

**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

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

Thème :

**La Cartographie par approche multiparamétrique des
paramètres hydrochimiques des aquifères côtiers : Bas Sebaou,
Bas Isser, Basse Soummam**

Proposé par :

-Mr.A.SEMAR

Dirigé par :

-Mr.A.SEMAR

-Mr.Y.Mouloudi

Etudié par :

-Mr. IDER.S

PROMOTION : 2005/2006

Dédicace

Je dédier ce travail à :

Ma mère, qui a tant peiné pour faire de moi que je suis ;

Mes frères et mes sœurs ;

Mon père ;

Mes oncles ;

Mes cousins ;

Et toute la famille IDER

Remerciement

- ❖ *Je tiens à remercier en premier lieu mon promoteur de mémoire, Mr Semmar pour ces idées, ces conseils et la gentillesse dont il a fait preuve à mon égard.*
- ❖ *Mes vifs remerciements pour Monsieur Mouloudi pour son aide et ces encouragements ;*
- ❖ *Je tiens à porter un remerciement général pour toute l'équipe des enseignants de département de l'Hydraulique ;*
- ❖ *Je remercie les membres de jury qui m'ont honoré par leur présence ;*
- ❖ *Je remercie également Monsieur Azzemou et Monsieur Mediouni pour leur aide ;*
- ❖ *Je ne peux pas oublier dans ces remerciements toute l'équipe de l'A.N.R.H d'Alger et de Blida ;*
- ❖ *Je tiens enfin à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

الملخص: المناطق التي تقع على حافة البحر و بالخصوص في منطقة باسباو وبا اسر باس صومام التي تتمتع بكميات معتبرة من المياه. من الناحية الكيميائية المياه الجوفية قليلة المعادن ولكن في بعض الحالات يمكن أن نجد كميات هائلة من المعادن الناتجة عن الطبيعة الجيولوجية نفاذ مياه البحر ومن جهة من التلوث تحليل المعطيات الهيدروكيميائية بالمركبات الرئيسية بينت وجود ثلاثة محاور عاملية على حساب هذه المحاور الخرائط أنشئت. الكلمات المفتاحية: المناطق الساحلية الهيدروكيميائية , المركبات الرئيسية, انشاء الخرائط.

Résumé

Les nappes alluviales situées en bordure de mer et particulièrement celle du bas Sébaou, bas Isser, basse Soummam, présentent des potentialités en eau relativement importantes. La chimie des eaux souterraines est peu minéralisée néanmoins certaines anomalies peuvent être importantes. Ces dernières sont dues d'une part au contexte géologique, au phénomène de l'intrusion marine et d'autre part à la pollution.

L'analyse des données hydrochimique par l'ACP a révélé l'existence de trois axes factoriels. La cartographie selon ces axes a été réalisée.

Mots clés : Aquifères côtiers, hydrochimie, ACP, cartographie.

Abstract

The alluvial sheet located in edge of sea and particulièrement that of low Sébaou, low Isser, low Soummam, present relatively significant water potentialities. The chemistry of subsoil waters is not very mineral-bearing nevertheless certain anomalies can be significant. These last are caused by the geological context on the one hand, the phenomenon of the marine intrusion and on the other hand to pollution.

The hydrochimic analysis of the data by the ACP revealed the existence of three factorial axes.

The cartography according to these axes was carried out.

Key words: Aquifers coastal, hydrochimy, ACP, cartography.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : Présentation des régions étudiées	
I.1) Introduction	2
I.2) La basse vallée de Sébaou	2
I.3) la basse vallée d'Isser	3
I.4) La Basse Vallée de la Soummam	3
CHAPITRE II : Géomorphologie, hydroclimatologie et géologie des trois aquifères côtiers	
II.1) Introduction	5
II.2) La basse vallée de Sébaou	5
II.2.1-Géomorphologie et Hydroclimatologie	5
II.2.3- La géologie	8
II.3) La basse vallée d'Isser	10
II.3.1-Géomorphologie et Hydroclimatologie	11
II.3.3- La géologie	12
II.4) La Basse Vallée de la Soummam	15
II.4.1-Géomorphologie et Hydroclimatologie	15
II.4.3- La géologie	17
II.5.Conclusion	19
CHAPITRE III : Hydrogéologies des aquifères côtiers	
III.1.Introduction	21
III.2.1.Hydrogéologie de la vallée de bas Sébaou	21
III.2.2.Hydrogéologie de la vallée de bas Isser	22
III.2.3.Hydrogéologie de la vallée de la basse Soummam	23
III.3- Conclusion	24
CHAPITRE IV : ETUDE STATISTIQUE DES DONNEES HYDROCHIMIQUES	
V.1)-Introduction	25
IV.2) statistiques descriptives	25
IV.4. L'étude de corrélation entre les variables	48
IV.4.1. Cas de la vallée de bas Sébaou	48
IV.4.2. Cas de la vallée de Bas Isser	49
IV.4.3. Cas de la vallée de la Basse Soummam	49
IV.5.Conclusion	49
CHAPITRE V : L'Analyse en Composantes Principales (ACP)	
V.1) Généralités sur l'analyse factorielle	51
V.1.1) Introduction	51
V.1.2) Les principales méthodes de l'analyse factorielle	51
V.2) L'analyse en composantes principales	51
V.2.2 L'application de l'ACP aux séries des éléments hydrochimiques des trois aquifères	52
V.3) Conclusion	65

CHAPITRE VI : Cartographie par approche multiparamétrique

VI.1-Introduction.....	66
VI.2-Recherche des coordonnées des axes.....	67
VI.3.1.Variographie des axes 1, 2 et 3 (vallée de Sébaou)	68
VI.3.1.4-Interprétation des cartes krigées des axes.....	73
VI.3.2-Variographie des axes 1, 2 et 3 (vallée de Isser).....	75
VI.3.2. 4-Interprétation des cartes krigées des axes.....	80
VI.3.2-Variographie des axes 1, 2 et 3 (vallée de la Soummam).....	82
VI.3.3.4-Interprétation des cartes krigées des axes.....	87
VI.4.Conclusion.....	89

Conclusion générale.....	90
---------------------------------	-----------

Références bibliographiques.....	
---	--

Annexes.....	
---------------------	--

INTRODUCTION GENERALE

Le Nord d'Algérie connaît durant les trois dernières décennies le problème des ressources en eau mobilisables qui ne se pose pas uniquement en terme de quantité disponible, mais en terme de qualité posant de sérieux problèmes.

Les aquifères quaternaires constituent une réserve de très grande qualité. Ces nappes sont considérées comme ressources d'importance stratégique. L'approvisionnement en eau des régions (bas Sebaou, bas Isser, basse Soummam) constitue une des préoccupations majeures des populations occupant ces milieux.

La surexploitation de ces nappes, pour l'irrigation et l'alimentation quotidienne des populations, provoquerait un rabattement important du niveau piézométrique, une inversion du sens d'écoulement souterrain et par conséquent des problèmes d'intrusion marine vers l'aquifère côtier, surexploité surtout pendant les saisons sèches. Ce qui va engendrer une pollution des eaux de la nappe par une augmentation de la salinité.

L'objectif de la présente étude est d'analyser les données hydrochimiques des trois aquifères côtiers (Bas Sebaou, Bas Isser, Basse Soummam), principalement par l'analyse en composantes principales afin de réaliser une Cartographie par Approche multiparamétrique.

Pour cela, nous avons suivi les procédures suivantes :

- ❖ *Chapitre I : La présentation des zones d'étude ;*
- ❖ *Chapitre II : Hydroclimatologie et géologie des trois aquifères ;*
- ❖ *Chapitre III:Hydrogéologie des trois aquifères ;*
- ❖ *Chapitre IV : Etude statistique des données hydrochimiques ;*
- ❖ *Chapitre V : Application de l'Analyse en composantes principales ;*
- ❖ *Chapitre IV: Cartographie par l'approche multiparamétrique ;*

Et nous finissons par une Conclusion générale

CHAPITRE I

Présentation des régions étudiées

I.1) Introduction

Dans ce chapitre, nous donnons un bref rappel sur la situation géographique et l'aspect socio-économique des trois régions côtières (le Bas Sébaou, le Bas Isser et la basse Soummam).

I.2) La basse vallée de Sébaou

I.2.1. Situation géographique :

La vallée de Sébaou est une plaine alluviale située en grande Kabylie, dont le chef lieu, est Tizi-ouzou localisée à 80 km de l'est d'Alger. Sa superficie est de 229 km². Elle se situe entre les latitudes 36°50' et 36°62' nord et 3°48' et 3°58' de longitudes, la vallée est délimité comme suit :

- au Nord par la mer méditerranée ;
- à l'Est par les collines de Dar-Bejda ;
- au Sud par le massif de sidi Ali Bounab, au Sud-Est par le djebel tamerabet et le relief de Karrouch et au Sud par le massif de Naciria ;
- à l'Ouest par les djebels de boubarak et El-Gueblia.

I.2.2. Aspect socio-Economique

La basse vallée de Sébaou est une région à diverses activités économiques, et parmi ces activités, nous citons :

- les activités agricoles ;
- les activités industrielles ;

-Activités industrielles

L'existence des équipements industriels et la construction des nouvelles entreprises entraînent une demande en eau importante en terme de quantité que de qualité.

-Activités agricoles

Cette région a une vocation agricole caractérisée par les cultures telles que comme les céréales, oliviers, des vignes, agrumes les maraîchages et d'autres arbres fruitiers.

1.3) la basse vallée d'Isser

1.3.1.Situation géographique

Le sous bassin versant du Bas –Isser qui appartient au grand bassin de l'Isser codé (0905), est localisé à 60Km à l'Est d'Alger. Il se situe entre les latitudes 36°56' et 36°85' Nord et les longitudes 3°50' et 3°84' Est.

Le bassin versant du Bas-Isser occupe une bande moyenne de 3 Km de large entre Beni-Amrane et la mer méditerranée, les limites sont circonscrites :

- Au Nord par la mer méditerranée ;
- Au Nord-Est par le massif de Cap-djenet ;
- A l'Est par Koudiat Sidi-Zerzor(261m) et Zouidia (195 m),appartenant toutes deux aux contreforts les plus occidentaux de la chaîne côtière ;
- A l'Ouest par le massif de Thénia, au Sud par les collines d'Isser-ville et de Bordj-Ménaïel (70m) ainsi que les Kouidat Ben Zergra (149m) et Zermane (223m).

Du point de vue administratif la région du Bas Isser est circonscrite dans la Willaya de Boumerdès à 60 km de l'Est d'Alger.

1.3.2. Aspect socio-économique

Les activités économiques les plus répandues dans cette région, sont les activités industrielles et agricoles ;

-Activités agricoles

Nous trouvons sur les collines essentiellement de la céréaliculture, de la vigne, des fourrages, des légumes secs et les maraîchages.

Sur les montagnes et les piémonts, c'est la zone où prédomine la culture d'olives et d'autres espèces forestières telles que le peuplier, le chêne-liège et le pin.

-Activités industrielles

L'industrie occupe une place importante dans cette région, en particulier au cours de ces dernières années nous remarquons des grandes extensions en constructions et l'augmentation de la demande en eau.

1.4) La Basse Vallée de la Soummam

1.4.1.Situation géographique

Le bassin versant de la Soummam se situe dans le nord-est d'Alger, compris entre les longitudes 3°40' et 5°45' nord et les parallèles 35°45' et 36°45' ayant une superficie de 9125 km². Il est subdivisé en 10 sous bassins et parmi ces 10 sous bassins celui de la basse Soummam fait l'objet de notre étude. Ce dernier présente un aquifère qui a une superficie de 808.5 km² et délimite comme suit :

- Au Nord par le mont de Taourith Ighil, de Gouraya et Aghbalou ;
- Au sud par les collines de oral –hadja et les chaînes des Babors ;

- A l'est par la mer méditerranée ;
- A l'ouest le seuil de Sidi -Aich.

I.4.2. Aspect Socio-Economique

La Basse vallée de la Soummam est une région à diverses activités économiques, parmi les quelles ; nous précisons :

- Les activités agricoles ;
- Les activités industrielles.

- les activités agricoles

Cette région est à vocation agricole, on y cultive des céréales des oliviers, des maraîchages, des agrumes et d'autres arbres fruitiers,....etc.

- les activités industrielles

L'industrie occupe une place importante dans cette région. Parmi les principales industries existantes, on trouve :

Les unités sont de natures diverse ECOTEX, COMTEX (Textiles) ; NAFTAL (Pétrochimie), S.N.S (Siderurgie), E.N.C.G, ENAJUC, papeterie,.....

CHAPITRE II

Géomorphologie, hydroclimatologie et géologie des trois aquifères côtiers

II.1) Introduction

Dans ce chapitre , nous étudions les caractéristiques générales des trois bassins versants (le Bas Sébaou, le Bas Isser et la basse Soummam), dont nous présenterons les aspects climatologique et géomorphologique ainsi que les formations géologiques du chaque bassin.

II.2) La basse vallée de Sébaou

II.2.1-Géomorphologie et Hydroclimatologie

II.2.1.1-Géomorphologie

Le bassin versant de Sébaou, est une partie intégrante des bassins côtiers Algérois, codé 02 dans le répertoire de l'A.N.R.H. Il s'étend du flanc Nord du Djurdjura (Sud) à la mer méditerranée (nord). Sa superficie est de 2500 Km² et occupant ainsi la majorité de la grande Kabylie et il est subdivisé en six sous bassins versants.

La vallée est caractérisée par un ensemble d'unités géomorphologiques distinctes :

- la première unité morphostructurale est la chaîne de Djurdjura, elle représente la marge méridionale de notre domaine d'étude. Elle culmine à Lala-Khadidja (2308m) et à Ras-Timédouine (2305 m).

La chaîne du Djurdjura se présente sous forme d'un arc, très peu étendu et étroit qui s'achève à l'Est par l'élément isolé, le massif de Chellata.

- la seconde unité est le socle Kabyle, il domine le bassin de Tizi-Ouzou au nord et assure la transition avec la chaîne du Djurdjura au sud.

La limite septentrionale du bassin versant est formée par la chaîne littorale (60m d'altitude) à l'Ouest (1278m d'altitude) et à l'Est (djebel Tambout).

Entre la chaîne littorale au Nord et le socle kabyle au sud, se trouve le synclinal de Tizi-Ouzou qui contient les marnes et les miocènes post-nappes.

Les différents paramètres physiographiques de ce bassin (A.N.R.H de Blida) sont les suivant :

- Un indice de compacité de gravelius est égale à 1.34m. Ceci traduit un bassin allongé, défavorisant a priori le temps de concentration des eaux de ruissellement.

- Un indice de pente globale du bassin versant de 11.8 m/km. Ce qui donne un relief modéré, favorisant ainsi les infiltrations, si la lithologie le permet. Une altitude maximale de 2305m et une altitude moyenne de 504m.

- Le réseau hydrographique est très dense en grand Kabylie, le drainage s'effectue par une multitude d'oueds plus au moins longs et par trois axes d'écoulement principaux :

- Les oueds de la rive droite proviennent de la chaîne littorale, au nord du bassin versant et ne dépassent pas une quinzaine de kilomètres de longueur. L'oued Dit présente le plus fort

débit, il prend sa source au djebel Tamgout et débouche dans l'oued Sébaou juste après le premier coude de ce dernier à la hauteur de Fréha.

- les oueds de la rive gauche naissent dans le socle Kabyle.

- Quant à l'oued Sébaou et ses principaux affluents (Aissi et Bougdoura), ils prennent leur source dans la chaîne du Djurdjura.

L'oued Sébaou est le principal cours d'eau qui traverse la plaine alluviale, cette dernière porte d'ailleurs son nom.

Depuis sa source (Djurdjura oriental) jusqu'à l'embouchure (mer Méditerranée), l'oued Sébaou change trois fois de direction :

- Haut Sébaou : s'étend depuis la source (acif N'Boubhir) jusqu'à la cluse du Belloua où l'oued Sébaou à une direction N.N.W-S.S.E.

- Moyen Sébaou : forme un premier coude avec le haut Sébaou au niveau de la cluse de Belloua, l'oued prend une direction N.E-S.W.

- Bas Sébaou : un deuxième coude au niveau de Tadmaït marque le changement de direction de l'oued Sébaou qui devient N.N.W-S.S.E.

L'oued Sébaou débouche en mer juste après avoir traversé en cluse la chaîne côtière (Bouberak-Takdempt).

II.2.2.2.Hydroclimatologie

L'étude hydrologique ou hydrogéologique nécessite une étude de climat, par l'analyse des données climatiques tel que les précipitations, la température, la vitesse de vent, l'évapotranspiration

1) La Pluviométrie

Le bassin versant de la basse vallée de Sébaou, jouit d'un climat tempéré méditerranéen, dont nous distinguons deux périodes à savoir, une période sèche allant du mois de Mai au mois de Septembre et une période humide allant du mois d'Octobre au mois d'Avril.

La pluviométrie moyenne annuelle dans le bassin du Sébaou est de 850 mm (2003-2004) concentrée de façon irrégulière.

L'évolution des précipitations dans les différentes stations (Fig.II.1), montre bien ces deux périodes à l'exception du mois de Mai durant l'année 2003/2004 qui exprime une particularité.

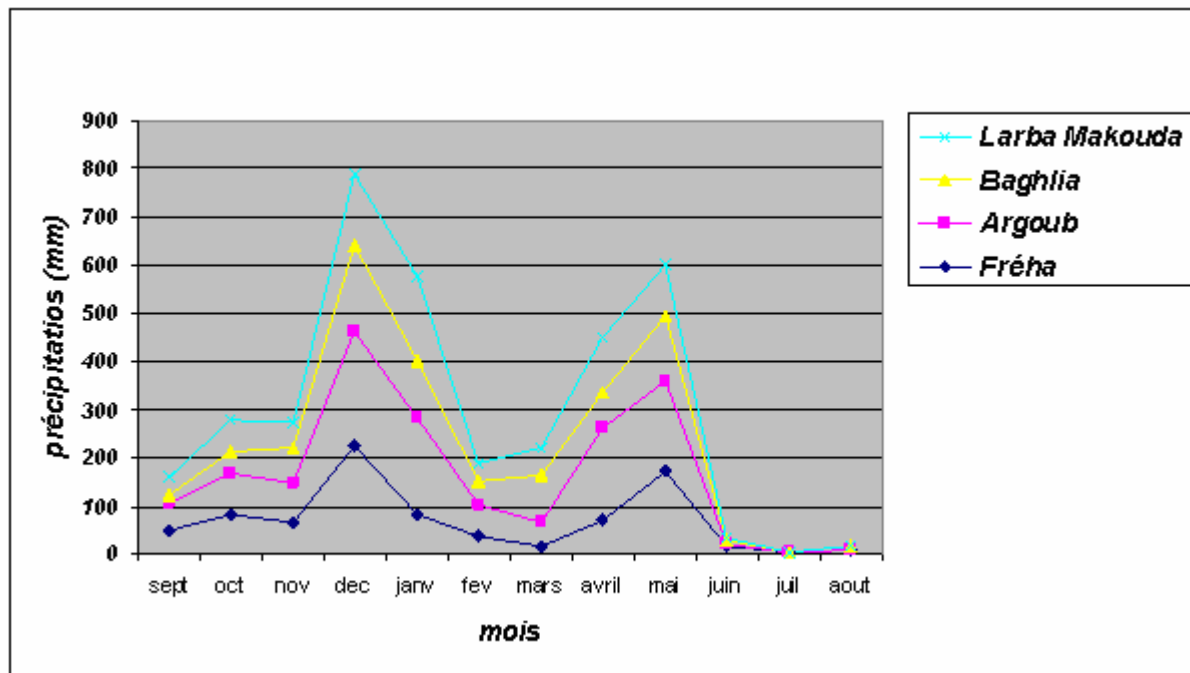


Fig.II.1 : les précipitations mensuelles des stations pluviométriques (2003-2004)

2) La Température

Les variations de la température dans cette vallée sont relativement faibles, alors que la température moyenne à l'échelle du ce bassin est de l'ordre de 16.5°C (Répertoire de l'A.N.R.H de Blida.2005).

3) La vitesse de Vent

Les vents sont, généralement faibles, d'orientation ouest à sud-ouest et avec une vitesse moyenne qui varie de 1.4 m/s au mois de février pour atteindre un maximum de 2.4m/s en juin. La vitesse maximum du vent varie entre 23m/s en juin pour atteindre le maximum de 37m/s au mois de juillet (Azzemou.2005).

4) L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle à l'échelle du bassin versant de Bas Sébaou est de l'ordre de 890 mm (Répertoire de l'A.N.R.H Blida).

L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 678 mm (méthode de Turc) (Répertoire de l'A.N.R.H Blida).

5) L'Humidité

La valeur moyenne d'humidité relative annuelle est de 64.9 % à Tizi-Ouzou et 73.9 % à Dellys. (Azzemou.2005).

II.2.3- La géologie

La dépression du bassin versant de Sébaou correspond à une large cuvette synclinale, dont les marnes du Miocène occupent la plus vaste surface. Ce modèle est né à la suite d'événements tectoniques importants ayant affecté la grande Kabylie.

Les grands ensembles géologiques qui caractérisent la région sont les suivants :

a)- Terrains primaires cristallophylliens

Ces terrains occupent tout le massif central Kabyle et s'étendent vers l'Ouest par plusieurs îlots isolés au milieu des formations tertiaires. Ils sont formés par des terrains essentiellement métamorphiques (gneiss, schistes, marbres, porphyroïdes et lentilles de calcaires métamorphiques).

b)- La dorsale Kabyle

Appelée également chaîne calcaire elle est formée de terrains essentiellement carbonates datés du Permo-Trias à l'Oligocène. Limitant le domaine interne, au Nord, du domaine des flyschs au Sud. Cette chaîne est subdivisée en trois unités lithostratigraphiques : dorsale interne, médiane et externe.

c)- L'Oligo-miocène Kabyle

Ce terme désigne l'ensemble des formations datées de l'Oligocène terminal au Miocène basal, discordantes sur le socle. Ces formations sont formées de conglomérats à galets de socle à la base, d'une série molassique à calcaires biolithiques ou silicifiés alternant avec des niveaux détritiques fins, et d'un niveau de silexite au sommet.

d)- Les unités numidiennes

C'est une série de type flysch d'âge Oligo-miocène qui comporte de bas en haut : des argiles et des grès numidiens, et des argiles et marnes intercalés de silexites. Cette série affleure surtout dans le massif d'Akfadou.

e) Les flyschs

C'est un ensemble de nappes à matériel détritique daté du Jurassique moyen à l'Eocène.

f) Les unités telliennes de Dellys

Elles affleurent sur une vaste surface entre Baghlia et Ait Raouana. Elles sont composées d'une puissante série à sédimentation rythmique formée de calcaires marneux et de marnes datées du Turonien au Lutétien.

g)- Les argiles à blocs (Olitostromes)

Affleurant largement à l'Est et au sud-ouest de Dellys et de Baghlia et sur le flanc Sud-Ouest de la chaîne littorale. Les Olistostromes sont souvent superposés, en continuité de sédimentation, à l'Oligo-miocène ou à l'unité tellienne de Dellys.

h) Les formations post-nappes

Les formations post-nappes regroupent les terrains d'âge Miocène et Pliocène déposés après la mise en place des nappes de glissement du Nord du socle Kabyle. Ces terrains sont représentés par :

- Le Miocène

Il occupe une grande zone synclinale entre Azazga et Dellys. Il est essentiellement représenté par des dépôts marneux, conglomératiques et gréseux, surmontés par des marnes. L'ensemble est daté du Burdigalien terminal et du Langhien-Serravalien.

- Le Pliocène

Discordant sur le Burdigalien supérieur, le Pliocène est constitué par des marnes grises calcaires affleurant dans la vallée de l'Oued l'Arbaa et à Djerabet, près de Dellys.

-Les roches volcaniques

Formées de spilites, basaltes, tufs et de rhyolites, ces roches apparaissent au sein des molasses miocènes affleurant au Djebel Takdempt, à l'Est du Djebel Bouberak et sur le versant Nord du massif de Naciria.

2) Les formations quaternaires

Elles forment le remplissage alluvionnaire des vallées riveraines des principaux cours d'eau. Dans l'Oued Sébaou, elles sont représentées par des dépôts anciens et récents. On y trouve des galets, des sables grossiers à fins, des graviers, des limons et des argiles, qui se présentent sous forme de terrasses emboîtées ou étagées.

3) La Tectonique

La basse vallée de Sébaou présente un style tectonique plus souple qu'au voisinage du socle en montre un ensemble de nappe superposée d'extension variable 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 sont représentées par une série d'anticlinaux et de synclinaux d'orientation N 70 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 chaînes littorales (Takdempt et Bouberak) montrent un système de plis N70 E déversés vers le Nord.

Des déformations par serrage remarquable surtout dans les terrains relativement compétents que sont les molasses de la zone côtière (Takdempt).

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 Sébaou, cependant quelques failles peuvent être observées dans les niveaux compétents des molasses et conglomérats aux Djebels El Gueblia et Bouberek.

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

II.3) la basse vallée d'Isser

II.3.1-Géomorphologie et Hydroclimatologie

II.3.1.1-Géomorphologie

Le bassin de l'oued Isser (code 09 selon le répertoire de l'A.N.R.H) dont la superficie totale est de 4149 km². Il est subdivisé en cinq sous bassins versant. Celui du Bas Isser (Zone d'étude) codé 09-05, a une superficie de 533 km², dont 100 km² sont occupés par les formations quaternaires. De part, sa position géographique, le Bas Isser est le sous bassin récepteur du haut et moyen Isser.

La forme du bassin est caractérisée par l'indice de compacité de Gravelius ayant une valeur de 1.36, ce qui implique que le bassin versant du Bas Isser présente une forme rectangulaire allongée suggérant à priori le ruissellement des eaux superficielles aux dépens des infiltrations.

Un indice de pente globale du bassin versant est de 1.32 %. Ce qui traduit un relief modéré, favorisant ainsi les infiltrations.

L'altitude maximale est de l'ordre de 1031m, l'altitude moyenne est de 268m et l'altitude minimale est presque nulle.

Le réseau hydrographique du Bas Isser est particulièrement dense à l'amont des gorges de Lakhdaria à l'embouchure. L'Oued Isser a une longueur de 35 km et l'écoulement superficiel se fait de Sud vers le Nord. A l'amont, il coule dans la vallée encaissée. Cependant, à partir de la ville des Isser, la pente topographique diminue et son cheminement devient sinueux et ce, jusqu'aux méandres. Ses affluents, principaux et secondaires sont respectivement : Oued Djemâa, Oued Menaiel, Oued Beni-Radjel, Oued-Aoudja et Oued-Merdja.

II.3.1.2.Hydroclimatologie

Le climat est la ressource naturelle des activités humaine, alors la connaissance des composantes principales de climat telles que la température, les précipitations, l'évapotranspiration, la vitesse de vent..... est primordiale.

