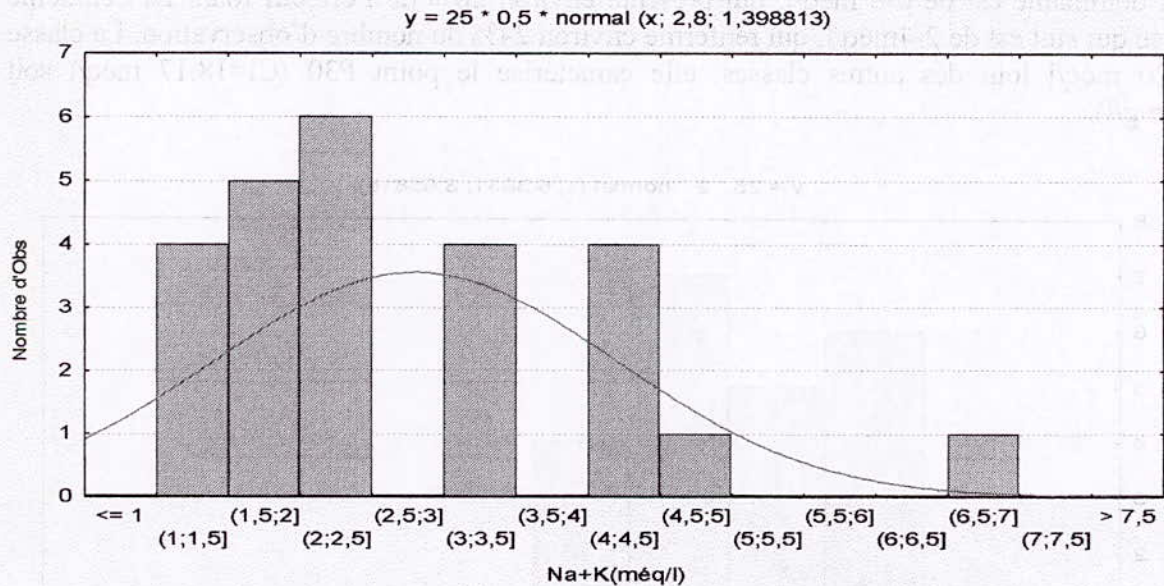


Fig.V.3.1.5 Histogramme de fréquence du sodium+potassium

### V.3.1.6 Chlorures (Cl)

La teneur en chlorures montre (tableau V.3.1.6) des valeurs importantes. Elle présente une valeur minimale de 0.14még/l et une valeur maximale de 18.17 még/l. La moyenne est de 6.38 még/l, cette valeur est proche de la médiane qui est égale à 6.06még/l. L'écart type est de 3.65 még/l avec un coefficient de variation de 57.30%, signifiant la distribution de cette



variable n'est pas loin de la loi normale. D'après Abdelli (1997), ces teneurs auraient plusieurs origines :

- Le lessivage des argiles plaisanciennes qui affleurent sur la rive gauche de l'Oued Isser ;
- L'évaporation intense dans les zones où le niveau piezométrique est proche de la surface du sol ;
- L'infiltration d'eau de la mer dans la nappe en particulier lors des pompages excessifs ;
- Le lessivage des terrains agricoles ;
- Et enfin les rejets d'eaux usées domestiques.

Tableau V.3.1.6 Paramètres statistiques des Cl<sup>-</sup>

Paramètres statistiques	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (még/l)
Taille	25	25
Valeur Minimum	5.00	0.14
Valeur Maximum	645.00	18.17
Moyenne Arithmétique	226.60	6.38
Médiane	215	6.06
Ecart Type	129.86	3.65
Variance	16864.72	13.38
Coefficient de Variation	57.30 %	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.6) indique l'existence de plusieurs classes, la plus dominante est de 6-8 még/l, qui présente environ 28% de l'effectif total. La deuxième classe qui suit est de 2-4 még/l, qui renferme environ 24% du nombre d'observation. La classe 18-20 még/l loin des autres classes, elle caractérise le point P30 (Cl=18.17 még/l soit 645mg/l).

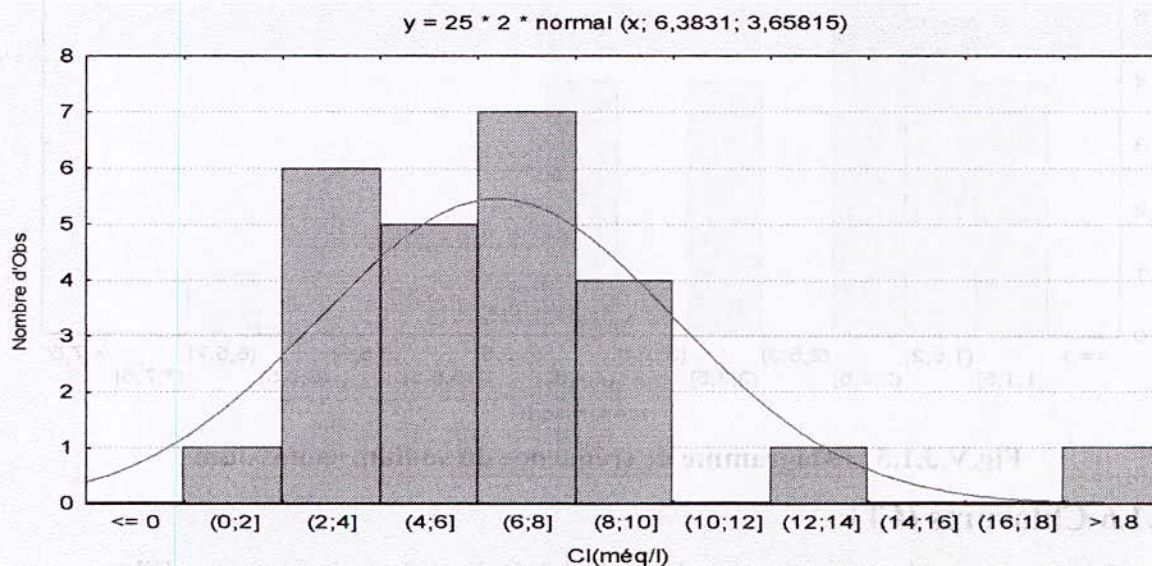


Fig.V.3.1.6 Histogramme de fréquence des chlorures



### V.3.1.7 Sulfates ( $\text{SO}_4^-$ )

Le tableau V.3.1.7, montre que les sulfates présentent une valeur minimale de 0.17még/l et une valeur maximale de 12.24 még/l. La moyenne est de l'ordre de 4.16 még/l, cette valeur est proche de la médiane qui est égale à 4.02 még/l. L'écart type est de 2.35 még/l avec un coefficient de variation de 56.65%, ce qui laisse supposer la distribution de cette variable proche de la loi normale. D'après Abdelli (1997), ces sulfates proviennent éventuellement :

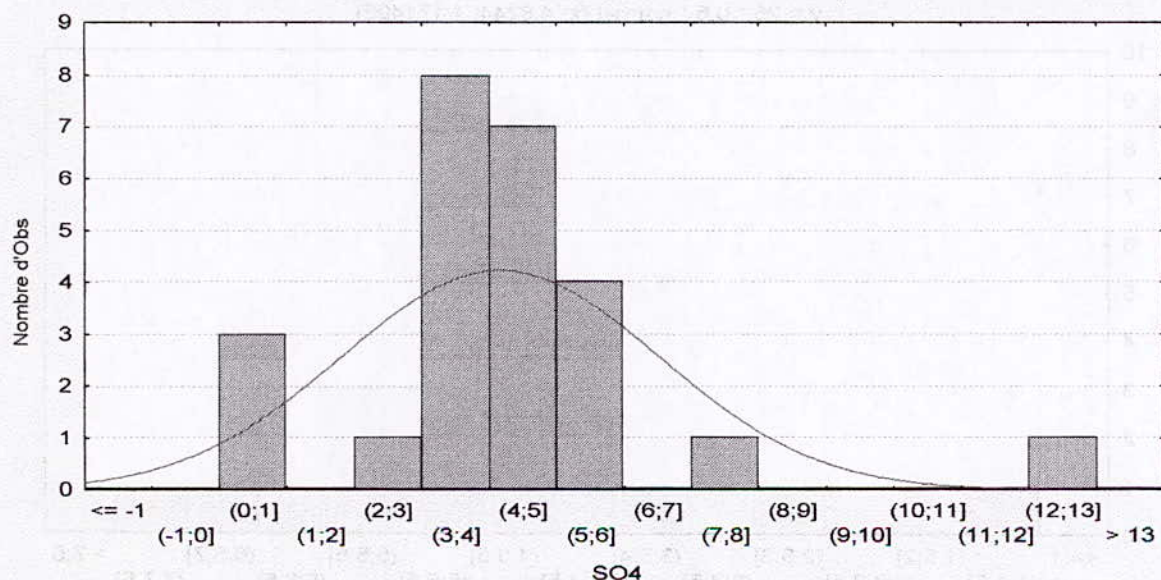
- De l'oxydation des sulfures présents dans les roches volcaniques ;
- Du lessivage des formations gypseuses burdigaliennes qui affleurent en amont sur la rive droite de l'Oued Isser ;
- Des traitements des cultures par des engrais sulfatés ;
- Des rejets industriels et urbains.

**Tableau V.3.1.7 Paramètres statistiques des  $\text{SO}_4^-$**

Paramètres statistiques	$\text{SO}_4^-$ (mg/l)	$\text{SO}_4^-$ (még/l)
Taille	25	25
Valeur Minimum	8.00	0.17
Valeur Maximum	587.50	12.24
Moyenne Arithmétique	199.70	4.16
Médiane	193	4.02
Ecart Type	113.14	2.35
Variance	193	4.02
Coefficient de Variation	56.65 %	

D'après l'observation de l'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.7) indique l'existence de sept classes. La plus dominante est de 3-4 még/l, qui présente environ 32% de l'effectif total. La deuxième classe qui suit est de 4-5 még/l, qui renferme environ 28%. La troisième classe 5-6még/l qui présente environ 16% du nombre d'observation. La classe 12-13 loin de l'ensemble, elle caractérise le point P30 ( $\text{SO}_4=12.24$  még/l soit 587.5mg/l). La classe 12-13még/l loin de l'ensemble, elle caractérise le point P30 ( $\text{SO}_4=12.24$  még/l soit 587.5mg/l).

$$y = 25 * 1 * \text{normal}(x; 4,160416; 2,35724)$$



**Fig.V.3.1.7 Histogramme de fréquence des sulfates**



### V.3.1.8 Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

Les bicarbonates (tableau V.3.1.8), présentent une valeur minimale de 1.40még/l et une valeur maximale de 7.18 még/l. La moyenne est de l'ordre de 4.82 még/l, cette valeur est proche de la médiane qui est égale à 4.76 még/l. L'écart type est de 1.17 még/l avec un coefficient de variation de 24.28%, ce qui laisse supposer la distribution de cette variable suit la loi normale. Cette concentration serait probablement due à l'influence chimique des formations carbonatées tels que:

- Les calcaires cristallins qui se trouvent incrustés dans l'assise supérieure ;
- Les calcaires de la dorsale Kabyle ;
- Les grés calcaires du burdigalien.

Tableau V.3.1.8 Paramètres statistiques des  $\text{HCO}_3^-$

Paramètres statistiques	$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	$\text{HCO}_3^-$ (még/l)
Taille	25	25
Valeur Minimum	85.40	1.40
Valeur Maximum	437.98	7.18
Moyenne Arithmétique	294.29	4.82
Médiane	290.36	4.76
Ecart Type	71.45	1.17
Variance	5105.92	1.37
Coefficient de Variation	24.28 %	

D'après l'observation de L'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.8) il existe une classe dominante qui est la classe de 4.5-5még/l, qui présente environ 36% de l'effectif total. Nous trouvons en deuxième position la classe 4-4.5még/l, qui renferme environ 16% et à La troisième position les classes (5-5.5még/l), et (5.5-6még/l), avec un pourcentage identique égal à 12%. La classe 1-1.5még/l éloignée de l'ensemble, elle présente le point P46.

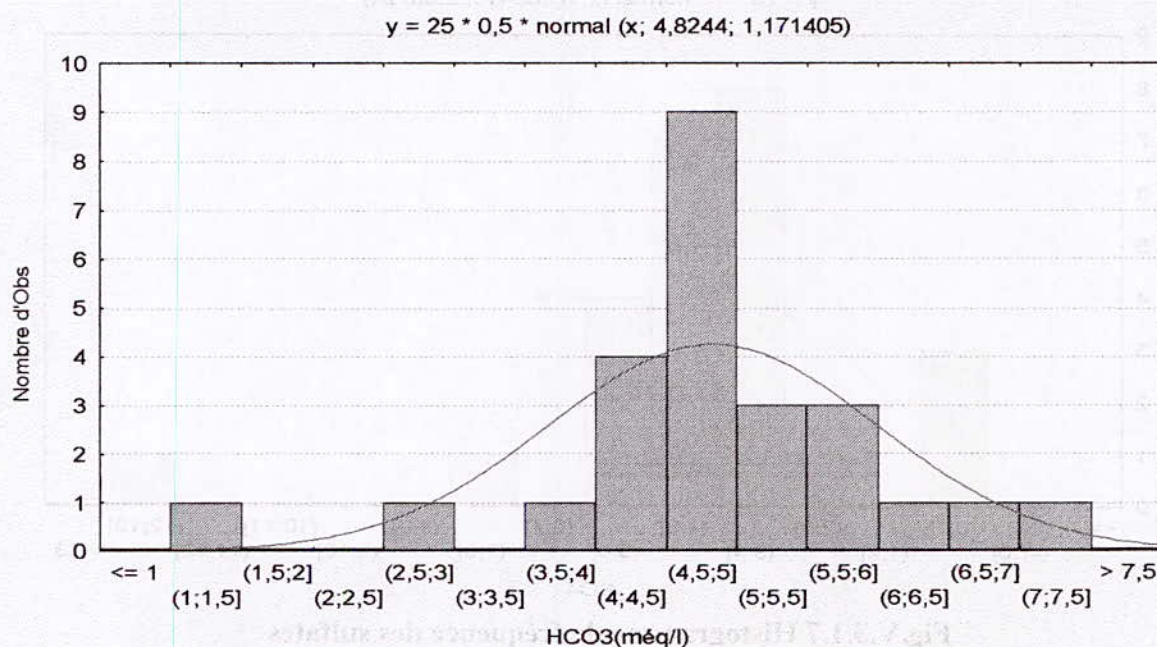


Fig.V.3.1.8 Histogramme de fréquence des bicarbonates



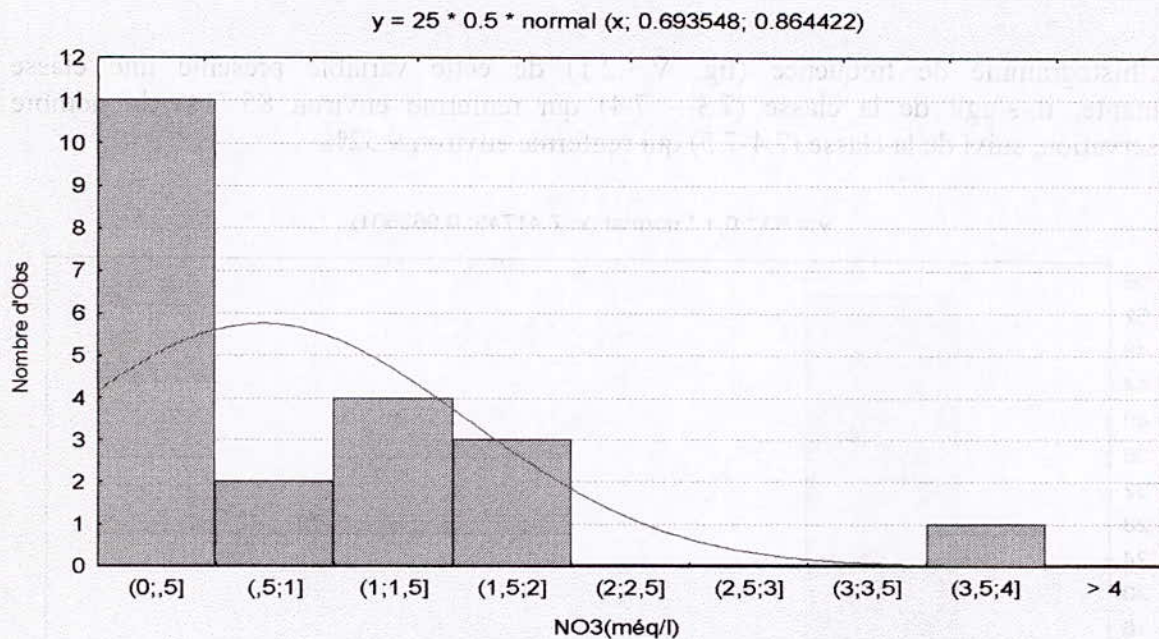
### V.3.1.9 Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

D'après le tableau V.3.1.9, les nitrates présentent une valeur minimale de 0.0méq/l et une valeur maximale de 3.79méq/l. La moyenne est de l'ordre de 0.69méq/l, cette valeur est proche de la médiane qui est égale à 0.32méq/l. L'écart type est de 0.86méq/l avec un coefficient de variation de 124.63%.

**Tableau V.3.1.9 Paramètres statistiques des  $\text{NO}_3^-$**

Paramètres statistiques	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (méq/l)
Taille	25	25
Valeur Minimum	0.00	0.00
Valeur Maximum	235.00	3.79
Moyenne Arithmétique	43.00	0.69
Médiane	20	0.32
Ecart Type	53.59	0.86
Variance	2872.33	0.74
Coefficient de Variation	124.63 %	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.1.9) indique l'existence de 5 classes, la plus dominante est de 0-5méq/l, qui présente environ 44% de l'effectif total. La deuxième classe qui suit est de 1-1.5 méq/l, qui renferme environ 16% du nombre d'observation. La classe 3.5-4méq/l éloignée de l'ensemble, elle présente le point P46



**Fig.V.3.1.9 Histogramme de fréquence des nitrates**



## V.3.2-Basse Vallée de la Soummam

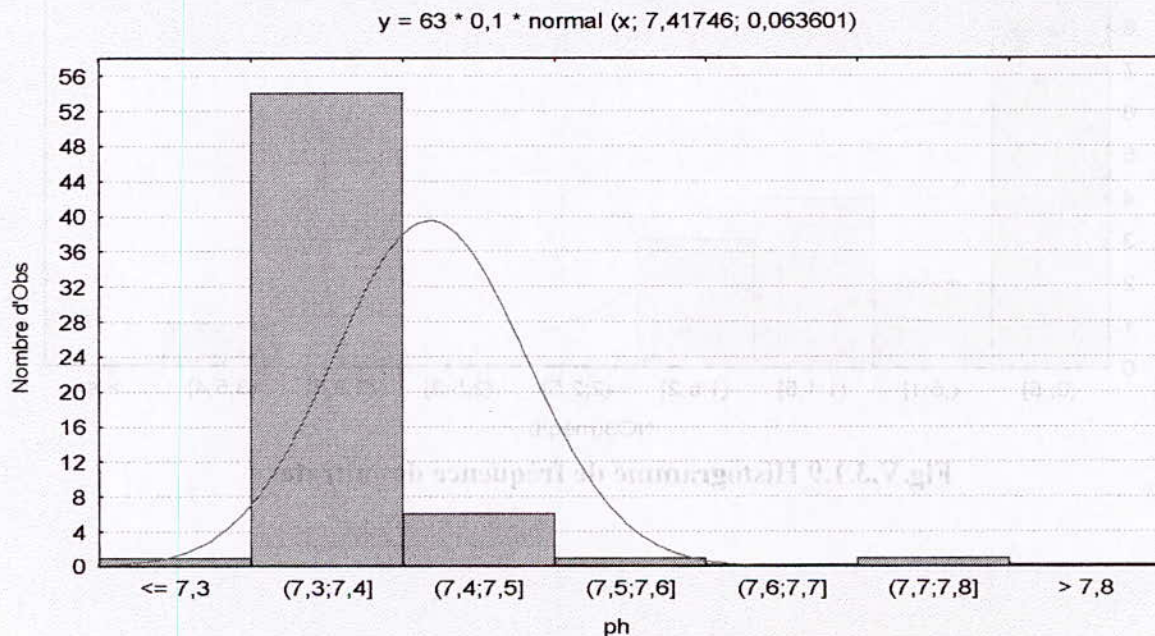
### V.3.2.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

D'après les valeurs du pH (tableau V.3.2.1), il est bien clair que les eaux souterraines de la basse vallée de la Soummam sont généralement basique car elle présente une valeur minimale de 7.3 alors que la valeur maximale est égale à 7.8. La moyenne est de 7.42 cette valeur est très proche de la médiane qui présente une valeur de 7.40 méq/l et un coefficient de variation de 0.85%.

**Tableau V.3.2.1 Paramètres statistiques du pH**

Paramètres statistiques	pH
Taille	63
Valeur Minimum	7,30
Valeur Maximum	7,80
Moyenne Arithmétique	7,42
Médiane	7,40
Ecart Type	0,06
Variance	0,004
Coefficient de Variation	0.85 %

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.1) de cette variable présente une classe dominante, il s'agit de la classe (7.3 - 7.4) qui renferme environ 85.71% du nombre d'observation, suivi de la classe (7.4-7.5) qui renferme environ 9.52%.



**Fig. VI.3.2.1 Histogramme de fréquence du pH**



### V.3.2.2 Conductivité électrique (CE)

Le tableau V.3.2.2, indique que la valeur minimale est de 0.50 mS/cm alors que la valeur maximale est égale à 4.70. La moyenne est de 1.62mS/cm, cette valeur est proche de la médiane qui présente une valeur de 1.60mS/cm et un coefficient de variation de 49.27%.

Tableau V.3.2.2 Paramètres statistiques de la CE

Paramètres statistiques	CE (mS/cm)
Taille	63
Valeur Minimum	0.50
Valeur Maximum	4.70
Moyenne Arithmétique	1.62
Médiane	1.60
Ecart Type	0.80
Variance	0.64
Coefficient de Variation	49.27%

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.2) de cette variable présente plusieurs classes, la plus dominante est celle de 1.5-2mS/cm qui renferme environ 25.4% du nombre d'observation. La deuxième classe est 1-1.5mS/cm qui présente 23.80%, et la troisième classe qui suit est celle de 0.5-1mS/cm qui présente 22.22%. Les classes 3.5-4 mS/cm et 4.5-5 mS/cm éloignées de l'ensemble, elles représentent respectivement les points (P38/26, Soummam/Bejaia S1 et Soummam/El-Kseur S2).

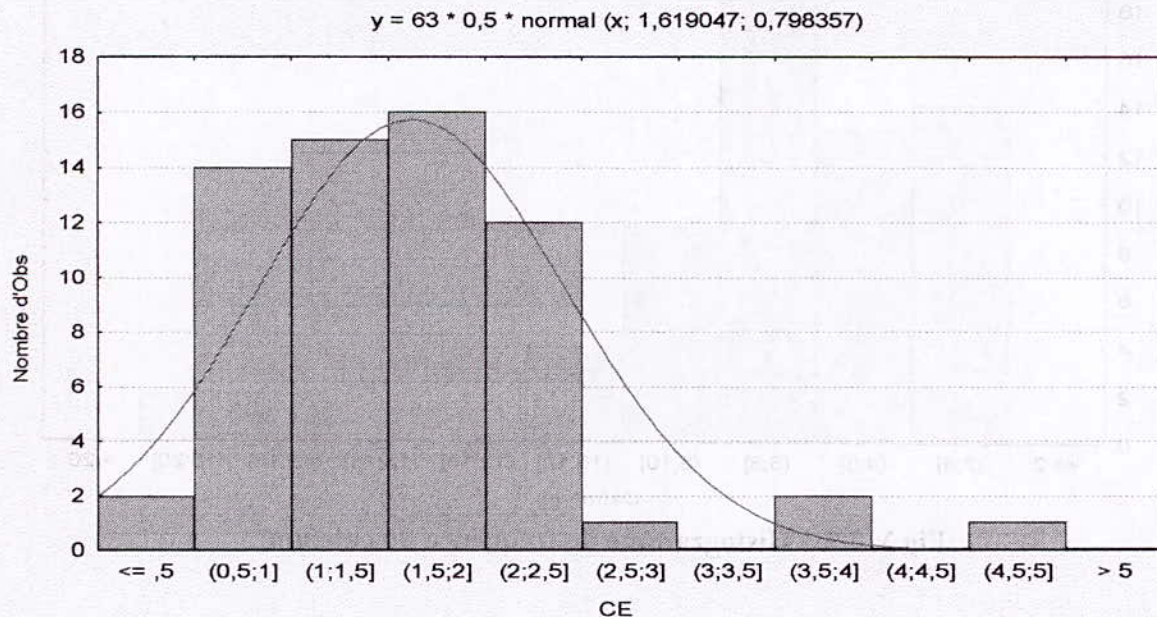


Fig.V.3.2.2Histogramme de fréquence de la conductivité électrique

### V.3.2.3 Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ )

Les teneurs en calcium (tableau V.3.2.3), sont généralement moyennes. Le calcium présente une valeur minimale de 2.20még/l et une valeur maximale de 19.40még/l. La moyenne est de 7.16még/l, qui est proche de la médiane avec 7.00még/l. L'écart type est de

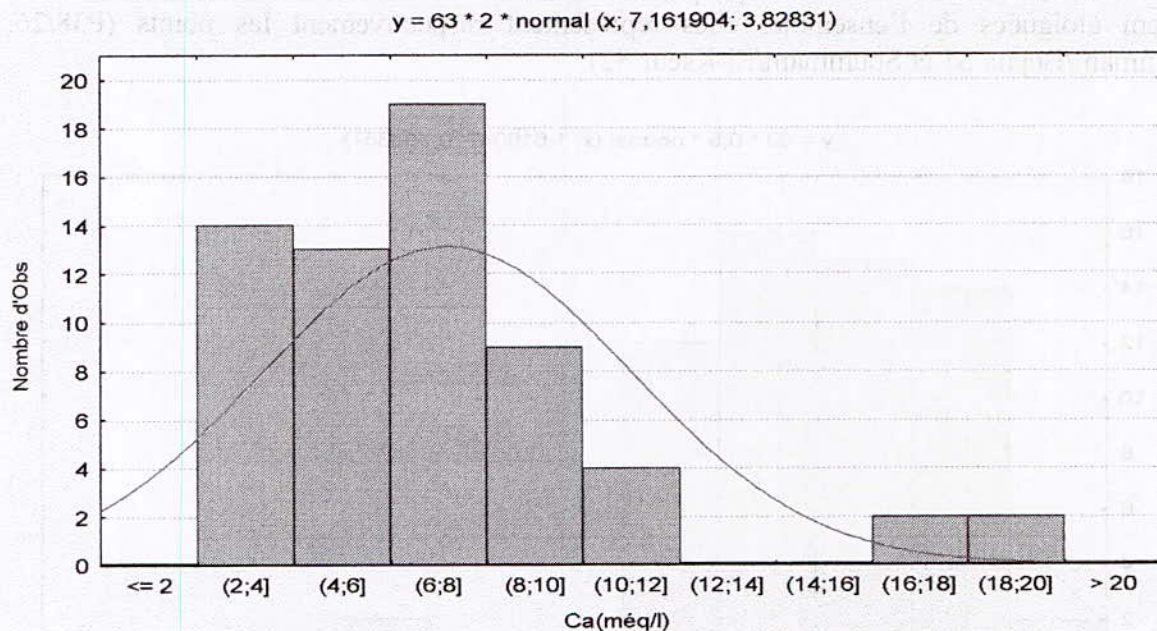


3.82 méq/l avec un coefficient de variation de 53.53%, qui exprime une distribution proche de la loi normale.

**Tableau V.3.2.3 Paramètres statistiques du Ca<sup>++</sup>**

Paramètres statistiques	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (méq/l)
Taille	63	63
Valeur Minimum	44,00	2,20
Valeur Maximum	388,00	19,40
Moyenne Arithmétique	143,24	7,16
Médiane	140,00	7,00
Ecart Type	76,56	3,82
Variance	5862,37	14,65
Coefficient de Variation	53.45 %	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.3) de cette variable présente plusieurs classes, la plus dominante est celle de 6-8méq/l qui renferme environ 30.15% de l'effectif total. La deuxième classe qui suit est celle de 2-4méq/l avec un pourcentage 22.22%, et suivi par troisième classe 4-6méq/l qui présente 20.63% du nombre d'observation. Les classes 16-18 méq/l et 18-20méq/l éloignées de l'ensemble, elles représentent respectivement les points Soummam/Bejaia S1 et Soummam/El-Kseur S2).



**Fig.V.3.2.3 Histogramme de fréquence du calcium**

### V.3.2.4 Magnésium (Mg<sup>++</sup>)

Le magnésium présente une valeur minimale 0.90méq/l et une valeur maximale de 15.40 méq/l (tableau V.3.2.4). La moyenne est de 5.04méq/l, qui est loin de la médiane avec 4.20méq/l. L'écart type est de 3.05 méq/l avec un coefficient de variation de 60.60%, la distribution de cette variable s'éloigne de loi normale.



Tableau V.3.2.4 Paramètres statistiques du  $Mg^{++}$ 

Paramètres statistiques	$Mg^{++}$ (mg/l)	$Mg^{++}$ (méq/l)
Taille	63	63
Valeur Minimum	12,00	0,90
Valeur Maximum	187,20	15,40
Moyenne Arithmétique	61,19	5,04
Médiane	51,60	4,20
Ecart Type	36,95	3,05
Variance	1365,69	9,34
Coefficient de Variation		60.60 %

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.4) de cette variable présente une classe dominante, c'est celle de 2-4 méq/l, qui renferme environ 33.34% de l'effectif total suivi d'une deuxième classe de 6-8 méq/l, et de la troisième classe 4-6méq/l qui renferment respectivement environs 22.22%, 20.63% du nombre d'observation.

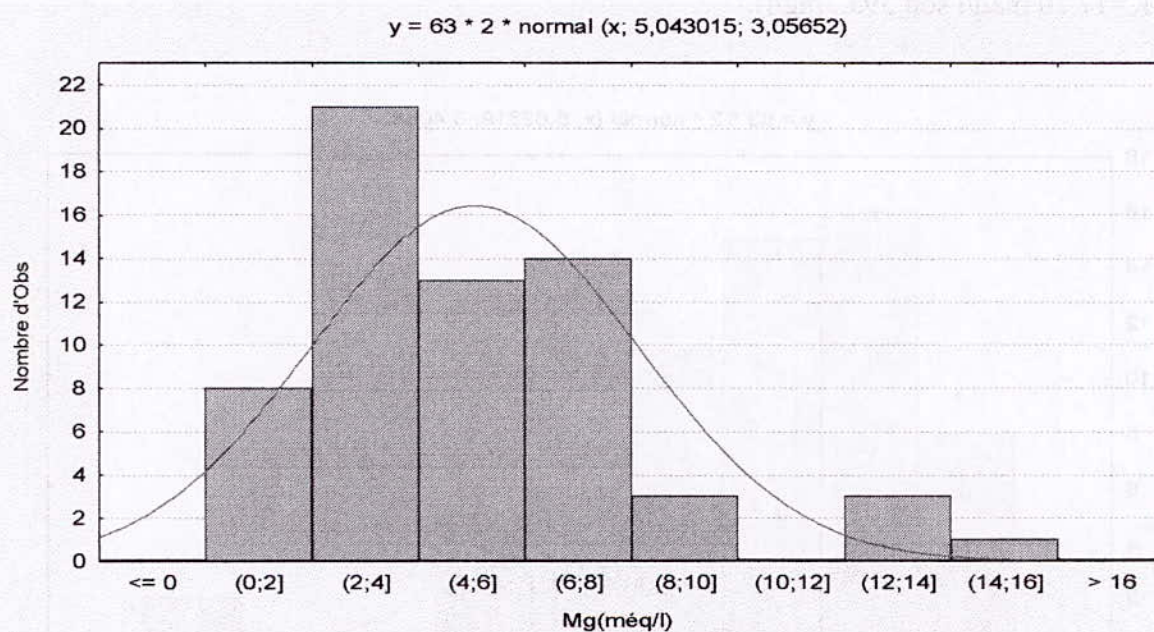


Fig.V.3.2.4 Histogramme de fréquence du magnésium

### V.3.2.5 Sodium et potassium ( $Na^+ + K^+$ )

D'après le tableau V.3.2.5, les teneurs en sodium et potassium sont généralement élevées. Le sodium et le potassium présentent une valeur minimale 1.40méq/l et une valeur maximale de 17.10 méq/l. La moyenne est de 5.62 méq/l, qui est proche de la médiane avec 5.00méq/l. L'écart type est de 3.40 méq/l avec un coefficient de variation de 60.62%, qui exprime une distribution proche de la loi normale.



Tableau V.3.2.5 Paramètres statistiques du  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 

Paramètres statistiques	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (mg/l)	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (még/l)
Taille	63	63
Valeur Minimum	32,20	1,40
Valeur Maximum	393,30	17,10
Moyenne Arithmétique	129,33	5,62
Médiane	115,00	5,00
Ecart Type	78,40	3,40
Variance	6147,04	11,62
Coefficient de Variation	60.62 %	

D'après l'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.5) le sodium et le potassium présentent une classe, dominante, c'est celle de 2-4 még/l, qui renferme environ 25.40% de l'effectif total suivi d'une deuxième classe de 4-6 még/l qui renferme environ 23.81%, du nombre d'observation suivi par la troisième classe 6-8 qui renferment environ 17.46%. La classe 16-18 még/l loin des autres classes, caractérise le point Soummam/Bejaia S1 ( $\text{Na} + \text{K} = 17.10$  még/l soit 393.3mg/l).

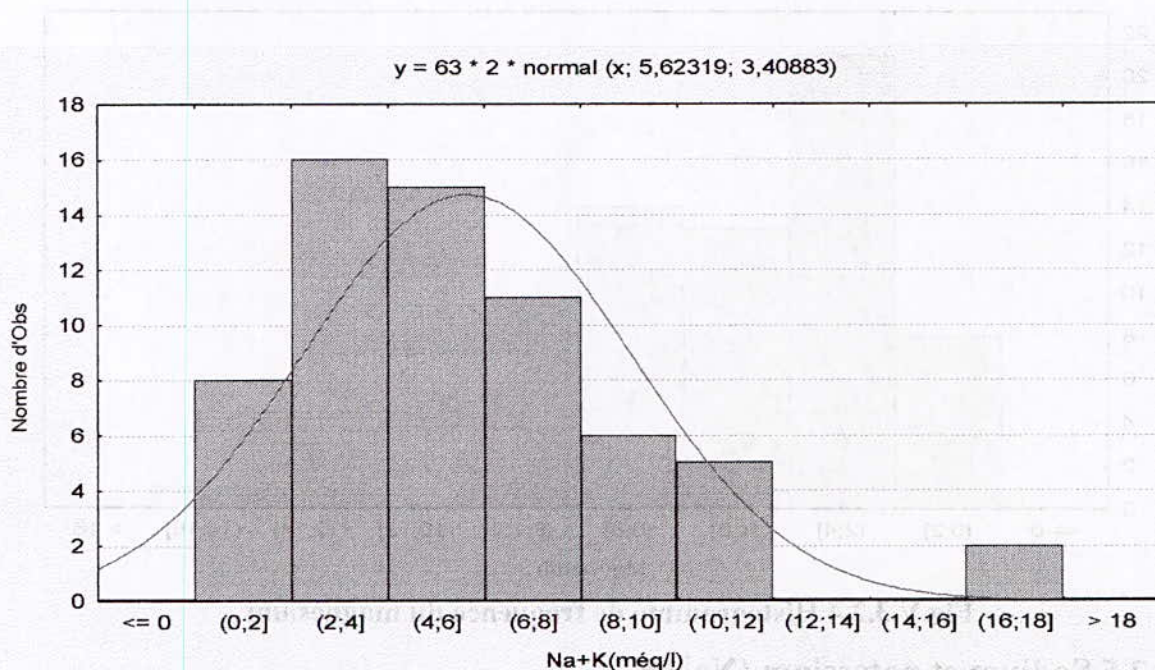


Fig.V.3.2.5 Histogramme de fréquence du sodium+potassium

### V.3.2.6 Chlorures (Cl)

La teneur en chlorures présente une valeur minimale de 1.20 még/l et une valeur maximale de 27.00 még/l (tableau V.3.2.6). La moyenne est de l'ordre de 6.53 még/l, cette valeur est loin de la médiane qui est égale à 5.00 még/l. L'écart type est de 5.21 még/l avec un coefficient de variation de 80.00%, ce qui laisse supposer la distribution de cette variable loin de la loi normale.



Tableau V.3.2.6 Paramètres statistiques du Cl<sup>-</sup>

Paramètres statistiques	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (még/l)
Taille	63	63
Valeur Minimum	42,60	1,20
Valeur Maximum	958,50	27,00
Moyenne Arithmétique	231,64	6,53
Médiane	177,50	5,00
Ecart Type	185,31	5,21
Variance	34341,40	27,22
Coefficient de Variation	80.00%	

D'après l'observation de l'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.6) indique l'existence de cinq classes. La plus dominante est de 0-5még/l, qui présente environ 55.56% de l'effectif total. La deuxième classe qui suit est de 5-10még/l, qui renferme environ 25.40% du nombre d'observation. Les classes 20-25 még/l, 25-30még/l éloignées de l'ensemble, elles représentent respectivement les points Soummam/El-Kseur S2) et (Soummam/Bejaia S1, 38/26).

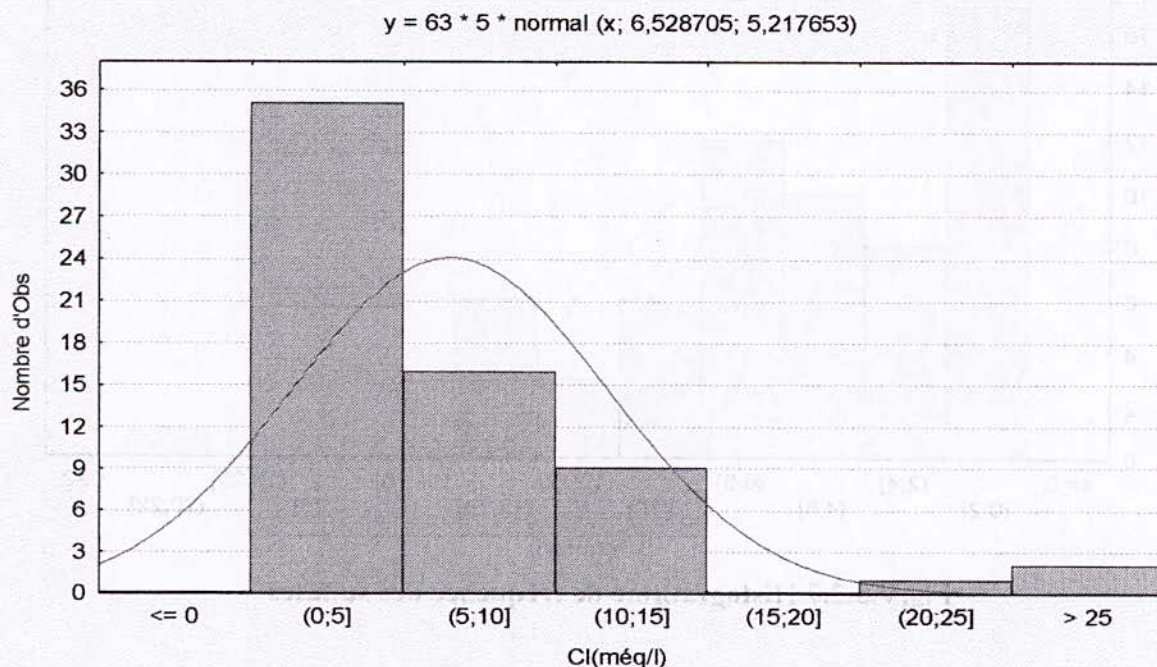


Fig.V.3.2.6 Histogramme de fréquence des chlorures

### V.3.2.7 Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Les sulfates présentent une valeur minimale de 0.40még/l et une valeur maximale de 20.80még/l (tableau V.3.2.7). La moyenne est de l'ordre de 6még/l, cette valeur est loin de la médiane qui est égale à 5.10még/l. L'écart type est de 4.25 még/l avec un coefficient de variation de 71.10%, signifiant la distribution de cette variable est loin de la loi normale.



Tableau V.3.2.7 Paramètres statistiques des  $\text{SO}_4^-$ 

Paramètres statistiques	$\text{SO}_4^-$ (mg/l)	$\text{SO}_4^-$ (még/l)
Taille	63	63
Valeur Minimum	19,20	0,40
Valeur Maximum	998,40	20,80
Moyenne Arithmétique	287,46	5,99
Médiane	244,00	5,10
Ecart Type	204,36	4,25
Variance	41762,66	18,13
Coefficient de Variation	71.10%	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.7) indique l'existence de plusieurs classes, la plus dominante est de 0-2 még/l, qui présente environ 26.98% de l'effectif total. La deuxième classe qui suit est 6-8 még/l, qui renferme environ 19.05% du nombre d'observation. La classe 20-22 még/l loin des autres classes, caractérise le point Soummam/El-Kseur S2 ( $\text{SO}_4=20.8$  még/l soit 998.4mg/l).

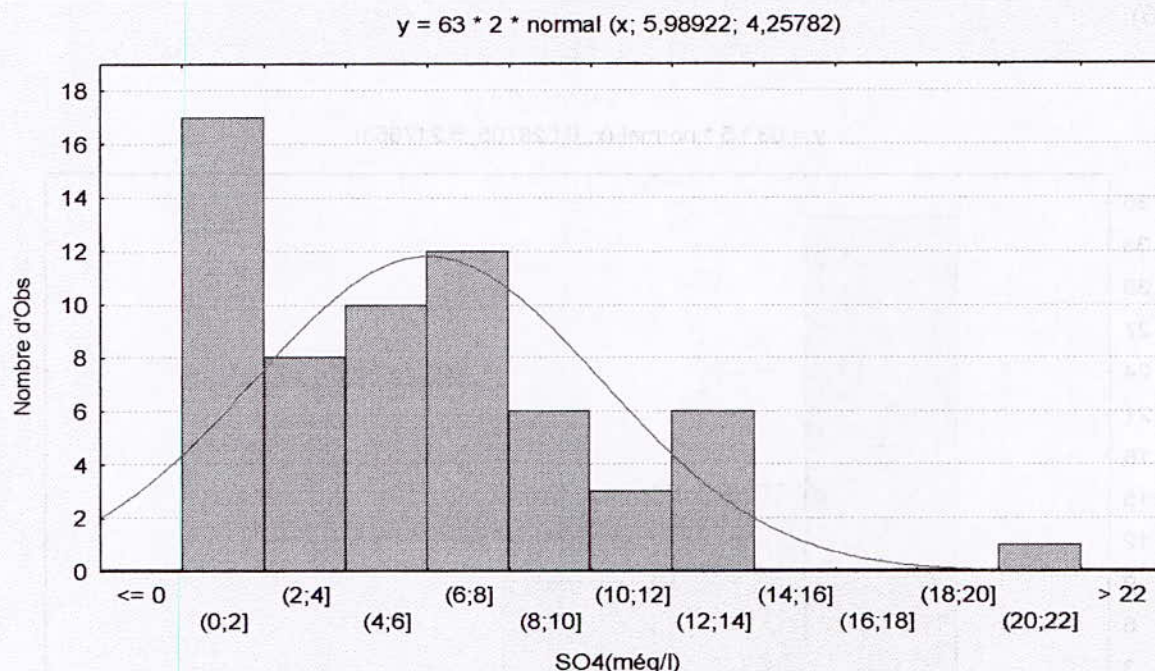


Fig.V.3.2.7 Histogramme de fréquence des sulfates

### V.3.2.8 Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

Les bicarbonates présentent une valeur minimale de 0.41 még/l et une valeur maximale de 11.00 még/l (tableau V.3.2.8). La moyenne est de l'ordre de 5.37 még/l, cette valeur est proche de la médiane qui est égale à 5.20 még/l. L'écart type est de 2.13 még/l avec un coefficient de variation de 39.73%, ce qui laisse supposer la distribution de cette variable suit la loi normale.



Tableau V.3.2.8 Paramètres statistiques des  $\text{HCO}_3^-$ 

Paramètres statistiques	$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	$\text{HCO}_3^-$ (méq/l)
Taille	63	63
Valeur Minimum	25,00	0,41
Valeur Maximum	671,00	11,00
Moyenne Arithmétique	322,23	5,37
Médiane	317,00	5,20
Ecart Type	135,06	2,13
Variance	18241,19	4,55
Coefficient de Variation	39.73%	

L'observation de l'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.8) montre qu'il existe une classe dominante c'est la classe de 6-7méq/l, qui présente environ 20.63% de l'effectif total. Nous trouvons en deuxième position les classes suivantes (2-3méq/l) et (4-5méq/l), avec un pourcentage identique égale à 17.46%. La troisième classe qui suit présente 15.87% des valeurs qui sont comprises entre 5-6méq/l.