1) La pluviométrie

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

Le climat de cette région est un climat méditerranéen pour lequel nous observons :

- Une saison pluvieuse, humide s'étalant du mois de novembre à mai ;
- Une saison sèche, très chaude s'étend du mois de mai au mois d'octobre.

La fig.II.2, montre que l'évolution saisonnière des précipitations est presque similaires dans les trois stations. Toute fois, nous constatons que la station la plus arrosée de la région est celle de Ouled-Haddada située dans la commune de Beni-Amrane, et cela peut s'expliquer par sa position très élevée par rapport aux autres stations.

En revanche, la station de Lakhdaria qui est relativement à une basse altitude, reçoit le minimum de pluie.

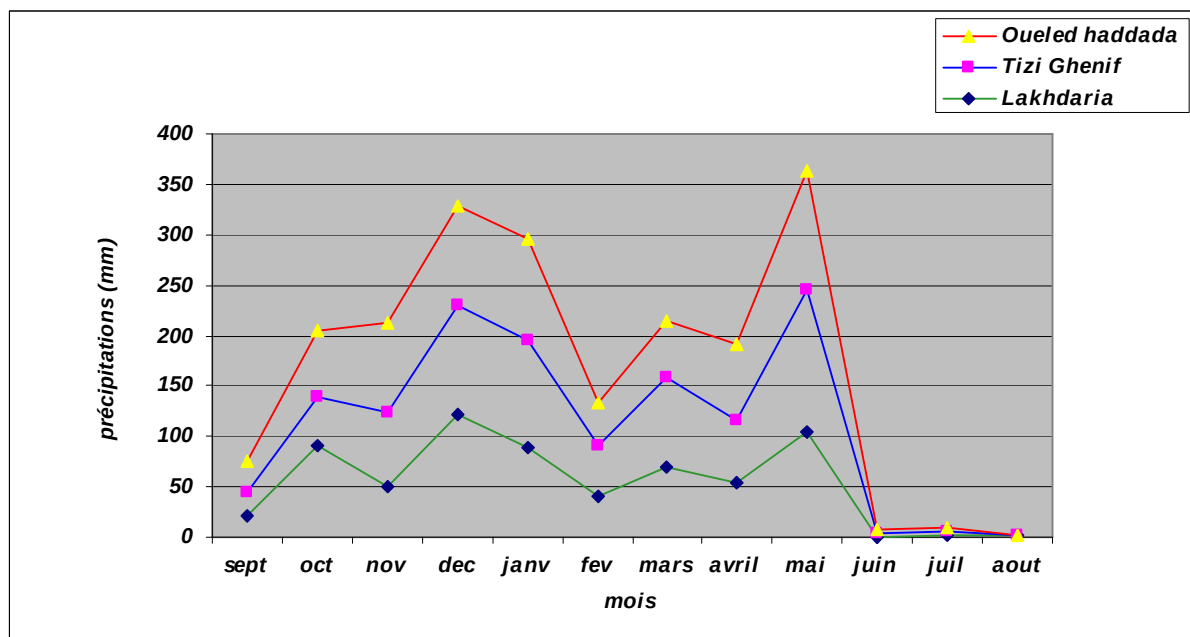


Fig.II.2 : les précipitations mensuelles des stations pluviométriques (2003-2004)

2) La Température

Le deuxième facteur qui influe sur l'hydroclimatologie après les précipitations, c'est la température.

Nous remarquons, que la période la plus chaude s'étale de juin à septembre, 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. (période 1990-2003), (Azzemou.2005).

3) La vitesse de vent

Dans la région de Bas Isser, le vent a deux directions prédominantes en période d'hiver et d'été avec des vents chauds (Ciroco) soufflant d'Est à Nord-Est pendant le mois d'août.

La vitesse de vent change d'un mois à un autre, alors que la vitesse moyenne varie de 2.9m/s aux mois d'octobre et novembre pour atteindre un maximum de 3.7 m/s au mois

d'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, (Azzemou.2005).

4) L'Evapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle à l'échelle du bassin versant du Bas d'Isser est de l'ordre de 905mm (Répertoire de l'A.N.R.H. de Blida).

L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 675 mm (méthode de Turc) (Répertoire de l'A.N.R.H. de Blida).

5) Humidité

Les moyennes mensuelles et annuelles d'humidité relative à la station de Bouira pour la période (1990-2003), varient respectivement entre 47% à 81% et 66.75 % et 47%.

II.3.3- La géologie

La région du Bas-Isser appartient au tell Septentrional, domaine des Maghrébides, caractérisé par sa complexité tant que lithologie que tectonique. Il existe trois entités géologiques qui se répartissent du Nord au Sud :

- Le noyau Kabyle ;
- La chaîne calcaire ;
- Les flyschs Nord et Sud Kabyle.

Au niveau de la plaine du Bas-Isser, il y a :

- Des roches métamorphiques ;
- Des roches éruptives ;
- Des roches sédimentaires.

1. Descriptions lithostratigraphiques de la zone d'étude

Les affleurements sont présents à Beni-Amrane, à l'Est de Souk-El-Had, à l'Est et le Sud-Est des Issers ainsi qu'au Nord du massif granitique de Thenia.

Le massif de Krachna forme un bloc compact séparé en deux parties distinctes par l'oued Isser. Nous distinguons selon le degré décroissant de métamorphisme :

➤ Une Assise inférieure

D'une puissance d'environ 100m, elle affleure sur les versants Nord et Sud de Djebel Bou Arous où elle constitue les flancs d'un synclinal de direction latitudinale à Beni Amrane. De plus, elle est très développée dans la partie occidentale du massif du Djurdjura.

Les roches prédominantes sont représentées par des micaschistes à biotite de teinte verte, des schistes à micas de teinte plus claire, des gneiss œillets à biotite et de nombreuses lentilles de marbre.

➤ Une Assise supérieure

Elle affleurent dans les mêmes zones que l'assise inférieure, elle constitue le cœur du synclinal du Djebel Bou Arous et correspond à des schistes satinés de teinte foncée, à quartz, chlorite et séricite, recoupés par des lentilles de marbre partiellement dolomitiques.

Dans la partie occidentale du Djurdjura, cette assise est traversée par des intrusions granitiques d'une puissance de plus de 200m.

➤ *Les roches éruptives*

-Le massif de Thénia

C'est un massif intrusif acide représenté par des granodiorites et des granites leucochrates affleurant respectivement au Nord de Thénia et au Sud-Est de Bordj-Menaïel. Ce massif se situe à la limite Sud du socle cristallophyllien (assise inférieure) marquée par les rhyolites (roches volcaniques) épanchées à la faveur des fractures.

Au niveau, des granodiorites de Thénia, il a été observé une arène granitique perméable résultant de l'altération de la roche mère.

-Le massif de Cap Djenet

Le massif de Cap Djenet est constitué de roches volcaniques basaltiques. On y distingue, des andésites et des dolérites qui forment des époutements intrusifs dont les modes de gisement en coulées interstratifiées dans les sédiments marins Helvétiques leur confère le même âge.

2) Les formations Quaternaires

Elles sont représentées par des faciès marins et alluviaux déposés dans la dépression étroite et allongée de la vallée du Bas-Isser.

a) Terrasses marines

Elles comprennent les plages actuelles et les dunes anciennes.

Plage actuelle : formées de sables, graviers peu consolidés d'argiles, de sable argileux jaunes en rive gauche, poudingues, gales et grès coquilliers au niveau des plages récentes de Cap Djenet.

Plages anciennes : développées parallèlement au littoral et représentées par des sables plus ou moins argileux.

b) Terrasse alluviale

D'après les travaux antérieurs de (Chemlal, 1983), cette terrasse est subdivisée en sept terrasses alluviales étagées et particulièrement emboîtées :

➤ *Première terrasse*

C'est la plus ancienne de l'Oued Isser. Elle se rencontre à Kalâat-Koléa où elle est formée de grès, de galets, de schistes, de quartzites emballés dans une gangue argileuse. L'ensemble a une épaisseur apparente de 30 m.

➤ Deuxième terrasse

Elle affleure au sud de Beni Kous, à sidi Bennor, Lalla Touila, cimetière de Sidi Feredj et Kalâat Rachida. Elle se présente sous forme de lambeaux isolés de poudingues à galets, schistes, grès, calcaires et quartzites emballés dans une gangue sableuse. L'épaisseur apparente de ces lambeaux varie entre 5 et 10 m.

➤ Troisième terrasse

Elle apparaît au nord de Berafai et s'étend du nord de Leghata jusqu'au plateau de Beni Kous elle est absente en rive droite. Les différents niveaux observés sont les suivants :

- Marnes bleues du substratum ;
- Argiles brunes jaunâtres ;
- Limons ou argiles sableuses ;
- Gravieres et galets peu consolidés.
- L'épaisseur totale de cette terrasse est de l'ordre de 35 m.

➤ Quatrième terrasse

Ces alluvions affleurent entre les Issers et Bordj-Menaïel (rive droite), Leghata et le plateau de Beni K'sir (rive gauche). Elles reposent sur les marnes bleues du plaisancien et montre une lithologie variée : conglomérat, grès et quartzites.

L'épaisseur de cette terrasse varie entre 30 et 40 m.

➤ Cinquième terrasse

Elle affleure au Nord de Bordj Menaïel, de Si Mustapha jusqu'à Berafai, sous forme d'une série de lambeaux étroits plaqués contre les marnes du substratum. Elle est constituée de conglomérats à grès, à calcaires et à quartzites. Les coupes de forages permettent de distinguer :

Des argiles jaunes à intercalations de graviers ;

Des graviers à sable argileux peu consolidés reposant sur les marnes bleues ;

L'épaisseur de l'ensemble varie entre 20 et 40 m.

➤ Sixième terrasse

C'est une terrasse conglomératique dont les éléments sont de même nature que ceux de la terrasse précédente. Elle s'observe au niveau de la gare de Si Mustapha sous forme d'un lambeau unique.

➤ Septième terrasse

C'est la plus récente et occupe tout le fond de la basse vallée de l'oued Isser (première terrasse au-dessus de lit majeur).

De Beni Amrane jusqu'à l'embouchure de l'oued Isser, elle s'étend de 1 à 4 Km de large sur 20 à 25 Km de long. Elle présente un élargissement maximal entre les Issers et Bordj-Menaïel.

Cette terrasse montre une grande hétérogénéité lithologique typique des dépôts alluviaux. Elle est constitué de galets, graviers et de sables reposant sur les marnes plaisanciennes et surmontés par des argiles parfois sableuses.

L'épaisseur des alluvions est en moyenne de 25m dans le lit majeur de l'oued Isser et diminue vers les bordures de la vallée pour atteindre 5m.

3) Tectonique

La vallée de bas Isser a une tectonique complexe due à sa disposition structurale. 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 plissement.

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 par fois même couchés, souvent dans la partie nord.

Les formations néogènes de la dépression de Thénia, 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

II.4) La Basse Vallée de la Soummam

II.4.1-Géomorphologie et Hydroclimatologie

II.4.1.1-Géomorphologie

La basse Soummam est une vallée intra-montagneuse. La vallée est caractérisée par trois grands ensembles géomorphologiques distincts :

- Un ensemble géomorphologique septentrional ;
- Un ensemble méridional ;
- Un ensemble géomorphologique de la plaine de l'oued Soummam.

Les paramètres de forme du bassin versant sont, un indice de compacité de gravilius ayant une valeur de 1.62, qui traduit une forme allongée de bassin et un temps de concentration assez long. L'indice de pente globale qui est égale 0.42% favorise l'infiltration au détriment du ruissellement.

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

Le bassin versant de la basse Soummam est hydrographiquement très développé, il comprend vers l'Ouest oued Sahel et ses affluents et vers l'Est Oued Bou-Sellam et ces deux cours d'eau se rejoignent près d'Akbou pour former l'oued Soummam qui coule en direction du Nord-Est pour rejoindre la mer.

II.4.1.2 Hydroclimatologie

Le climat de cette région est méditerranéen, généralement humide en hiver et chaud en été avec des légers changements de température.

1) La Pluviométrie

Les précipitations annuelles dans la basse vallée de la Soummam varient énormément, entre 300mm sur le plateau de Sétif et 1000 mm près de Bejaia, elles atteignent approximativement 1500mm sur les flancs Sud du massif de Djurdjura.

Le graphe (Fig.II.3) des précipitations mensuelles des trois stations pluviométrique pour l'année 1991-1992, montre que le mois le plus pluvieux de cette dernière est le mois de janvier, le mois le plus sec est le mois d'août dans les trois stations et nous pouvons également remarquer que la station de Domaine Maouche Ahmed est la plus arrosée par rapport au deux autres.

En revanche la station de Tifra est la moins arrosée.

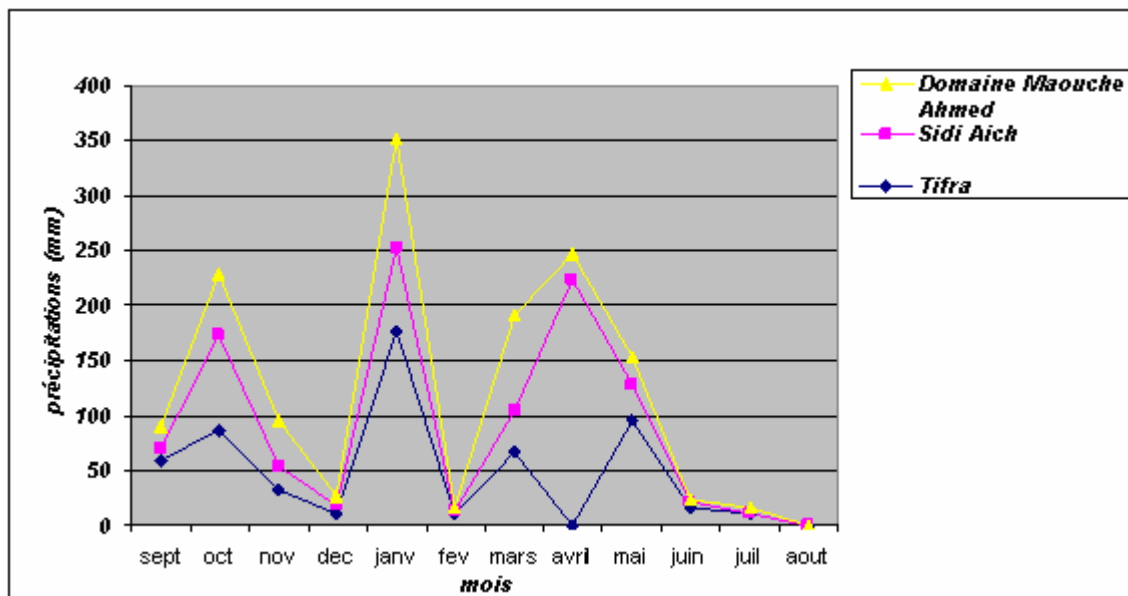


Fig.II.3 : Précipitations mensuelles des stations pluviométriques (1991-1992)

2) La Température

L'amplitude des variations de température dans la région de la basse Soummam est relativement faible.

Cette faible variation est due à l'effet régulateur de la mer sur le régime thermique surtout sur la zone littorale.

La température moyenne annuelle à l'échelle du bassin de la basse Soummam varie entre 15°C et 18°C (Benaissa, 2003)

3) La vitesse de Vent

La vitesse moyenne du vent varie de 0.9m/s au mois de février pour atteindre un maximum de 2.6 m/s au mois de mai.

La vitesse maximale oscille entre 19m/s en mois de juin et 30m/s au mois d'octobre, (Azzemou.2005).

4) L'évapotranspiration

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau perdue pendant une période déterminée (mois ou année) par évaporation directe et par consommation due aux végétaux.

L'évapotranspiration potentielle est de l'ordre de 864mm pour la période (1975-1985), elle est estimée par la méthode Thornthwaite au niveau de la de Bejaia.

L'évapotranspiration réelle calculée par la méthode de Turc au niveau de la station de Bejaia donne une valeur de 628mm pour la période (1970-1985), l'E.T.R à l'échelle du bassin versant de cette vallée est estimée à 459mm pour la même période (Amghar,1991).

5) L'Humidité

Les moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité relative, varient respectivement entre 63% -71% et 64.9%-73.9%.

L'humidité relative mensuelle dans cette région ne descend jamais au dessous de 63 % et ceci est du à la proximité de la mer.

II.4.3-La géologie

Dans ce sous chapitre nous nous intéressons à la lithologie et à la structure géologique dans le but d'identifier les horizons aquifères.

1. Stratigraphie-lithologie

La série stratigraphie des formations affleure en bordure de la vallée, en partant de la plus ancienne, est la suivante :

a) Le Trias

Il n'est représenté que par des pointements locaux dans la région de Sidi-Aich et d'Il-Mathen, où il présente un faciès gypso-salin à argiles versicolores.

b) Le Jurassique

Il n'affleure qu'à la limite Nord du bassin versant au Djebel Aghbalou et Djebel Gouraya, ainsi qu'au Sud Est de Sidi-Aich (massif de Timezrit). Il est constitué de calcaires dolomitiques de dolomies, de calcaires massifs à la base ; calcaires et marno-calcaire au sommet.

c) Le Crétacé

Il faut distinguer le crétacé autochtone du Crétacé allochtone (ou nappé).

Le premier n'affleure qu'en rive droite de la Soummam, de Sidi-Aich à Oued-Amizour. Il est essentiellement formé de schistes noirs, de marnes et marno-calcaires. Le Crétacé allochtone situé dans la région des Djebel-Aghbalou et Gouraya, ainsi qu'au Nord d'Il-Mathen présente les mêmes faciès (origine Tellienne).

Le deuxième affleure au Nord et au Sud de la Soummam présente un faciès flysch caractéristique.

Suivant l'origine des matériaux qui constituent ces flyschs on peut distinguer :

- Un flysch externe : qui affleure au Nord de la chaîne calcaire (Dj.Aghbalou et Gouraya). Il comprend des termes allant de l'Albien au Sénonien, constitués de marnes, de quartzites grises, des grès fins, de pélites, de conglomérats.
- Un flysch interne : affleurant en rive gauche (La Réunion-plaine de Bejaia) et en rive droite de la Soummam. Il comprend des termes allant du Cénomanién au Nummulitique, formés de marnes, Phtanites, micro-brèches, grès, quartzites.

d) L'Oligocène

Il affleure au Nord de Sidi-Aich et El-Kseur. Il présente un faciès flysch gréseux composé de grès quartziteux, de marnes schisteuses avec à la base des bancs de grès plus grossiers et lenticulaires.

e) Le Miocène

Dans la région de la basse Soummam, on ne rencontre que le Miocène post-nappe. Il appartiendrait cependant encore au Miocène inférieur. On le rencontre en rive gauche de la Soummam, de Sidi-Aich à la Réunion et en rive droite au Sud d'Il-Mathen.

f) Le miocène supérieur et Pliocène

On le rencontre dans la vallée de l'oued Ghir (la Réunion) de l'oued Srir (Bejaia) et en rive droite de la Soummam aux environs du village d'Ighil ou Berouak. Il est formé de Brèches, sables et grès surmontés d'argiles bleues.

2) Le Quaternaire

Ce dernier est formé essentiellement :

D'alluvions anciennes constitués de galets, de graviers et de sables à matrices sableuses ;
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.

3) Tectonique

Dans la région de la basse Soummam, la tectonique est composée par 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 citera deux grandes familles de failles de direction NO et NE.

II.5.Conclusion

A l'issue de ce chapitre nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

La vallée du bas Sébaou

-Ce bassin est d'une forme allongée, de direction Est-ouest, il couvre une superficie de 2500Km², dont l'altitude moyenne est de 504 m.

- il possède un réseau hydrographique assez dense, un régime climatique humide méditerranéen, à l'échelle annuelle, nous distinguons deux périodes : une période humide, d'octobre en avril et une période sèche, de mai en septembre ; les précipitations sont réparties irrégulièrement le long de l'année ;

-géologiquement cette région est caractérisée par une tectonique complexe et fait partie des zones du <<domaine kabyle>> structurée lors de l'orogénèse. 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 terrains méso-cénozoïques sont représentés par des terrains lithologiques variés, ce sont essentiellement des formations sédimentaires (marnes, argiles, molasses, conglomérats et grès) du miocène qui affleurent dans cette vallée.

Le remplissage quaternaire constitue en raison de l'importance de son développement et sa caractéristique hydrogéologique un bon aquifère.

La vallée du bas Isser

-La plaine alluviale du bas Isser située dans le bassin versant de l'oued Isser est caractérisée par un réseau hydrographique très dense à l'amont et s'étend sur une superficie de 533 Km² ;

-Cette région se caractérise par un climat méditerranéen avec deux saisons d'égale durée. Une saison humide allant d'octobre en avril, caractérisée par des précipitations irrégulières et une saison sèche qui s'étale de mai en novembre ;

-L'étude géologique a mis en évidence une structure complexe, constituée par un empilement de nappes imbriquées, mises en places lors de l'orogénèse alpine et s'insérant chacune dans un domaine structural propre. Ces structures sont marquées par l'existence des formations métamorphiques d'âge précambrien recoupées localement par des roches intrusives acides et basiques d'une part et des formations sédimentaires d'autre part.

L'étude géologique des formations quaternaires, effectuée sur la base des travaux de certains auteurs, a mis en évidence sept terrasses alluviales disposées en gradins étagés, partiellement emboîtées.

La vallée de la basse Soummam

La basse Soummam est une vallée intra montagneuse, elle est caractérisée par une forme allongée un réseau hydrographique très développé.

Le climat de cette région est un climat méditerranéen qui comprend une saison froide est humide d'octobre à avril et une saison chaude et sèche allant de mai à septembre.

La géologie de la vallée de la basse Soummam est caractérisée par une tectonique très complexe, constitue une zone de transition entre le domaine interne et le domaine externe .Elle fait partie du tell septentrional, structurée lors de l'orogénèse Alpin.

Les terrains Méso-Cénozoïques sont représentés par des terrains autochtones et allochtones de nature lithologique variée.

Les éruptions volcaniques miocènes soulignent parfaitement la phase de la fracturation qui succède à la mise en place des grandes nappes de glissement.

Le Quaternaire constitue l'essentiel du remplissage alluvial, en plus, il constitue le recouvrement majeur du lit de l'oued.

Du point de vue tectonique, deux grandes familles de failles de direction, NO et NE, affectent la région et constituent les zones de drainage. Elles forment de véritables réseaux naturels dans certains endroits.

L'analyse des caractéristiques lithologiques et tectoniques des principales unités structurales de la basse Soummam, nous a permis d'identifier cinq (5) formations géologiques favorables à la constitution d'aquifères non négligeables pour la mobilisation de ressources en eaux souterraines supplémentaires, ces formations sont :

Les formations calcaire-dolomitiques, des massifs de Gouraya-Aghbalou;

Les formations de grès numidiens du versant septentrional de la Soummam ;

Les alluvions anciennes de la plaine de la basse Soummam ;

Les grès et conglomérats du Miocène continental en bordure et sous les alluvions ancienneté de la plaine ;

- Les formations volcaniques du massif d'Amizour-Béjaia.

CHAPITRE III

HYDROGEOLOGIE DES AQUIFERES CÔTIERS

III.1.INTRODUCTION

L'étude de l'hydrogéologie des aquifères côtiers (bas Sébaou, bas Isser, basse Soummam) a pour but de ressortir les caractéristiques des systèmes aquifères, Nous traiterons brièvement dans ce chapitre la piezométrie, le gradient hydraulique, l'alimentation des nappes souterraines et les paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité et le coefficient d'emmagasinement).

III. L'hydrogéologie

III.2.1.Hydrogéologie de la vallée de bas Sébaou

III.2.1.1. La piezométrie

Les cartes piézométriques sont interprétées par les services de (L'A.N.R.H de .Blida). Ces cartes (fig.III.1) ne montrent pas de grandes variations dans la position des équipotentiels. Les écoulements souterrains dans la région de bas Sébaou se font du Sud vers le Nord. Au niveau des bordures, les lignes de courant convergent vers l'axe de la vallée alluviale.

Le niveau statique est généralement situé entre 1.5 et 6m du sol, la nappe est libre ou semi captive par endroits en raison de l'existence d'une couverture végétale de terrains semi perméables recouvrant les alluvions aquifères.

D'autre part, la carte piézométrique montre que la nappe est en relation hydraulique avec les eaux de surface drainées par l'oued Sébaou. En basses eaux, l'oued alimente la nappe et en période des hautes eaux, il y a remontée du niveau de la nappe qui alimente ainsi le cours d'eau superficiel.

III.2.1.2.Le gradient hydraulique

Les valeurs de gradient hydraulique oscillent entre 0.7 et 1%, la plus faible est observée au centre de la vallée.

III.2.1.3.L'alimentation de la nappe alluviale

L'alimentation de cette nappe est assurée essentiellement par l'infiltration des eaux de précipitations, par les reliefs plus éloignés et par les eaux de ruissellement s'effectuant le long des cours d'eau dans les secteurs où la nappe est libre.

III.2.1.4.Les paramètres hydrodynamiques

Dans le bas Sébaou, l'aquifère présente des bonnes caractéristiques hydrodynamiques. D'après les annuaires de l'A.R.N.H, nous avons :

- + Les transmissivités sont assez élevées, varient de $3.7.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à $15.4.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$;
- + Les perméabilités sont relativement élevées, variants entre $8.10.10^{-4} \text{ m/s}$ et $6.62.10^{-2} \text{ m/s}$.
- + Les coefficients d'emmagasinement évalués au niveau des piézomètres de cette vallée sont moyens, varient entre $2.9.10^{-3}$ et $1.01.10^{-2}$.

III.2.2. Hydrogéologie de la vallée de bas Isser

III.2.2.1. La piezométrie

Le suivi quantitatif et qualitatif de la nappe alluviale du bas Isser par les services de l'A.N.R.H de Blida, 2003, est effectué sur un réseau composé de 31 puits, 04 forages et 2 sources durant le mois de juin 2003 après le séisme du 21 mai pour déceler l'impact de séisme sur la nappe.

L'interprétation de la carte piezométrique (A.N.R.H de Blida.2003), de la nappe du bas Isser montre (fig.III.2) :

- un écoulements des eaux souterraines se dirige, à partir des bordures des terrasses supérieures vers le centre de la plaine, le gradient hydraulique moyen à l'aval est de 0.26%. L'écart entre les courbes isopièzes est très espacé ce qui diminue la vitesse de transfert des eaux souterraines vers la mer, tandis que vers l'amont le gradient hydraulique est de 1.2%, l'écoulement souterrain se fait rapidement vers le centre de la plaine du fait que les courbes isopièzes sont très rétrécis ;
- la carte piezométrique montre aussi que dans la septième terrasse alluviale l'écoulement souterrain coïncide avec l'axe principal de la vallée, correspondant à l'axe de drainage des eaux ;
- les terrasses supérieures, situées au Nord de Befaraï s'étendent jusqu'au plateau de Beni-Ksir. Leur position structurale leur permet d'entretenir des relations hydrauliques étroites avec la septième terrasse qu'elles alimentent par percolation latérale.
- l'axe de drainage est orienté vers le Nord de Souk-El-Had à Si-Mustapha, vers le Nord-Est entre Si Mustapha et Bordj-Menaïl et enfin il prend une direction Nord au Nord-Nord-Ouest entre Bordj-Menaïl et la mer ;
- les niveaux statiques s'échelonnent entre 3 et 5 m de profondeur.

III.2.2.2. Le gradient hydraulique

Les valeurs de gradient hydraulique sont très variées au niveau de cette région. Elles sont d'ordre de 0.21 % au centre de la plaine, 0.48% sur les bordures de la rive gauche de l'oued.

III.2.2.3. L'alimentation de la nappe alluviale

Au niveau des terrasses littorales anciennes, la nappe aquifère est libre et l'alimentation se fait d'une part, directement par l'infiltration des eaux de la pluie et d'autre part, par l'afflux des eaux souterraines provenant des formations de bordure et des alluvions (3^{ème} et 4^{ème} terrasse) situées à l'amont de ces terrasses littorales.

Quant aux terrasses alluviales, l'alimentation de la nappe aquifère des terrasses supérieures s'effectue pour une part importante, par les apports souterrains des formations de bordures et pour une moindre part, par l'infiltration des eaux de pluie en raison de la présence au toit de la nappe de limons et d'argiles sableuses peu perméable.

Tandis que l'alimentation de la nappe aquifère de la 7^{ème} terrasse s'effectue quant elle part :

- L'intermédiaire de l'oued à l'aval du village les Issers ;
- L'infiltration directe des eaux de pluie, dans la zone libre (lit majeur de l'oued Isser) de la nappe aquifère ;
- L'afflux des eaux souterraines provenant des terrains de bordure ;

- Les apports probables des eaux souterraines qui ont transité ;
- Les alluvions des terrasses supérieures entre Berafaï et Mandoura ;
- Ou bien sur toute l'étendue de la 7^{ème} terrasse, par l'infiltration des eaux pluviales dans les terrains silteux, limoneux et argilo-sableux du toit de la nappe aquifère.

III.2.2.4. Les paramètres hydrodynamiques

Les paramètres hydrodynamiques de cet aquifère sont très variés ; nous trouvons les transmissivités oscillent entre 9.10^{-4} et $3.4.10^{-3}$ m²/s. La perméabilité est très faible à l'amont jusqu'au centre de la vallée. Elle est très élevée au centre de la vallée jusqu'à la partie aval de la vallée. Le coefficient d'emmagasinement varie entre 0.1% et 24%.

III.2.3. Hydrogéologie de la vallée de la basse Soummam

III.2.3.1. La piezométrie

D'après l'interprétation de la carte piezométrique (fig.III.3) de la vallée de la basse Soummam (Benaissa, 2003), 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 :
 - o Un axe principal à la partie de la plaine ;
 - o Des axes secondaires se superposent aux vallées des principaux affluents ;
 - o Les eaux souterraines convergent toutes vers l'axe principal, sauf dans la plaine côtière.

III.2.3.2. Le gradient hydraulique

En période de hautes eaux, l'analyse des cartes piézométriques montre un gradient hydraulique pour les différentes zones :

- A l'Ouest d'Il-Maten (cône de déjection de Remila), le gradient hydraulique est de l'ordre de 10,5%, il diminue ensuite à 2,8% vers l'aval par suite de l'élargissement de la vallée.
- Au niveau du seuil d'Aguellal, il y a resserrement des isopièzes et le gradient est d'environ 3,9%. Vers l'aval au droit de l'Oued Amassine le gradient augmente encore jusqu'à 5%.
- Au niveau d'El-Kseur, la vallée s'élargit, le gradient passe à 2,8% ;
- Vers l'aval et jusqu'à l'embouchure les variations de gradient sont irrégulières. Sur le versant Nord et aux débouchés des principaux affluents, on note également de forts gradients (10 à 13%) ;

En période des basses eaux, l'analyse de la position des iso pièzes montre :

- Un léger décalage des iso pièzes vers l'amont traduisant ainsi, une diminution systématique des côtes piézométriques dans tous les points d'eau ;
- Une diminution relative générale des gradients hydrauliques par suite, d'une part, d'une faible réalimentation de la nappe et d'autre part, d'un pompage intense durant cette période.

III.2.3.3.L'alimentation de la nappe alluviale

L'alimentation de nappe se fait essentiellement à partir :

- de l'infiltration directe des précipitations ;
- des inféro-flux des affluents ;
- des formations hydrogéologique affleurant sur le versant nord (terrain jurassique de l'Aghbalou et grès numidiens) ainsi que des formations du miocène.

III.2.3.4.Les paramètres hydrodynamiques

L'évaluation des principaux paramètres hydrodynamiques de l'aquifère alluvial de la basse Soummam a fait l'objet de plusieurs études : P.Lindberg en (1972), C.Clinckx en (1973), Zerourou (1983) et Amghar (1990).

Les valeurs de transmissivité varient d'un endroit à un autre, dans la région située entre Sidi-Aich et Oued Amizour, les valeurs de la transmissivité sont plus élevées allant de $8,9.10^{-2}$ à $3,5.10^{-1}$ m²/s ; ceci est dû, d'une part, à l'importance de l'épaisseur des formations grossières et d'autre part, à la porosité d'interstice assez élevée.

dans la région située entre Oued Amizour et l'embouchure de l'Oued Soummam où la transmissivité diminue. Cette diminution systématique de la transmissivité de la nappe s'explique par un épaississement du recouvrement superficiel limono-Argileux qui réduit l'épaisseur de la formation grossière.

Dans la vallée de Oued-Ghir, les valeurs de la transmissivité de la nappe sont de l'ordre de 2.10^{-3} m²/s et caractérise bien l'aquifère captif.

En général les valeurs de la transmissivité décroissent de l'amont vers l'aval et de l'axe de drainage de la nappe en allant vers les bordures de la vallée.

Les valeurs des perméabilités présentent les mêmes particularités que celles des transmissivités, on distingue :

- une zone amont (Il-Maten) où la perméabilité des alluvions aquifères est de l'ordre de $2,5.10^{-3}$ à 3.10^{-3} m/s.

dans la zone avale la perméabilité est nettement plus faible. La valeur moyenne est de l'ordre de $5,2.10^{-4}$ m/s.

Le coefficient d'emménagement estimé dans la zone amont présente des variations, il varie de 0,07 à 0,74 %, alors que dans la zone avale, il est de l'ordre de 0,15% ; valeur calculée dans le piézomètre I2/3 captant la nappe captive.

III.3- Conclusion

A l'issue de ce chapitre nous rappelons que :

-L'étude piezométrique d'individualise un écoulement des eaux souterraines du sud vers le nord cas de la vallée de bas Sébaou, deux types d'écoulement des eaux souterraines dans la vallée d'Isser un écoulement vers la mer et l'autre des deux rives de la vallée vers l'axe de drainage. L'écoulement de la nappe aquifère de la Soummam se fait du SW vers le NE ;

-dans ces vallées l'alimentation des nappes est assurée par l'infiltration des précipitations ;

-L'étude hydrodynamique nous a permis de définir des aquifères de très bonne caractéristiques hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité, le coefficient d'emménagement).

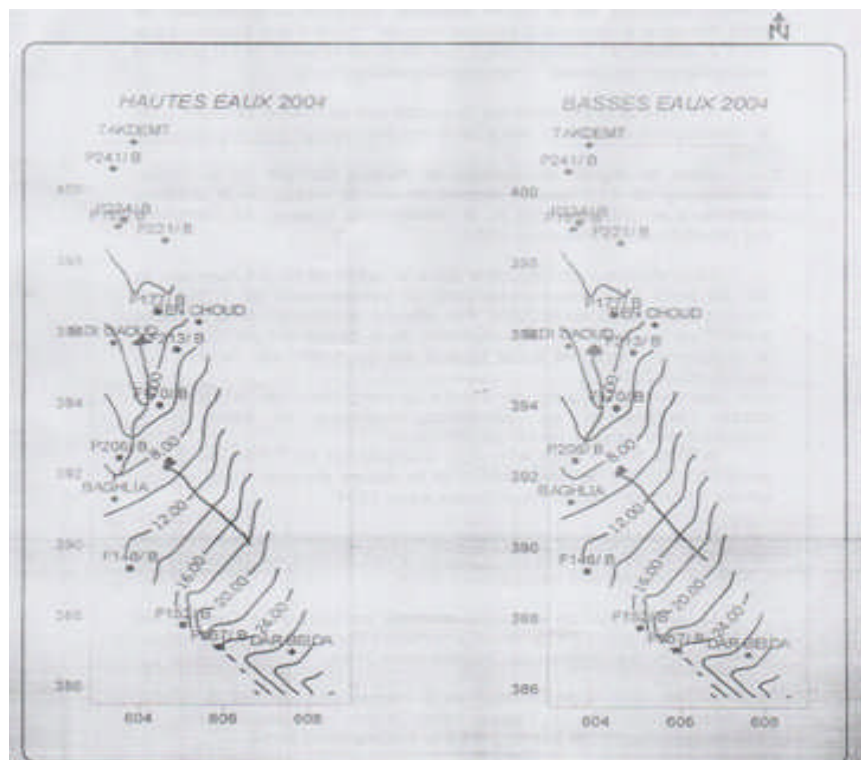


Fig.III.1: Carte piezométrique de la bas Sébaou

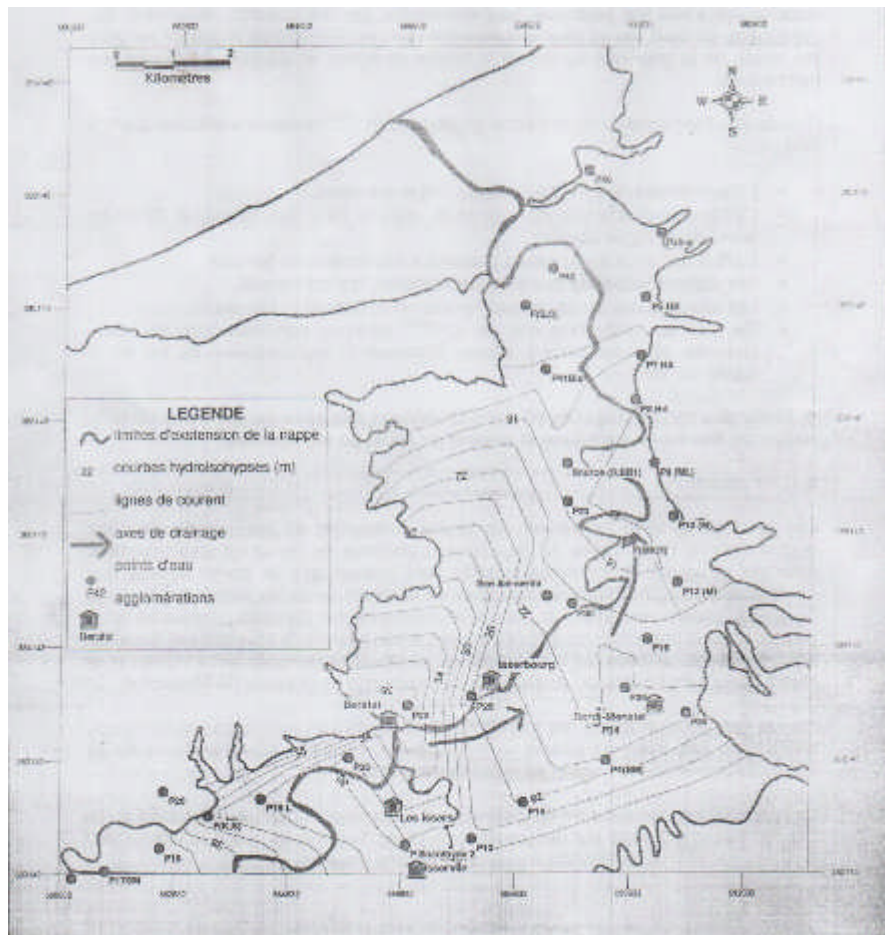


Fig.III.2 : Carte piezométrique de bas Isser

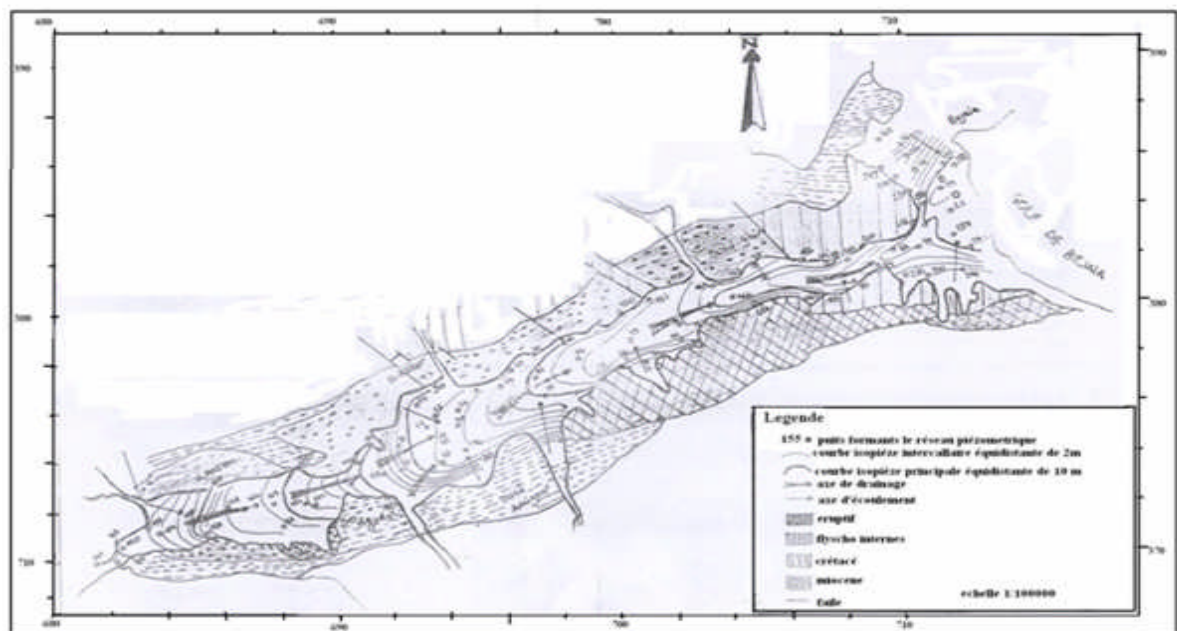


Fig.III.3: Carte piezométrique de la basse Soummam

CHAPITRE IV

ETUDE STATISTIQUE DES DONNEES HYDROCHIMIQUES

V.1)-Introduction

Les méthodes statistiques unidimensionnelles ont une utilisation large dans le domaine scientifique alors elles permettent de caractériser statistiquement une propriété mesurée en grands nombres de points de l'espace.

Dans notre cas nous tentons de l'appliquer aux échantillons de mesures hydrochimiques des trois aquifères côtiers où nous avons 32 points d'eau au bas Sébaou, 45 points d'eau au bas Isser, 63 points d'eau à la basse Soummam.

L'analyse des données par des techniques statistiques repose sur le calcul des paramètres suivants :

- la taille ;
- la moyenne ;
- l'écart type ;
- la variance ;
- la médiane ;
- le maximum et le minimum ;
- l'étendue ;
- le coefficient de variation ;
- l'Aplatissement ;
- l'Asymétrie

IV.2) Statistiques descriptives

IV.2.1) La taille

C'est le nombre de valeurs de l'échantillon

IV.2.2) La moyenne

Elle figure parmi les paramètres les plus utilisés en statistique. Elle est égale à la somme des valeurs mesurées sur le nombre de mesures elle est calculée par la formule suivante :

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

N : taille de l'échantillon.

x_i : valeur mesurée.

IV.2.3) La variance

Elle est symbolisée par σ^2 et calculée par:

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

IV.2.4) L'écart type

Noté par σ , il est donné par :

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

IV.2.5) La médiane

La médiane d'une série de valeurs ordonnées est la valeur du milieu, c'est-à-dire celle qui partage l'échantillon en deux parties égales.

IV.2.6) Le coefficient de variation

Le coefficient de variation est le paramètre statistique le plus retenu pour quantifier la variation spatiale d'une propriété dans un champ donné ou de plusieurs distributions dont l'ordre de grandeur est très différent. Il est nul pour des valeurs observées égales entre elles.

Ce paramètre est estimé en pourcentage et donné par la formule suivante :

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

IV.2.7) Le maximum et le minimum

Ils représentent la plus grande valeur et la plus petite valeur de l'échantillon

VI.2.8) L'étendue

C'est la différence entre la grande valeur et la petite valeur.

VI.2.9) L'aplatissement (Kurtois)

Une courbe est dite aplatie (platicurtique) quand une variation forte de la valeur étudiée ne s'accompagne pas de forte variation de la fréquence, par référence à la courbe des fréquences de la loi normale.

Et quand la courbe est moins aplatie que celle de la loi normale alors la courbe est leptocurtique.

Ce coefficient est donné par la formule suivante :

$$\text{Kurtosis} = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{\sigma^4} - 3 \right]$$

-Si $K = 0 \Rightarrow$ la concentration est normale

-Si $K > 0 \Rightarrow$ la concentration est forte

-Si $K < 0 \Rightarrow$ la concentration est faible

IV.2.10) Asymétrie (Skewness)

Le calcul de ce paramètre nous permet de conclure si la distribution de la population est entière et de deviner l'allure d'une distribution sans passer par le tracé.

$$\text{Skewness} = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{\sigma^3} \right]$$

Si $S=0$, alors il y a asymétrie ;

Si $S>0$, alors la courbe des fréquence est étalée à droite ;

Si $S<0$, alors la série est étalée à gauche.

IV.2) Application aux données hydrochimiques des trois aquifères

Côtiers

Dans cette partie, nous essayerons de comparer les concentrations des paramètres hydrochimiques (*CE (conductivité électrique), pH, Ca, Na+K, Mg, NO₃, Cl, SO₄, HCO₃*), des aquifères côtiers du bas Sébaou, du bas Isser et de la basse Soummam.

Les données du bas Sébaou et bas Isser sont fournies par l'ANRH de Blida concernant l'année de 2005. Celles de la basse Soummam sont tirées de la thèse d'Amghar (1991).

IV.2.1) Le potentiel d'hydrogène pH

En analysant les résultats du pH (tableau.IV.2.1), nous pouvons constater :

- les eaux souterraines des trois aquifères, ont un caractère légèrement basique ;
- les moyennes arithmétiques de pH dans ces régions sont proches de leurs médianes ;
- Les écarts entre les valeurs maximales de pH et les valeurs minimales ne sont pas très grands ce qui donne des étendues de faible importance;
- Les écarts type des valeurs de pH sont faibles, ce qui témoigne l'homogénéité des données expérimentales de pH de ces régions ;
- les coefficients de variation calculés dans les trois cas sont inférieurs à 50%, ce qui donne des distributions des données très proches de la loi normale avec des variabilités régulières;
- un coefficient d'aplatissement nul pour le cas de la vallée d'Isser qui signifie une concentration normale des données expérimentales de cette région, alors que pour le cas de la vallée de la Soummam et de Sébaou le coefficient d'aplatissement est positif ce qui indique une forte concentration des données de ces régions.
- le coefficient d'asymétrie de la basse Soummam et le bas Sébaou sont négatif, ce qui signifie que les dispersions des données de ces vallées sont étalées vers la gauche, mais dans le cas de bas Isser ce dernier est positif ce qui indique une dispersion étalée vers la droite et tout cela est bien illustré, par les figures des histogrammes (Fig.IV.2.1.a, Fig.IV.2.1.b, Fig.IV.2.1.c), où nous observons des distribution sensiblement symétriques.

Tableau IV.2.1 : Paramètres statistiques du pH

paramètres	l'Isser	la Soummam	le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	8,2	7,8	8,1
Valeur minimum	7,1	7,0	6,5
Etendue	1,1	0,8	1,6
La moyenne	7,5	7,4	7,5
Médiane	7,4	7,4	7,5
Ecart type	0,3	0,1	0,3
Variance	0,1	0,0	0,1
Coefficient de variation	3,7%	1,7%	4,3%
Aplatissement	0,0	5,8	1,7
Asymétrie	0,7	-0,3	-0,8

- ❖ Nous voyons sur les figures (**Fig.IV.2.1.a**, **Fig.IV.2.1.b**, **Fig.IV.2.1.c**) qui donnent les histogrammes de fréquence de pH des trois régions, l'apparition de quelques classes qui regroupent plus d'observations :
- dans le cas de la vallée de bas Sébaou les classes dominantes sont ([7.4; 7.6],[7.6;7.8]) ;
 - dans le cas la vallée de bas Isser les classes ([7-7.1], [7.1 ; 7.2] ; [7.4 ; 7.5]) qui dominant ;
 - dans le cas la vallée de la basse Soummam c'est la classe ([7.3 ; 7.4]) qui s'impose.

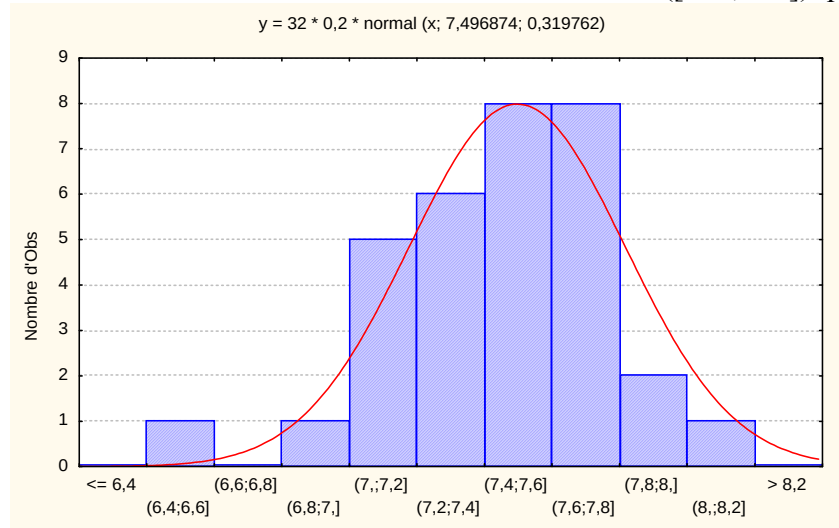


Fig.IV.2.1.a : Histogramme de fréquence de pH (bas Sébaou)

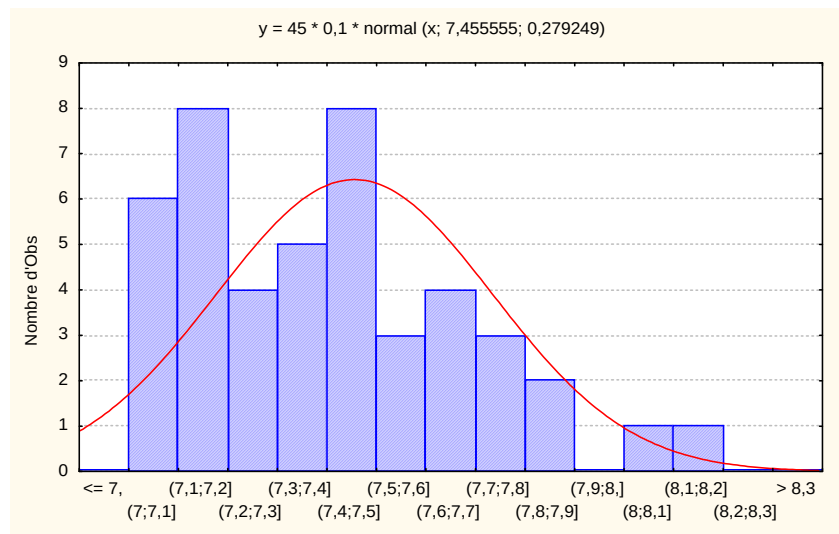


Fig. IV.2.1.b: Histogramme de fréquence de pH (bas Isser)

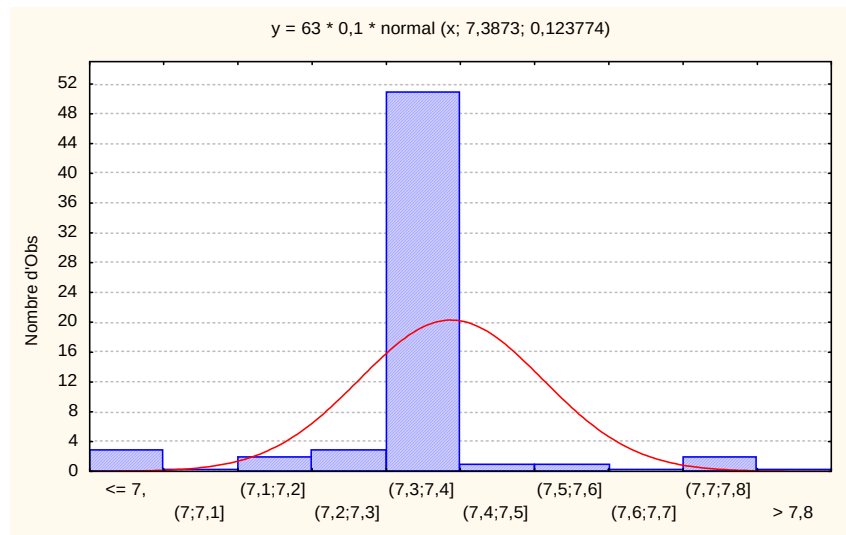


Fig.IV.2.1.c: Histogramme de fréquence de pH (basse Soummam)

IV.2.2) La Conductivité Electrique :

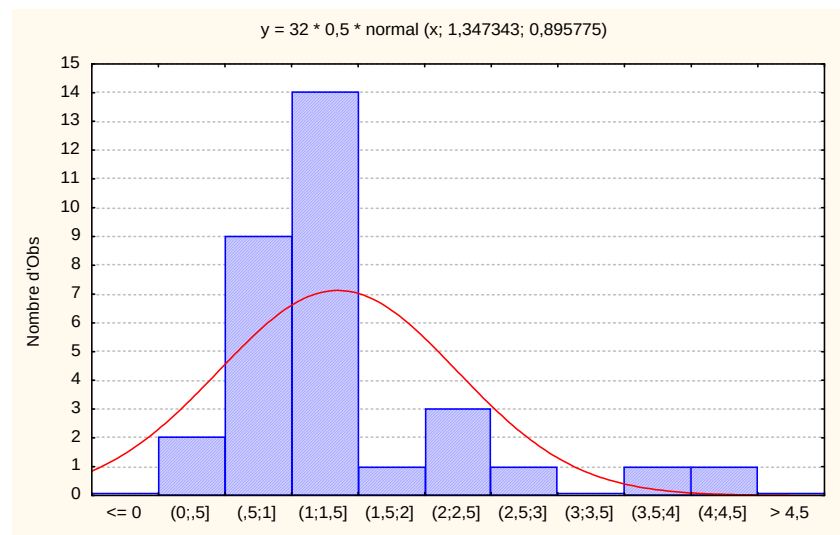
Le tableau.IV.2.2, montre les valeurs des paramètres statistiques calculés pour la conductivité électrique. Nous remarquons que:

- la plus grande valeur est enregistrée au niveau de la vallée de la Soummam avec 4.7mS/cm alors que dans la vallée de Sébaou et les Isser sont du même ordre (4.34mS/cm et 4.3mS/cm) ;
- la valeur minimale de la conductivité électrique dans ces trois bassins, revient au bassin de Sébaou (0.31mS/cm), suivi de celui de la Soummam (0.50mS/cm) après le bassin de l'Isser ce qui indique une minéralisation des eaux souterraines de la basse vallée d'Isser relativement forte ;
- la moyenne de la CE est plus élevée pour l'Isser (1.92 mS/cm) alors que la CE des eaux de Sébaou est la plus faible (1.35 mS/cm), celle de la Soummam est intermédiaire (1.61mS/cm) ;
- les écarts type calculés pour les cas présentés sont faibles, ce qui indique une homogénéité de ces données ;
- une distribution loin de la loi normale avec une variabilité irrégulière est marquée seulement pour la vallée de Sébaou qui présente un coefficient de variation très élevé (67%).
- les trois cas étudiés présentent des coefficients d'aplatissement positifs, ce qui signifie que la forte concentration des données de la CE de ces bassins ;
- les trois coefficients d'asymétrie estimés sont supérieurs à zéro, ce qui indique que les dispersions des classes sont étirées vers la droite, et cela est confirmé, par les formes des histogrammes (Fig.IV.2.2.a Fig.IV.2.2.b, Fig.IV.2.2.c)

Tableau IV.2.2 : Paramètres statistiques de la CE

paramètres	l'Isser	la Soummam	le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	4,30	4,70	4,34
Valeur minimum	1,10	0,50	0,31
Etendue	3,20	4,20	4,03
La moyenne	1,92	1,61	1,35
Médiane	1,83	1,60	1,11
Ecart type	0,73	0,79	0,88
Variance	0,54	0,62	0,78
Coefficient de variation	39%	49%	67%
Aplatissement	2,46	3,18	4,30
Asymétrie	1,56	1,34	2,02

- ❖ L'observation des histogrammes donnés par les figures (*Fig.IV.2.2.a*, *Fig.IV.2.2.b*, *Fig.IV.2.2.c*), nous permet de voir :
- l'histogramme de la CE de bas Sébaou montre deux classes qui renferment plus d'observation la plus importante est la classe [1 ; 1.5] suivie de la classe [0.5 ; 1] ;
 - l'histogramme de la CE de bas Isser indique trois classes importantes qui renferment plus d'observation qui sont respectivement [1 ; 1.5], [1.5 ; 2], [2 ; 2.5] ;
 - la figure représentant l'histogramme de fréquence de la CE de la basse Soummam montre quatre classes qui renferment un pourcentage d'observation important en commençant par la plus importante qui est [1.5 ; 2], suivi de [1 ; 1.5] ; [0.5 ; 1] ; [2 ; 2.5].