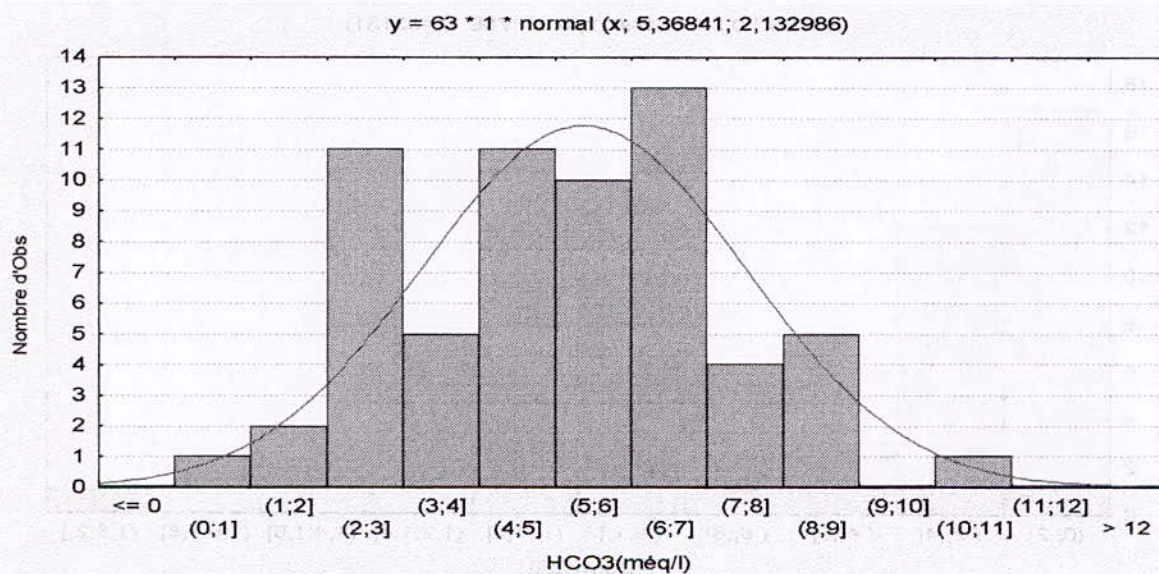


Fig.V.3.2.8 Histogramme de fréquence des bicarbonates

### V.3.2.9 Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Les nitrates présentent une valeur minimale 0.0méq/l et une valeur maximale de 2.00 méq/l (tableau V.3.2.9). La moyenne est de 0.39 méq/l, qui est proche de la médiane avec 0.20méq/l. L'écart type est de 0.43 méq/l avec un coefficient de variation de 109.40%, qui exprime une distribution suit à une loi nom normale.



Tableau V.3.2.9 Paramètres statistiques des NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Paramètres statistiques	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (méq/l)
Taille	63	63
Valeur Minimum	0,00	0,00
Valeur Maximum	124,00	2,00
Moyenne Arithmétique	24,41	0,39
Médiane	12,40	0,20
Ecart Type	26,72	0,43
Variance	714,18	0,18
Coefficient de Variation	109.40%	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.2.9) présente une classe dominante, c'est celle de 0-0.2méq/l, qui renferme environ 26.98% de l'effectif total suivi d'une deuxième classe de 0.2- 0.4 méq/l qui renferme environ 19.04% du nombre d'observation. La classe 1.8-2 méq/l loin de l'ensemble, elle caractérise le point 166/26 (NO<sub>3</sub>=2 méq/l soit 124mg/l).

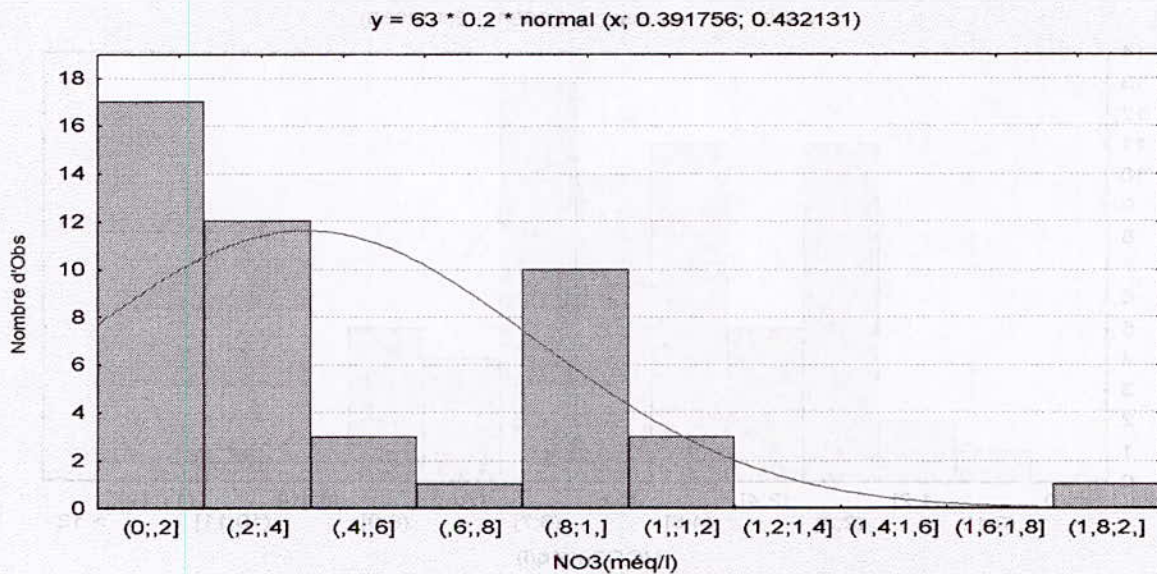


Fig.V.3.2.9 Histogramme de fréquence des nitrates



### V.3.3 Basse Vallée du Sebaou

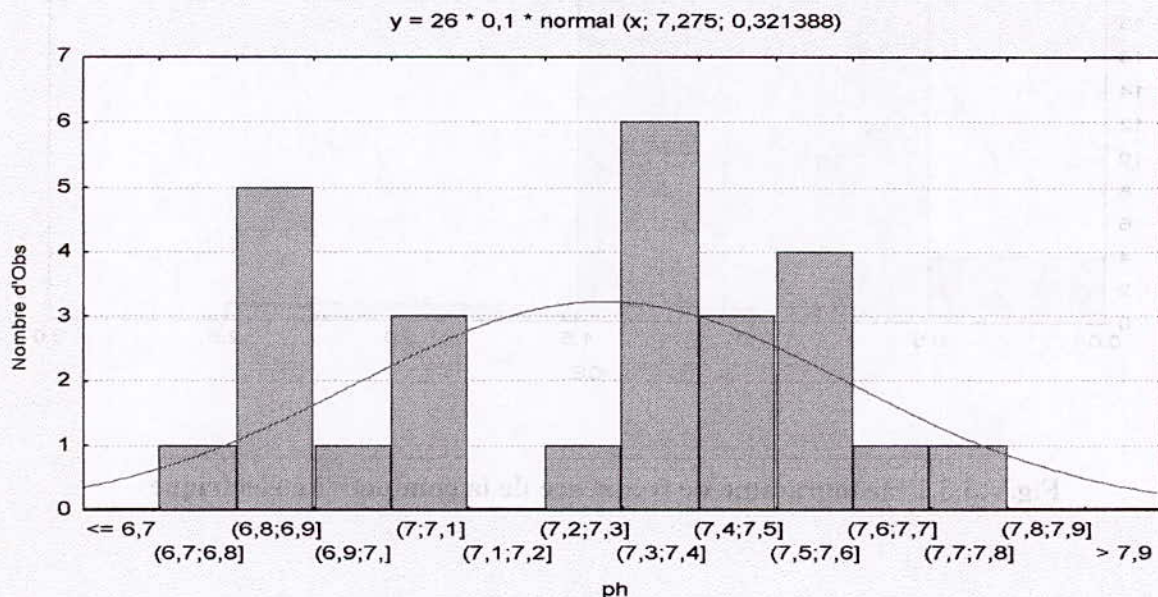
#### V.3.3.1 pH

D'après les valeurs du pH (tableau V.3.3.1), les eaux souterraines de la basse vallée du Sebaou sont généralement basiques car il présente une valeur minimale de 6.78 alors que la valeur maximale est égale à 7.8. La moyenne est de 7.27, cette valeur est proche de la médiane qui présente une valeur de 7.4 et un coefficient de variation de 4.41%, ce dernier traduit une distribution proche de la loi normale.

**Tableau V.3.3.1 Paramètres statistiques du pH**

Paramètres statistiques	pH
Taille	26
Valeur Minimum	6,78
Valeur Maximum	7,8
Moyenne Arithmétique	7,27
Médiane	7,40
Ecart Type	0,32
Variance	0,100
Coefficient de Variation	4.41%

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.1) de cette variable présente une classe dominante, il s'agit de la classe (7.3 - 7.4) qui renferme environ 23.07% du nombre d'observation, suivi de la classe (6.8-6.9) qui renferme environ 19.23%. La troisième classe qui suit est de (7.5-7.6) qui renferme environ 15.38%.



**Fig.V.3.3.1 Histogramme de fréquence du pH**



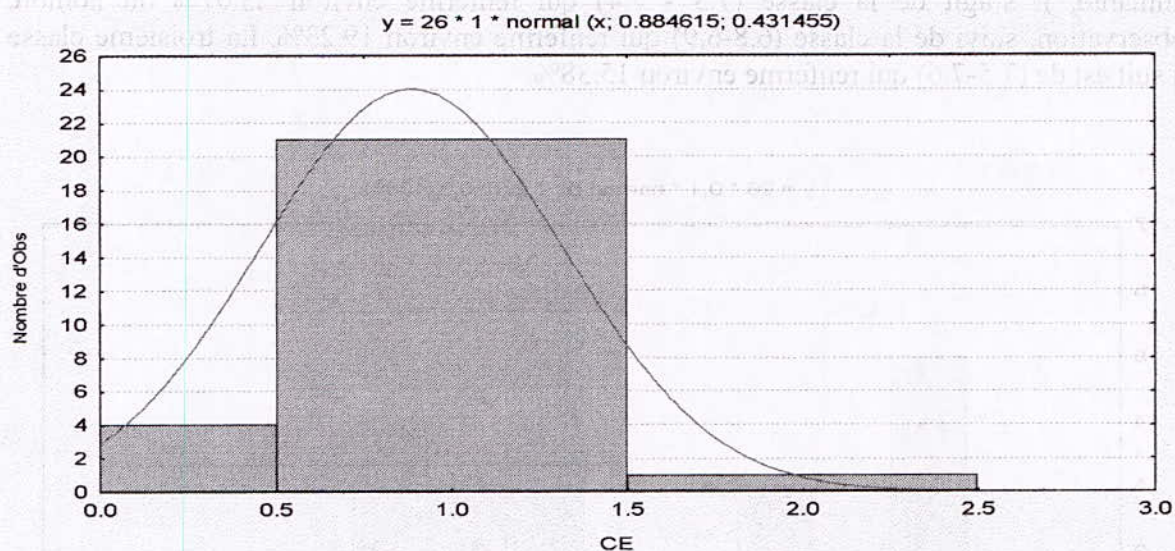
### V.3.3.2 Conductivité électrique (CE)

D'après le tableau V.3.3.2, la valeur minimale est de 0.0 mS/cm alors que la valeur maximale est égale à 2mS/cm. La moyenne est de 0.88mS/cm cette valeur est proche de la médiane qui présente une valeur de 1mS/cm et un coefficient de variation de 48.72%.

**Tableau V.3.3.2 Paramètres statistiques de la CE**

Paramètres statistiques	CE (mS/cm)
Taille	26
Valeur Minimum	0
Valeur Maximum	2
Moyenne Arithmétique	0.88
Médiane	1
Ecart Type	0.43
Variance	0.18
Coefficient de Variation	48.72%

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.2) de cette variable présente trois classes. La plus dominante est 0.5-1.5 mS/cm qui renferme environ 76.92% du nombre d'observation. La deuxième classe est 0-0.5mS/cm qui présente 15.38%, et la dernière classe est celle de 1.5-2.5mS/cm qui présente 3.84%.



**Fig.V.3.3.2 Histogramme de fréquence de la conductivité électrique**



### V.3.3.3 Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ )

Le calcium présente une valeur minimale de 2.10még/l et une valeur maximale de 10.20még/l (tableau V.3.3.3). La moyenne est de 5.23még/l, qui est proche de la médiane avec 5.00még/l. L'écart type est de 2.01még/l avec un coefficient de variation de 38.40%, qui exprime une distribution proche de la loi normale.

Tableau V.3.3.3 Paramètres statistiques du  $\text{Ca}^{++}$

Paramètres statistiques	$\text{Ca}^{++}$ (mg/l)	$\text{Ca}^{++}$ (még/l)
Taille	26	26
Valeur Minimum	42	2,10
Valeur Maximum	204	10,20
Moyenne Arithmétique	104,69	5,23
Médiane	100	5
Ecart Type	40,20	2,01
Variance	1616,22	4,04
Coefficient de Variation	38.40%	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.3) de cette variable présente plusieurs classes, la plus dominante est celle de 5-6még/l qui renferme environ 23.07 de l'effectif total. Nous trouvons en deuxième position les classes suivantes (3-4még/l) et (4-5még/l), avec un pourcentage identique égale à 19.23%. Les deux classes qui suivent présentes 11.53% des valeurs qui sont comprises entre 2-3még/l et 7-8.

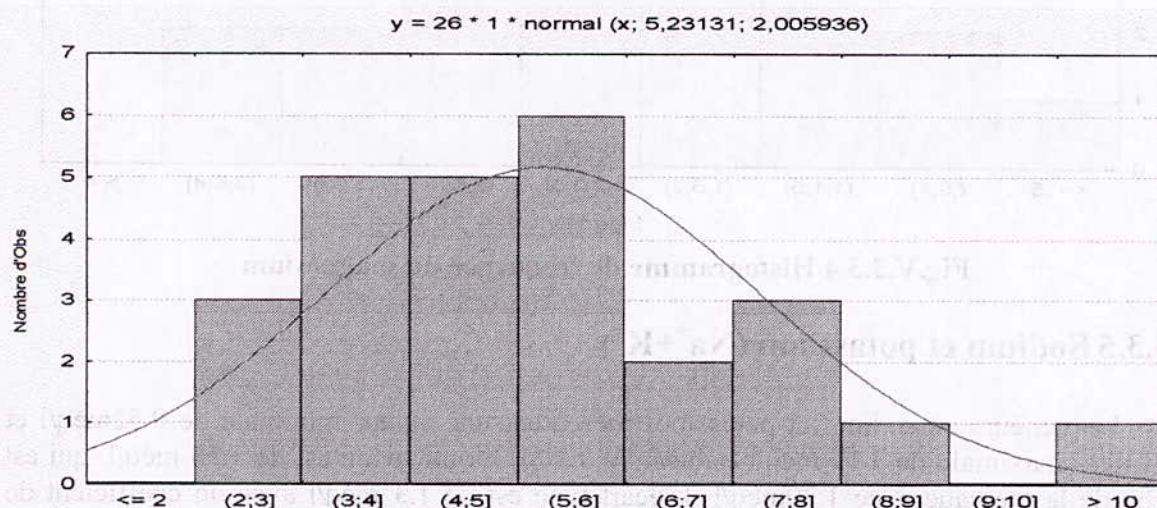


Fig.V.3.3.3Histogramme de fréquence du calcium

### V.3.3.4 Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ )

Le magnésium présente une valeur minimale 0.50még/l et une valeur maximale de 3.91 még/l (tableau V.3.3.4). La moyenne est de 2.11még/l, qui est proche de la médiane avec 2.12 még/l. L'écart type est de 0.86 még/l avec un coefficient de variation de 40.75%, la distribution de cette variable est proche de la loi normale.



Tableau V.3.3.4 Paramètres statistiques du  $Mg^{++}$ 

Paramètres statistiques	$Mg^{++}$ (mg/l)	$Mg^{++}$ (méq/l)
Taille	26	26
Valeur Minimum	6	0,5
Valeur Maximum	47	3,91
Moyenne Arithmétique	25,42	2,11
Médiane	25,5	2,12
Ecart Type	10,36	0,86
Variance	107,37	0,74
Coefficient de Variation	40.75%	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.4) de cette variable présente une classe, dominante, qui est celle de 1.5-2 méq/l, qui renferme environ 23.08% de l'effectif total. Elle est suivie de la deuxième classe 2-2.5 méq/l, renferment environ 19.23%. Cette dernière est suivie par deux classes (1-1.5méq/l et 2.5-3méq/l) qui renferment environ 15.38% chacune.

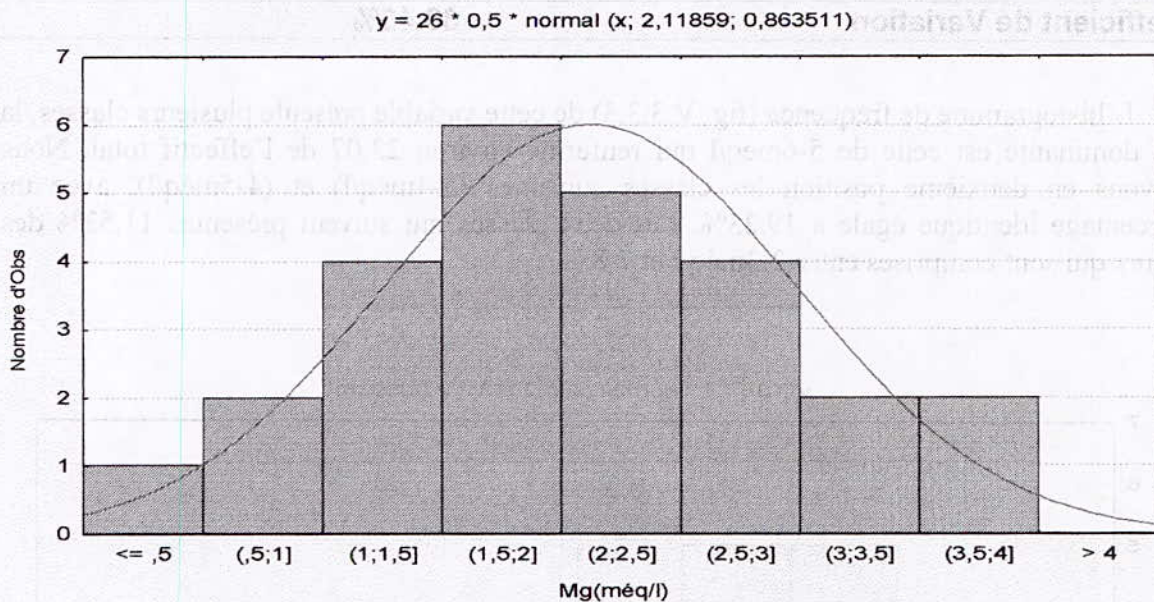


Fig.V.3.3.4 Histogramme de fréquence du magnésium

### V.3.3.5 Sodium et potassium ( $Na^{+}+K^{+}$ )

Les teneurs en sodium et potassium présentent une valeur minimale de 0.52méq/l et une valeur maximale de 7.17 méq/l (tableau V.3.3.5). La moyenne est de 1.56 méq/l, qui est proche de la médiane avec 1.20méq/l. L'écart type est de 1.3 méq/l avec un coefficient de variation de 83.60%, qui exprime une distribution loin de la loi normale.



Tableau V.3.3.5 Paramètres statistiques du  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 

Paramètres statistiques	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (mg/l)	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (méq/l)
Taille	26	26
Valeur Minimum	12	0,52
Valeur Maximum	165	7,17
Moyenne Arithmétique	35,88	1,56
Médiane	27,5	1,20
Ecart Type	30,00	1,30
Variance	900,02	1,70
Coefficient de Variation	83.60%	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.5) de sodium et potassium présente une classe dominante, qui correspond à 1-2 méq/l, qui renferme environ 53.84% de l'effectif total. Elle est suivie d'une deuxième classe 0-1 méq/l qui renferme environ 26.92%, du nombre d'observation. La classe 7-8 méq/l loin de l'ensemble, elle caractérise le point P231 ( $\text{Na} + \text{K} = 7.17$  méq/l soit 165mg/l).

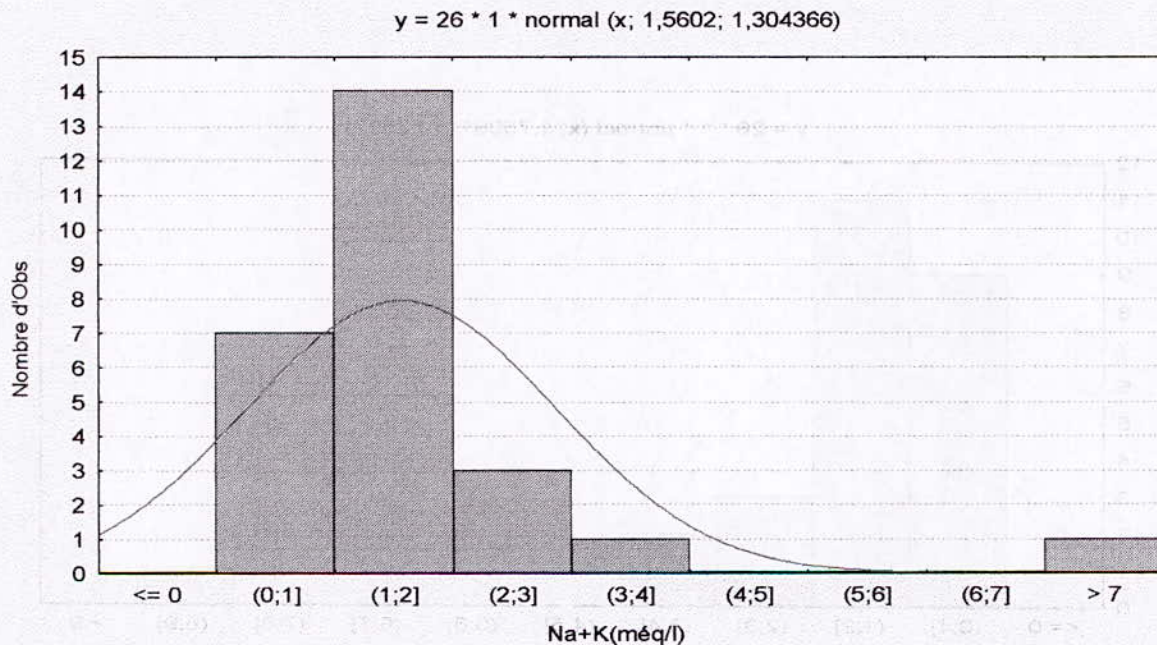


Fig.V.3.3.5 Histogramme de fréquence de sodium et potassium

### V.3.3.6 Chlorures (Cl)

La teneur en chlorures présente une valeur minimale de 0.45 méq/l et une valeur maximale de 8.22 méq/l (tableau V.3.3.6). La moyenne est de l'ordre de 1.70 méq/l, cette valeur est proche de la médiane qui est égale à 1.33 méq/l. L'écart type est de 1.52 méq/l avec un coefficient de variation de 87.15%, ce qui laisse supposer la distribution de cette variable loin de la loi normale.



Tableau V.3.3.6 Paramètres statistiques du Cl<sup>-</sup>

Paramètres statistiques	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (méq/l)
Taille	26	26
Valeur Minimum	16	0,45
Valeur Maximum	292	8,22
Moyenne Arithmétique	62,15	1,75
Médiane	47,5	1,33
Ecart Type	54,16	1,52
Variance	2934,21	2,32
Coefficient de Variation	87.15%	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.6) indique l'existence de cinq classes, la plus dominante est de 1-2méq/l, qui présente environ 42.30% de l'effectif total. La deuxième classe qui suit est de 0-1méq/l, qui renferme environ 34.61% du nombre d'observation. La classe 8-9méq/l loin de l'ensemble, elle caractérise le point P231 (Cl=8.22 méq/l soit 292mg/l).