**Fig.IV.2.2.a : Histogramme de fréquence de la CE (Bas Sébaou)**

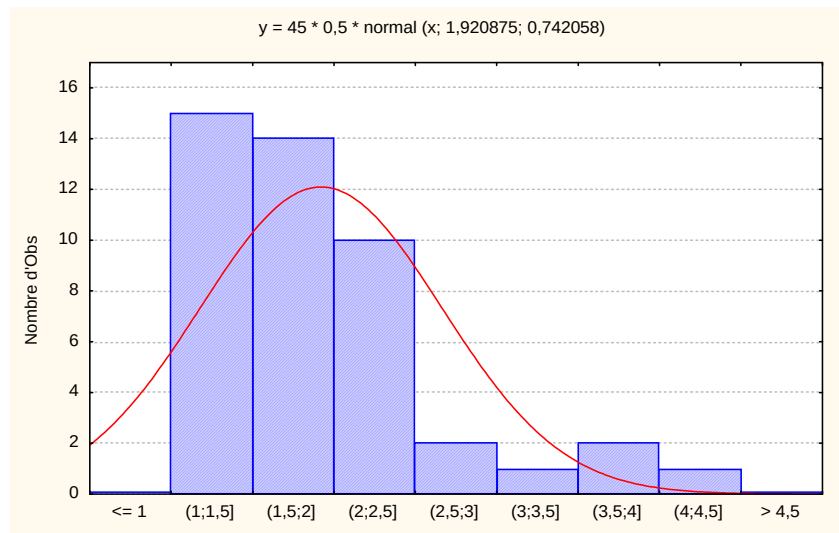


Fig.IV.2.2.b : Histogramme de fréquence de la CE (Bas Isser)

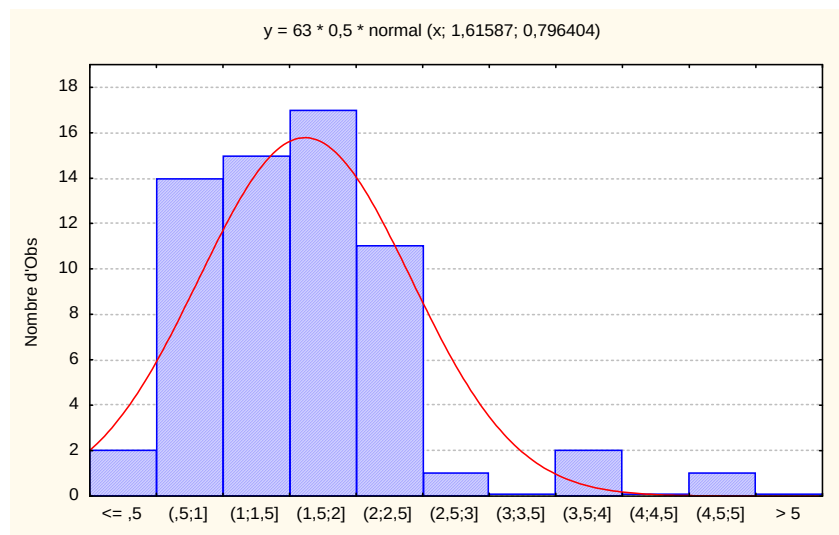


Fig.IV.2.2.c : Histogramme de fréquence de la CE (Basse Soummam)

IV.2.3) Le Calcium

D'après l'étude du tableau.IV.2.3 ; nous pouvons remarquer que :

- Les valeurs maximales observées de calcium dans les trois vallées sont très élevées et égales entre elles à quelques écarts près ;
- La comparaison des valeurs minimales de calcium des trois sous bassins, nous permet de constater que la région d'Isser est plus riche en calcium par rapport aux deux autres ;
- L'écart entre les valeurs maximales et minimales est très important, ce qui se traduit par l'importance des étendues ;
- Les moyennes du calcium des trois régions sont proches des médianes ;
- La dispersion, qui peut être caractérisée par l'écart type qui présente des valeurs très élevées, témoigne l'hétérogénéité des données expérimentales des trois sites étudiés ;

- La valeur de coefficient de variation de la vallée d'Isser est inférieure à 50% ce qui se traduit par une distribution proche de la loi normale et une variabilité régulière, par contre les deux autres coefficients sont supérieurs à 50% qui expriment à leur tour des distributions qui s'éloignent de la loi normale avec des variabilités irrégulières ;
- la concentration des données peut être qualifiée de normale pour le cas de la vallée d'Isser qui présente un coefficient d'aplatissement proche de Zéro, par contre elle est forte pour le cas de la basse Soummam et le bas Sébaou avec des coefficients d'aplatissement supérieurs à zéro ;
- Les coefficients d'asymétrie de Skewness sont tous positifs, ce qui implique que les dispersions des données de ces vallées sont étalées vers la droite.

Tableau IV.2.3 : Paramètres statistiques du Ca^{++}

Paramètres	l'Isser	la Soummam	le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	361,42	388,00	361,64
Valeur minimum	93,26	44,00	21,85
Etendue	268,16	344,00	339,79
La moyenne	191,22	143,23	123,15
Médiane	186,53	140,00	107,21
Ecart type	58,76	75,95	79,38
Variance	3453,11	5769,32	6302,09
Coefficient de variation	31,1%	53,0%	65,5%
Aplatissement	0,52	2,69	2,68
Asymétrie	0,74	1,47	1,67

- ❖ Les histogrammes de calcium donnés par les figures (**Fig.IV.2.3.a**, **Fig.IV.2.3.b**, **Fig.IV.2.3.c**), présentent un nombre de classes dominantes qui diffère d'une région à une autre. Nous retrouvons deux classes dans le cas de la vallée de bas Sébaou ([50 ;100], [100 ;150]), trois classes dans le cas de la vallée de bas Isser ([100 ;150],[150 ;200],[200 ;250]) et trois classes également dans le cas de la vallée de la basse Soummam([100 ;150]), [50 ;100], [150 ;200]).

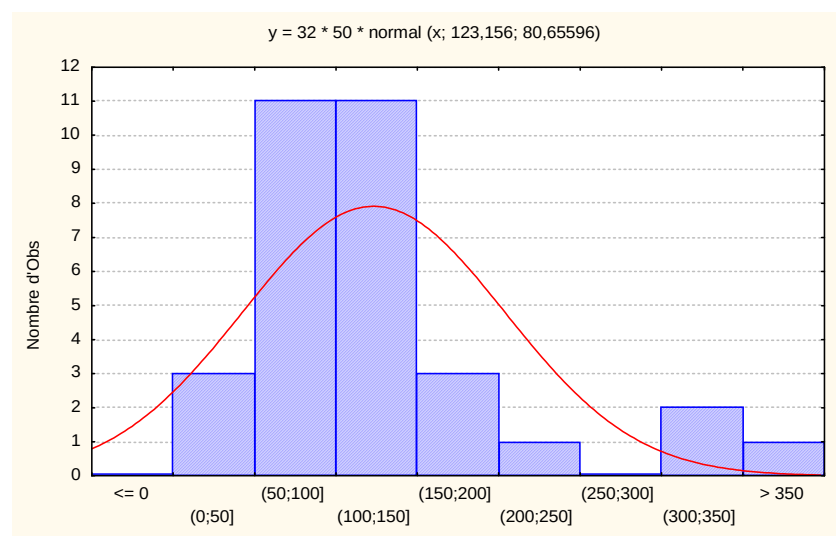


Fig.IV.2.3.a : Histogramme de fréquence du Ca (bas Sébaou)

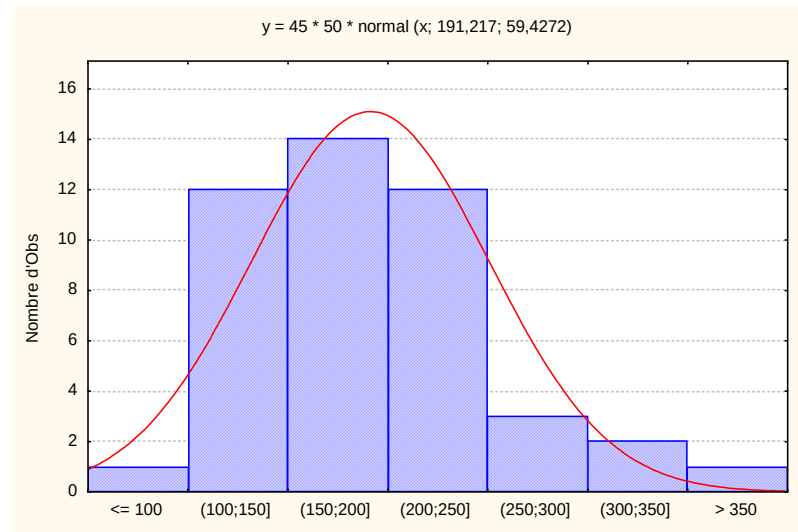


Fig.IV.2.3.b : Histogramme de fréquence du Ca (bas Isser)

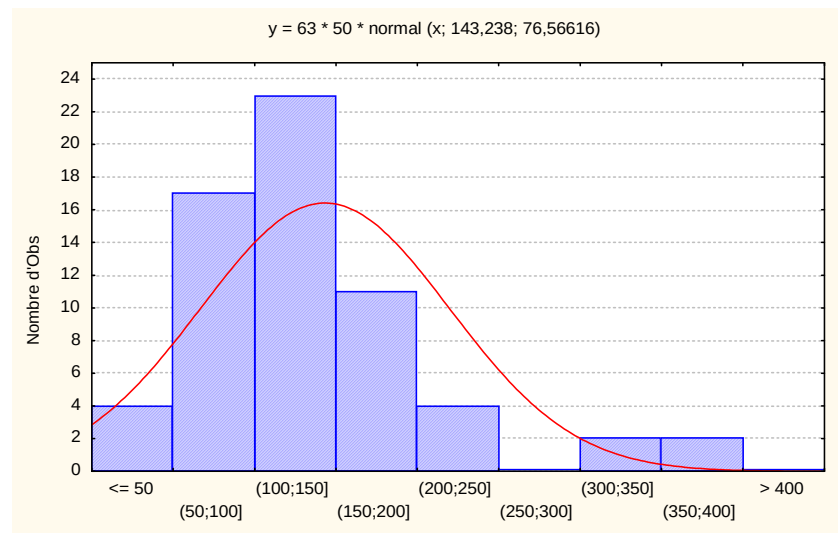


Fig.IV.2.3.c : Histogramme de fréquence du Ca (Basse Soummam)

IV.2.4)-Le Magnésium

Nous remarquons dans le tableau.IV.2.4, qui présente les paramètres statistiques de Magnésium que :

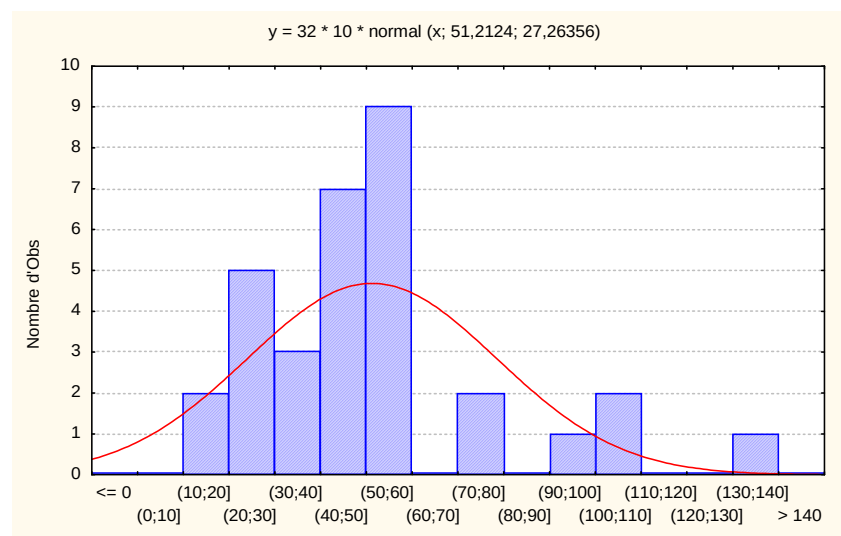
- la valeur maximale et la valeur minimale du magnésium sont contrastées dans les trois cas, ce qui implique l'importance des étendues ;
- les moyennes de magnésium des trois vallées sont proches de leurs médianes ;
- les écarts type entre les valeurs de magnésium des trois régions sont très élevés et ayant approximativement le même ordre de grandeur, ce qui veut dire que les données sont dispersées irrégulièrement ;
- des distributions proches de la loi normales et des variations régulières des données de la vallée d'Isser et la vallée de Sébaou peuvent être vérifiées par des coefficients de variation approximativement égale à 50%, alors que dans la vallée de la Soummam c'est tout à fait le contraire.

- Les trois coefficients d'aplatissement calculés dans les trois cas sont positifs, donc ils traduisent des fortes concentrations des valeurs expérimentales ;
- les coefficients d'asymétrie ont des valeurs positives mais qui ne sont pas grandes, ce qui nous permet de dire que les dispersions sont étirées vers la droite et les distributions sont assez symétriques et cela est bien expliqué par les formes des histogrammes (Fig. IV.2.4.a, Fig. IV.2.4.b, Fig. IV.2.4.c).

Tableau IV.2.4 paramètres statistiques du Mg

paramètres	L'Isser	La Soummam	Le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	179,33	187,20	130,14
Valeur minimum	15,42	12,00	10,64
Etendue	163,91	175,2	119,5
La moyenne	66,59	60,68	51,21
Médiane	60,12	51,60	48,96
Ecart type	32,79	37,05	26,83
Variance	1075,31	1373,03	720,07
Coefficient de variation	49,8%	62,0%	53,0%
Aplatissement	2,68	1,74	1,61
Asymétrie	1,49	1,29	1,22

- ❖ Les histogrammes de fréquence de magnésium (Fig.IV.2.4.a, Fig.IV.2.4.b, Fig.IV.2.4.c), présentent dans les cas étudiés des classes qui englobent un pourcentage d'observation important, nous trouvons deux classes ([50 ;60],[40 ; 50]) pour le cas de la région de bas Sébaou,trois classes ([60 ; 80],[40 , 60],[20 ; 40]) pour le cas de la région de bas Isser et une classe importante ([20 ; 40]) pour le cas de la région de la basse Soummam.

**Fig.IV.2.4.a : Histogramme de fréquence du Mg (bas Sébaou)**

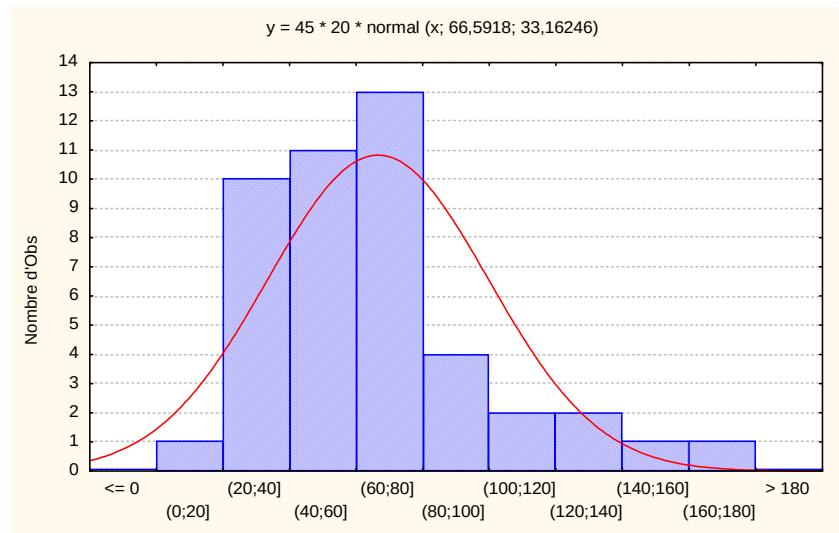


Fig. IV.2.4.b : Histogramme de fréquence du Mg (bas Isser)

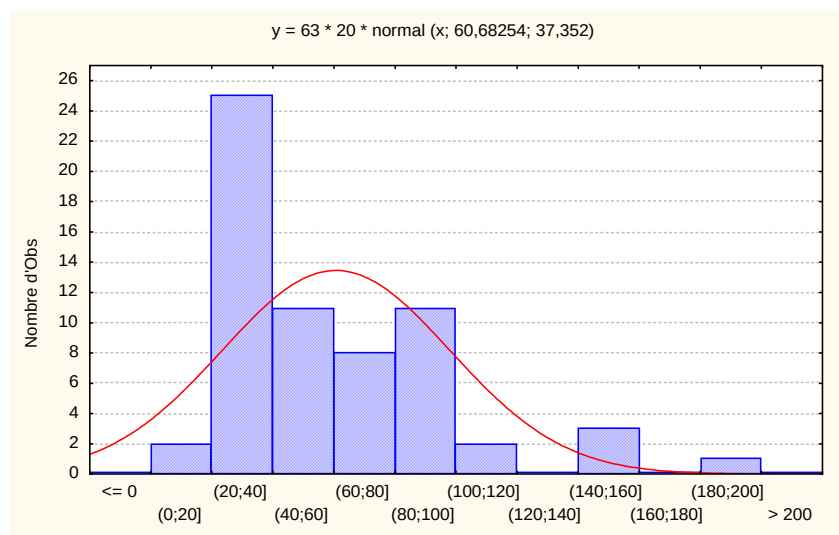


Fig.IV.2.4.c : Histogramme de fréquence du Mg (Basse Soummam)

IV.2.5) Le Sodium et le potassium

L'analyse des paramètres statistiques de sodium et de potassium donnés le tableau.IV.2.5, nous permet de constater que :

- des grandes valeurs maximales de sodium et de potassium sont enregistrées dans les trois vallées, mais la plus grande est observée dans la région de la Soummam ce qui prouve que cette région comprend des forages, qui renferment des quantités appréciables de sodium et de potassium ;
- la plus petite moyenne de sodium et de potassium est enregistrée dans la vallée de Sébaou, la plus grande dans la vallée de la Soummam et l'intermédiaire dans la vallée d'Isser ;
- les médianes sont un peu proches des moyennes ;
- les variances et les écarts type sont très élevés, ce qui exprime des dispersion non homogènes des données de ces régions ;
- Un coefficient de variation moyen qui vérifie une distribution proche de la loi normale avec une variabilité régulière des données de magnésium de la vallée d'Isser, par

contre dans le cas de la vallée de Sébaou et la Soummam nous avons des coefficients de variation très élevés, ce qui donne des distributions qui s'écartent de la normale avec des variabilités non régulières ;

- Les coefficients d'aplatissement sont supérieurs à zéro, ce qui se traduit par la forte concentration des valeurs expérimentales ;
- Les trois séries des données de magnésium ont des coefficients d'asymétrie positifs, indiquant des dispersions étalées vers la droite et sensiblement symétrique ce qui est bien éclairci par les formes des histogrammes donnés dans les figures (**Fig.IV.2.5.a**, **Fig.IV.2.5.b**, **Fig.IV.2.5.c**) ;

Tableau IV.2.5 : paramètres statistiques du Na +K

Paramètres	l'Isser	la Soummam	le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	300,00	393,30	342,00
Valeur minimum	51,00	16,10	20,00
Etendue	249,00	387,20	322,00
La moyenne	119,60	127,03	90,59
Médiane	100,00	101,20	67,00
Ecart type	61,14	78,94	76,30
Variance	3737,93	6231,79	5821,43
Coefficient de variation	52,0%	63,0%	85,6%
Aplatissement	0,98	2,21	2,84
Asymétrie	1,35	1,31	1,83

- ❖ L'observation des figures (**Fig.IV.2.5.a**, **Fig.IV.2.5.b**, **Fig.IV.2.5.c**), qui représentent les histogrammes de fréquence de sodium et de potassium des trois aquifères côtiers, nous permet de conclure que :

- la plupart des valeurs de sodium et de potassium de la région de Sébaou se regroupent respectivement dans les classes [100 ; 50] et [0 ; 50] ;
- la plus grande partie des valeurs de sodium et de potassium de la vallée d'Isser se trouve dans les classes suivantes ([60 ; 80], [80 ; 100], [100 ; 120], [120 ; 140]) ;
- la majorité des valeurs de sodium et de potassium de la région de la basse Soummam se localisent respectivement dans les intervalles [50 ; 100], [100 ; 150], [150 ; 200], [0 ; 50].

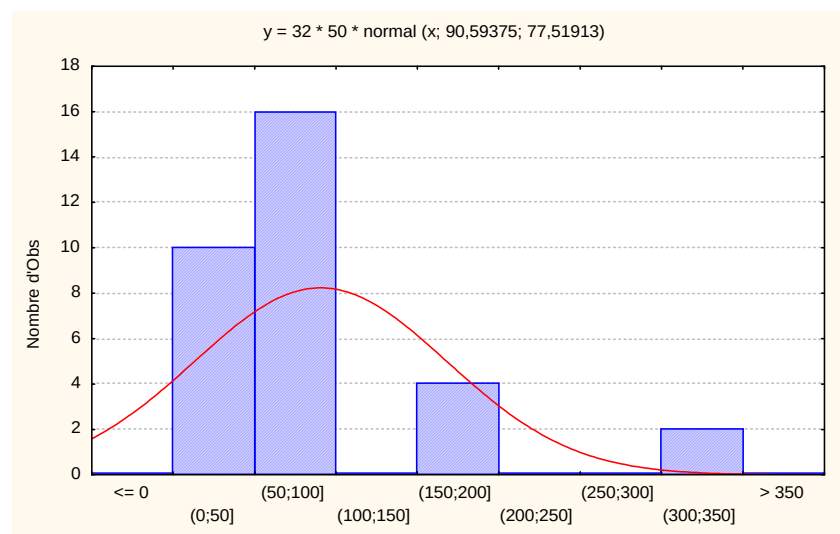
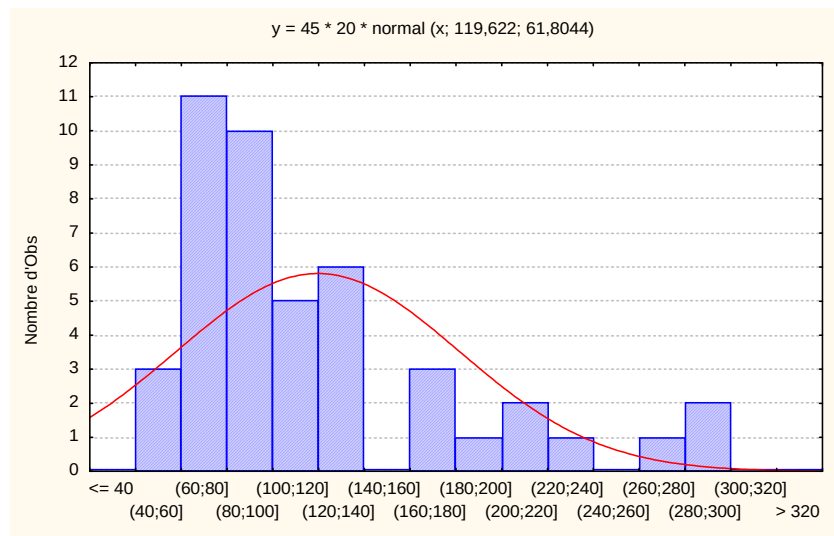
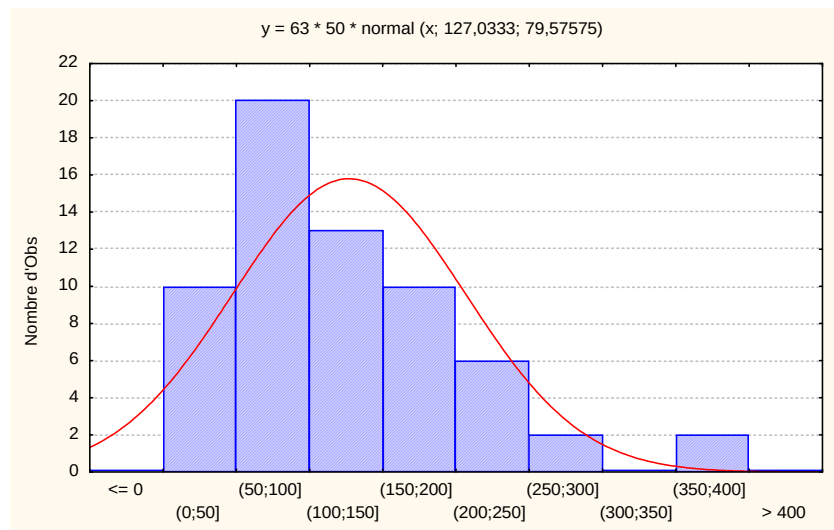


Fig.IV.2.5.a : Histogramme de fréquence de Na+K (bas Sébaou)**Fig.IV.2.5.b : Histogramme de fréquence de Na+K (bas Isser)****Fig.IV.2.5.c : Histogramme de fréquence de Na+K (Basse Soummam)**

IV.2.6) Les chlorures

En étudiant les résultats du tableau .IV.2.6, nous pouvons constater que :

- Les valeurs maximales des chlorures sont très élevées dans les trois régions surtout dans la région de Sébaou dont nous observons la plus grande valeur, et dans l'autre côté nous remarquons que les valeurs minimales sont très petites, ce qui prouve l'importance de l'écart entre les valeurs maximales et les valeurs minimales (l'étendue) ;
- Les moyennes des chlorures dans les trois aquifères sont un peu proches entre elles qui un résultat logique par ce que ces milieux sont exposés au problème d'intrusion marine (biseau salé) ;
- La dispersion, caractérisée par l'écart type et la variance qui sont très élevés, ce qui exprime l'hétérogénéité des données expérimentales des chlorures de ces régions ;

- Les valeurs du coefficient de variation des chlorures enregistrées dans la vallée de Sébaou et la vallée de la Soummam sont très importantes, ce qui signifie que la variabilité de ces données est irrégulière et la distribution est loin de la loi normale par contre nous avons une variabilité proche de la régulière et une distribution proche de la loi normale dans le troisième cas où le coefficient de variation peut être considéré moins important ;
- Les concentrations des données des chlorures de ces sous bassins sont denses, qui sont vérifiées par des coefficients d'aplatissement ayant des valeurs positives ;
- Des dispersions étirées vers la droite, sont justifiées par des coefficients d'asymétrie positifs et aussi par la forme donnée aux histogrammes des figures (**Fig. IV.2.1.c, Fig. IV.2.1.b, Fig. IV.2.1.c**).

Tableau IV.2.6 : Paramètres statistiques de Cl

Paramètres	L'Isser	La Soummam	Le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	685,00	958,50	1102,50
Valeur minimum	63,00	42,60	31,00
Etendue	622,00	915,90	1071,50
La moyenne	243,29	231,64	207,79
Médiane	224,00	177,50	114,00
Ecart type	135,93	183,83	235,57
Variance	18476,57	33794,29	55492,37
Coefficient de variation	56,5%	80,0%	115,2%
Aplatissement	2,69	6,61	6,66
Asymétrie	1,56	2,31	2,54

- ❖ L'observation des trois histogrammes de fréquence (**Fig.IV.2.6.a, Fig.IV.2.6.b, Fig.IV.2.6.c**) des chlorures, nous permet de voir qu'il y a la classe [0 ; 100] qui renferme un nombre important d'observation suivi par la classe [100 ; 200] pour le cas de la vallée de Sébaou. Les classes [100 ; 150], [150 ; 200], [200 ; 250], [250 ; 300], [300 ; 350] qui regroupent l'ensemble des observation des chlorures caractérisent les eaux souterraines de l'Isser et les classes [0 ; 100], [100 ; 200], [200 ; 300], [300 ; 400] qui ont plus observations par rapport aux autres classes dans le cas de la vallée de la Soummam.

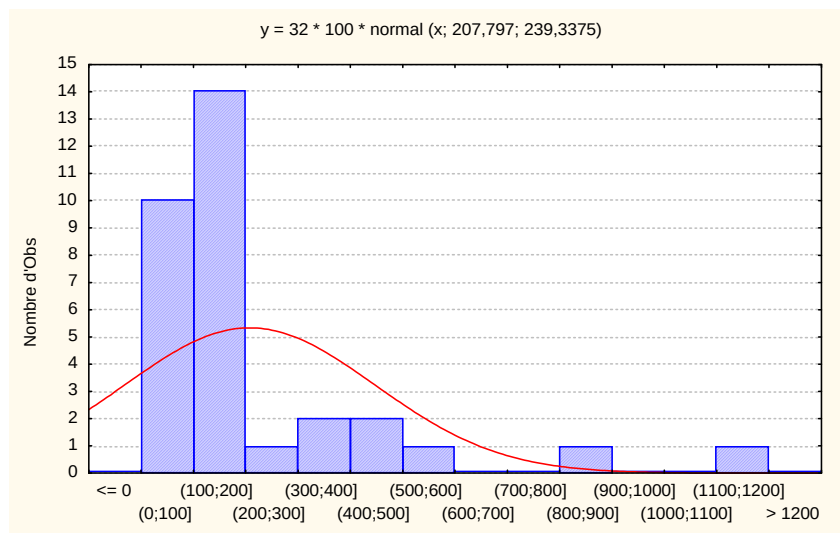


Fig.IV.2.6.a : Histogramme de fréquence des Cl (bas Sébaou)

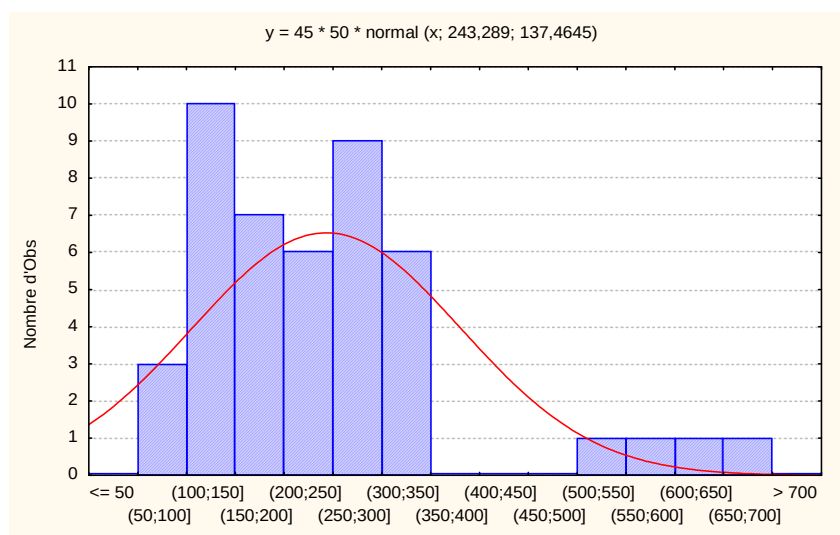


Fig.IV.2.6.b : Histogramme de fréquence des Cl (bas Isser)

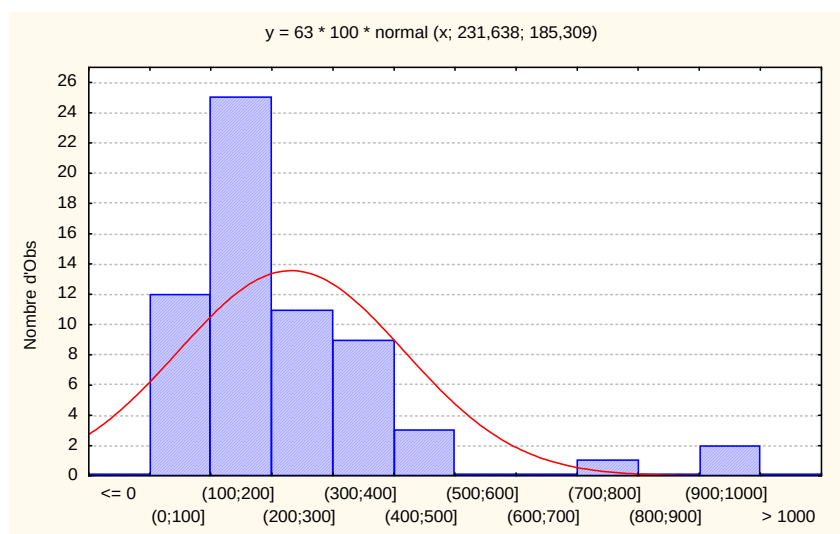


Fig. IV.2.6.c : Histogramme de fréquence des Cl (Basse Soummam)

IV.2.7) Les Sulfates

Les paramètres statistiques qui décrivent le comportement des sulfates sont donnés par le tableau IV.2.7 :

- Nous remarquons des valeurs maximales très importantes des sulfates sont enregistrées dans la vallée de la Soummam et la vallée d'Isser et nous remarquons aussi que la valeur minimale des sulfates dans la région d'Isser est plus importante que celles de Sébaou et la Soummam, ce qui indique que cette région contient des quantités importantes des sulfates ;
- Nous remarquons que la moyenne la plus importante des sulfates est celle de la plaine de la Soummam suivi de la moyenne de la plaine d'Isser et en dernier la moyenne de la plaine de Sébaou ;
- Nous remarquons, que les moyennes des teneurs en sulfates sont très élevées dans la plaine de la Soummam proches des médianes ;
- Nous remarquons que les trois dispersions sont hétérogènes, justifiées par des écarts type ayant des valeurs très élevées ;
- Nous remarquons que le coefficient de variation calculé pour les échantillons des sulfates de la vallée de bas Isser et les échantillons des sulfates de bas Sébaou n'est pas très élevé, ce qui implique que leurs distributions suivent une loi normale et leurs variabilités sont régulières, alors que le coefficient de variation des échantillons des sulfates de la basse Soummam est très élevé qui témoigne une distribution loin de la loi normale et une variabilité irrégulière ;
- une fortes concentrations des données des sulfates de ces régions sont observées, liées à des coefficients d'aplatissements positifs ;
- Nous remarquons que les trois coefficients d'asymétrie sont supérieurs à zéro, ce qui indique que les trois dispersions sont étalées vers la droite et cela est bien illustré par les histogrammes données dans par les figures (Fig. IV.2.7.a, Fig. IV.2.7.b, Fig. IV.2.7.c) .

Tableau IV.2.7 : Paramètres statistiques des SO₄

paramètres	l'Isser	la Soummam	le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	740,00	998,40	364,00
Valeur minimum	113,00	19,20	17,00
Etendue	626,00	979,20	347,00
La moyenne	252,40	290,63	157,41
Médiane	223,00	267,40	151,50
Ecart type	122,90	200,82	78,03
Variance	15104,95	40328,24	6088,62
Coefficient de variation	49,22%	69,7%	50,4%
Aplatissement	4,62	0,98	0,96
Asymétrie	1,90	0,90	0,79

- ❖ Nous voyons dans la figure (Fig. IV.2.7.a) qui donne l'histogramme de fréquence des sulfates de la basse vallée de Sébaou qu'il existe deux classes dominantes qui sont [100 ; 150], [150 ; 200]. L'histogramme de fréquence des sulfates de la basse vallée d'Isser montre deux classes ([100 ; 200], [200 ; 300]) qui expriment le plus important pourcentage d'observation de l'effectif total (Fig. IV.2.7.b) et l'histogramme de fréquence des sulfates de la basse vallée de la Soummam indique quatre classes qui

représentent un nombre d'observation important de l'effectif total ($[0 ; 100][100 ; 200][200 ; 300][300 ; 400]$) (**Fig. IV.2.7.c**) .

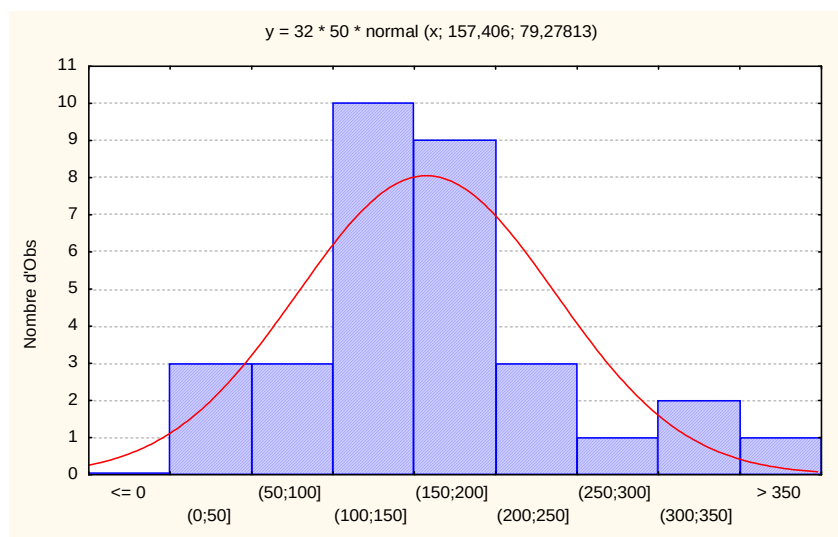


Fig. IV.2.7.a : Histogramme de fréquence des SO4 (bas Sébaou)

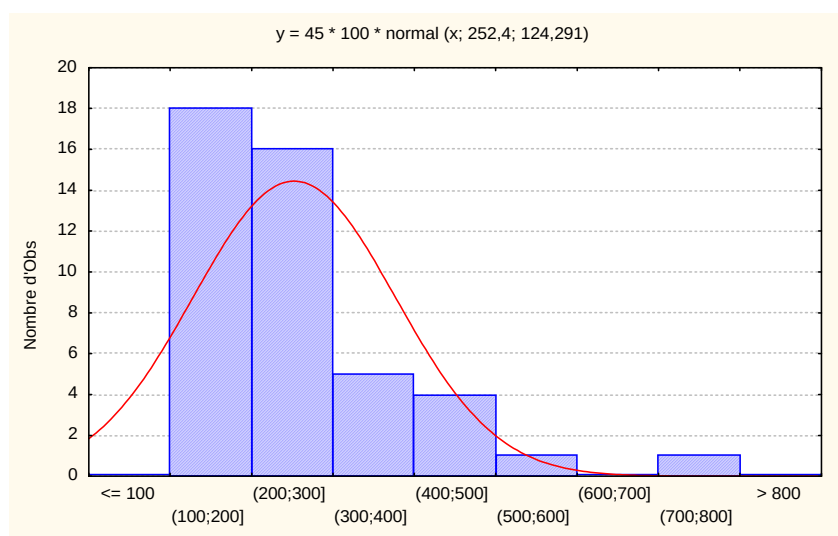


Fig.IV.2.7.b : Histogramme de fréquence des SO4 (bas Isser)

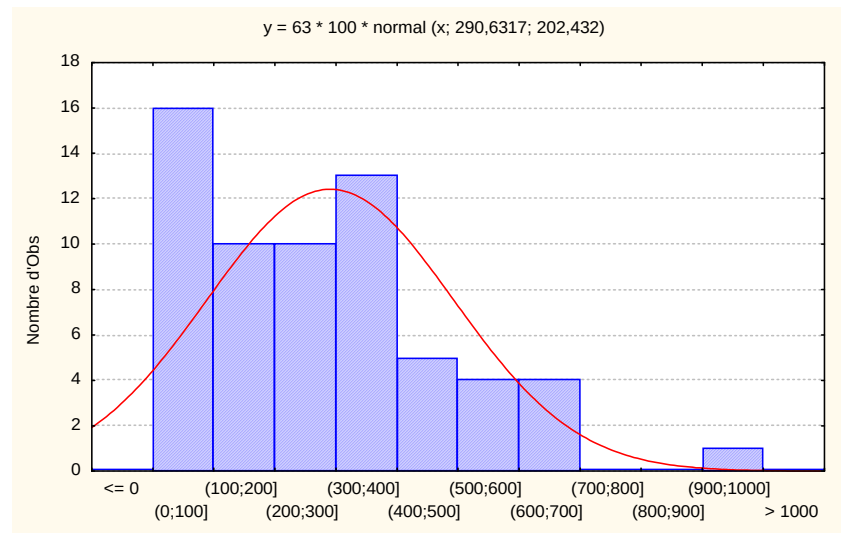


Fig.IV.2.7.c : Histogramme de fréquence des SO4 (Basse Soummam)

IV.2.8) Les Bicarbonates

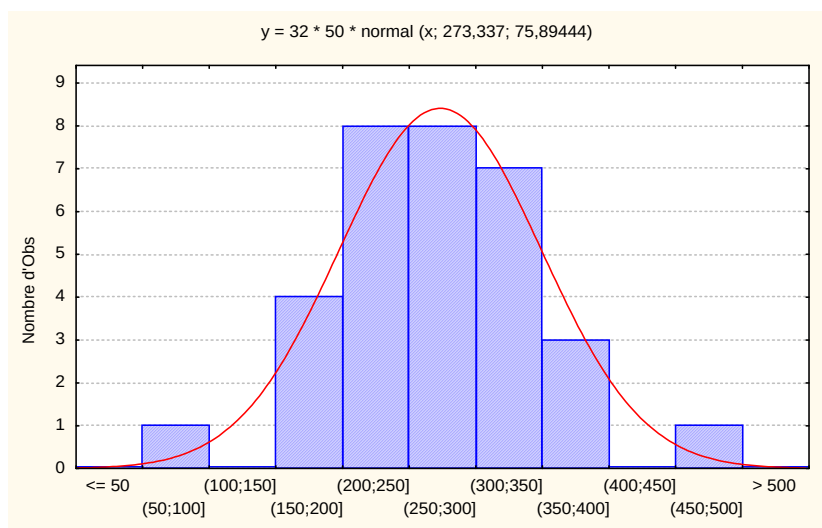
En analysant les résultats donnés dans le tableau VI.2.8, nous pouvons conclure que :

- un grand écart entre la valeur maximale et minimale est prouvé pour les trois cas étudiés, ce qui signifie l'importance de l'étendue, et nous remarquons également que la vallée de la basse Soummam est la plus riche en bicarbonates car elle présente une valeur minimale appréciable par rapport aux deux autres régions ;
- la moyenne la plus petite des bicarbonates est enregistrée dans la région de Sébaou, la plus grande dans la région d'Isser et l'intermédiaire dans la région de la Soummam ;
- Les moyennes et les médianes sont très proches et cela est vérifié dans les cas présentés ;
- Les dispersions des données des bicarbonates des trois vallées sont hétérogènes ;
- Les trois coefficients de variation ne sont pas très élevés, ce qui signifie que les distributions sont proches de la loi normale et les variabilités sont régulières ;
- Deux coefficients d'aplatissement positifs (celui de Sébaou et d'Isser) traduisent des fortes concentrations des données expérimentales, alors que le troisième (celui de la Soummam) est négatif ce qui donne une faible concentration de données expérimentales ;
- Une dispersion presque totalement symétrique est observée dans le cas de la vallée de Sébaou, vérifiée par un coefficient d'asymétrie très proche de zéro et deux dispersions sensiblement symétriques l'une étirée légèrement vers la droite (cas de la Soummam) une autre étirée légèrement vers la gauche (cas d'Isser) avec des coefficients d'asymétrie proches de zéro, les histogrammes donnés par les figures (**Fig.IV.2.8.a**, **Fig.IV.2.8.b**, **Fig.IV.2.8.c**) donnent plus d'explication sur ces situations.

Tableau.IV.2.8 : Paramètres statistiques des HCO_3^-

paramètres	l'Isse	la Soummam	le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	642,63	671,00	487,09
Valeur minimum	39,50	122,00	68,02
Etendue	603,13	559,00	421,07
La moyenne	398,06	330,91	273,34
Médiane	397,11	317,00	273,43
Ecart type	103,83	123,52	74,70
Variance	10779,81	15256,01	5579,97
Coefficient de variation	26,4%	37,6%	27,8%
Aplatissement	3,44	-0,42	1,81
Asymétrie	-0,91	0,29	0,08

- ❖ Les histogrammes de fréquence de cette variable (**Fig.IV.2.8.a, Fig.IV.2.8.b, Fig.IV.2.8.c**), présentent plusieurs classes dominantes. Nous retrouvons deux classes identiques [200 ; 250] et [250 ; 300] dans celui qui représente les bicarbonates de la vallée de Sébaou et une troisième [300 ; 350] très proche de ces dernières qui renferment plus d'observation de l'effectif total. L'histogramme des bicarbonates de la vallée d'Isse montre deux classes ([350 ; 400], [400 ; 450]) qui dominent l'ensemble des classes en présentant plus d'observation de l'effectif total. celui qui représente les bicarbonates de la basse Soummam présente trois classes ([300 ; 350], [400 ; 450], [150 ; 200]) dominantes qui renferment plus d'observation de l'effectif total suivi de plusieurs classes identiques exprimant des pourcentages d'observation plus au moins importants.

**Fig.IV.2.8.a : Histogramme de fréquence des HCO_3 (bas Sébaou)**

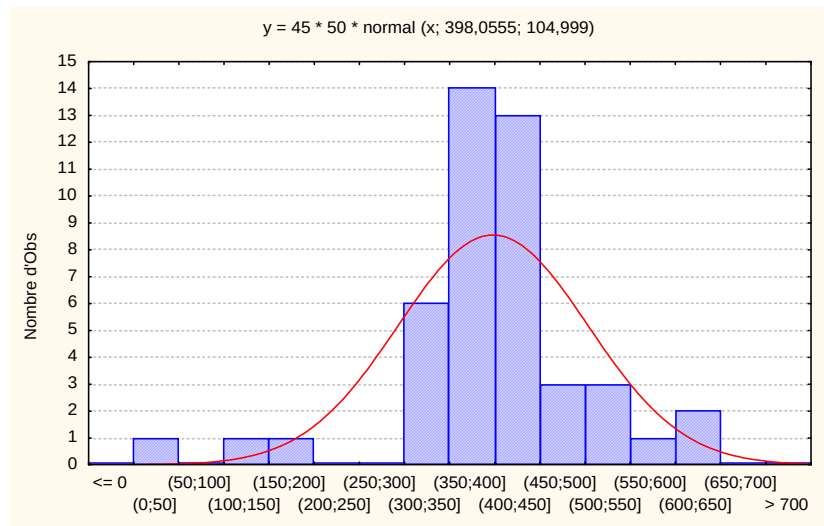


Fig.IV.2.8.b : Histogramme de fréquence des HCO₃ (Bas Isser)

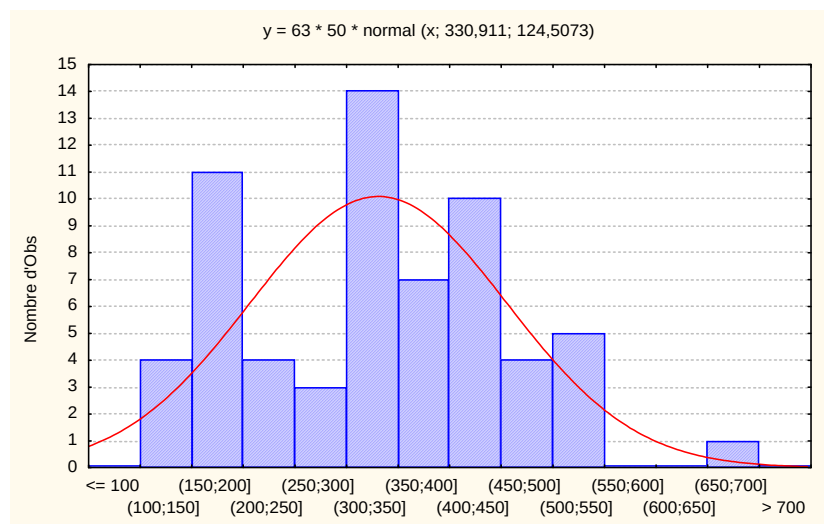


Fig.IV.2.8.c : Histogramme de fréquence des HCO₃ (basse Soummam)

VI.2.9) Les nitrates

L'étude des résultats des paramètres statistiques des nitrates, nous permet de constater que :

- La plus grande valeur maximale est enregistrée dans la vallée de bas Isser, ce qui témoigne la forte concentration des nitrates en cette région en opposé nous remarquons que la petite valeur des nitrates est enregistrée dans la basse Soummam ;
- Les écarts entre les valeurs maximales et minimales sont très élevés, ce qui signifie l'importance des étendues ;
- La moyenne des nitrates de la régions de bas Isser est très importantes par contre dans les deux autres régions sont égales ;
- Les écarts type des valeurs des trois régions sont très élevés ce qui confirme l'hétérogénéité des valeurs expérimentales.
- les coefficients de variation ayant des valeurs très importantes, ce qui signifie que les trois distributions s'éloignent de la loi normale et les variabilités sont irrégulières.

- Les coefficients d'aplatissement sont positifs dans les trois cas, ce qui implique que les concentrations des données des trois régions sont fortes.
- Les trois coefficients d'asymétrie sont positifs, ce qui explique que les dispersions sont étalées vers la droite, et cela est bien confirmé par les formes des histogrammes donnés dans les figures (Fig.IV.2.9.a, Fig.IV.2.9.b, Fig.IV.2.9.c).

Tableau .IV.2.8 : paramètres statistiques des NO₃

paramètres	l'Isse	la Soummam	le Sébaou
Taille	45	63	32
Valeur maximum	214,90	124,00	106,50
Valeur minimum	7,00	0,01	1,00
Etendue	207,90	123,99	105,50
La moyenne	68,39	22,64	22,53
Médiane	55,00	12,40	9,20
Ecart type	44,91	25,79	28,52
Variance	2016,51	665,358	813,17
Coefficient de variation	66,4%	114,5%	128,9%
Aplatissement	1,75	2,48	2,26
Asymétrie	1,27	1,53	1,75

- ❖ Nous remarquons dans les figures qui donnent les histogrammes de fréquence des nitrates, l'existence des classes qui renferment des pourcentages d'observation très élevés où le nombre diffère d'une région à une autre :
- une classe [0 ; 10] au cas de la basse vallée de Sébaou ;
 - quatre classes ([20 ; 40], [40 ; 60], [60 ; 80], [80 ; 100]) au cas de la basse vallée d'Isse ;
 - une classe importante ([0 ; 10]) et trois autres plus au moins importantes ([10 ; 20], [20 ; 30], [60 ; 70]) au cas de la vallée de la basse Soummam.