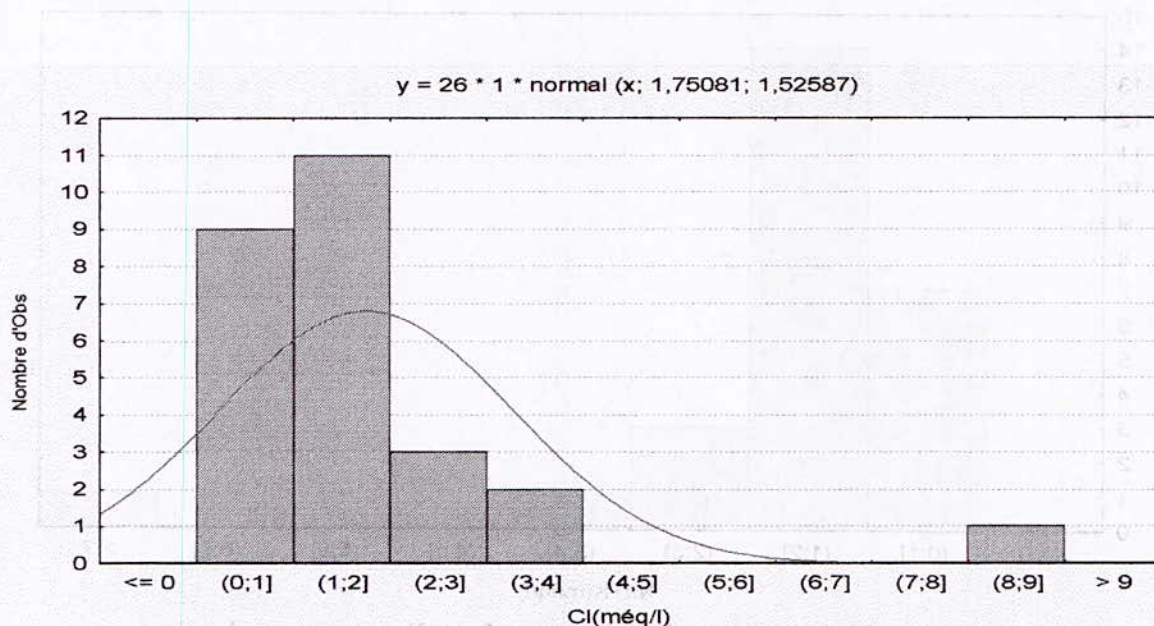


Fig.V.3.3.6 Histogramme de fréquence des chlorures

### V.3.3.7 Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Les sulfates présentent une valeur minimale de 0.63méq/l et une valeur maximale de 4.27 méq/l (tableau V.3.3.6). La moyenne est de l'ordre de 2.1 méq/l, cette valeur est proche de la médiane qui est égale à 1.95 méq/l. L'écart type est de 0.91 méq/l avec un coefficient de variation de 42.41%, signifiant la distribution de cette variable est proche de la loi normale.



Tableau V.3.3.7 Paramètres statistiques des  $\text{SO}_4^-$ 

Paramètres statistiques	$\text{SO}_4^-$ (mg/l)	$\text{SO}_4^-$ (méq/l)
Taille	26	26
Valeur Minimum	30	0,63
Valeur Maximum	205	4,27
Moyenne Arithmétique	102,30	2,13
Médiane	94	1,95
Ecart Type	43,391	0,91
Variance	1882,86	0,81
Coefficient de Variation	42.41%	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.7) indique l'existence de plusieurs classes, les plus dominantes ce sont les classes (1.5-2méq/l et 2-2.5méq/l) qui présentent chacune environ 23.07% de l'effectif total. La deuxième classe qui suit est 1-1.5 méq/l, qui renferme environ 19.23% du nombre d'observation.

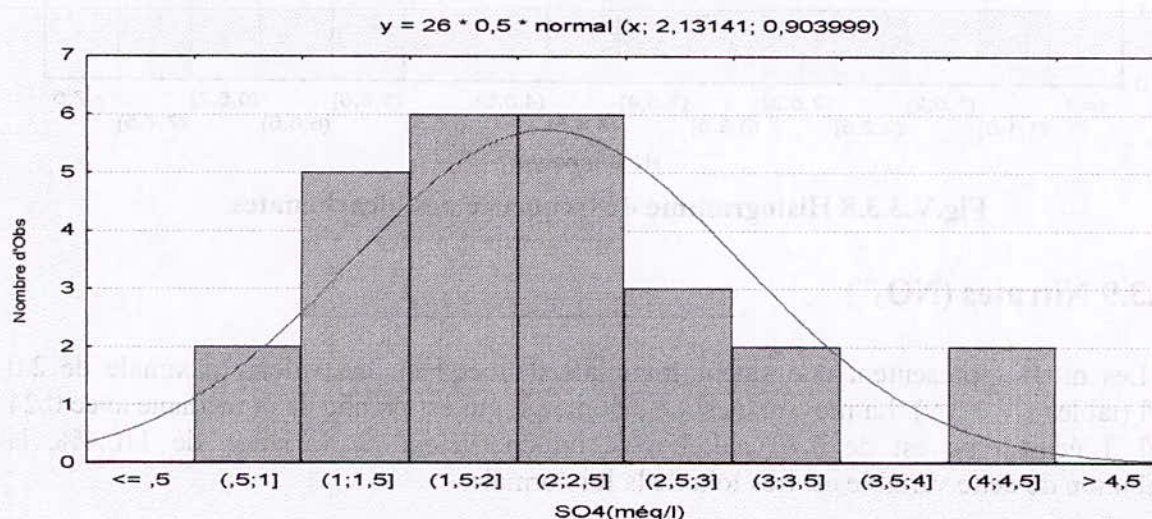


Fig.V.3.3.7 Histogramme de fréquence des sulfates

### V.3.3.8 Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

D'après le tableau V.3.2.8, les bicarbonates présentent une valeur minimale de 1.45méq/l et une valeur maximale de 7.08méq/l. La moyenne est de l'ordre de 4.85 méq/l, cette valeur est proche de la médiane qui est égale à 4.94 méq/l. L'écart type est de 1.53méq/l avec un coefficient de variation de 31.57%, ce qui laisse supposer la distribution de cette variable suit la loi normale.

Tableau V.3.3.8 Paramètres statistiques des  $\text{HCO}_3^-$ 

Paramètres statistiques	$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	$\text{HCO}_3^-$ (méq/l)
Taille	26	26
Valeur Minimum	89	1,45
Valeur Maximum	432	7,08
Moyenne Arithmétique	296,30	4,85
Médiane	301	4,94
Ecart Type	93,55	1,53
Variance	8752,86	2,35
Coefficient de Variation	31.57%	



L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.8) montre une classe dominante est la classe de 4-4.5még/l, qui présente environ 19.23% de l'effectif total. Nous trouvons en deuxième position les classes suivantes (5-5.5még/l), (5.5-6még/l) et (6-6.5 még/l), et avec un pourcentage identique égal à 11.53%.

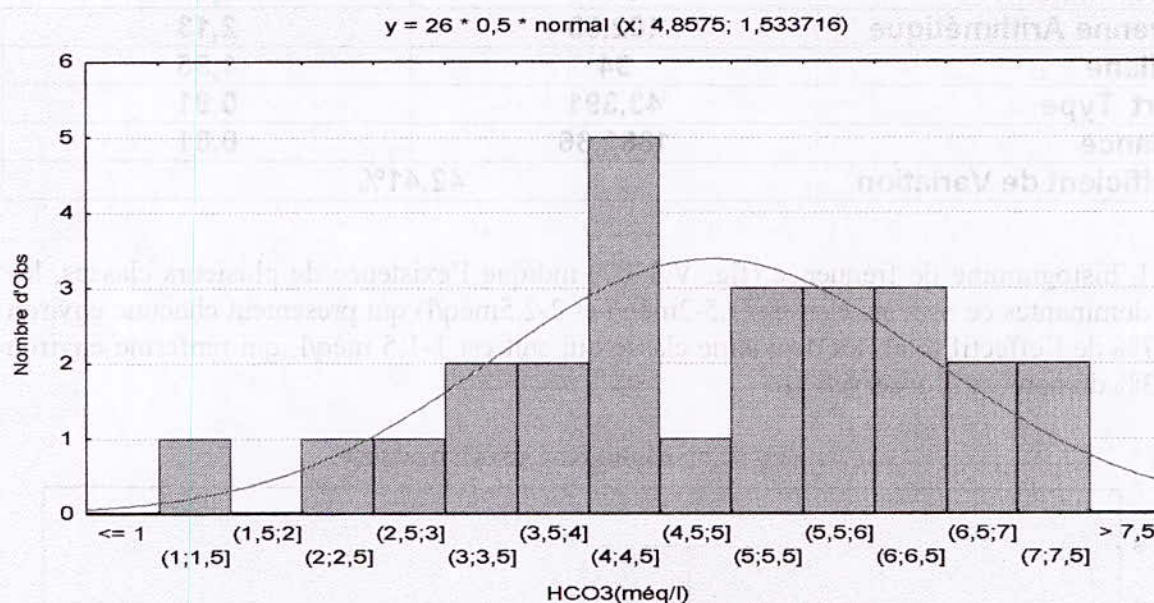


Fig.V.3.3.8 Histogramme de fréquence des bicarbonates

### V.3.3.9 Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Les nitrates présentent une valeur minimale 0.0még/l et une valeur maximale de 2.0 még/l (tableau V.3.3.9). La moyenne est de 0.36még/l, qui est proche de la médiane avec 0.24 még/l. L'écart type est de 0.40 még/l avec un coefficient de variation de 110.4%, la distribution de cette variable est très loin de la loi normale.

TableauV.3.3.9 Paramètres statistiques des  $\text{NO}_3^-$

Paramètres statistiques	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (még/l)
Taille	26	26
Valeur Minimum	0	0
Valeur Maximum	125	2
Moyenne Arithmétique	22,73	0,36
Médiane	15,5	0,24
Ecart Type	25,09	0,40
Variance	629,80	0,16
Coefficient de Variation	110.4%	

L'histogramme de fréquence (fig. V.3.3.9) de cette variable présente plusieurs classes, la plus dominante, 0.06-0.07még/l, qui renferme environ 23.07% de l'effectif total suivi d'une deuxième classe de 0.09-0.1 még/l, renfermant environs 19%.



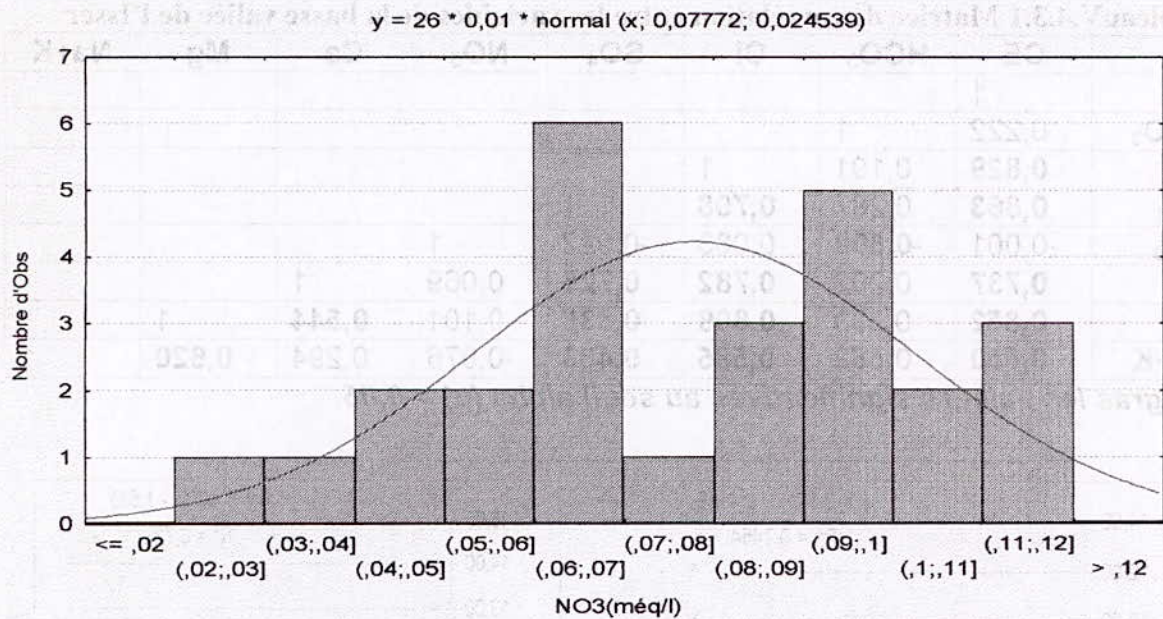


Fig.V.3.3.9 Histogramme de fréquence des nitrates

#### V.4 Corrélation entre les variables

Chacune de ces matrices (fig.V.4.3.1- V.4.3.2- V.4.3.3) est composée de coefficients de corrélations entre les éléments et permet de distinguer les éléments corrélables entre eux, en tenant compte de la valeur et du signe du coefficient de corrélation :

- Si  $r=1$  tous les points observés sont situés à proximité ou sur une même droite ;
- Si  $r < 1$  et  $> 0$  le nuage de points est allongé parallèlement à l'un des axes de coordonnées sous une forme arrondie (ellipsoïde aplatie selon un des axes) ;
- Si  $r < 0$  et  $> -1$  le nuage de points est allongé parallèlement à une droite dans le sens inverse ;
- Si  $r = -1$  tous les points observés se trouvent (sur/ou) à proximité d'une même droite dans le sens inverse.

La consultation des trois tableaux (fig.V.4.3.1- V.4.3.2- V.4.3.3) de corrélation présente :

1. la corrélation entre les variables en considérant uniquement l'aquifère de la basse vallée de l'Isser ;
2. la corrélation entre les variables en considérant uniquement l'aquifère de la basse vallée de la Soummam ;
3. la corrélation entre les variables en considérant uniquement l'aquifère de basse vallée de la Sebaou.

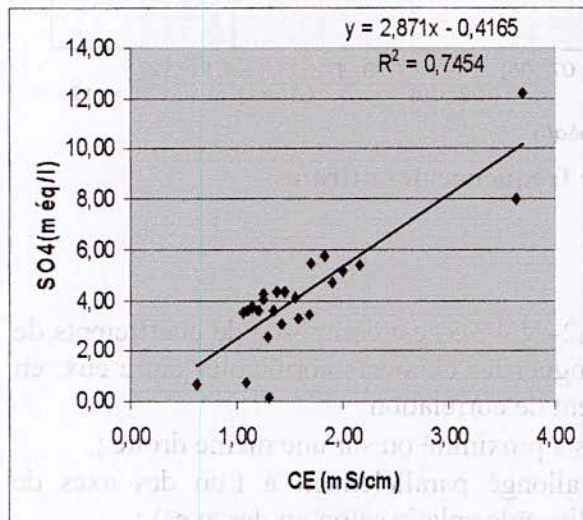
Au niveau de l'aquifère de la basse vallée de l'Isser, nous constatons que les sulfates sont bien corrélés avec le magnésium  $r=0.835$ , et aussi le calcium avec les chlorures  $r=0.782$  (Tableau.V.4.3.1, fig.V.4.3.1). Par ailleurs la conductivité électrique est influencée surtout par les sulfates ( $r=0.863$ ), elle est également influencée par le magnésium ( $Mg^{++}$ ) :  $r=0.852$ , les chlorures ( $Cl^-$ ) :  $r=0.829$ , le calcium ( $Ca^{++}$ ) :  $r=0.737$  et le sodium ( $Na^{++}$ ) :  $r=0.550$ . Par ailleurs les sulfates et le magnésium sont positivement corrélés  $r=0.835$ .



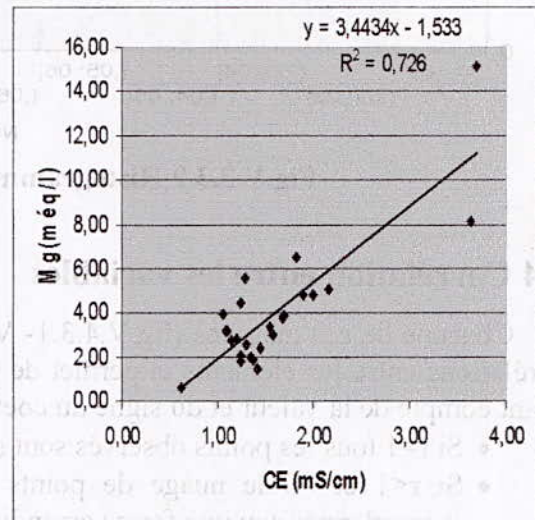
Tableau V.4.3.1 Matrice de corrélation entre les variables de la basse vallée de l'Isser

	CE	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na+K
CE	1							
HCO <sub>3</sub>	0,222	1						
Cl	<b>0,829</b>	0,191	1					
SO <sub>4</sub>	<b>0,863</b>	0,287	<b>0,708</b>	1				
NO <sub>3</sub>	-0,001	<b>-0,508</b>	0,083	-0,022	1			
Ca	<b>0,737</b>	0,202	<b>0,782</b>	<b>0,725</b>	0,069	1		
Mg	<b>0,852</b>	0,333	<b>0,809</b>	<b>0,835</b>	0,101	<b>0,544</b>	1	
Na+K	<b>0,550</b>	<b>0,552</b>	<b>0,585</b>	<b>0,483</b>	-0,076	0,294	<b>0,620</b>	1

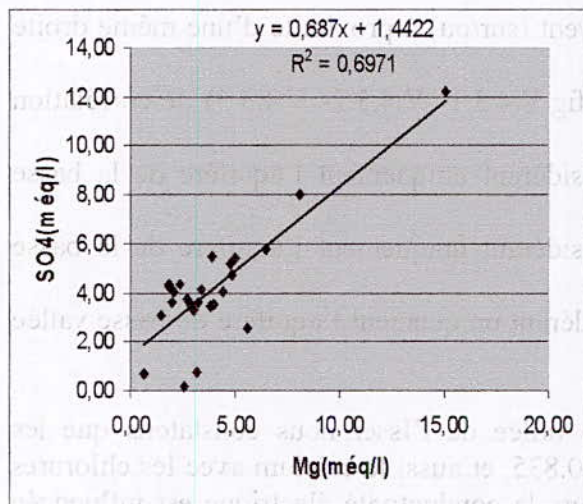
En gras les valeurs significatives au seuil alpha ( $\alpha$ ) = 0.05



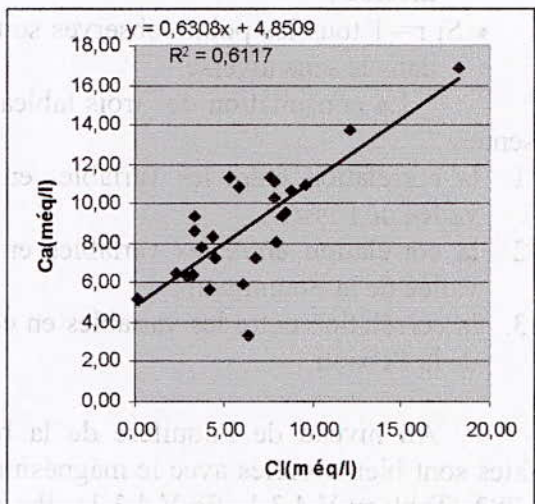
Courbe de régression (SO<sub>4</sub>/CE)



Courbe de régression (Mg/CE)



Courbe de régression (SO<sub>4</sub>/Mg)



Courbe de régression (Ca/Cl)

Fig.V.4.3.1, Courbes de régressions entre certains paramètres : cas de la Basse vallée de l'Isser

Au niveau de l'aquifère (basse vallée de la Soummam), les Na+K et Cl sont naturellement en bonne corrélation  $r=0.915$  (Tableau.V.4.3.2, fig.V.4.3.2), ceci est du au fait



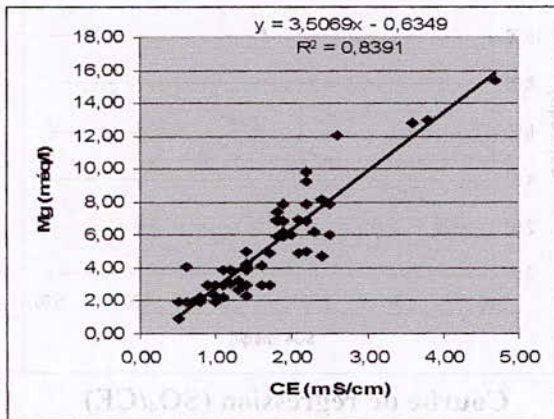
qu'ils proviennent en général de la dissolution du chlorure de sodium (NaCl) ou s'associent pour sa formation.

Par ailleurs la conductivité électrique est influencée surtout par le magnésium ( $r=0.917$ ), ce qui permet de dire que la minéralisation est essentiellement due dans cet aquifère au magnésium. Elle est également influencée par, les chlorures (Cl) :  $r=0.897$ , les sulfates ( $SO_4$ ) :  $r=0.866$ , le calcium ( $Ca^{++}$ ) :  $r=0.859$  et le sodium ( $Na^{+}$ ) :  $r=0.840$  et en faible corrélation avec les bicarbonates.

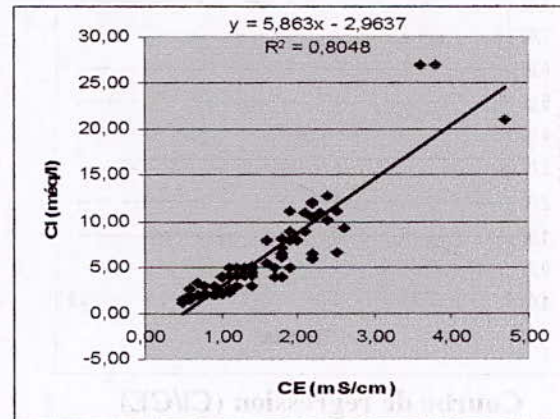
Tableau V.4.3.2 Matrice de corrélation entre les variables de la basse vallée de la Soummam

	CE	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na+K
CE	1							
HCO <sub>3</sub>	0.353	1						
Cl	0.897	0.228	1					
SO <sub>4</sub>	0.866	0.191	0.681	1				
NO <sub>3</sub>	-0.031	0.212	-0.032	-0.184	1			
Ca	0.859	0.383	0.736	0.845	0.012	1		
Mg	0.917	0.392	0.825	0.790	0.022	0.780	1	
Na+K	0.840	0.286	0.915	0.652	-0.132	0.629	0.763	1

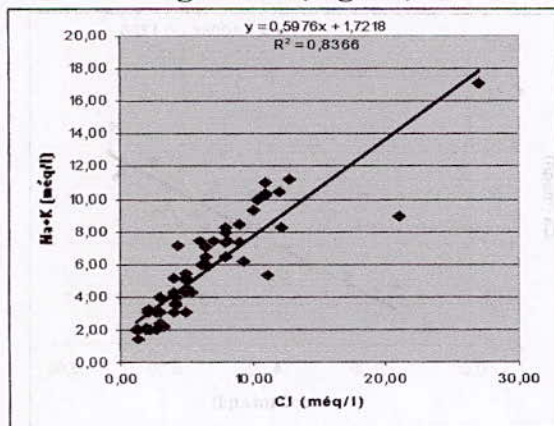
En gras les valeurs significatives au seuil alpha ( $\alpha$ ) = 0.05



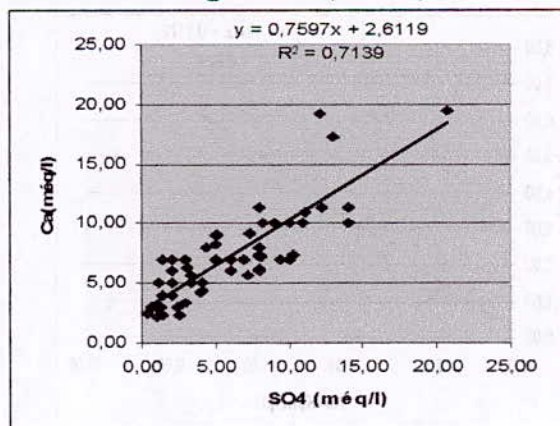
Courbe de régression (Mg/CE)



Courbe de régression (Cl/CE)



Courbe de régression (Na+K/Cl)



Courbe de régression (Ca/SO<sub>4</sub>)

Fig.V.4.3.2, Courbes de régressions entre certains paramètres : cas de la Basse vallée de la Soummam

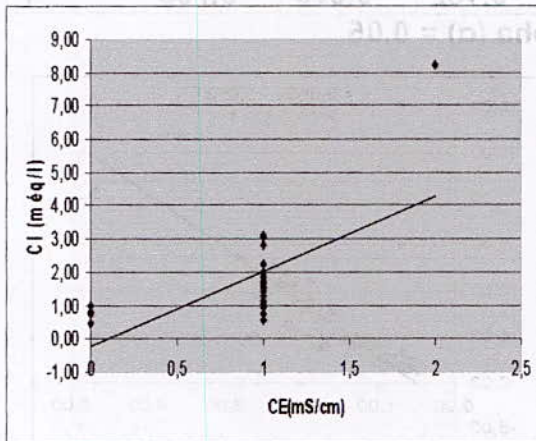


Au niveau de l'aquifère de la basse vallée du Sebaou, la conductivité électrique est influencée par les chlorures ( $r=0.637$ ), (tableau.V.4.3.3, fig.V.4.3.3), ce qui permet de dire que la minéralisation est essentiellement due dans cet aquifère aux chlorures qui peut être due à la présence des contacts anormaux. Elle est également influencée par, les sulfates ( $SO_4$ ) :  $r=0.634$ , les bicarbonates ( $HCO_3$ ) :  $r=0.630$  et Na+K:  $r=0.623$ . D'ailleurs ces éléments sont en bonne corrélation entre eux.

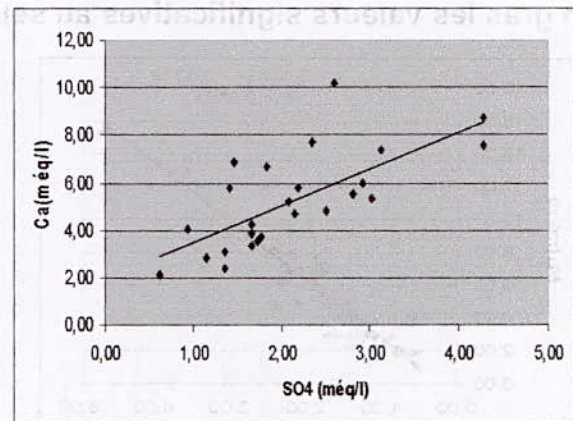
**TableauV.4.3.3 Matrice de corrélation entre les variables de basse vallée du Sebaou**

	CE	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na+K
CE	1							
HCO <sub>3</sub>	<b>0.630</b>	1						
Cl	<b>0.637</b>	<b>0.393</b>	1					
SO <sub>4</sub>	<b>0.634</b>	<b>0.609</b>	<b>0.655</b>	1				
NO <sub>3</sub>	0.123	0.311	0.183	0.305	1			
Ca	<b>0.597</b>	<b>0.855</b>	<b>0.553</b>	<b>0.699</b>	<b>0.642</b>	1		
Mg	<b>0.566</b>	<b>0.414</b>	<b>0.473</b>	<b>0.613</b>	0.083	0.263	1	
Na+K	<b>0.623</b>	<b>0.421</b>	<b>0.964</b>	<b>0.699</b>	0.051	<b>0.494</b>	<b>0.525</b>	1

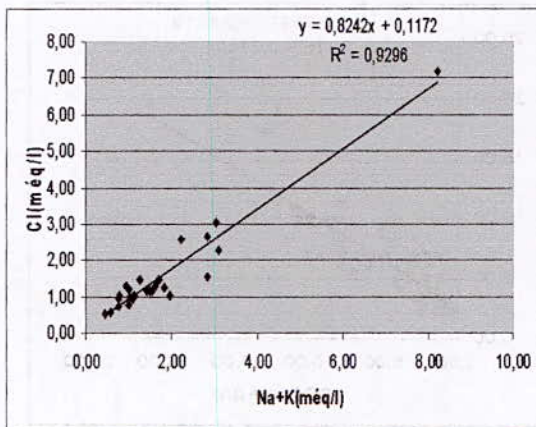
En gras les valeurs significatives au seuil alpha ( $\alpha$ ) = 0.05



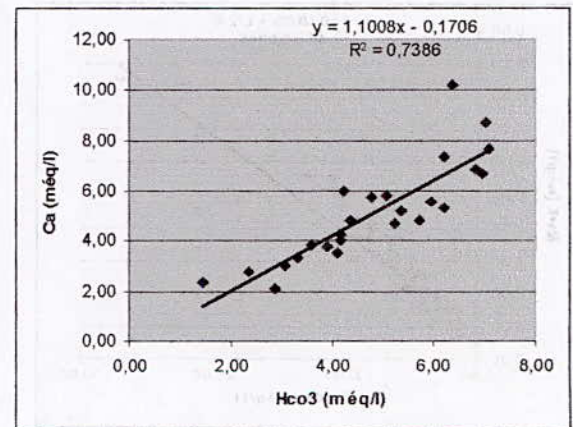
**Courbe de régression (Cl/CE)**



**Courbe de régression (SO<sub>4</sub>/CE)**



**Courbe de régression (Na+K/Cl)**



**Courbe de régression (Ca/HCO<sub>3</sub>)**

**Fig.V.4.3.3, Courbes de régressions entre certains paramètres : cas de la Basse vallée du Sebaou**



Les nitrates, dans l'aquifères de la Basse vallée de la Soummam, ont le même comportement vis-à-vis des autres variables, ils ne sont en corrélations avec aucune autre variable, mais ils sont corrélées négativement aux bicarbonate ( $r=-0.508$ ) dans l'aquifère de la bas vallée de l'Issr, et avec le calcium ( $r=0,642$ ) dans la troisième aquifère (Basse Vallée du Sebaou), ce qui est tout à fait normal, compte tenu du fait qu'ils ont une origine différente. Les autres variables proviennent plus ou moins de la minéralisation des roches des formations géologique (surtout gypseuses et calcareuses) ou par l'influence des eaux de la mer infiltrée dans les nappes, alors que les nitrates constituent une source de pollution, elles ont une origine exogène (agriculture, industrie, rejets domestiques).

## V.5 Conclusion

Dans la Basse vallée de l'Isser :

Parmi les anions, ce sont les chlorures qui ont la valeur moyenne la plus élevée (6.38még/l, 226.6mg/l) devant les bicarbonates 4.82még/l soit 294.29mg/l alors que les nitrates (mg/l) présentent une valeur moyenne de (0.69még/l, 43mg/l).

Parmi les cations, c'est le calcium qui a la moyenne arithmétique la plus importante (8.88még/l, 177.5mg/l) comparé au magnésium (3.96 még/l, 47.48mg/l) alors que la moyenne du sodium et potassium est faible, elle est de l'ordre de 2.66még/l soit 64.48mg/l.

Dans la Basse vallée de la Soummam :

Parmi les anions, ce sont les chlorures qui ont la valeur moyenne la plus élevée (6.53még/l, 231.64mg/l) devant les sulfates (5.99még/l, 287.46mg/l) et les bicarbonates (5.37még/l, 322.23mg/l) alors que les nitrates présentent une moyenne faible de 5.37még/l soit 24.40mg/l.

Parmi les cations, c'est le calcium qui a la moyenne arithmétique la plus importante (7.16még/l, 143.24mg/l) comparé aux sodium et potassium (5.62még/l, 129.33mg/l) et le magnésium (5.04még/l, 61.19mg/l)

Dans la Basse vallée du Sebaou :

Parmi les anions, ce sont les bicarbonates qui ont la valeur moyenne la plus élevée (4.85még/l, 296.30mg/l) devant les sulfates (2.13még/l, 102.307mg/l) et les chlorures (1.75még/l, 62.15mg/l) alors que les nitrates présentent une moyenne faible de 0.36még/l soit 22.73mg/l).

Parmi les cations, c'est le calcium qui a la moyenne arithmétique la plus importante (5.23még/l, 104.49mg/l) comparé au sodium et potassium (2.11még/l, 35.88mg/l) alors que la moyenne du magnésium est faible, elle est de 1.56még/l soit 25.42 mg/l.

A l'issue de cette description par l'analyse statistique élémentaire, il ressort que le élément dominant dans la composition chimique des eaux de chaque région (du bas Isser, de basse Soummam et du bas Sebaou) est le calcium.

L'étude des graphes et des matrices de corrélation ont montré que la conductivité électrique est influencée plus :



Dans la Basse vallée de l'Isser par les éléments  $SO_4$ ,  $Cl$ ,  $Mg$  et  $Ca$  qui sont d'ailleurs en bonne corrélation entre eux et sont caractéristiques de cet aquifère et ont permis de mettre en évidence les corrélations suivantes :  $[HCO_3 \text{ et } Na+K]$ ,  $[Ca \text{ et } Cl]$ ,  $[Mg \text{ et } Cl]$ ,  $[Ca \text{ et } SO_4]$  et  $[Mg \text{ et } SO_4]$ .

Dans la Basse vallée de la Soummam : la conductivité électrique est plus influencée par les éléments  $Mg$  (qui caractérise également cet aquifère),  $Cl$ ,  $SO_4$ ,  $Ca$  et  $Na+k$  et ont permis de mettre en évidence les corrélations suivantes :  $Na+K \text{ et } Cl$ ,  $[Mg \text{ et } Cl]$ ,  $[Ca \text{ et } Cl]$ ,  $[Ca \text{ et } SO_4]$ ,  $[Mg \text{ et } SO_4]$  et  $[Na+K \text{ et } SO_4]$ .

Dans la Basse vallée du Sebaou : la conductivité électrique est plus influencée par les éléments  $Cl$ ,  $SO_4$ ,  $HCO_3$ ,  $Ca$  et  $Na+k$  et ont permis de mettre en évidence les corrélations suivantes  $[HCO_3 \text{ et } Ca]$ ,  $[Na+K \text{ et } Cl]$ ,  $[Mg \text{ et } Cl]$ ,  $[Ca \text{ et } Cl]$ ,  $[Ca \text{ et } SO_4]$ ,  $[Mg \text{ et } SO_4]$  et  $[Na+K \text{ et } SO_4]$ .



## Chapitre VI : analyse en composantes principales

### VI.1 But et principe de l'analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (A.C.P) est une méthode statistique essentiellement descriptive : son objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau des données. Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus (les points d'échantillonnage) sur lesquelles sont mesurées des variables quantitatives ou pouvant être considérées comme telles (ici, les grandeurs chimiques des eaux souterraines).

#### VI.1.1 But

L'A.C.P nous permet de savoir

1. Comment se structurent les variables :

- quelles sont celles qui sont associées ;
- quelles sont celles qui ne le sont pas ;
- quelles sont celles qui vont dans le même sens ;
- quelles sont celles qui sont opposées.

2. Et/ou comment se repartissent les individus :

- Quels sont ceux qui se ressemblent ;
- Quels sont ceux qui sont dissemblable.

#### VI.1.2 Principe

Le principe de l'A.C.P est de chercher à ajuster à un espace de dimension plus réduite, l'espace initial des données qui est de dimension plus grande. Les variables initiales plus ou moins corrélées entre elles, sont transformées en d'autres nouvelles variables toutes indépendantes ; appelées composantes principales. (L'A.C.P normée permet de donner la même importance aux variables : résultats peu sensibles aux valeur suspectes).

Cette analyse concerne :

- 9 éléments chimiques ou variables avec 25 observations dans la Basse Vallée de l'Isser ;
- 9 éléments chimiques ou variables avec 63 observations dans la Basse Vallée de la Soummam ;
- 9 éléments chimiques ou variables avec 26 observations dans la Basse Vallée du Sebaou ;

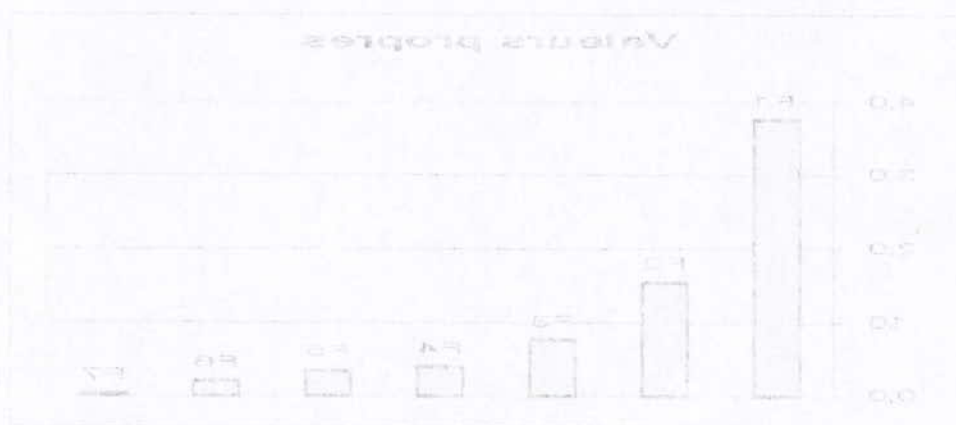


Fig. VI.1.1.1 Part d'information des axes principaux



## VI.2 Résultats et interprétations :

En effectuant ce travail, nous avons considéré les variables CE et pH comme des variables supplémentaires, compte tenu du rôle particulier qu'ils jouent. Ils ne participeront donc pas à la construction des axes.

### VI.2.1 Valeurs propres

Le premier résultat interprétable est constitué par la liste des valeurs propres et des pourcentages de variance (contribution à la variation totale) (tableaux VI.2.1.1, VI.2.1.2 et VI.2.1.3). Les premiers pourcentages sont élevés, comparés aux autres. On se limitera dans ce cas aux trois premiers axes.

#### VI.2.1.1 Basse vallée de l'Isser

D'après l'observation du tableau VI.2.1.1 nous remarquons que le premier axe principal indique une valeur propre égale à 3.758, correspondant à un pourcentage de 53.68% de la variation totale.

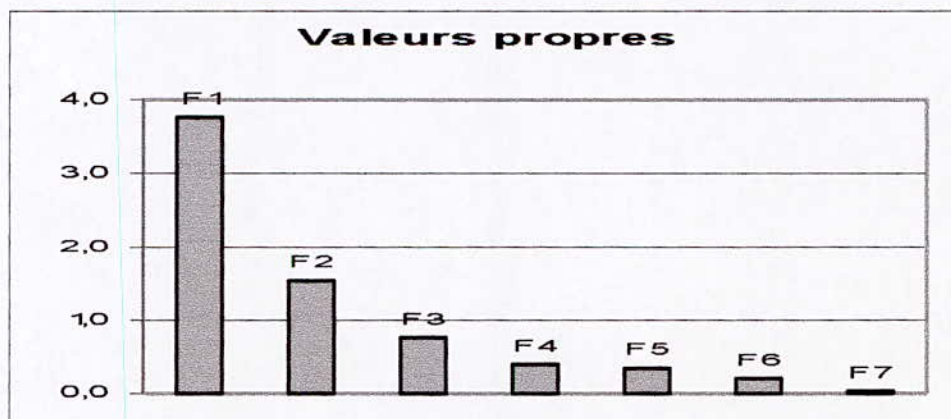
Pour le deuxième axe principal, la valeur est égale à 1.546 correspondant à 22.08% de la variation totale. Enfin le troisième axe principal indique une valeur propre égale à 0.751 correspondant à 10.724% de la variation totale.

La somme des valeurs propres vaut dans ce cas 6.055 traces de la matrice de corrélation. La contribution à la variation totale exprimée par ces trois axes principaux vaut 86.496. On peut donc considérer comme bonne la description obtenue.

**Tableau VI.2.1.1 Valeurs propres et contribution à la variation totale**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
<b>Valeur propre</b>	<b>3,758</b>	<b>1,546</b>	<b>0,751</b>	<b>0,395</b>	<b>0,343</b>	<b>0,190</b>	<b>0,018</b>
<b>% variance</b>	<b>53,684</b>	<b>22,088</b>	<b>10,724</b>	<b>5,644</b>	<b>4,894</b>	<b>2,715</b>	<b>0,252</b>
<b>% cumulé</b>	<b>53,684</b>	<b>75,772</b>	<b>86,496</b>	<b>92,139</b>	<b>97,033</b>	<b>99,748</b>	<b>100,000</b>

On peut présenter les valeurs propres sous forme d'histogramme, la part d'information de chaque axe (fig.VI.2.1.1).



**Fig. VI.2.1.1 Part d'information des axes principaux**



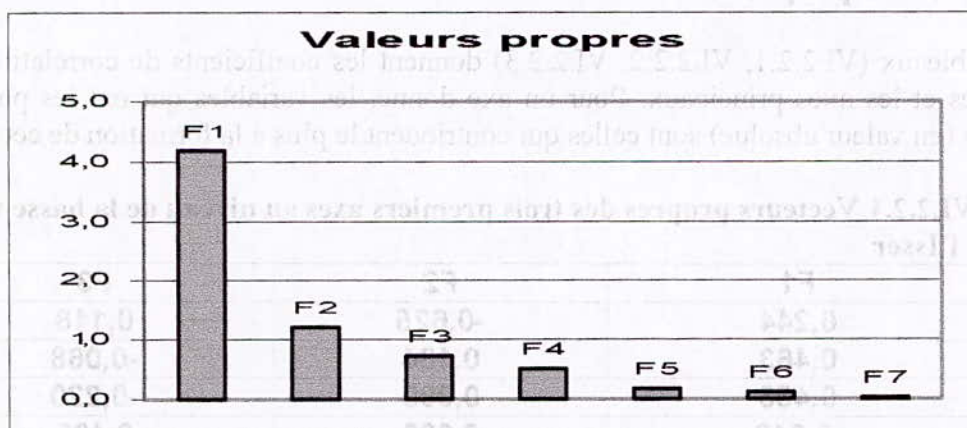
**VI.2.1.2 Basse vallée de la Soummam**

D'après l'observation du tableau (VI.2.1.2), nous pouvons noter qu'un pourcentage cumulé de l'ordre de 87.4% présente la part d'information expliquée par les trois axes. Ce dernier est jugé suffisant pour une approche d'analyse des variables et des individus.

**Tableau VI.2.1.2 Valeurs propres et contribution à la variation total**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
<b>Valeur propre</b>	<b>4,172</b>	<b>1,206</b>	<b>0,743</b>	<b>0,531</b>	<b>0,186</b>	<b>0,125</b>	<b>0,037</b>
<b>% variance</b>	<b>59,607</b>	<b>17,222</b>	<b>10,618</b>	<b>7,588</b>	<b>2,650</b>	<b>1,783</b>	<b>0,532</b>
<b>% cumulé</b>	<b>59,607</b>	<b>76,828</b>	<b>87,446</b>	<b>95,034</b>	<b>97,685</b>	<b>99,468</b>	<b>100,000</b>

On peut présenter les valeurs propres sous forme d'histogramme, la part d'information de chaque axe (fig.VI.2.1.2).



**Fig. VI.2.1.2 Part d'information des axes principaux**

**VI.2.1.3 Basse vallée du Sebaou**

D'après l'observation du tableau VI.2.1.3, nous obtenons que le premier axe principal indique une valeur propre égale à 4,047 correspondant à un pourcentage de 57.811% de la variation totale.

Pour le deuxième axe principal, la valeur est égale à 1.368 correspondant à 19.538% de la variation totale. Enfin le troisième axe principal indique une valeur propre égale à 0.707 correspondant à 10.105% de la variation totale.

**Tableau VI.2.1.3 Valeurs propres et contribution à la variation total**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
<b>Valeur propre</b>	<b>4,047</b>	<b>1,368</b>	<b>0,707</b>	<b>0,584</b>	<b>0,260</b>	<b>0,029</b>	<b>0,005</b>
<b>% variance</b>	<b>57,811</b>	<b>19,538</b>	<b>10,105</b>	<b>8,344</b>	<b>3,707</b>	<b>0,421</b>	<b>0,073</b>
<b>% cumulé</b>	<b>57,811</b>	<b>77,350</b>	<b>87,454</b>	<b>95,799</b>	<b>99,506</b>	<b>99,927</b>	<b>100,000</b>



On peut présenter les valeurs propres sous forme d'un histogramme la part d'information de chaque axe (fig.VI.2.1.3).

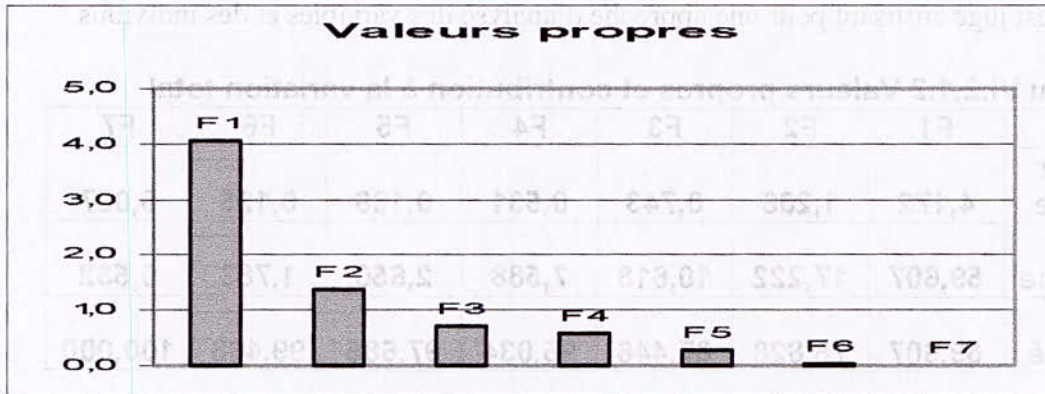


Fig. VI.2.1.3 Part d'information des axes principaux

## VI.2.2 Vecteurs propres

Les tableaux (VI.2.2.1, VI.2.2.2, VI.2.2.3) donnent les coefficients de corrélation entre les variables et les axes principaux. Pour un axe donné, les variables qui ont les plus forts coefficients (en valeur absolue) sont celles qui contribuent le plus à la formation de cet axe.