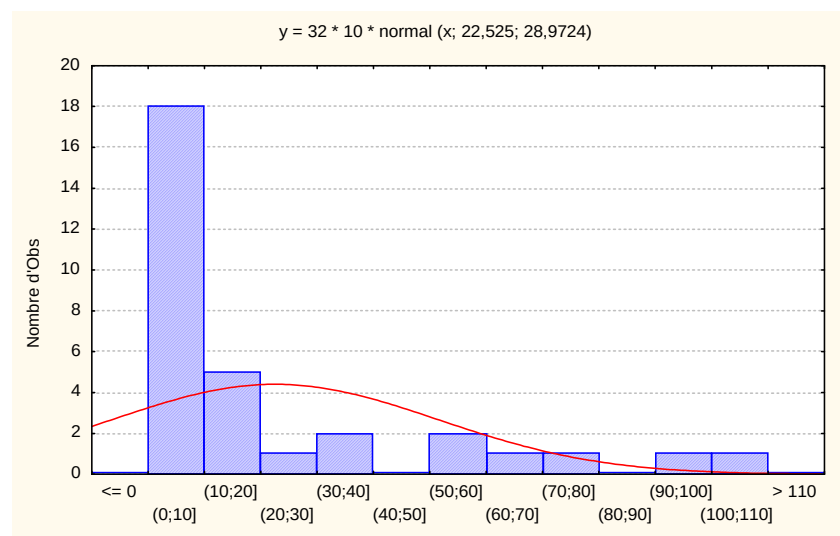


Fig.IV.2.9.a : Histogramme de fréquence des NO₃ (bas Sébaou)

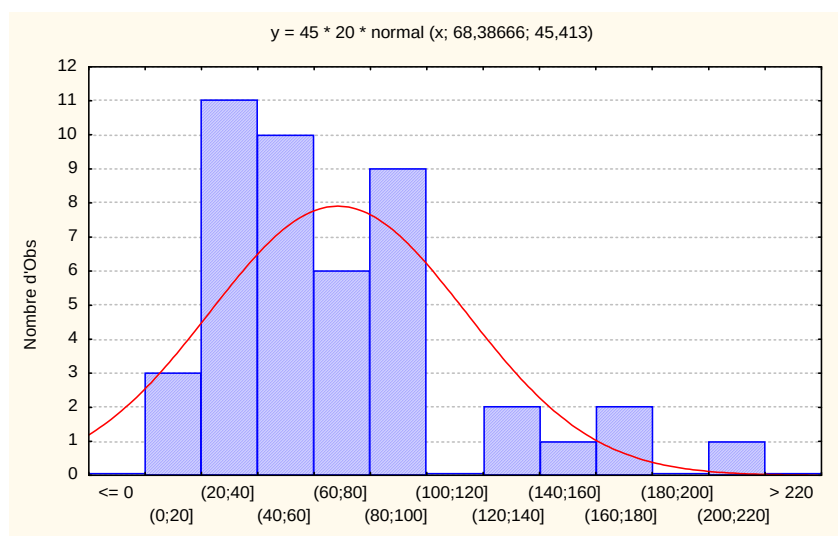


Fig.IV.2.9.b : Histogramme de fréquence des NO₃ (bas Isser)

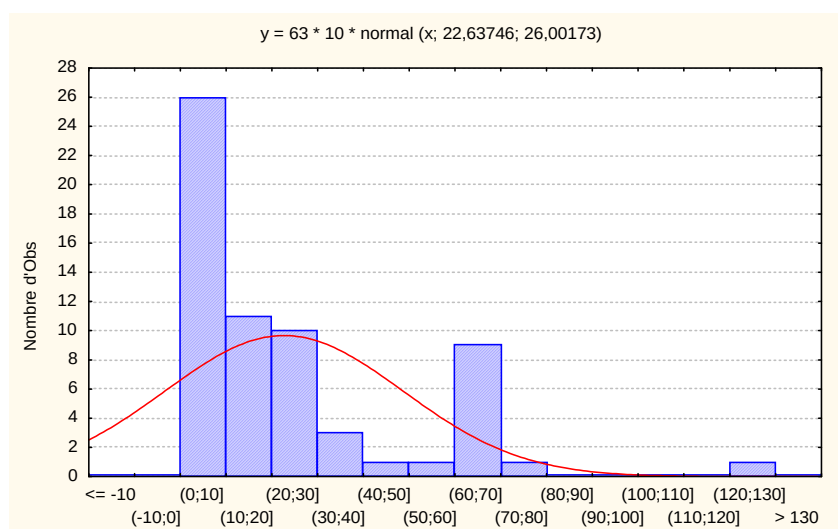


Fig.IV.2.9.c : Histogramme de fréquence des NO₃ (Basse Soummam)

VI.3) Comparaison des concentrations des éléments physico-chimique et chimique des eaux souterraines des trois aquifères aux normes de l'O.M.S

Nous examinons la qualité des eaux souterraines des trois vallées bas Isser, bas Sébaou et la basse Soummam en les comparant aux normes internationales retenues par l'O.M.S (Organisation Mondiale de la Santé), nous obtenons les résultats donnés dans le tableau.IV.3.1

Le Tableau IV.3.1: Les normes applicables aux eaux destinées à l'alimentation en eau potable

Les éléments	Concentration max admissible	Le nombre de points dépassant la norme en bas Isser	Le nombre de points dépassant la norme en basse Soummam	Le nombre de points dépassant la norme en bas Sébaou
<i>pH</i>	8.5 /	0	0	0
<i>CE</i>	1.25 mS/cm	40	40	10
<i>Ca</i>	200 (mg/l)	17	7	4
<i>Mg</i>	150 (mg/l)	2	3	0
<i>Cl</i>	600 (mg/l)	1	2	2
<i>Na+K</i>	162 (mg/l)	10	21	6
<i>SO4</i>	400 (mg/l)	6	9	0
<i>NO3</i>	50 (mg/l)	25	5	6

Les résultats de tableau ci-dessus, nous permettent de tirer les observations suivantes :

1. Les valeurs de pH des eaux souterraines des trois régions, sont dans l'ensemble toutes inférieures à la teneur maximale admissible ;
2. Plus de 80% des conductivités électriques des eaux mesurées dans les puits et les forages des nappes alluviales du bas Isser et de la basse Soummam dépassent les normes admissibles données par l'O.M.S, ce qui implique que les eaux souterraines de ces régions ont une forte minéralisation et nous remarquons aussi que dans la vallée de Sébaou quelques points présentent des conductivités supérieures à la norme admissible ;
3. près de 40% des points d'eau dans la vallée d'Isser et quelques points dans la vallée de la Soummam et la vallée de Sébaou présentent des valeurs du calcium supérieures aux normes admissibles ;
4. les concentrations en magnésium des eaux souterraines de la plaine de Sébaou sont toutes inférieures à la norme admissible, alors que la plaine vallée de l'Isser et la plaine vallée de la Soummam abritent quelque points qui ayant des concentrations supérieures aux norme admissibles.
5. les teneurs en chlorures dans les trois régions sont toutes admissibles mises à part un ou deux points qui présentent des particularités.
6. Six points d'eau dans la vallée d'Isser et neuf points d'eau dans la vallée de la Soummam présentent des concentrations en sulfates supérieures aux normes admissibles et aucun point n'a été enregistré dans la vallée de bas Sébaou.
7. Les normes admissibles des teneurs en nitrates ont été dépassées dans la plupart des puits et forages de la région de bas Isser, alors que cinq et six points d'eau dans la région de la basse Soummam et le bas Sébaou qui ont des valeurs supérieures aux normes admissibles.

IV.4) L'étude de corrélation entre les variables

Nous avons établi les matrices des coefficients de corrélation entre les éléments, afin de distinguer les éléments corrélables entre eux, en se basant sur l'importance et le signe des coefficients de corrélation.

IV.4.1) Cas de la vallée de bas Sébaou

Le Tableau IV.4.1 donne les coefficients de corrélation entre les variables de la basse vallée de Sébaou. Nous constatons que :

-la conductivité électrique est très influencée respectivement par les chlorures, le sodium et le potassium, le calcium, les sulfates, le magnésium et moyennement par les bicarbonates ;

-les $Na+K$ et Cl sont naturellement en très forte corrélation avec un coefficient de corrélation égale à 0.97. Du fait qu'ils proviennent de la dissolution de chlorure de sodium (sel) ou leurs association qui donne le chlorure de sodium ;

- une très bonne corrélation entre les couples (anion ; cation) suivant :
 $(Cl ; Ca)$: 0.86, $(SO_4 ; Ca)$: 0.86, $(Cl ; Mg)$: 0.77, $(SO_4 ; Mg)$:0.79;

-les bicarbonates présentent une corrélation considérée moyenne avec les sulfates ($r = 0.613$), les chlorures ($r = 0.39$), le magnésium ($r = 0.57$), le sodium et potassium ($r = 0.5$) et le calcium ($r = 0.48$) ;

-les nitrates n'expriment aucune corrélation avec l'ensemble des variables et aucune influence sur la conductivité électrique.

Tableau IV.4.1 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques de l'aquifère du bas Sébaou

	CE	Cl	SO4	HCO3	NO3	Ca	Mg	Na+K
CE	1,00							
Cl	0,98	1,00						
SO4	0,89	0,79	1,00					
HCO3	0,53	0,39	0,61	1,00				
NO3	0,02	-0,08	0,08	-0,06	1,00			
Ca	0,91	0,86	0,81	0,48	0,18	1,00		
Mg	0,80	0,77	0,79	0,57	-0,15	0,54	1,00	
Na+K	0,98	0,97	0,85	0,50	-0,04	0,85	0,79	1,00

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,050$ (Test bilatéral)

IV.4.2) Cas de la vallée de Bas Isser

Au niveau de l'aquifère (Bas Isser) et selon les résultats de Tableau IV.4.2, nous pouvons dire que le sodium et le potassium sont en bonne corrélation respectivement avec les chlorures et les sulfates, $(Na + K ; Cl)$: $r = 0.85$, $(Na + K ; SO_4)$: $r = 0.78$;

Les anions (Cl et SO_4) forment avec les cations (Ca, Mg) des couples bien corrélés :
 $(Cl ; Ca)$: $r = 0.80$, $(SO_4 ; Ca)$: $r = 0.76$, $(Cl ; Mg)$: $r = 0.82$, $(SO_4 ; Mg)$: $r = 0.82$;

Par ailleurs la minéralisation caractérisée par la conductivité est plus influencée par : les chlorures $r=0.93$, le magnésium $r=0.90$, les sulfates $r=0.89$, le calcium $r=0.88$, le sodium et le potassium $r=0.87$ et faiblement par les bicarbonates;

Une corrélation moyenne est exceptionnelle dans ce cas apparaît entre les nitrates et le calcium et nous remarquons aussi que les nitrates présentent une influence sur la CE.

Tableau IV.4.2 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques de l'aquifère du bas Isser

	CE	Cl	SO4	HCO3	NO3	Ca	Mg	Na+K
CE	1							
Cl	0,93	1						
SO4	0,89	0,79	1					
HCO3	0,57	0,37	0,40	1				
NO3	0,41	0,31	0,25	0,17	1			
Ca	0,88	0,80	0,76	0,55	0,42	1		
Mg	0,90	0,82	0,82	0,61	0,31	0,74	1	
Na+K	0,87	0,85	0,78	0,43	0,30	0,62	0,70	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,050$ (Test bilatéral)

2.3) Cas de la vallée de la Basse Soummam

Au niveau de l'aquifère de la basse vallée de la Soummam, la conductivité électrique est influencée par le magnésium ($r=0.92$) (Tableau IV.4.3), les chlorures ($r=0.90$), les sulfates ($r=0.87$), le calcium ($r=0.86$) et le sodium+potassium ($r=0.82$). Les cations (Ca ; Mg ; $Na+K$) sont en bonne corrélation avec les anions (Cl ; $SO4$) ; en général ces éléments sont en bonne corrélation entre eux.

Tableau IV.4.3: Matrice de corrélation des paramètres chimiques de l'aquifère de la basse Soummam

	CE	Cl	SO4	HCO3	NO3	Ca	Mg	Na+K
CE	1.00							
Cl	0.90	1.00						
SO4	0.87	0.68	1.00					
HCO3	0.36	0.22	0.22	1.00				
NO3	0.06	0.03	-0.11	0.23	1.00			
Ca	0.86	0.74	0.85	0.38	0.08	1.00		
Mg	0.92	0.83	0.80	0.43	0.10	0.79	1.00	
Na+K	0.82	0.90	0.63	0.27	-0.07	0.62	0.74	1.00

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,050$ (Test bilatéral)

Conclusion

L'analyse statistique élémentaire des paramètres physico-chimique et chimique des trois régions, nous permet de conclure :

- Le potentiel d'hydrogène de ces régions a un caractère légèrement basique ;
- La CE présente des valeurs très élevées dans la région de l'Isser et la Soummam qui due aux conditions géologiques particulières. Localement relire en éléments de type Na , Cl , Ca , $SO4$.

- Les anions qui dominent dans les eaux souterraines de ces régions sont les chlorures, les bicarbonates et les sulfates ;
- Le calcium est le cation qui domine dans les trois aquifères ;

La comparaison des concentrations en éléments chimiques par rapport aux normes de l'O.M.S, nous permet de constater que les eaux souterraines de ces régions dans l'ensemble sont d'une qualité chimique assez bonne même s'il existe quelques points d'eau qui présentent des particularités.

L'étude de corrélation a mis en évidence :

- une relation étroite entre la CE et le magnésium, les sulfates, les chlorures, le calcium, le sodium et le potassium et en faible mesure avec les bicarbonates ;
- une très bonne corrélation entre les anions (Cl, SO₄) et les cations (Ca, Mg, Na, K) ;
- les nitrates qui sont indépendants de toutes les autres variables ce qui met en évidence son origine qui provient essentiellement de l'utilisation en excès des engrais azotés et éventuellement des rejets domestiques et industriels.

CHAPITRE V

L'Analyse en Composantes Principales (ACP)

V.1) Généralités sur l'analyse factorielle

V.1.1) Introduction

Dans le cadre de l'étude de la chimie des eaux des puits et des forages, on observe non pas un seul paramètre (variable), mais un nombre souvent élevé de paramètres à la fois. L'étude séparée de chacune de ces variables est une phase importante lors de l'analyse du comportement chimique des eaux souterraines mais elle est souvent insuffisante. En effet, l'étude séparée de chaque variable laisse de côté les liaisons qui peuvent exister entre elles et qui ont souvent un aspect très important.

Il faut donc analyser les données en tenant compte de leur caractère multidimensionnel. L'analyse factorielle est une méthode particulièrement puissante pour explorer la structure de telles données. suivre l'évolution chimique de l'eau d'une source revient à observer, dans un espace constitué d'un nombre de dimension égal au nombre des paramètres chimiques considérés, la trajectoire dans le temps d'un point représentatif de sa composition chimique.

L'analyse factorielle est une méthode de synthèse qui permet de représenter un espace multidimensionnel par un espace de dimensions réduites qui soit une bonne approximation de l'espace multidimensionnel. Par exemple, un nuage de points dans un espace bidimensionnel peut être représenté par une simple droite de régression (analyse variée).

V.1.2) Les principales méthodes de l'analyse factorielle

- L'analyse en composantes principales (ACP) ;
- L'analyse factorielle des correspondances (AFC) ;
- L'analyse factorielle d'un tableau de distance ;
- L'analyse factorielle discriminante (AFD).

V.2) l'analyse en composantes principales

Le but de l'ACP étant la simplification de la matrice de données initiales représentant les résultats des analyses physico-chimiques et chimiques qui ont été effectués sur l'ensemble des puits et forages des plaines alluviales du Nord-Est algérien. Les calculs seront effectués par le logiciel Excel stat ; ce dernier consiste à analyser un tableau " individus-variables " en composantes principales.

Pour détecter l'influence respective des différents facteurs sur le comportement chimique des eaux souterraines, il est nécessaire de rechercher des corrélations entre ceux-ci et la réponse chimique les différentes variables.

Nous utiliserons l'analyse en composantes principales en l'appliquant aux séries d'éléments majeurs mesurés afin de déceler les variations non aléatoires de cette réponse chimique.

Les paramètres retenus sont donc : *CE (conductivité électrique), pH, Ca, Na+K, Mg, NO₃, Cl, SO₄, HCO₃.*

V.2.1) La démarche de l'ACP:

- 1^{ère} étape : la matrice des valeurs brutes.
- 2^{ème} étape : Calcul des paramètres statistiques de la matrice de données initiales X (calcul des moyennes et des écarts type par variables).
- 3^{ème} étape : Construction de la matrice des coefficients de corrélation linéaire R.
- 4^{ème} étape : Construction de la matrice de la charge des composantes F (valeur propre).
- 5^{ème} étape : Construction de la matrice de A en procédant à la rotation orthogonale (Vecteur propre).
- 6^{ème} étape : les cercles de corrélation.
- 7^{ème} étape : les graphes des individus.

V.2.2) L'application de l'ACP aux séries des éléments hydrochimiques des trois aquifères

Les résultats de l'ACP donnés dans la partie qui suit, où nous avons considéré les éléments chimiques (Ca, Na+K, Mg, NO₃, Cl, SO₄, HCO₃) comme variables principales et les deux éléments physico-chimiques (CE, pH) comme des variables supplémentaires.

V.2.2.1) La vallée de Sébaou

❖ La matrice de corrélation

Les coefficients de corrélation entre les variables prises deux à deux pour le Ca, Mg, Na + K, Cl, SO₄ et la conductivité, varie entre 0,39 et 0,96, pour le HCO₃, Na+K et NO₃ le coefficient varie entre 0,35 et – 0,08.

Tableau V.1.1 : matrice de corrélation des paramètres chimiques de l'aquifère de Sébaou

	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Ca	Mg	Na+K
Cl	1						
SO ₄	0,791	1					
HCO ₃	0,390	0,613	1				
NO ₃	-0,084	0,084	-0,057	1			
Ca	0,862	0,813	0,482	0,184	1		
Mg	0,767	0,790	0,568	-0,149	0,537	1	
Na+K	0,966	0,848	0,499	-0,042	0,848	0,788	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,050$ (Test bilatéral)

❖ Les valeurs propres

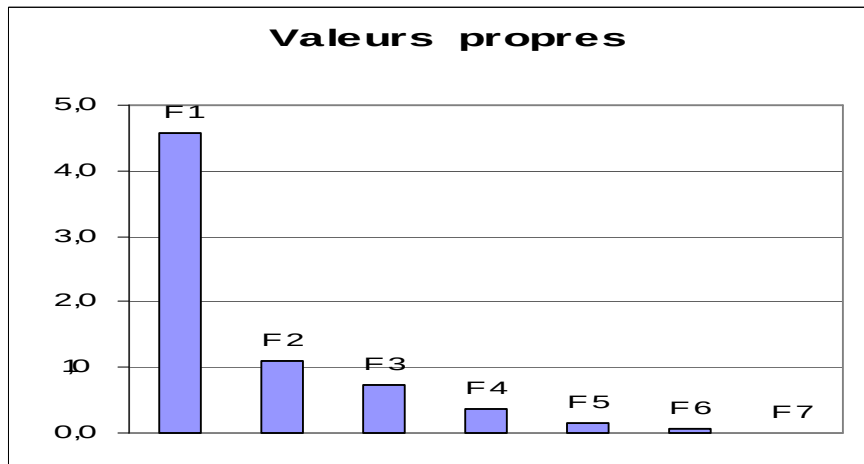
Nous remarquons dans le tableau V.1.2, que le premier axe (F1) a la valeur propre la plus importante qui est égale 4.567 et qui correspond à un pourcentage de 65.37% de la variance totale, suivi de deuxième axe (F2) ayant une valeur 1.11 correspondant à un pourcentage de 15.83% de la variance totale, enfin le troisième axe (F3) qui a une valeur de 0.72 et un pourcentage de 10.03% de la variance totale.

Le pourcentage d'information donné par ces trois axes est égale 91.52%, donc il est largement suffisant de prendre en considération que ces trois axes.

Tableau V.1.2 : valeurs propres

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Valeur propre	4,576	1,110	0,721	0,372	0,153	0,059	0,010
% variance	65,374	15,834	10,307	5,321	2,186	0,839	0,139
% cumulé	65,37	81,21	91,52	96,84	99,02	99,86	100,00

- L'histogramme ci-dessous représente les valeurs propres et l'information donnée par chaque axe.

**Fig. V.1.1 : Histogrammes des valeurs propres**

❖ Vecteurs propres

Le tableau V.1.3 donne les coefficients de corrélation entre les axes et les variables, nous avons pour chaque coefficient de corrélation ayant une valeur importante (en valeur absolue) présente plus d'information sur cet axe :

- sur l'axe F1 : les coordonnées des variables (Cl ; SO_4 ; HCO_3 ; Ca ; Mg ; $Na+K$) sont toutes positives donc corrélables positivement avec cet axe, à l'exception de NO_3 qui a une valeur petite est négative.
- sur l'axe F2 : les nitrates exprime une forte corrélation, avec cet axe avec un coefficient de corrélation de 0.92.
- Sur l'axe F3 : la variable HCO_3 a une valeur positive sur cet axe, ce qui signifie qu'elle présente une forte corrélation avec ce dernier.

Tableau V.1.3 : Vecteurs Propres

paramètre	F1	F2	F3
Cl	0,435	-0,032	-0,388
SO4	0,436	0,092	0,106
HCO3	0,303	-0,120	0,850
NO3	-0,006	0,924	0,156
Ca	0,411	0,268	-0,172
Mg++	0,399	-0,223	0,098
Na+K	0,448	-0,012	-0,229

❖ Les cercles de corrélation

Dans l'espace des variables indiquer dans les figures figV.1.2, nous remarquons :

Sur l'axe1 :

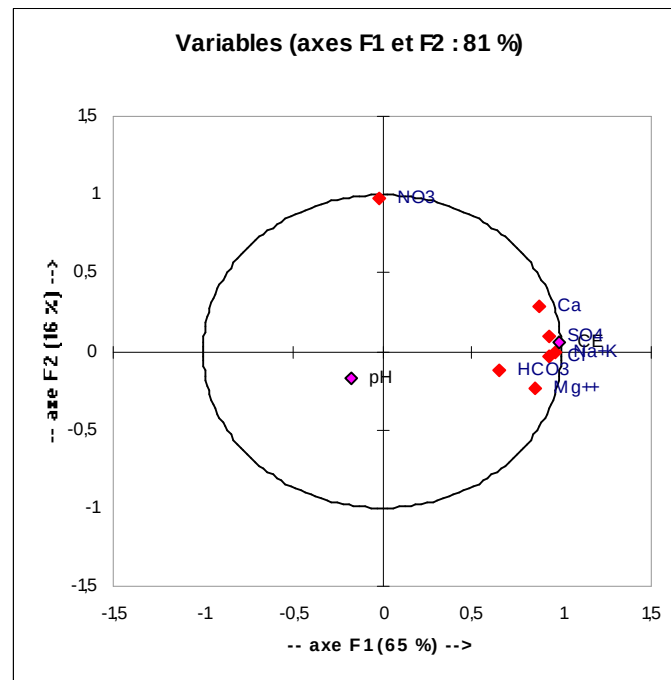
Un groupement de variable intimement lié à savoir $Na+K$, Cl , SO_4 , Ca , Mg avec la CE ces variables expliquent d'ailleurs la CE . Les bicarbonates sont légèrement décalé par rapport à cet ensemble.

Sur l'axe 2 :

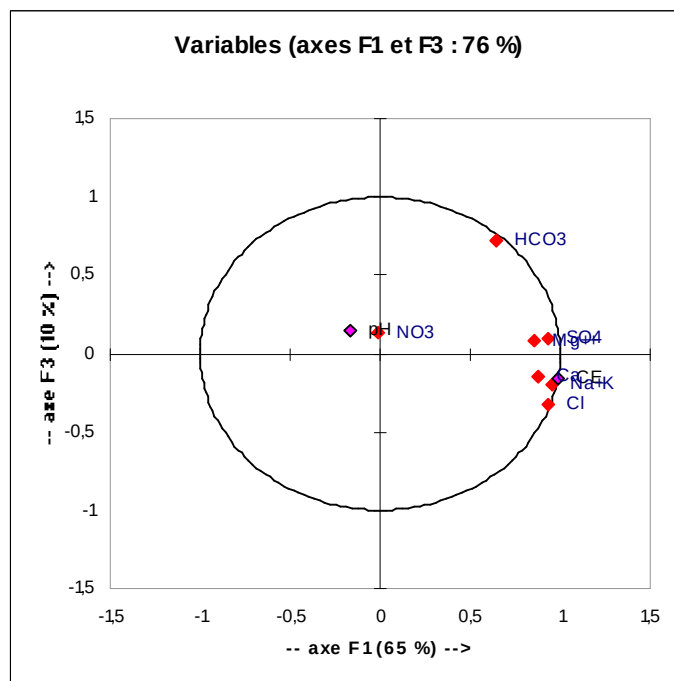
Il y a que les nitrates qui présentent une corrélation avec ce deuxième axe.

Sur l'axe3 : (fig. V.1.3)

Sur cet axe il y a que les bicarbonates qui montrent une corrélation importante alors que toutes les autres variables sont faiblement corrélées avec cet axe.



FigV.1.2 : Cercle de corrélation plan (1-2)



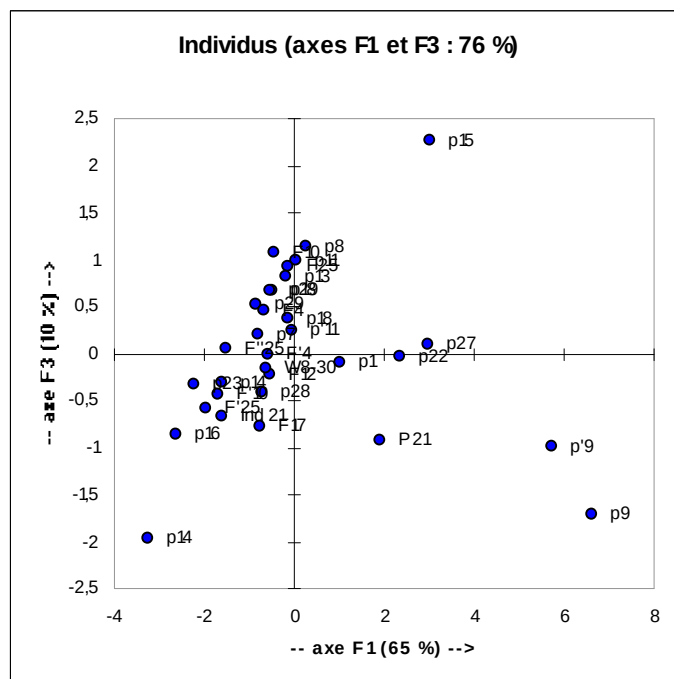
FigV.1.3 : Cercle de corrélation plan (1-3)

❖ les individus

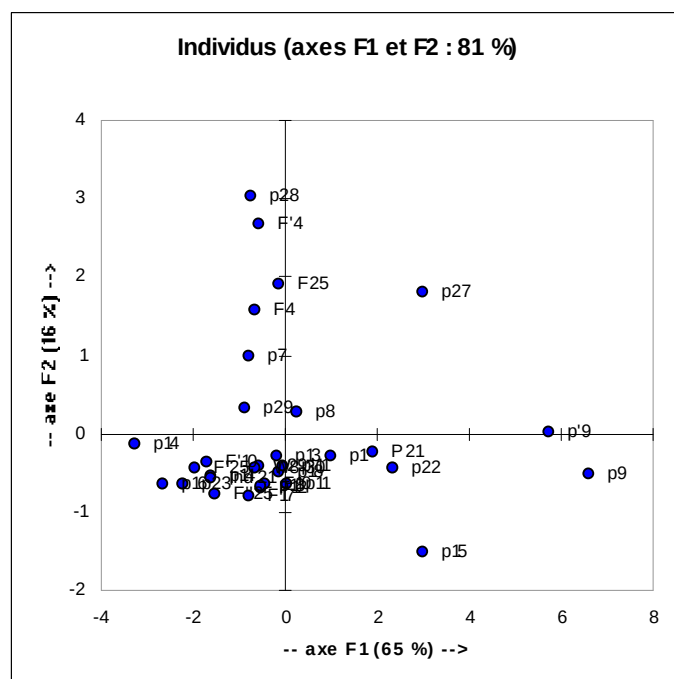
Nous remarquons dans la FigV.1.4 et la FigV.1.5, que l'ensemble des puits et forages de la région de la basse vallée de Sébaou présentent un chimisme identique sauf pour quelques points qui sont éloignés de groupe (p15.p9.p'9.p21.p14.p27.p22.F4.F'4.p7.p8.p28.F25) qui ont des caractéristiques chimiques différentes.