Tableaux VI.2.2.1 Vecteurs propres des trois premiers axes au niveau de la basse vallée de l'Isser

	F1	F2	F3
HCO <sub>3</sub>	0,244	-0,625	0,118
Cl	0,463	0,184	-0,068
SO <sub>4</sub>	0,456	0,090	-0,220
NO <sub>3</sub>	-0,018	0,680	0,498
Ca	0,400	0,205	-0,517
Mg	0,466	0,094	0,188
Na+K	0,375	-0,234	0,618

Tableaux VI.2.2.2 Vecteurs propres des trois premiers axes au niveau de la basse vallée de la Soummam

	F1	F2	F3
HCO <sub>3</sub>	0,192	0,585	0,753
Cl	0,447	-0,069	-0,240
SO <sub>4</sub>	0,425	-0,183	-0,021
NO <sub>3</sub>	-0,026	0,772	-0,606
Ca	0,436	0,070	0,017
Mg	0,455	0,075	-0,045
Na+K	0,429	-0,112	-0,073



**Tableaux VI.2.2.3 Vecteurs propres des trois premiers axes au niveau de la basse vallée du Sebaou**

	F1	F2	F3
HCO <sub>3</sub>	0,381	0,274	0,406
Cl	0,412	-0,309	-0,475
SO <sub>4</sub>	0,440	-0,056	0,150
NO <sub>3</sub>	0,212	0,632	-0,256
Ca	0,421	0,415	-0,070
Mg	0,317	-0,310	0,631
Na+K	0,410	-0,398	-0,344

### VI.2.3 Etude des variables

L'examen de corrélation entre les variables initiales et les axes principaux permettent de déterminer les structures des variables. Pour réaliser cette analyse, nous avons intégré le pH et la CE comme des variables supplémentaires, par rapport aux autres variables actives. On essaiera ainsi d'expliquer la variable en recherchant des liaisons éventuelles entre les variables (Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>) et les variables supplémentaires (pH et CE).

#### VI.2.3.1 Basse vallée de l'Isser

L'analyse du tableau VI.2.2.1 montre que les coordonnées des points variables sur le premier axe sont toutes positives sauf la coordonnée de la variable NO<sub>3</sub> ayant un coefficient de -0.018.

Les variables corrélables (positivement) avec l'axe 1 sont Cl, SO<sub>4</sub>, Mg, Ca, Na+K et HCO<sub>3</sub> ayant respectivement pour coefficient 0.463, 0.456, 0.466, 0.40, 0.375 et 0.244.

Avec le deuxième axe principal, il n'y a que HCO<sub>3</sub> qui exprime une forte corrélation négative avec une valeur égale à -0.625 et NO<sub>3</sub> qui exprime une forte corrélation positive avec une valeur égale à 0.680.

La corrélation avec le troisième axe principal est forte pour le Na+K et Ca, présentant respectivement des coefficients de corrélation 0.618 et -0.517, et très faibles pour les autres variables.

#### VI.2.3.2 Basse vallée de la Soummam

L'examen du tableau VI.2.2.2 montre que les variables (Cl, SO<sub>4</sub>, Mg et Na+K) sont très corrélées avec le premier axe principal.

Sur le deuxième axe principal, la corrélation des variables avec cet axe diminue sauf pour le NO<sub>3</sub> et HCO<sub>3</sub>.

Pour le troisième axe, les variables HCO<sub>3</sub> (positive) et NO<sub>3</sub> (négative) sont celles qui contribuent le plus à la formation de cet axe.

#### VI.2.3.3 Basse vallée du Sebaou

L'analyse du tableau VI.2.2.3 indique que les coordonnées des variables sur le premier axe sont toutes positives. Elles sont très corrélées avec cet axe sauf NO<sub>3</sub>.

Avec le deuxième axe principal, les variables sont moyennement corrélées avec cet axe sauf le NO<sub>3</sub> qui exprime une forte corrélation positive avec une valeur égal à 0.632.

Pour le troisième axe, les variables Mg (positive), Cl (négative), HCO<sub>3</sub> (positive) et Na+K (négative) sont celles qui contribuent le plus à la formation de cet axe.



### VI.2.4 Etude des cercles de corrélation

L'étude des cercles de corrélation permet de connaître les variables corrélables entre elles ou non. Les éléments situés près du pourtour du cercle indiquent des corrélations positives peu différentes de 1 entre les éléments associés. Les éléments opposés sur le cercle indiquent des corrélations négatives également proches de 1. Les éléments situés proche du centre du cercle indiquent au contraire des deux cas précédent, une absence de corrélation.

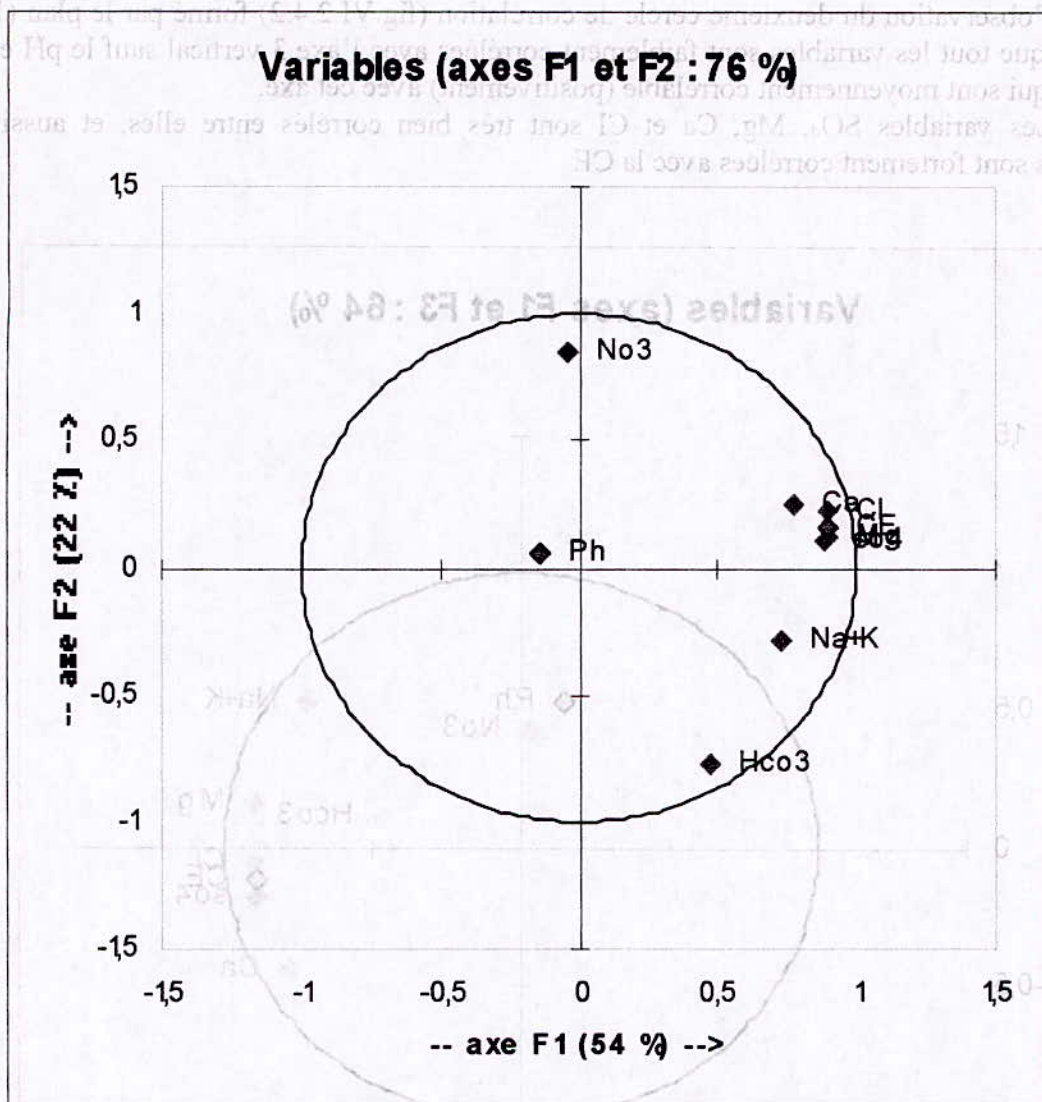
#### VI.2.4.1 Basse vallée de l'Isser

La représentation graphique fig.VI.2.4.1 des variables dans le premier plan factoriel, plan (1-2) indique que la plus part des variables sont proches de la périphérie du cercle (Mg, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Ca, Na+K et HCO<sub>3</sub>). La projection des variables sur l'axe principal 1 horizontal montre que les éléments (Mg, SO<sub>4</sub>, Ca, et Na+K) sont très corrélables (positivement) avec l'axe 1.

Les éléments (SO<sub>4</sub>, Ca, Cl) sont très rapprochés, donc ils sont très bien corrélés, ils se trouvent de même coté par rapport à la CE, alors que la CE est influencée par ces éléments, donc c'est la confirmation de ce qui est déjà énoncé au niveau de l'analyse de la matrice de corrélation. Alors, nous pouvons dire que le pourcentage du premier axe principal est représentatif en général des faciès suivants : sulfaté, chloruré, calcique, sodique et magnésien et faiblement représentatif du faciès bicarbonaté et nitraté.

La projection des mêmes éléments sur le deuxième axe principal vertical, nous permet de distinguer deux variables opposées l'une à l'autre, le premier variable est représenté par le NO<sub>3</sub> qui est positivement très corrélable avec cet axe, les HCO<sub>3</sub> sont négativement corrélable.





**Fig.VI.2.4.1 Cercle de corrélation représenté par le plan 1-2**



L'observation du deuxième cercle de corrélation (fig.VI.2.4.2) formé par le plan (1-3), indique que toutes les variables sont faiblement corrélées avec l'axe 3 vertical sauf le pH et les nitrates qui sont moyennement corrélés (positivement) avec cet axe.

Les variables  $SO_4$ , Mg, Ca et Cl sont très bien corrélés entre elles, et aussi ces variables sont fortement corrélées avec la CE

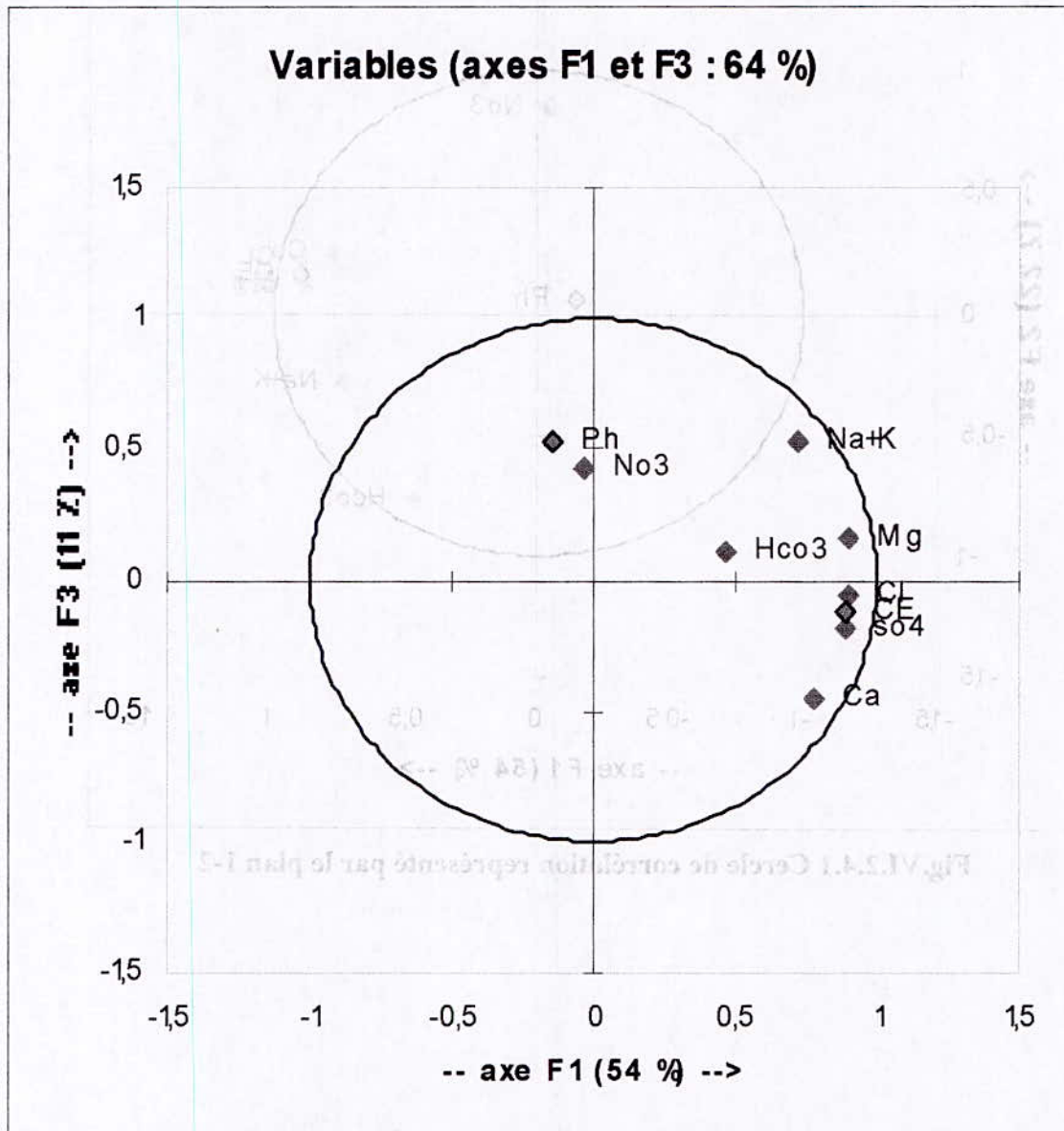


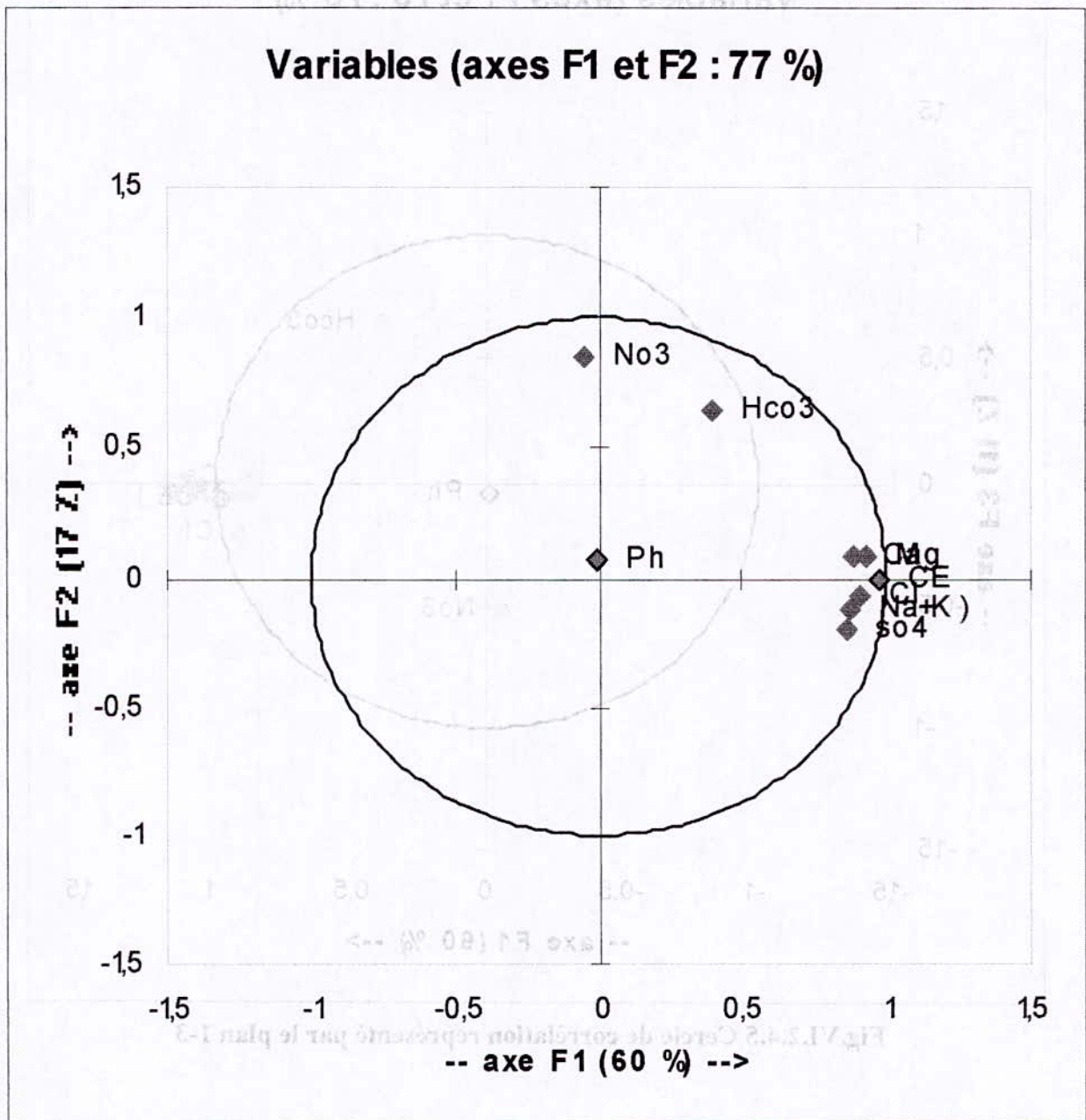
Fig.VI.2.4.2 Cercle de corrélation représenté par le plan 1-3



**VI.2.4.2 Basse vallée de la Soummam**

L'observation du cercle de corrélation (fig.VI.2.4.4) représenté par le plan factoriel, plan (1-2) et la projection des variables sur l'axe principal 1 horizontal montre que la plupart des variables (Mg, SO<sub>4</sub>, Ca, Na+K et Cl) se trouvent du même coté positif du premier axe, ils sont proches de la périphérie du cercle.

Les éléments (SO<sub>4</sub>, Ca, Cl, Mg et Na+K) sont très rapprochés, donc ils sont très bien corrélés, ils se trouvent de même coté par rapport à la CE, alors que la CE est influencée par ces éléments. L'axe 2 est représenté principalement par NO<sub>3</sub> et HCO<sub>3</sub>.



**Fig.VI.2.4.4 Cercle de corrélation représenté par le plan 1-2**



L'examen de cercle de corrélation formé par l'axe 3 vertical et l'axe 1 horizontal (fig.VI.2.4.5), montre que tout les variables sont faiblement corrélées avec l'axe 3 vertical sauf le  $\text{HCO}_3$  (positivement) et les nitrates (négativement) sont moyennement corrélable avec cet axe.

Les variables Ca, Cl, Mg,  $\text{SO}_4$  et Na+K sont très sont très rapprochées, donc elles sont très bien corrélées. Ces variables se trouvent de même coté par rapport à la CE, alors que nous notons toujours une forte corrélation de ces variables avec la CE.

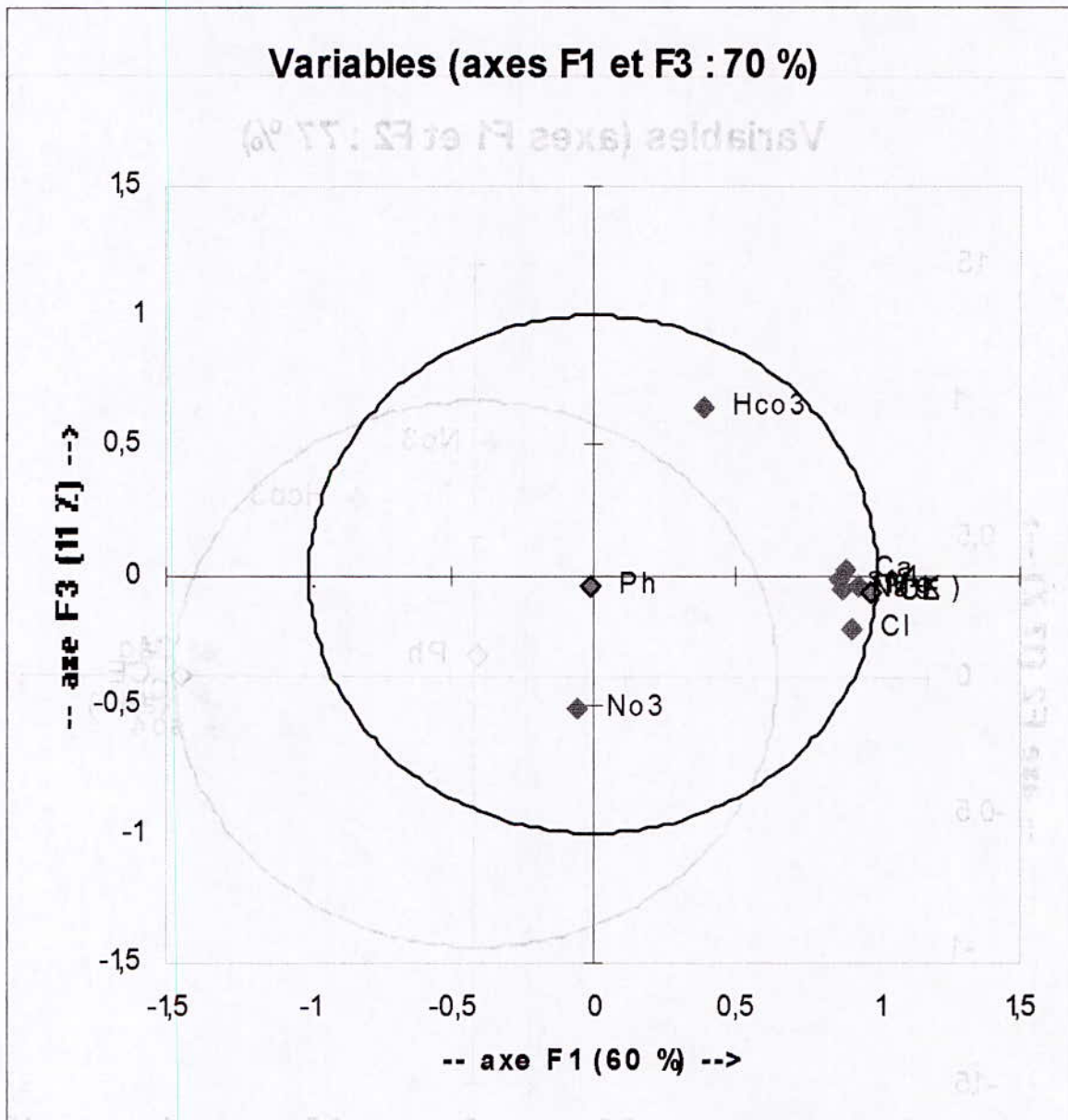


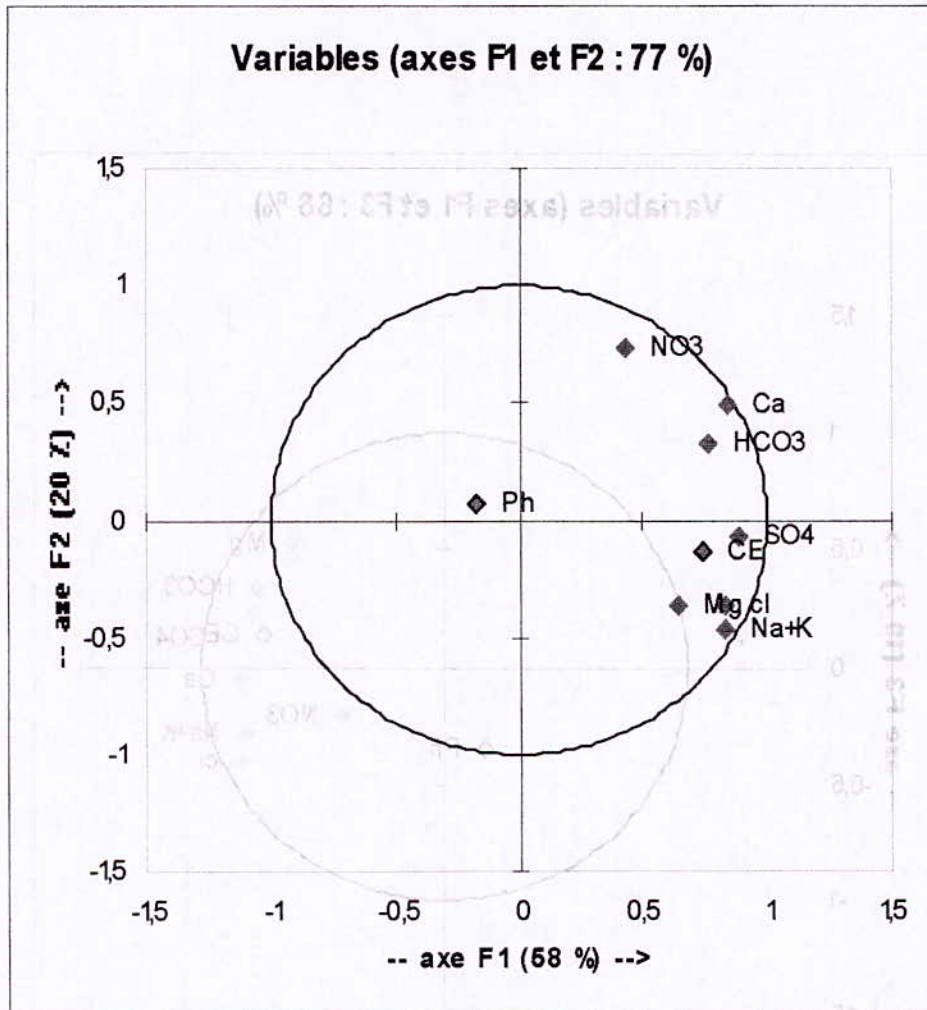
Fig.VI.2.4.5 Cercle de corrélation représenté par le plan 1-3



**VI.2.4.3 Basse vallée du Sebaou**

L'observation de cercle de corrélation (fig.VI.2.4.7) représenté par l'axe 1 horizontal et l'axe 2 vertical, montre que tous les éléments (Mg, SO<sub>4</sub>, Ca, CE, NO<sub>3</sub>, Na+K,Cl et HCO<sub>3</sub>) sont du même coté positif de l'axe principal 1. Le second axe (axe 2) est corrélé essentiellement à NO<sub>3</sub> (positivement) et Na+K (négativement).

Les éléments (SO<sub>4</sub>, Cl, Mg et Na+K) sont très rapprochés, donc ils sont très bien corrélés, ils se trouvent à proximité de la CE, ce qui explique que la CE est influencée par ces éléments.



**Fig.VI.2.4.7 Cercle de corrélation représenté par le plan 1-2**



L'examen de cercle de corrélation formé par l'axe 1 (horizontal) et l'axe 3 (vertical) (fig. VI.2.4.8) permet de constater que :

- Les variables déjà observées à la figure précédent (fig. VI.2.4.7) sont toujours liées entre elles est explique l'axe factoriel 1 ;
- le variable Mg (positivement) explique moyennement l'axe factoriel 3 et à un degré moindre le pH (négativement).

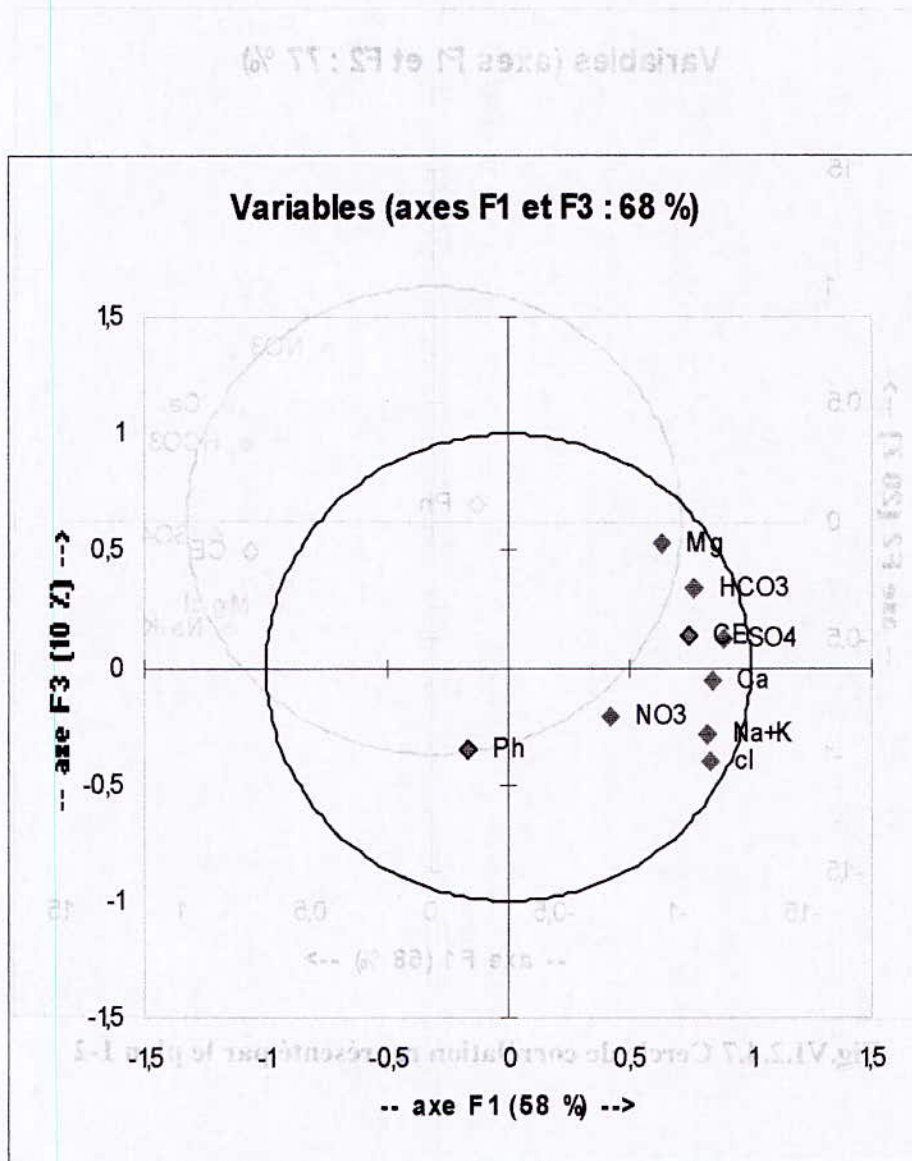


Fig.VI.2.4.8 Cercle de corrélation représenté par le plan 1-3



### VI.2.5 Etude des individus

L'objectif, c'est de trouver des groupes d'individus ayant des caractéristiques voisines et d'autres qui en diffèrent.

Dans l'interprétation de la représentation des individus de chacune des basses vallées (Isser, Soummam et Sebaou) sur les plans formé par les deux premiers axes factoriels (1-2), qui sont donnés sur les figures :VI.2.5.1, VI.2.5.2 et VI.2.5.3. Chaque échantillon est repéré par un numéro d'identification des points d'eau.

La proximité entre les différents points d'eau dans chaque vallée indique une identité du chimisme, sauf quelques points qui sont éloignés signifiant des caractéristiques chimiques différentes (échantillons 30 et 46 : au niveau de la basse vallée de l'Isser, échantillons 166/26, 38/26, Soummam/Bejaia1 et Soummam/El-Kseur2 : au niveau de la basse vallée de la Soummam et les échantillons P59, P49, P231 : au niveau de la basse vallée du Sebaou).

Pour les échantillons 166/26, 38/26, Soummam/Bejaia1 et Soummam/El-Kseur2 : au niveau de la basse vallée de la Soummam. Il peuvent être liés à la plus grande valeur de la CE qui caractérise chaque échantillon tel que le point 166/26 (CE=2.6mS/cm), le point Soummam/El-Kseur2 (CE=4.7 mS/cm, le point Soummam/Bejaia1 (CE=3.66mS/cm) et le point 38/26 (CE=3.8mS/cm). Ces deux derniers points se situent à la proximité de la mer (fig.VI.2) donc ceci pourrait s'expliquer par l'invasion saline de l'eau de la mer dû à la surpompage des eaux souterraine du littoral.

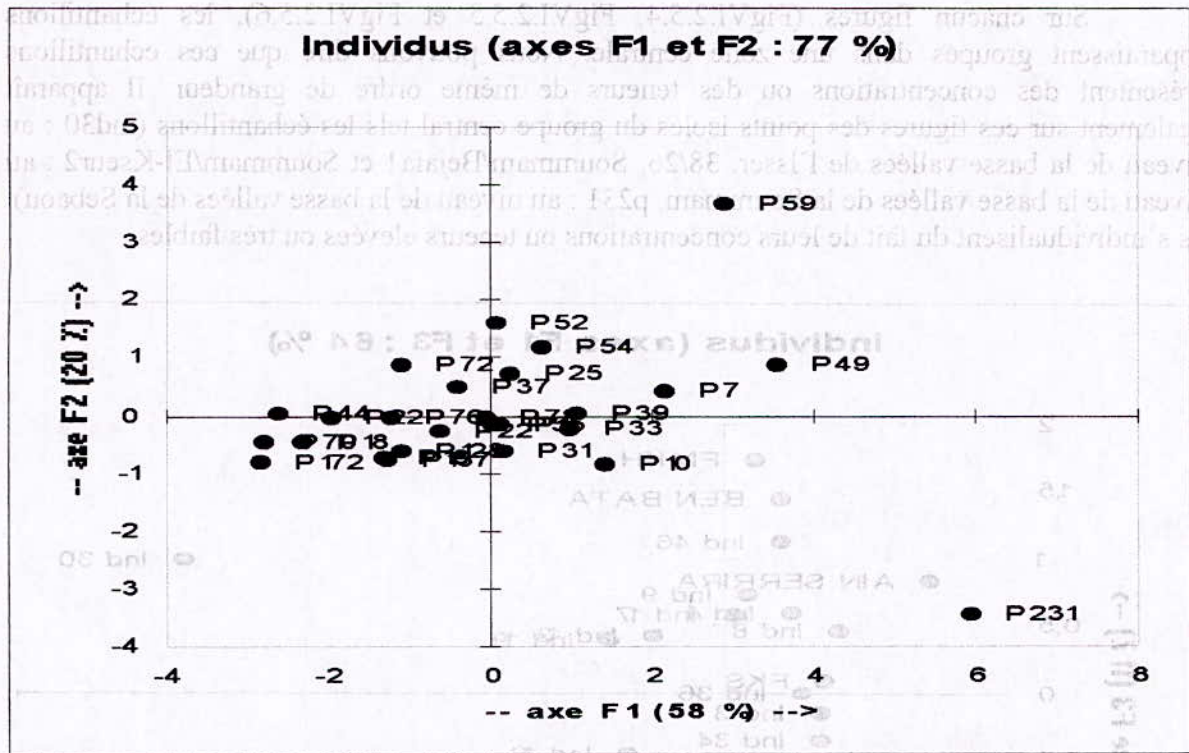
Pour les échantillons 30 et 46 : au niveau de la basse vallée de l'Isser, ils sont probablement liés à la plus grande valeur de la CE qui caractérise le point 30 (3.70mS/cm) et la faible valeur de  $\text{HCO}_3$  (1.4 méq/l) et la plus grande teneur en  $\text{NO}_3$  (3.79 méq/l) qui caractérise le point 46, qui se situe au niveau de la zone de Boumlih (fig.VI.1). La présence des nitrates s'explique par les engrais utilisés dans cette zone agricole.

Pour les échantillons P59, P49 et P231 : au niveau de la basse vallées du Sebaou, ils sont liés probablement à la plus grande teneur en nitrate (2.02 méq/l) et en calcium (10.20 méq/l) qui caractérise le point P59 et la plus grande teneur en sulfate (4.27 méq/l) qui caractérise le point P49. Le point P231 se caractérise par la plus grande valeur de la CE (2mS/cm), et par la plus grande teneur en chlorures (2.23méq/l) et par la plus grande teneur en sodium (7.17 méq/l). Ce dernier se situe à la proximité de la mer (fig.VI.3) se qui pourrait être attribué à l'invasion marine.





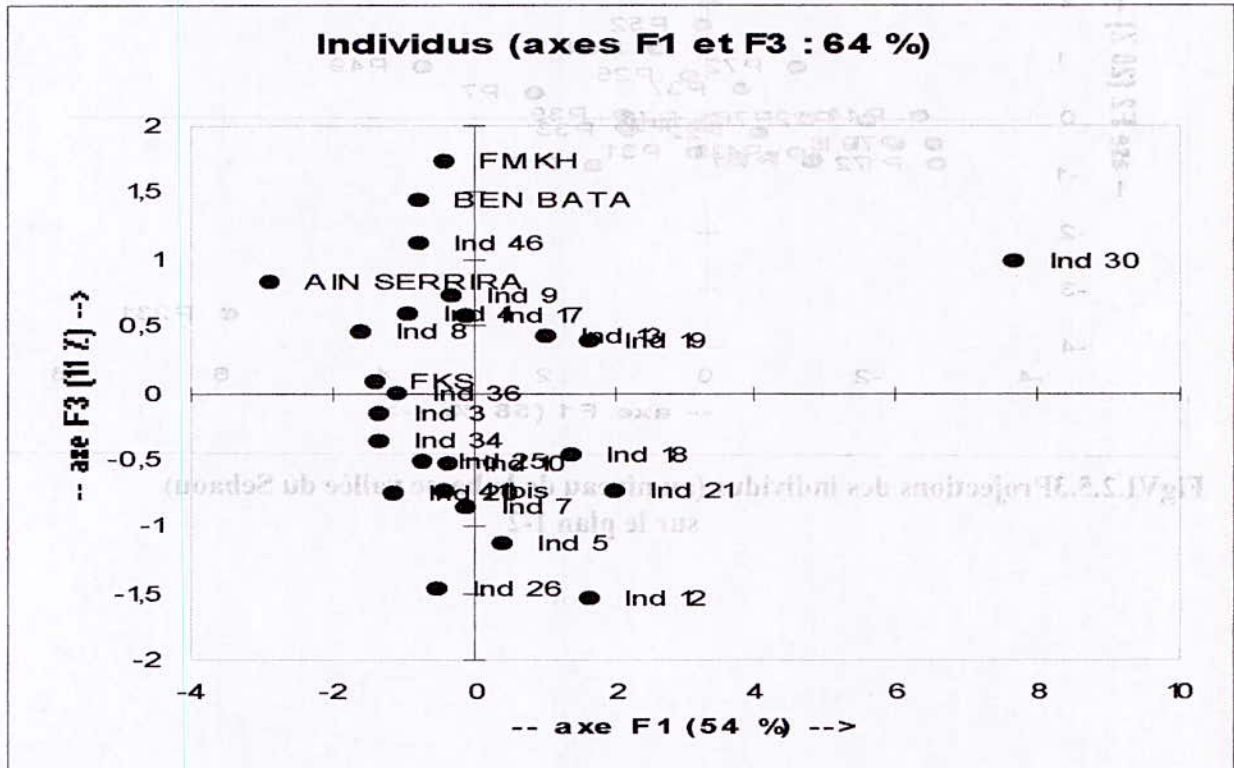




**FigVI.2.5.3** Projections des individus (au niveau de la basse vallée du Sebaou) sur le plan 1-2

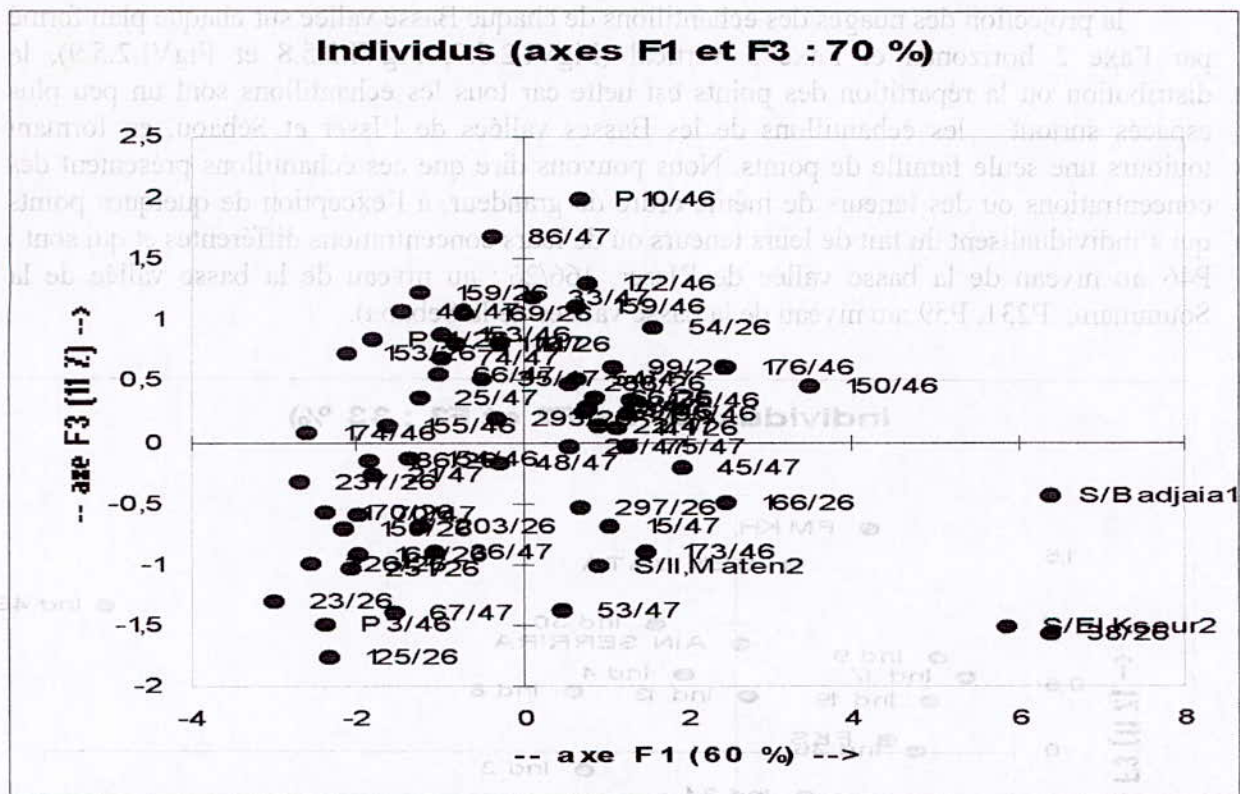


Sur chacun figures (FigVI.2.5.4, FigVI.2.5.5 et FigVI.2.5.6), les échantillons apparaissent groupés dans une zone centrale. Nous pouvons dire que ces échantillons présentent des concentrations ou des teneurs de même ordre de grandeur. Il apparaît également sur ces figures des points isolés du groupe central tels les échantillons (ind30 : au niveau de la basse vallées de l'Isser, 38/26, Soummam/Bejaia1 et Soummam/El-Kseur2 : au niveau de la basse vallées de la Soummam, p231 : au niveau de la basse vallées de la Sebaou). Ils s'individualisent du fait de leurs concentrations ou teneurs élevées ou très faibles.

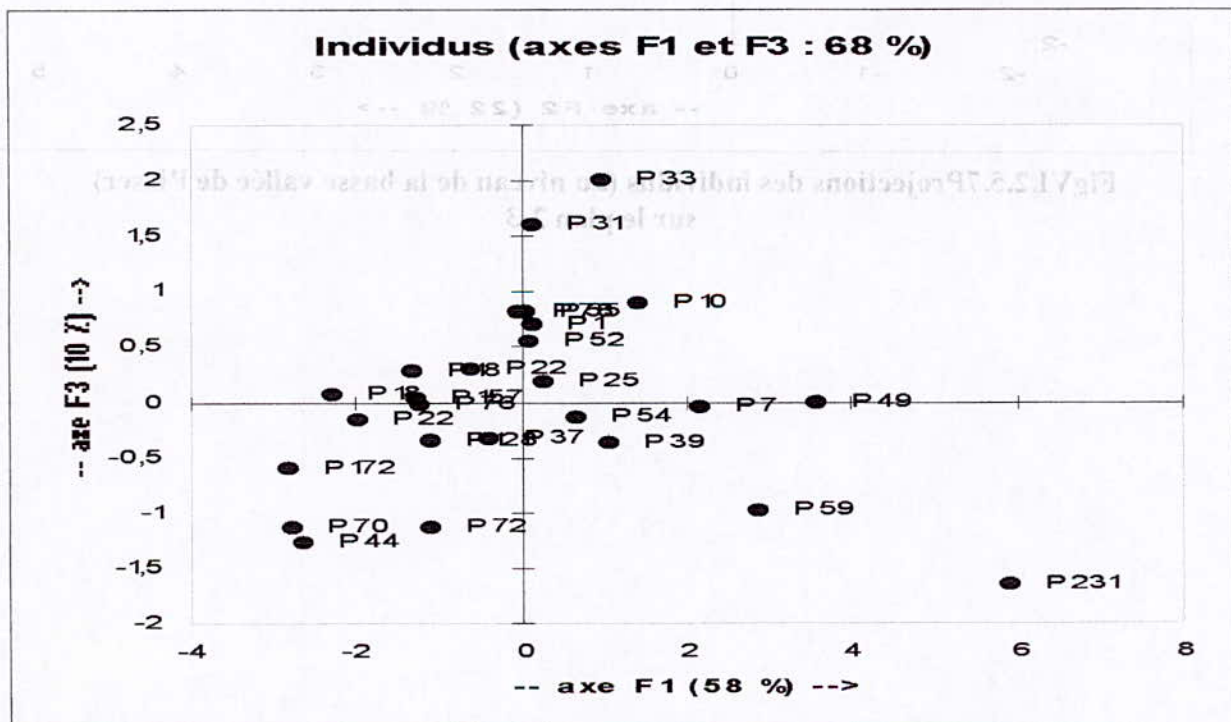


FigVI.2.5.4 Projections des individus (au niveau de la basse vallée de l'Isser) sur le plan 1-3





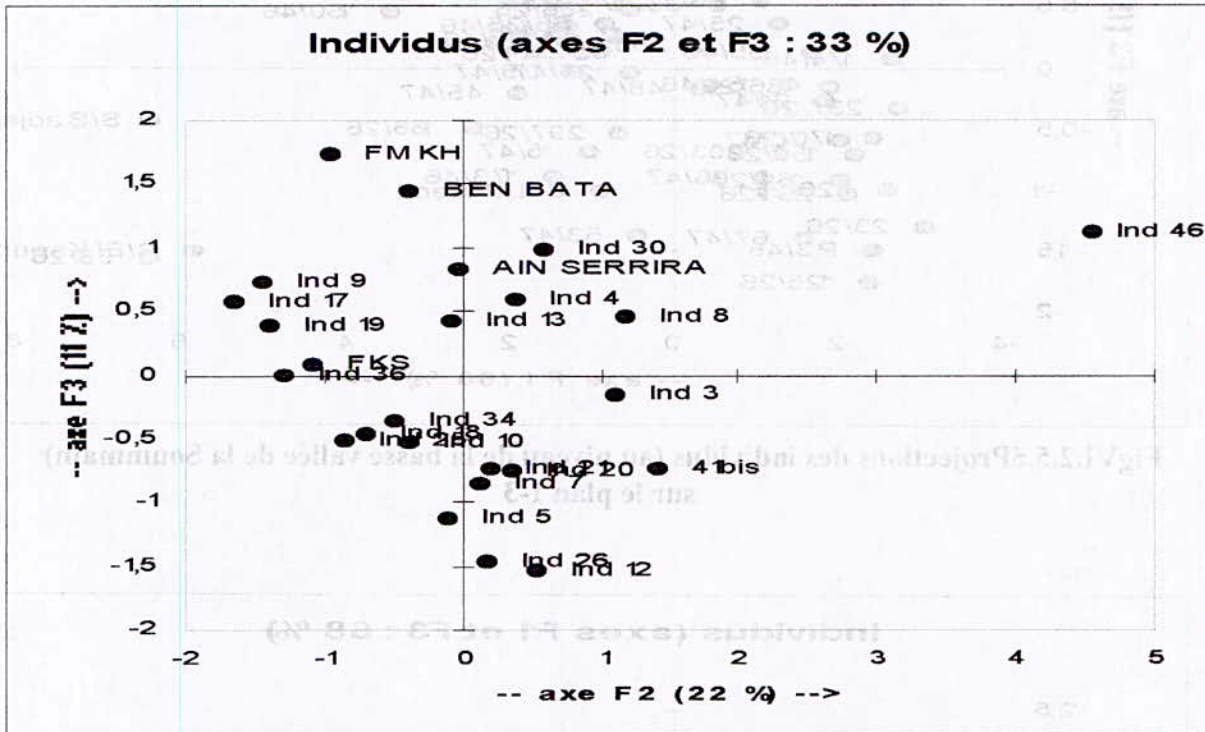
FigVI.2.5.5 Projections des individus (au niveau de la basse vallée de la Soummam) sur le plan 1-3



FigVI.2.5.6 Projections des individus (au niveau de la basse vallée du Sebaou) sur le plan 1-3



la projection des nuages des échantillons de chaque Basse vallée sur chaque plan formé par l'axe 2 horizontal et l'axe 3 vertical (FigVI.2.5.7, FigVI.2.5.8 et FigVI.2.5.9), la distribution ou la répartition des points est nette car tous les échantillons sont un peu plus espacés surtout les échantillons de les Basses vallées de l'Isser et Sebaou, en formant toujours une seule famille de points. Nous pouvons dire que ces échantillons présentent des concentrations ou des teneurs de même ordre de grandeur, à l'exception de quelques points qui s'individualisent du fait de leurs teneurs ou de leurs concentrations différentes et qui sont : P46 :au niveau de la basse vallée de l'Isser, 166/26 : au niveau de la basse vallée de la Soummam, P231, P59 :au niveau de la basse vallées de la Sebaou).