Pour les points (p15. p9. p27.p21. p22), cette différence est due à des teneurs très élevées en chlorures et des bicarbonates. Par contre les points (p7.F25.p8.p28, F25, F4, F'4), qui présentent aussi une particularité, on trouve qu'ils ont des teneurs en nitrates très élevées ;

Nous remarquons également que pour quelques points où on a deux prélèvements (p9,F4,F25,p10,p21,p1) (prélèvement de mai) , et (p'9,F'4,F'25,p'21,p'10,p'1) (prélèvement de septembre) qu'il y a un petit écart qui est du probablement à l'effet de l'évaporation, les précipitations qui augmentent les teneurs de certains éléments (Chlore,Sodium..), ou la forte utilisation des engrais par les agriculteurs pendant une saison sans l'autre.



FigV.1.4 : projection des individus (Bas Sébaou) sur le plan (1-3)



FigV.1.5 : projection des individus (Bas Sébaou) sur le plan (1-2)

V.2.2.2) La vallée d'Isser

❖ Matrice de corrélation

Nous remarquons dans cette matrice que les chlorures sont en bonne corrélation avec le calcium, les sulfates, le magnésium, le sodium et le potassium.

Une corrélation moyenne entre HCO_3 et les variables Ca , Mg et $Na+K$;

Nous remarquons également une corrélation entre NO_3 et le Ca .

Tableau V.2.1 : matrice de corrélation

	<i>Cl</i>	<i>SO4</i>	<i>HCO3</i>	<i>NO3</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na+K</i>
<i>Cl</i>	1						
<i>SO4</i>	0,796	1					
<i>HCO3</i>	0,374	0,402	1				
<i>NO3</i>	0,308	0,247	0,172	1			
<i>Ca</i>	0,807	0,756	0,548	0,425	1		
<i>Mg</i>	0,828	0,816	0,609	0,315	0,738	1	
<i>Na+K</i>	0,848	0,781	0,436	0,304	0,616	0,703	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,050$ (Test bilatéral)

❖ Valeurs propres

Nous remarquons dans le tableau V.2.2 suivant que le pourcentage d'information présenté par les trois axes est de l'ordre de 88.53%.ce dernier est jugé suffisant pour une approche d'analyse des variables et des individus.

Tableau V.2.2: valeur propre

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>Valeur propre</i>	4,559	0,882	0,756	0,351	0,239	0,194	0,019
<i>% variance</i>	65,132	12,606	10,795	5,011	3,415	2,765	0,276
<i>% cumulé</i>	65,132	77,738	88,532	93,544	96,959	99,724	100,000

-Cet histogramme présente les valeurs propres et les parts d'information de chaque axe.

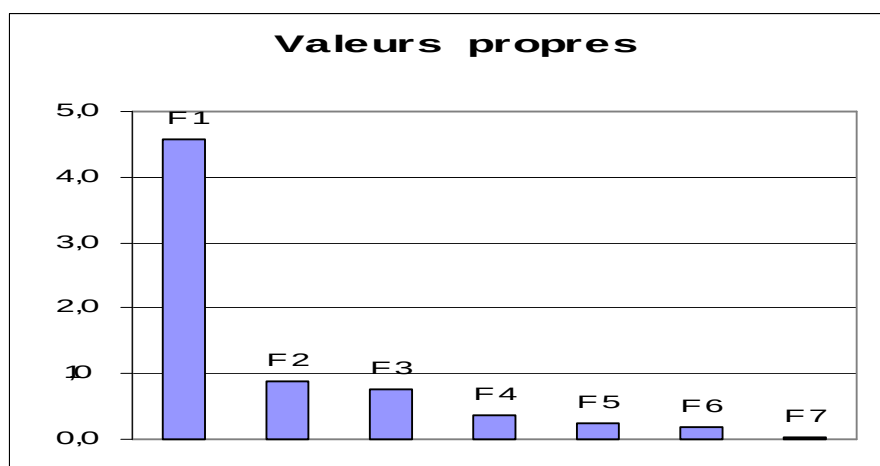


Fig. V.2.1: Histogrammes des valeurs propres

❖ *vecteurs propres*

Le tableau VI.2.3, donne les coefficients de corrélation entre les variables et les axes principaux où nous pouvons voir les variables qui sont corrélées avec chaque axe :

- Sur l'axe1 les coordonnées de toutes les variables sont positives et presque de même ordre de grandeur sauf pour le cas des nitrates et des bicarbonates qui présentent des coefficients de corrélation de faible importance, ce qui indique que les variables (Cl ; SO₄ ; Ca ; Mg ; Na+K) sont très bien corrélées avec l'axe1 et les variables (HCO₃, NO₃) ne corréleront pas avec l'axe1.

-sur l'axe2 les nitrates ont un coefficient de corrélation très important, ce qui se traduit par la forte corrélation de cette variable avec l'axe2.

-sur l'axe3 nous retrouvons que les bicarbonates ont un coefficient de corrélation de grande valeur ce qui témoigne la corrélation de cette variable avec cet axe.

Tableau.V.2.3 : Vecteurs propres

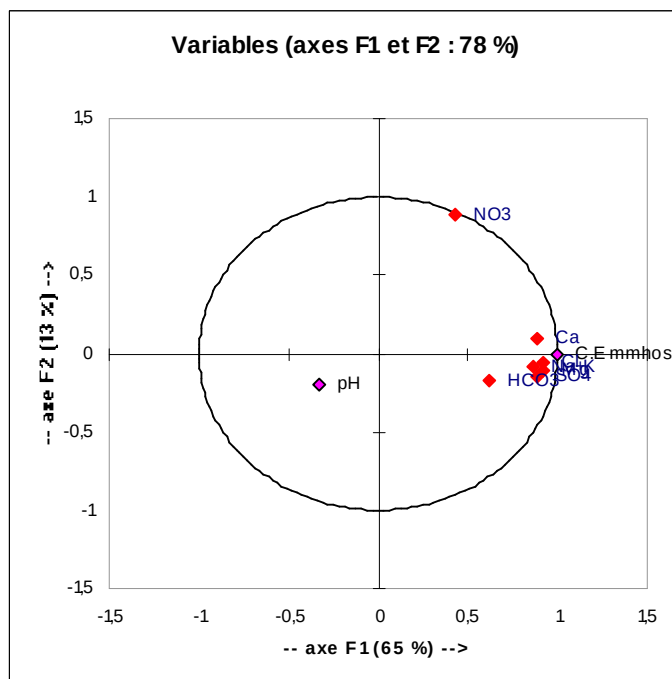
<i>paramètre</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
<i>Cl</i>	<i>0,430</i>	<i>-0,067</i>	<i>-0,307</i>
<i>SO4</i>	<i>0,417</i>	<i>-0,156</i>	<i>-0,252</i>
<i>HCO3</i>	<i>0,288</i>	<i>-0,188</i>	<i>0,867</i>
<i>NO3</i>	<i>0,202</i>	<i>0,951</i>	<i>0,084</i>
<i>Ca</i>	<i>0,413</i>	<i>0,103</i>	<i>0,090</i>
<i>Mg</i>	<i>0,428</i>	<i>-0,115</i>	<i>0,088</i>
<i>Na+K</i>	<i>0,403</i>	<i>-0,092</i>	<i>-0,260</i>

❖ *Les cercles de corrélation*

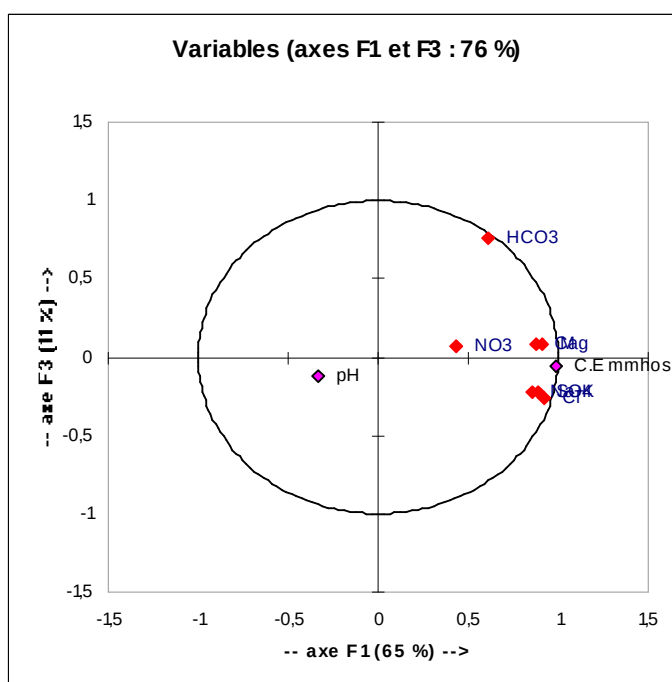
- Le cercle de corrélation entre (fig.V.2.2) les deux premières composantes principales et les paramètres chimiques montrent que la première composante principale est bien corrélée avec tous les paramètres représentatifs de la minéralisation totale : les cations, les anions, la conductivité et dans une moindre mesure avec les bicarbonates. Les nitrates sont bien expliqués par la deuxième composante.

-le cercle de corrélation (fig.V.2.3). Selon le plan 1-3 montre que les bicarbonates sont en bonne corrélation avec la troisième composante.

-Le pH ne présente aucune corrélation avec les trois axes ce qui signifie l'indépendance de cette variable des autres variables chimiques.



FigV.2.2 : Cercle de corrélation plan (1-2)



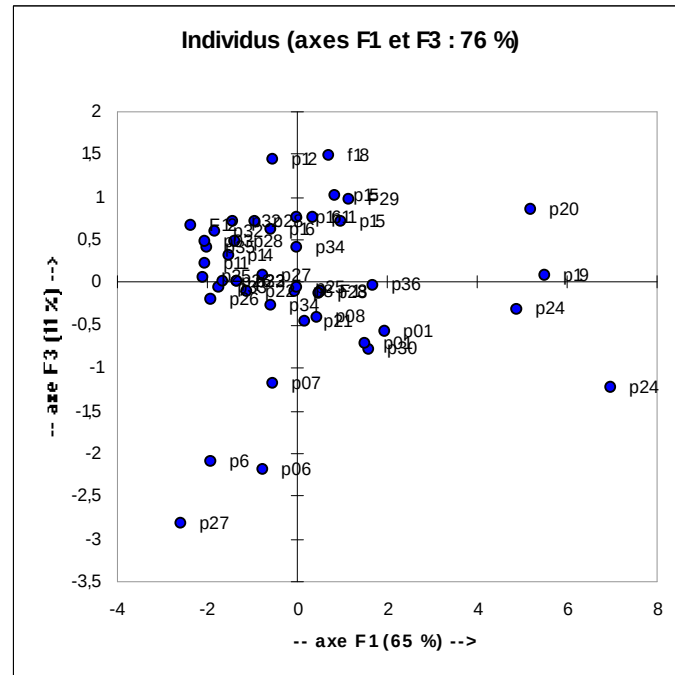
FigV.2.3 : Cercle de corrélation plan (1-3)

❖ Les individus

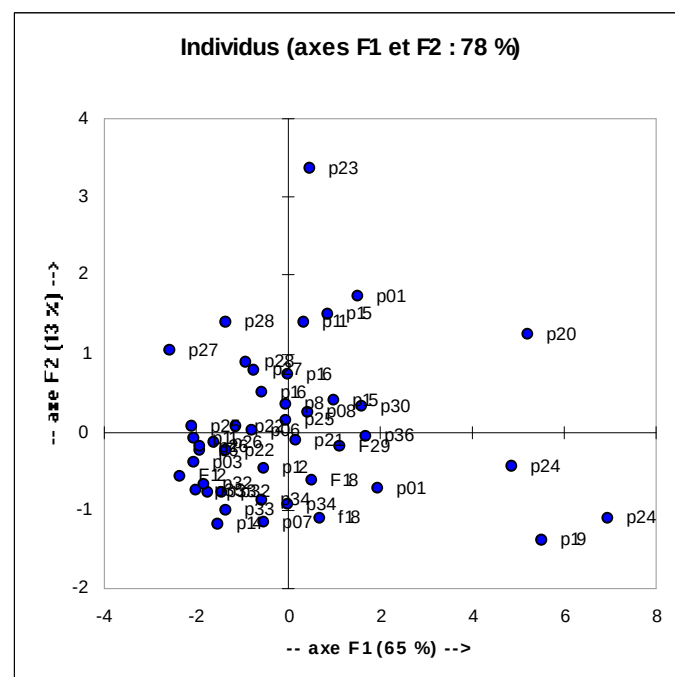
L'étude des individus de la basse vallée d'Isère projetés sur les plans formés par les trois premières composantes figures (V.2.4, V.2.5), montre que la plupart des points d'eau de cette région forme une seule famille qui a un chimisme identique (des mêmes teneurs en éléments), sauf pour quelques points qui présentent un chimisme différent (p6.p27.p24.p20.p23.p19.p07).

Concernant ces points qui présentent un chimisme différent, nous trouvons des puits qui ont des fortes teneurs en nitrates (p23), des puits riches en chlorures, sulfates, magnésium (p24. p20. p19) et des puits riches en bicarbonates (p6.p27).

Nous tenant aussi compte des puits où nous avons des données de deux campagnes (mai et septembre) et nous avons remarqués que ces puits présentent un chimisme ferme et différent de groupe et nous observons également un petit changement de comportement de ces puits de septembre au mai qui est du à l'effet de l'évaporation et l'utilisation des produit qui manifestent l'augmentation des concentrations de certains éléments.



FigV.2.4 : projection des individus (Bas Isser) sur le plan (1-3)



FigV.2.5 : projection des individus (Bas Isser) sur le plan (1-3)

V.2.2.3) la basse vallée de la Soummam

❖ Matrice de corrélation

Dans cette matrice on trouve ($Na+K$) et Cl qui sont naturellement corrélés, les chlorures (Cl), les sulfates (SO_4), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) sont en corrélation moyenne avec les bicarbonates.

Tableau V.3.1 : matrice de corrélation

	Ca	Mg	Na+K	Cl	So4	HCO3	NO3
Ca	1						
Mg	0,787	1					
Na+K	0,621	0,740	1				
Cl	0,736	0,826	0,902	1			
So4	0,852	0,795	0,630	0,676	1		
HCO3	0,382	0,435	0,270	0,220	0,217	1	
NO3	0,084	0,097	-0,068	0,025	-0,111	0,228	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,050$ (Test bilatéral)

❖ Les valeurs propres

L'analyse de tableau V.3.2, nous permet de dire que le premier axe (F1) a la valeur propre la plus importantes qui est égale 4.18 et qui correspond a un pourcentage de 59.7% de la variance totale, suivi de deuxième axe (F2) ayant une valeur 1.21 correspondant a un pourcentage de 17.3% de la variance totale, enfin le troisième axe (F3) qui a une valeur de 0.72 et un pourcentage de 10.23% de la variance totale.

Nous voyons que le cumul de pourcentage d'information donné par ces trois axes est important, ce qui laisse à considérer que les trois premières composantes.

Tableau.VI.3.2 : Valeurs propres

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Valeur propre	4,177	1,214	0,715	0,546	0,180	0,128	0,041
% variance	59,673	17,345	10,211	7,796	2,565	1,827	0,583
% cumulé	59,673	77,018	87,229	95,025	97,590	99,417	100,000

-Histogramme des valeurs propres qui donne la valeur de l'information que présente chaque composante.

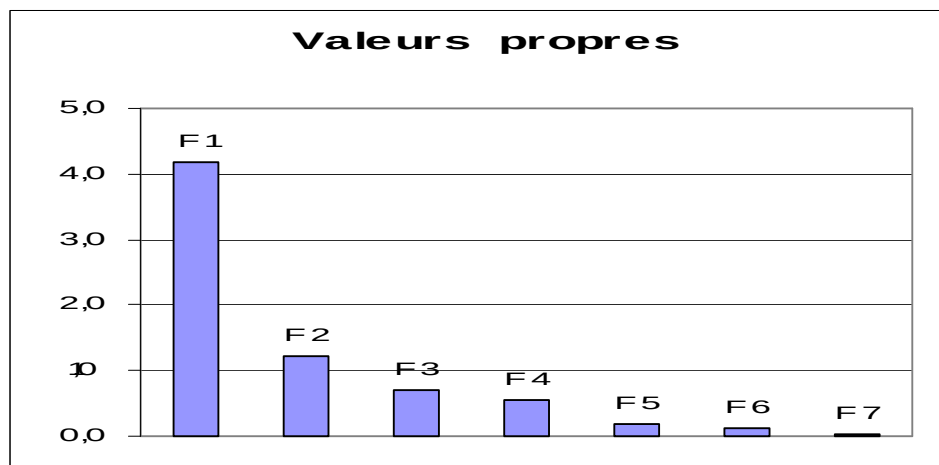


Fig. V.2.1: Histogrammes des valeurs propres

❖ Les vecteurs propres

Dans ce tableau nous trouvons, les coefficients de corrélation entre les variables et les axes principaux :

- La première composante principale montre que les coordonnées des variables (*Ca*, *Na+K*, *Mg*, *Cl*, *SO₄*) sont positives et ont des valeurs importantes, ce qui justifie leur bonne corrélation entre elles et avec cet axe.
- Sur la deuxième composante il y'a les nitrates qui ont un coefficient de corrélation très important, ce qui signifie la forte corrélation de cette variable avec cet composante et nous remarquons aussi que les bicarbonates expriment une corrélation moyenne avec cet axe.
- Sur la troisième composante nous trouvons que les bicarbonates sont fortement corrélés avec cet axe ainsi que les nitrates qui sont moyennement corrélés avec un signe négatif.

Tableau.VI.3.3 : vecteurs propres

	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>F5</i>	<i>F6</i>	<i>F7</i>
<i>Ca</i>	0,438	0,045	0,012	-0,454	-0,592	-0,348	-0,358
<i>Mg</i>	0,457	0,067	0,000	-0,030	0,756	-0,309	-0,343
<i>Na+K</i>	0,420	-0,149	-0,112	0,577	-0,196	0,504	-0,405
<i>Cl</i>	0,445	-0,108	-0,260	0,363	-0,116	-0,402	0,645
<i>So₄</i>	0,424	-0,179	0,026	-0,539	0,146	0,577	0,378
<i>HCO₃</i>	0,212	0,566	0,750	0,184	-0,067	0,062	0,174
<i>NO₃</i>	0,021	0,779	-0,597	-0,068	-0,003	0,176	0,023

❖ Les cercles de corrélation

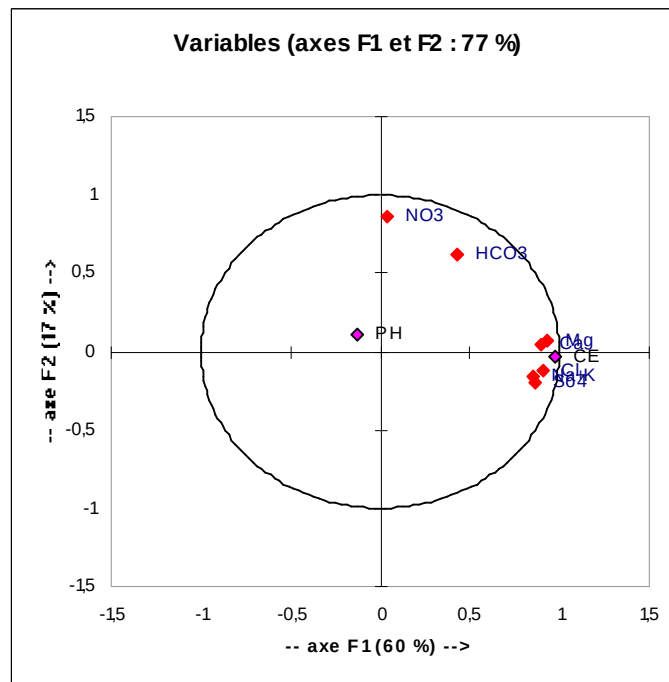
L'observation des cercles de corrélation (*fig.V.3.2* et *fig.V.3.3*) représentés par les plans factoriels (1.2), (1.3), nous permet de constater :

-Sur le premier axe les variables (*Mg*, *SO₄*, *Cl*, *Na+K*, *Ca*, *CE*), se trouvent de même côté positif du cet axe et elles sont proche de la préphérie du cercle ce qui signifie que ces variables sont en bonne corrélation avec l'axe1, entre elles même et ont une influence considérable sur la CE.

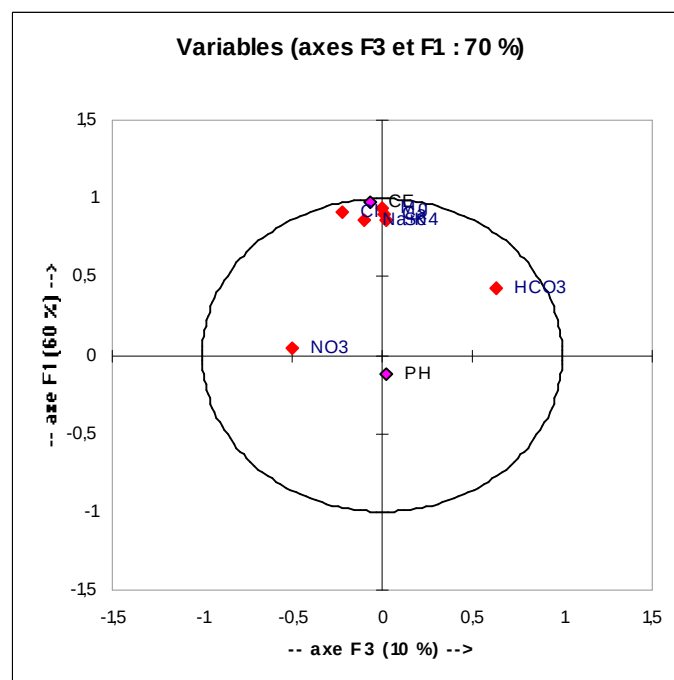
-sur le deuxième axe nous voyons que les nitrates sont en bonne corrélation avec cet axe et en corrélation moyenne avec les bicarbonates.

-sur le troisième axe nous retrouvons les bicarbonates qui expriment une forte corrélation avec ce troisième axe et les nitrates qui corrént moyennement et négativement avec ce dernier.

-le pH pratiquement ne présente pas de corrélation significative avec aucun axe.



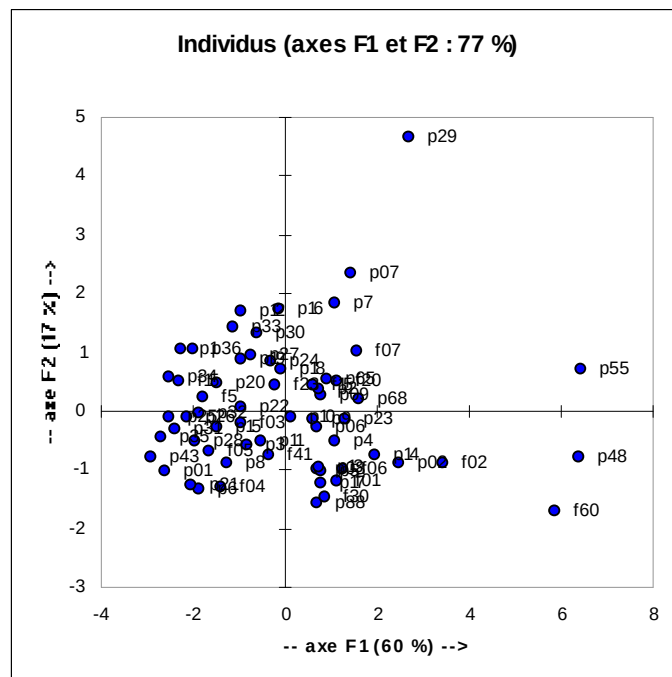
FigV.3.2 : Cercle de corrélation plan (1-2)



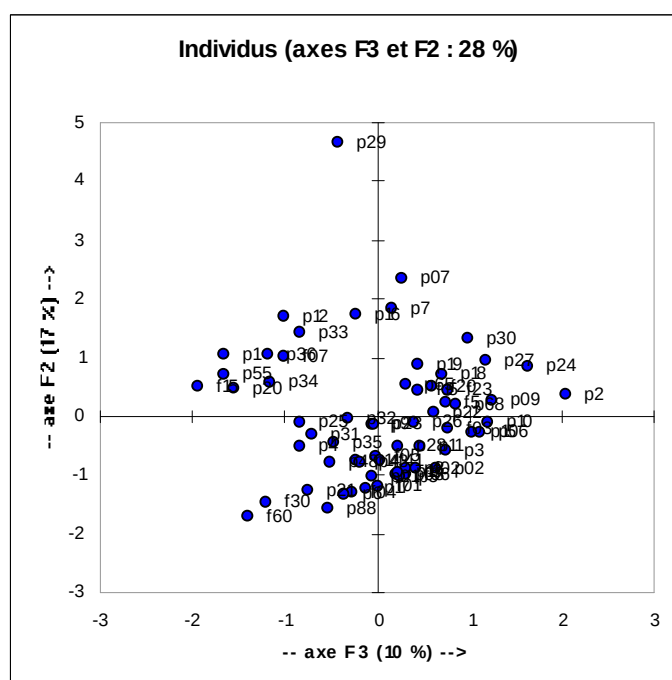
FigV.3.3 : Cercle de corrélation plan (1-3)

❖ Les individus

Les figures (FigV.3.4, FigV.3.5): montrent la projection des différents points d'eaux de la région de la plaine alluviale de la basse Soummam, où nous voyons clairement que la majorité des puits et forages de la basse vallée de la Soummam forment une famille qui présente un chimisme commun (les mêmes teneurs en éléments chimique) à l'exception des points (p55, p48, p29, f60) qui s'éloignent de cette famille suite aux forte concentration de ces points d'eau en éléments chimiques.