**FigVI.2.5.7 Projections des individus (au niveau de la basse vallée de l'Isser) sur le plan 2-3**







### VI.3 Conclusion

L'analyse en composantes principales que nous venons d'appliquer aux analyses chimiques des eaux des vallées du Bas Isser, de la Basse Soummam et du Bas Sebaou, nous ont permis d'identifier les éléments chimiques importants et de déterminer les faciès chimiques de ces eaux. Il s'agit des anions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et des cations  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  et  $\text{Mg}^{++}$ .

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) dans les trois vallées sont pratiquement indépendants des autres variables. Cependant, elle n'a montré qu'un seul groupement de points d'eaux.

Le taux de salinité des eaux des aquifères du Bas Soummam ( $\text{CE}=1.62\text{mS/cm}$ ) et du Bas Isser ( $\text{CE}=1.59\text{mS/cm}$ ) sont très proche et très élevés par rapport à celui des eaux de l'aquifère du Bas Sebaou ( $\text{CE}=0.88\text{mS/cm}$ ).

L'analyse en composantes principales nous avons aussi, permis également d'établir une projection des échantillons à partir de l'observation des représentations graphiques (projection plane des individus). Dans chaque vallée on distingue :

- Un groupe comprenant plus de 80% des échantillons analysés très concentrés à l'origine des axes factoriels et dont les minéralisations sont homogène ;
- des points individus isolés à cause de leur trop forte ou très faible minéralisation par rapport à la moyenne de la population ou échantillon considéré.

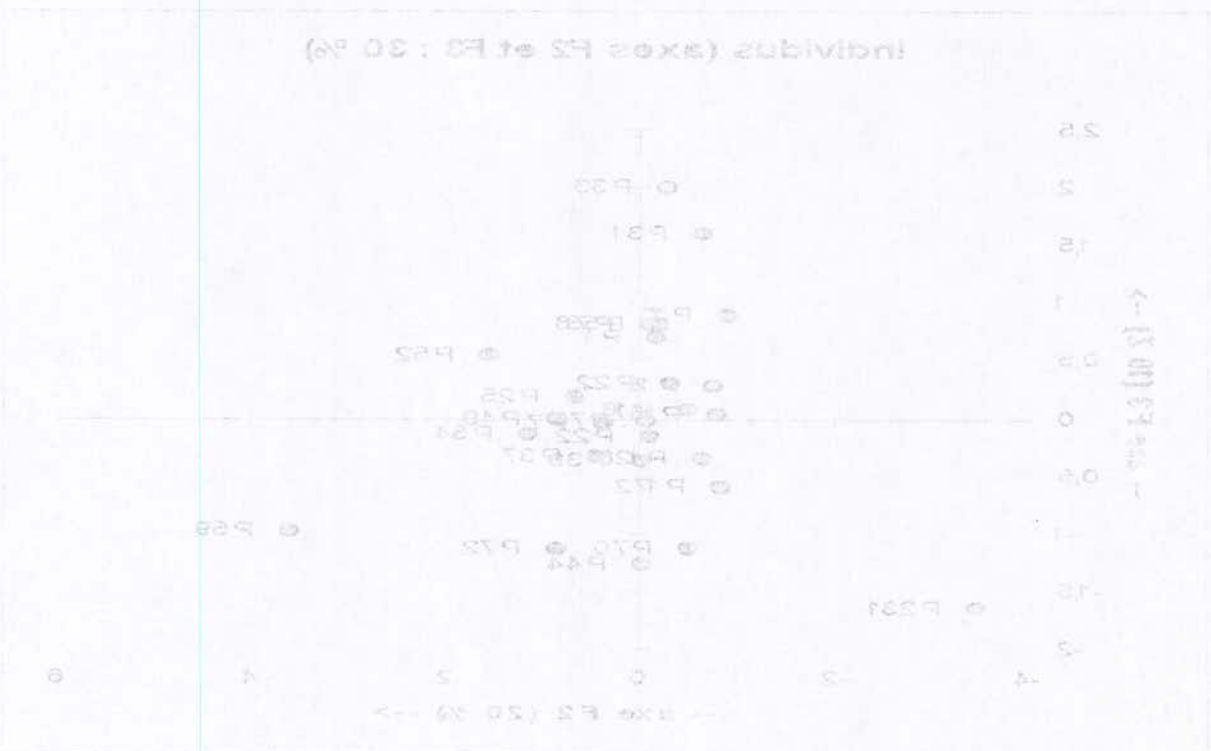
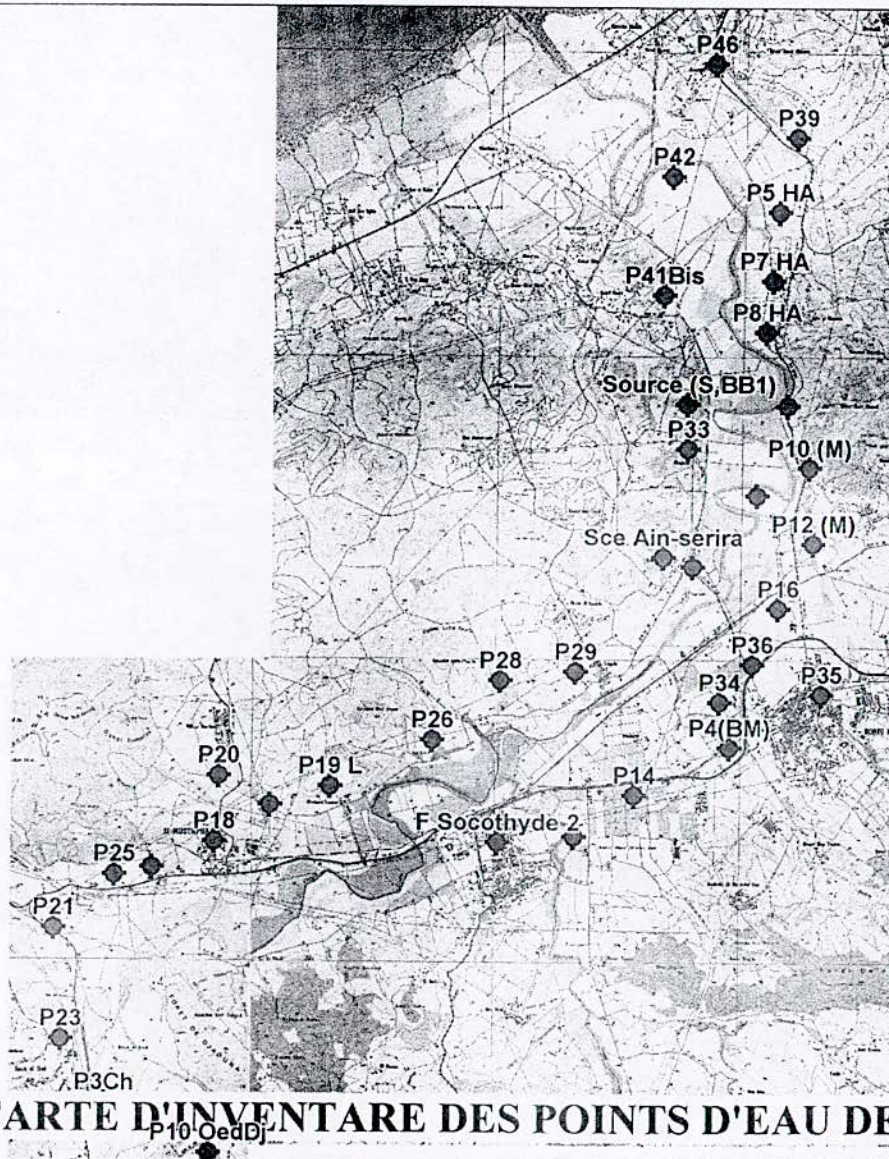


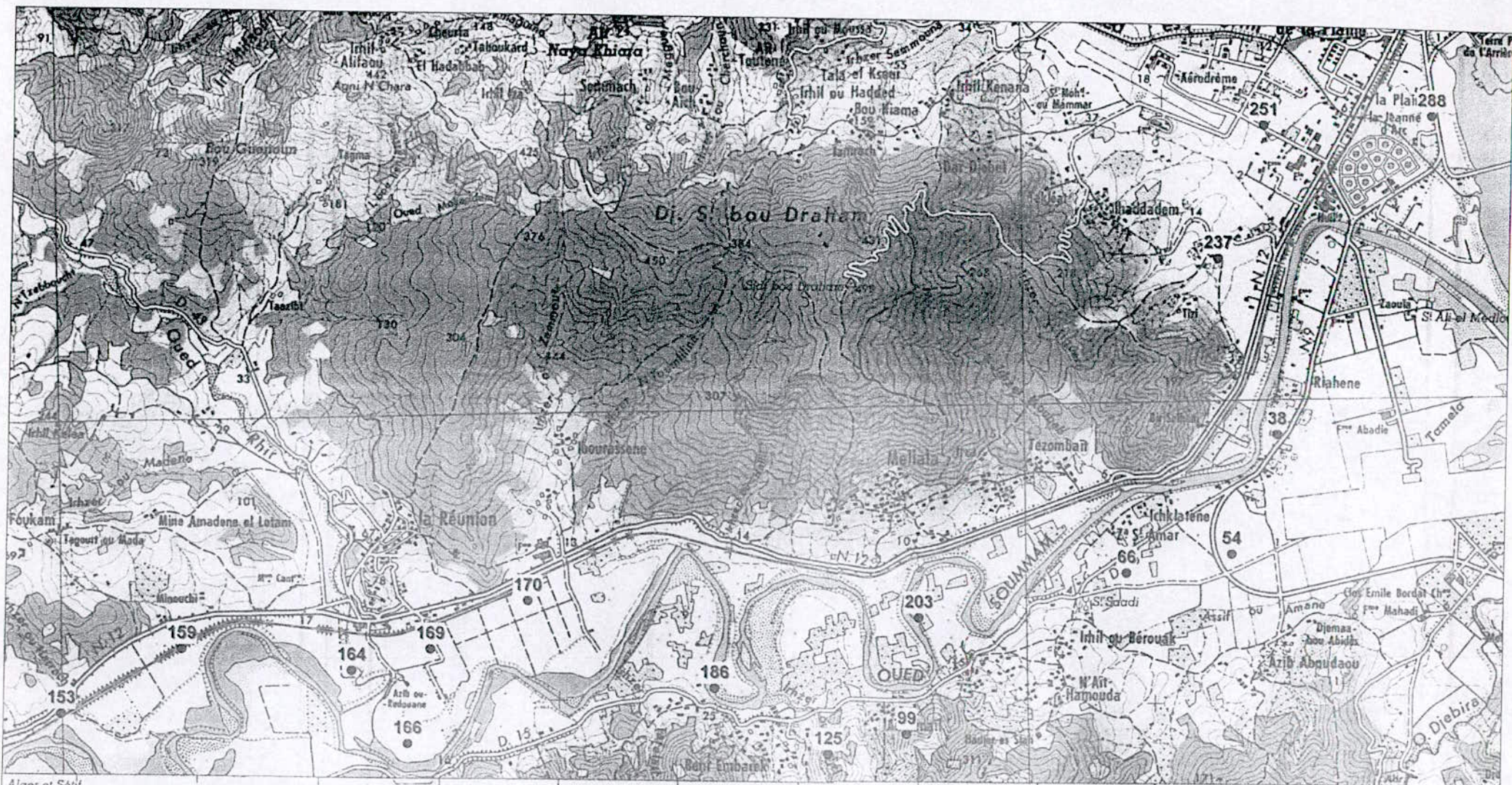
Fig.1.3.9 Projection des individus (au niveau de la base vallée du Sebaou) sur le plan 2-3





**FIG.IV.1 CARTE D'INVENTAIRE DES POINTS D'EAU DE LA VALEE DE BAS ISSER**





Alger et Sétil 2° 90' **FIG.VI.2 CARTE D'INVENTAIRE DES POINTS D'EAU LA BASSE DE LA SOUMMAM** 701 104 124 144 164 184 204 224 244 264 284 304 324 344 364 384 404 424 444 464 484 504 524 544 564 584 604 624 644 664 684 704 724 744 764 784 804 824 844 864 884 904 924 944 964 984 1004





FIG.IV.3 CARTE D'INVENTAIRE DES POINTS D'EAU DU BAS SEBAOU



## Conclusion générale

### Conclusion générale

Au terme de ce modeste travail, nous rappèlerons les résultats obtenus aux niveaux des vallées du Bas Isser, de la Basse Soummam et du Bas sebaou. Ce travail a été réalisé en fonctions des données et des informations disponibles. Ces informations concernant la climatologie, l'hydrogéologie et le chimisme des eaux souterraines. Les résultats ont permis d'actualiser certaines données, en particulier :

- Les régions du Bas Isser, de la Basse Soummam et du Bas Sebaou sont caractérisée par un climat méditerranéen où l'essentiel : Des précipitations tombent surtout en hiver, et La température moyenne annuelle dans les trois bassins (Isser, Soummam et Sebaou) est de l'ordre 19°C (période 1990-2003).
- L'étude géologique des plaines a mis en évidence une complexité tant structurale que stratigraphique, Le schéma tectonique de chaque région étudiée a montré que les accidents sont particulièrement liés au volcanisme.
- L'étude hydrogéologique a permis de mettre en évidence des relations hydrauliques entre les oueds et les nappes. Ces relations sont favorisées par l'existence de gravier et surtout l'absence de niveau argileux protecteur.

Dans la basse vallée de l'Isser, l'observation de la carte piézométrique a permis de mettre en évidence un écoulement général qui se fait suivant l'axe de la vallée et un écoulement latéral des bordures vers le centre de la vallée.

Dans la basse vallée de la Soummam, la carte piézométrique montre que 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.

Dans la basse vallée du Sebaou, la carte piézométrique montre un axe de grainage principal des eaux souterraines d'orientation Sud-Nord. La zone du centre de la vallée correspondant un canal principale suivant l'axe de drainage.

Les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères, dont nous disposons :

Au niveau de la basse vallée de l'Isser, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement sont estimés respectivement à  $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et 0.1 à 0.24%.

Au niveau de la basse vallée de la Soummam, la transmissivité varie dans les larges proportions, elle est de  $4.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  et le coefficient d'emmagasinement varie de 0.17% à 0.74% dans la zone amont et de 0.15% dans la zone avale.

Au niveau de la basse vallée du Sebaou, les valeurs de la perméabilité varient de  $3,22.10^{-4} \text{ m/s}$  à  $16,65.10^{-4} \text{ m/s}$  et les transmissivités varient de  $1.42.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  à  $8,75.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .



## Conclusion générale

La statistique élémentaire, nous a permis de déterminer les éléments chimiques prédominants et corrélables dans chaque vallée, qui sont :  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  et  $\text{Mg}^+$ .

La conductivité électrique est élevée dans la vallée de la basse Soummam ( $\text{CE}=1.62\text{mS/cm}$ ) et dans la vallée du Bas Isser ( $\text{CE}=1.59$ ), mais elle est présente une valeur relativement faible ( $\text{CE}=0.88\text{mS/cm}$ ) au niveau de la vallée du Bas sebaou.

La projection des variables de chaque vallée du bas Isser, de la basse Soummam et du bas Sebaou sur l'axe principal 1 horizontal montre que les variables ( $\text{Mg}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Na} + \text{K}$  et  $\text{Cl}$ ) se trouvent du même côté positif du premier axe, ils sont proches de la périphérie du cercle et elles sont bien corrélée entre elles.

Les éléments ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Mg}$  et  $\text{Na} + \text{K}$ ) se trouvent de même côté par rapport à la CE, alors que la CE est influencée par ces éléments

La projection des individus de chacune des basses vallées (Isser, Soummam et Sebaou) sur les plans factoriels indique que dans chaque vallée une identité du chimisme, tel que le nuage des points est regroupé au centre des axes sauf quelques points qui sont éloignés signifiant des caractéristiques chimiques différentes. Ils s'individualisent du fait de leurs concentrations ou teneurs élevées ou très faibles.

Au terme de cette étude, il est souhaitable qu'au suivi du chimisme de la ressource en eau soit effectué. Ce travail de terrain permette de localiser tous les sources de pollutions affectant les basses vallées, afin de mieux les étudier pour assurer la protection de la ressource en eau si, importante à la vie.



## Bibliographie

1. Abdalli B. et Oustani W, 1997 : Application de l'analyse factorielle a la classification chimiques des eaux de la basse vallée de l'Oued Isser.  
Thèse d'ing, USTHB.
2. Abdou A. et Hamidi.M, 1997 : Etude de la variabilité spatiale des paramètres hydrogéochimiques des eaux souterraines  
Thèse d'ing, ENP
3. Amghar M,1991 : Synthèse hydrogéologie de la plaine de la basse vallée de la Soummam.  
Thèse d'ing, USTHB.
4. A.N.R.H : Archives des données pluviométrique, donnés chimiques de l'agence Nationale des Ressources Hydrologique.  
Bir Mourad Rais, Alger et Soummaa, Blida.
5. Benaissa S.2003 : Etude de la variabilité spatiale de la charge hydraulique et de la perméabilité de l'aquifère superficiel de la basse Soummam.  
Thèse d'ing, ENP
6. BNEDER. Bureau National d'Etude et de Développement Rural  
Archives et données, Bouchaoui
7. Benouis A.2004 : Etude des ressources en eau souterraine de la basse vallée de la Soummam  
Thèse d'ing, ENP
8. Clincks C, 1973 : Etude hydrogéologique de la nappe alluviale de la basse Soummam (Sidi-Aich-Béjaia).  
Rapport de 'A.N.R.H, Alger.
9. Ider K, 2004 : Etude de la variabilité spatiale de la charge hydraulique de l'aquifère superficiel de la basse Soummam.  
Thèse d'ing, ENP
10. Jekhowwsky B : Eléments de statistiques à l'usage des géologues.  
Edition Mir 1977



11. Lefevre J : Introduction aux analyses statistiques multivariées.  
Edition Eyrolles 3<sup>ème</sup> Edition, 1983

12. Sais K et Simohand Z. 1993 : Contribution à l'étude hydrogéologique de  
la nappe Alluviale du bas Sebaou.  
Thèse d'ing, USTHB



## ملخص

ان موارد المياه الجوفية في الأحواض الجبلية الموجودة على حافة البحر تدرس دراسة كمية ونوعية, العوامل الجيومورفولوجية تحمي وظيفة توجيه المخازن المائية. ان النمو الديمغرافي بالاضافة الى التطور الاقتصادي (الصناعة, الزراعة...) لهما التأثير المباشر على نوعية المياه في المناطق القريبة من البحر, قادر ان يكون نفاذ مياه البحر الي المياه الجوفية السبب الا صلي في ملوحتها خاصة في الاحواض المنخفضة صومام و سيباو ويسرو وهذا هو هدف هذه الدراسة.

**الكلمات المفتاحية:** المياه الجوفية, المناطق الجبلية, الاحصاء, تحليل المركبات الرئيسية.

## Résumé

La ressource en eau souterraine dans les vallées intra-montagneuses en bordure de mer se pose en termes de quantité et de qualité. Les conditions géomorphologiques favorisent la fonction de conduite de l'aquifère. La croissance démographique combinée au développement économique (industrie, agriculture,.....) ont un impacte direct sur la qualité des eaux. La proximité de la mer, par le biais du biseau salé, peut être à l'origine de la salinisation de la ressource en eau en particulier dans les basses vallées de l'Isser, de la Soummam et du Sebaou, objet de cette étude.

**Mots clés :** Eau souterrain, Zones montagneuses, Biseau salé, Statistique, A.C.P.

## Abstract

The subsoil water resource in the ultramontane valleys in edge of sea is posed in terms of quantity and quality. The geomorphological conditions support the function of control of the aquifer. The demographic growth combined with the economic development (industry, agriculture.....) have one impact direct on the quality of water. The proximity of the sea, by the means of the north wind to the plate, can be at the origin of the Stalinization of the water resource in particular in the low valleys of Isser, Soummam and Sebaou, object of this study.

**Key words:** water underground, zones mountainous, bevel salted, statistical, A.C.P.