FigV.3.4 : projection des individus (Basse Soummam) sur le plan (1-3)



FigV.3.5 : projection des individus (Basse Soummam) sur le plan (1-3)

V.3) Conclusion

En raison de prévaloir l'intérêt de l'analyse statistique multidimensionnelle dans la caractérisation hydrochimique des systèmes hydrogéologiques, nous avons appliqué l'analyse en composantes principales sur les éléments physico-chimiques et chimiques (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 , HCO_3 , NO_3 , pH, CE), prélevés dans les puits et les forages des trois nappes alluviales (Bas Sébaou, Bas Isser, Basse Soummam).

L'application de l'analyse en composantes principales, nous a permis de faire les conclusions suivantes:

- Un taux d'information important cerné dans les trois premières composantes;
- La première composante correspond a un groupement de variables qui vont ensemble, qui sont a relié aux caractéristique du milieu hydrogéologique continu de remplissage alluvial des trois plaines côtières ;
- La deuxième composante explique un seul paramètre, représenté par les nitrates (NO_3) avec un coefficient très élevé. Cet élément est d'origine exogène du milieu hydrogéologique du essentiellement aux épandages d'engrais et des rejets des eaux usées ;
- La troisième composante explique l'alcalinité représentée par les bicarbonates HCO_3 . Cette variable est probablement à relier au milieu fissuré des roches calcaires ;
- l'état des individus (points d'eau de ces vallées) a montré l'existence d'un seul chimisme (1 seule famille d'eau) mis a part quelque point qui s'éloignent de cette famille.

CHAPITRE VI

CARTOGRAPHIE PAR L'APPROCHE

MULTIPARAMETRIQUE

VI.1-INTRODUCTION

Pour mieux comprendre le comportement des éléments physico-chimique et chimique des eaux souterraines des trois vallées, nous avons appliqué une approche géostatistique multiparamétrique regroupant l'ensemble de ces variables étudiées.

Avant d'entamer la partie calculs et résultats nous tenons à donner un bref rappel sur la cartographie et les outils utilisés dans cette partie.

❖ *La cartographie*

Elle constitue le moyen le plus adapté pour une bonne représentation spatiale. La géostatistique qui est une approche caractérisant la structure de la variabilité spatiale d'une propriété quelconque ainsi que son estimation s'avère être très appropriée pour cartographier un phénomène naturel in .Rossi et al, 1995.

Au sens large, la géostatistique regroupe l'ensemble des méthodes statistiques adoptées au traitement des données géographique. La géostatistique fait références à la théorie des variables régionalisées développées par Matheron (1965) et Journel (1977) dans le but d'estimer au mieux les caractéristiques des variables régionalisées et de connaître la variance de ces estimations.

Dans notre cas, les variables régionalisées sont les axes principaux où chaque axe représente un ensemble de variables.

➤ L'étude géostatistique comprend deux phases essentielles:

- La première est la caractérisation de la structure spatiale de la variable régionalisée;
- La seconde est l'estimation de cette variable en utilisant un outil d'interpolation. Modélisation du variogramme.

Une fois que le variogramme expérimental établi, il faut lui caler un modèle qui lui convient au mieux, il n'est pas toujours facile de trouver le modèle théorique qui lui correspond. Quatre modèles sont proposés, à savoir : sphérique, exponentiel, gaussien et power. Ces modèles sont des expressions analytiques que l'on tente d'ajuster le mieux possible aux points des variogrammes expérimentaux.

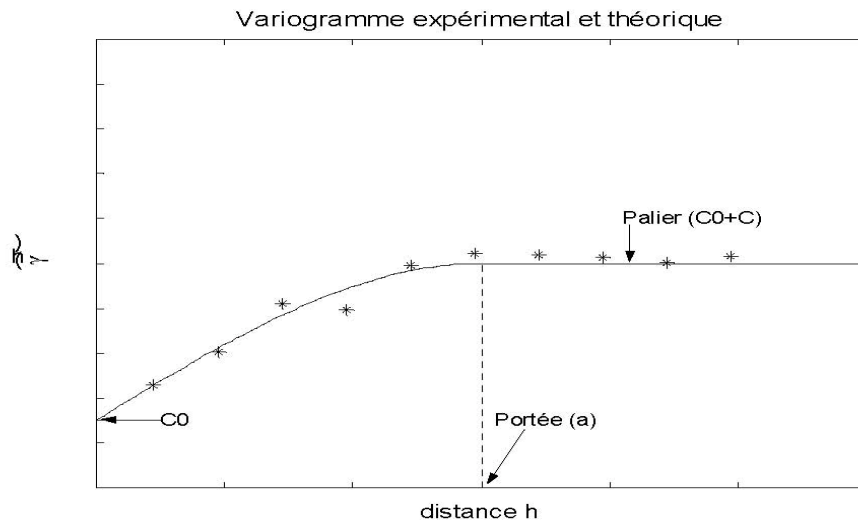
Dans notre cas, l'ajustement se fait graphiquement en s'orientant par l'indice IGF (**Indicative Goodness of Fit**) (Bavaud, 1999). Cet indice, nous indique le bon ajustement quand il est proche de la valeur 0.

-La portée: Distance où deux observations ne se ressemblent plus du tout en moyenne, elles ne sont plus liées (Covariance nulle) linéairement. À cette distance, la valeur du variogramme correspond à la variance de la variable aléatoire ;

-Palier : les écarts les plus grands, en moyenne entre deux variables aléatoires ;

-Effet de pépite : Variation à très courte échelle, erreurs de localisation, erreurs d'analyse et précision analytique.

+Exemple de variogramme :



➤ Le krigeage

Le krigeage est une méthode statistique qui résume l'organisation du phénomène étudié à l'aide d'une fonction de structure, puis le reconstitue en tous points du domaine d'étude par pondération des valeurs mesurées **in CREUTIN, 1977**.

Il existe trois types de krigeage :

- a) Krigeage simple en covariance ;
- b) Krigeage dans le cadre de l'hypothèse intrinsèque ;
- c) Krigeage universel.

VI.2-RECHERCHE DES COORDONNEES DES AXES

Nous donnons dans le Tableau VI.2.1, un exemple de calcul des coordonnées des individus sur les axes principaux, pour des variables centrées réduites.

Tableau VI.2.1 : Exemple de calcul

Les variables	Variables centrées réduites	Vecteur propre1	Vecteur propre 2	Vecteur propre 3
Ca	-0,221	0,411	0,268	-0,172
Mg	-0,243	0,399	-0,223	0,098
Na + K	-0,653	0,448	-0,012	-0,229
Cl-	-0,478	0,435	-0,032	-0,388
SO4	-0,530	0,436	0,092	0,106
HCO3	0,194	0,303	-0,120	0,850
NO3	0,386	-0,006	0,924	0,156

Les variables prises en considération sur les axes:

- Sur l'axe 1 : Ca, Mg, Na+ K, Cl, SO4;

- Sur l'axe 2 : NO_3 ;
- Sur l'axe 3 : HCO_3

+Exemple de calcul des centrées réduites :

$$\text{-Centrée réduite de la première valeur du Ca} = \frac{106 - 123.15}{79.38} = 0.221$$

Les coordonnées sur l'axe (1) sont égales à :

$$(-0.221).(0.411) + (-0.243).(0.399) + (-0.653).(0.448) + (-0.478).(0.435) + (-0.530).(0.436) = -0.834$$

Les coordonnées sur l'axe (2) sont égales à :

$$(0.386).(0.924) = 0.354$$

Les coordonnées sur l'axe (3) sont égales à :

$$(0.194).(0.850) = 0.165$$

NB : Le détail des résultats est donné dans l'annexe

Les valeurs des coordonnées calculées sont considérées comme étant des variables régionalisées, dont nous essayons de déterminer les structures par l'étude de leur variogramme puis établir leur carte.

VI.3-ETABLISSEMENT DES VARIOGRAMMES ET DES CARTES :

La cartographie multiparamétrique par krigeage se fait par l'interpolation des coordonnées de l'axe, alors que chaque axe est corrélé à un certain nombre de variable.

Dans la partie qui suit nous sommes obligés d'enlever quelques points d'eau où les coordonnées (x, y) sont les mêmes et pour cela nous avons les tailles suivantes : Sébaou (22 au lieu de 32), Isser (28 au lieu de 45), Soummam (59 au lieu de 63).

VI.3.1-Variographie des axes 1, 2 et 3 (vallée de Sébaou)

Le tableau .VI.3.1.1, donne les résultats obtenus après l'ajustement des variogramme des trois axes :

Tableau VI.3.1.1 : Caractéristiques des variogramme de l'axe 1, l'axe 2 et l'axe 3

Variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Taille	22	22	22
Pas de calcul	4.0 Km	4.0 Km	2.75 Km
Nombre de classe	5	4	4
Direction d'isotropie	135°	135°	45°
Direction d'anisotropie	225°	225°	135°
Modèle	Gaussian	Power	Power
Nugget (pépite)	1.91	0.64	0.234
Sill (palier)	1.45	0.07	0.108
Range (portée)	3.6	0.36	0.37
Anisotropie	2.94	100	100
IGF	$3.37. 10^{-2}$	$8.03. 10^{-1}$	$4.04.10^{-1}$

VI.3.1.1-Etude des variogrammes de surface

➤ Variogramme de surface de l'axe 1

La figure (VI.3.1.1), représente le variogramme de surface de l'axe1, où nous voyons clairement que la direction principale de l'évolution de phénomène étudié est dans la direction 135° . Le rapport d'anisotropie est déterminé par l'établissement des variogrammes expérimentaux directionnels selon les deux directions principales (135° et 225°). Ce rapport est nécessaire pour la cartographie simplifiée par krigeage.

➤ Variogramme de surface de l'axe 2

Le variogramme de surface de deuxième axe montre une direction d'isotropie selon la direction 135° et une direction d'anisotropie à 225° (Fig.VI.3.1.2).

➤ Variogramme de surface de l'axe 3

Nous remarquons dans la figure (VI.3.1.3), qui présente le variogramme de surface de troisième axe que la direction d'isotropie est selon la direction 45° et la direction d'anisotropie selon la direction 135° .

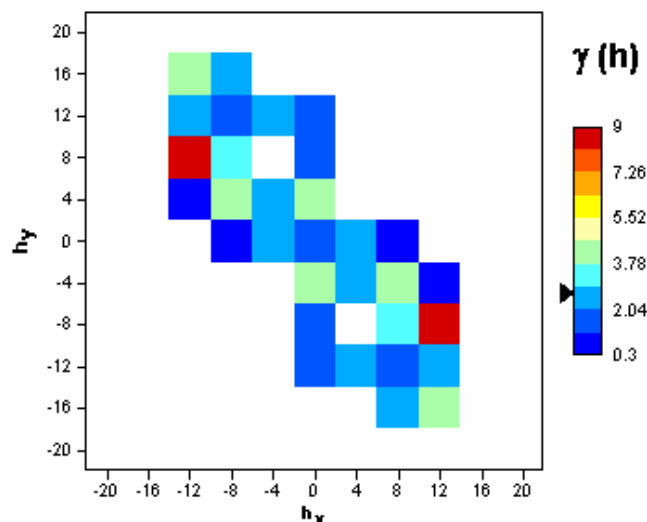


Fig.VI.3.1.1 : Variogramme de surface selon l'axe1

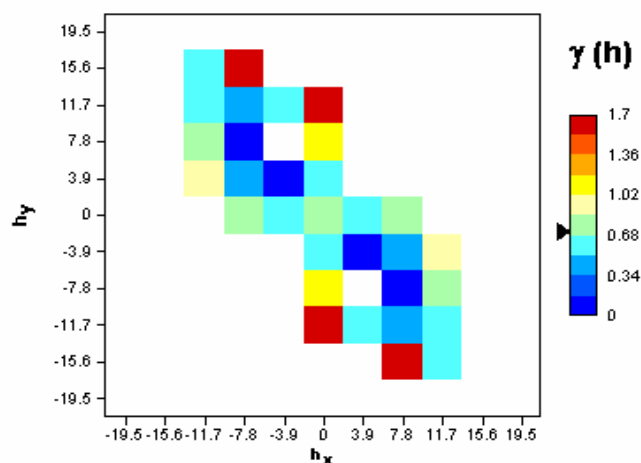


Fig.VI.3.1.2: Variogramme de surface selon l'axe2

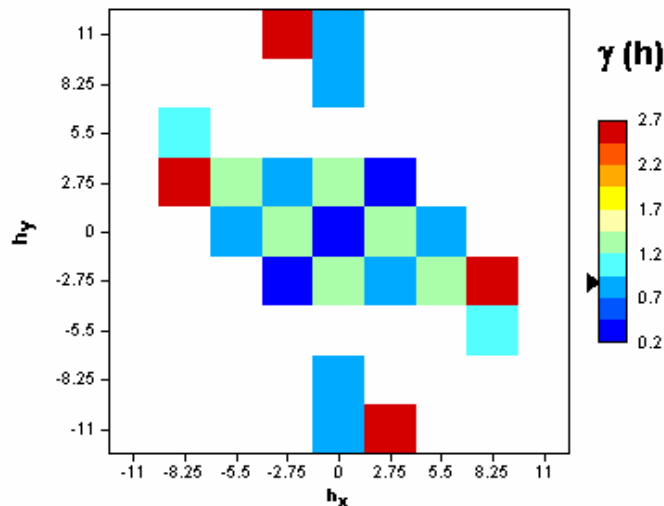


Fig.VI.3.1.3 : Variogramme de surface selon l'axe3

VI.3.1.2-Etude des variogrammes directionnels

➤ Variogramme directionnel de l'axe1

Selon les deux directions d'isotropie et d'anisotropie tirée de variogramme de surface de l'axe1, nous avons établi les variogrammes directionnels présentés dans la figure (Fig. VI. 3.1.4), le nombre de classe 5 avec un pas de calcul de 4km.

➤ Variogramme directionnel de l'axe2

Les variogrammes directionnels de la figure (Fig.VI.3.1.5), sont établis selon la direction d'isotropie 135° et d'anisotropie 225° avec un pas de calcul qui est égal à 4 et un nombre de classe égale à 4km.

➤ Variogramme directionnel de l'axe3

La figure (Fig.VI.3.1.6), donne l'allure des variogrammes directionnels selon la direction d'isotropie 45° et d'anisotropie 135° qui sont établis par un nombre de classe 4 et un pas de calcul 2.75km.

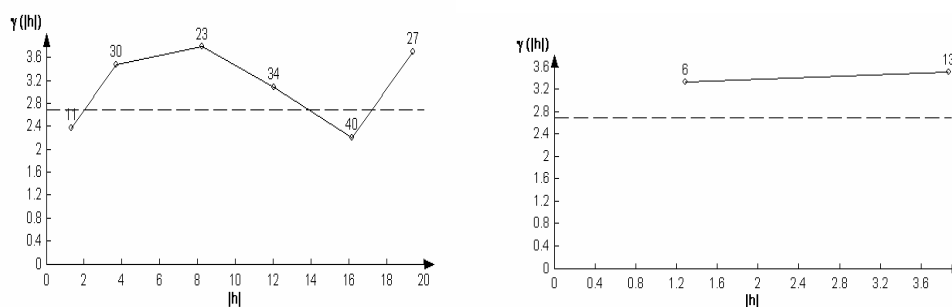


Fig. VI. 3.1.4: Variogramme directionnel de l'Axe 1

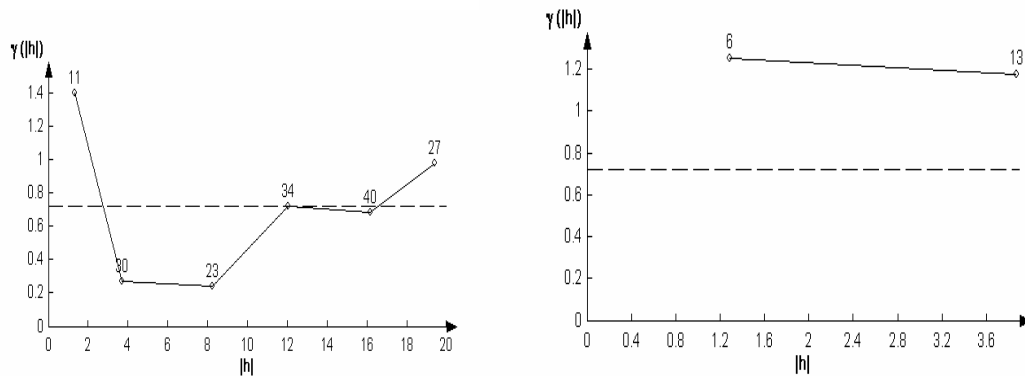


Fig.VI.3.1.5 : Variogramme directionnel Axe2

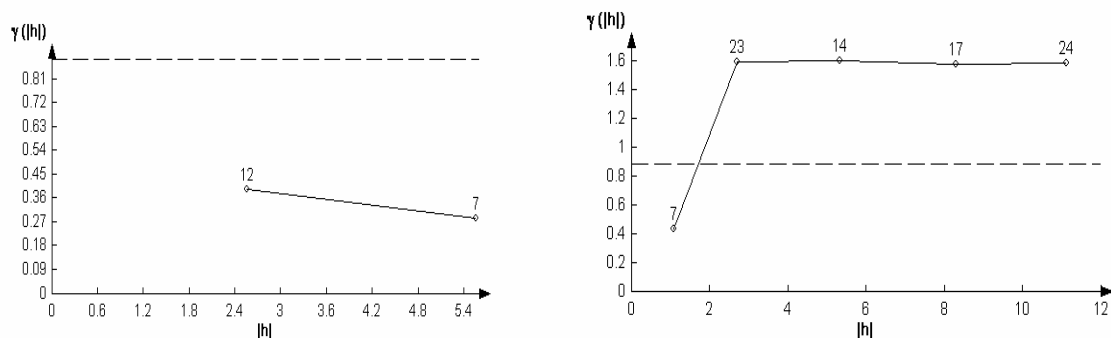


Fig.VI.3.1.6 : Variogramme directionnel Axe3

VI.3.1.3-Etude des variogrammes ajustés aux axes

➤ Variogramme ajustés à l'axe1

Les deux variogrammes directionnels expérimentaux de l'axe1 s'ajustent bien à un modèle Gaussian (Fig.VI. 3.1.7). Ils sont caractérisés par un effet de pépité de 1.91, un palier de 1.45, une portée 3.6, un rapport d'anisotropie qui égale à 2.94 et un IGF de $3.37.10^{-2}$.

➤ Variogramme ajustés à l'axe2

Le modèle power s'ajuste mieux au variogramme expérimental de ce deuxième axe, qui donne à ces variogrammes (Fig.VI.3.1.8). Un effet de pépité de 0.64, un palier de 0.07, une portée de 0.36, un rapport d'anisotropie de 100 et un IGF de $8.03.10^{-1}$.

➤ Variogramme ajustés à l'axe3

L'ajustement des variogrammes directionnels donne deux variogrammes qui s'ajustent bien avec un modèle power (Fig.VI.3.1.9), ces variogrammes sont caractérisés par un effet de pépité égale à 0.234, un palier de 0.108, une portée de 0.37, un rapport d'anisotropie de 100 et un IGF égale à $4.04.10^{-1}$.

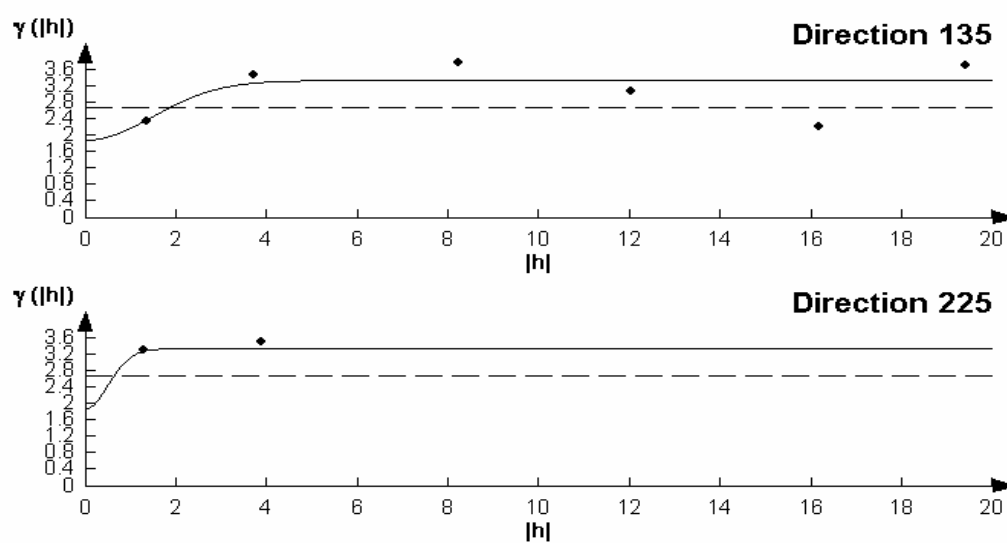


Fig.VI. 3.1.7: Variogramme ajustés à l'axe1

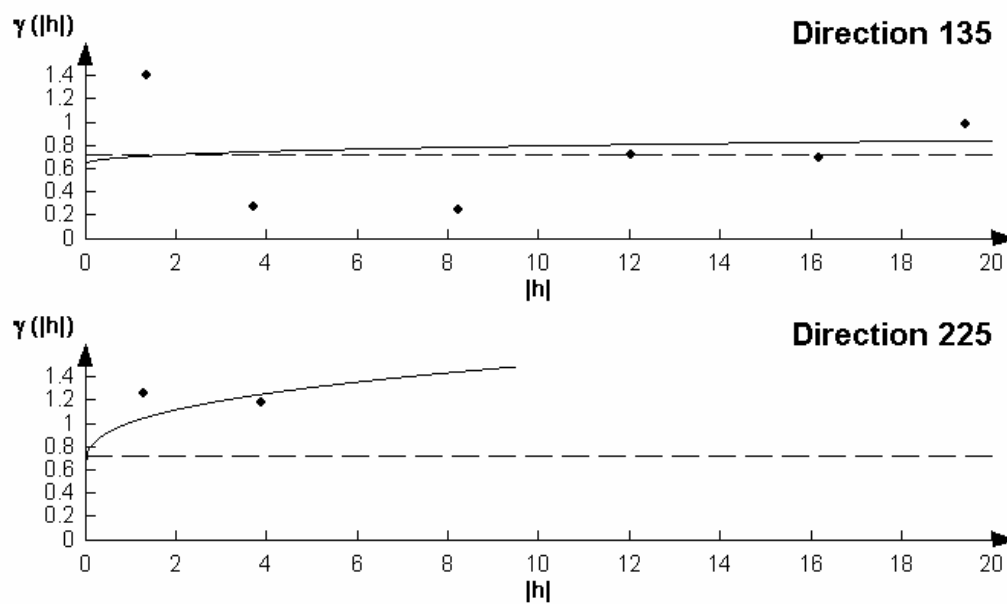


Fig.VI.3.1.8: Variogramme ajustés à l'axe2

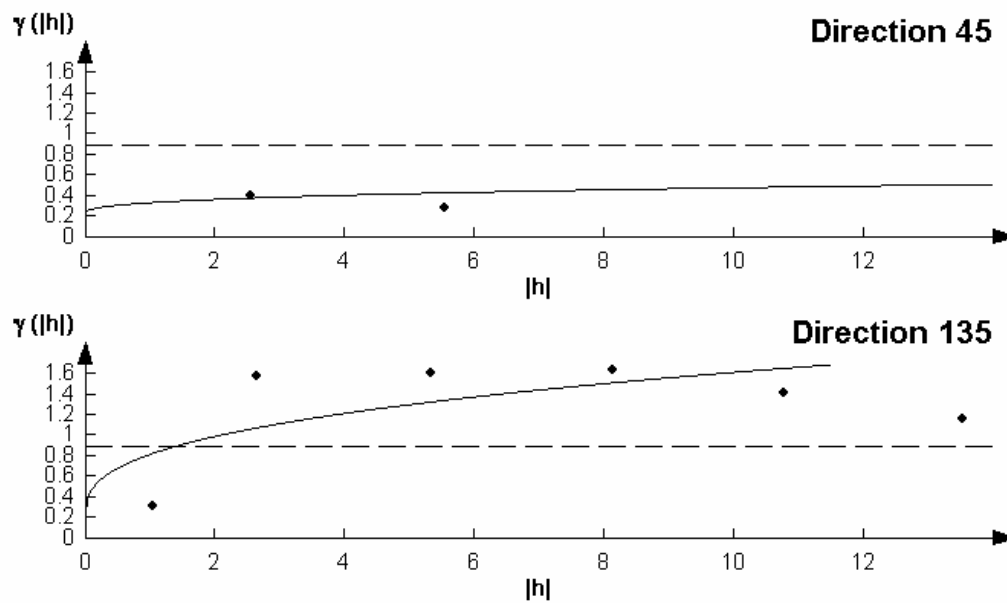


Fig. VI.3.1.9 : Variogramme ajustés à l'axe3

VI.3.1.4-Interprétation des cartes krigées des axes

➤ Cartes krigées de l'axe1

La cartographie de l'axe1 (**Fig.VI.3.1.10**), liée beaucoup plus aux (Ca , Mg , So_4 , Cl , $Na+K$) présente une structure spatiale avec un gradient qui est élevé dans la partie sud et qui se stabilise à l'aval et nous voyons clairement dans la partie S.W que les valeurs sont faibles et en allant vers le N.E les valeurs sont élevées et ceci est à relier avec l'écoulement des eaux souterraines qui est de sud vers le nord.

➤ Cartes krigées de l'axe2

La carte de deuxième axe (**Fig. VI.3.1.11**), qui est lié principalement aux nitrates présente une organisation spatiale avec un gradient très important dans la partie sud-est et la partie nord-ouest.

En effet les teneurs en nitrates évoluent de l'amont vers l'aval dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines. Par ailleurs dans la partie Sud et Ouest nous retrouvons des valeurs nulles qui augmentent vers le nord.

➤ Cartes krigées de l'axe3

Sur la figure (**VI.3.1.14**), qui représente la carte krigée de la troisième composante qui est liée aux bicarbonates, nous remarquons que dans la partie sud-ouest que les teneurs en bicarbonates sont très faibles et les courbes sont serrées ce qui implique l'importance de gradient, par contre sur le reste de la carte les valeurs sont moyenne et homogène avec quelques anomalies au centre et au nord-ouest où les teneurs en bicarbonates sont élevées.

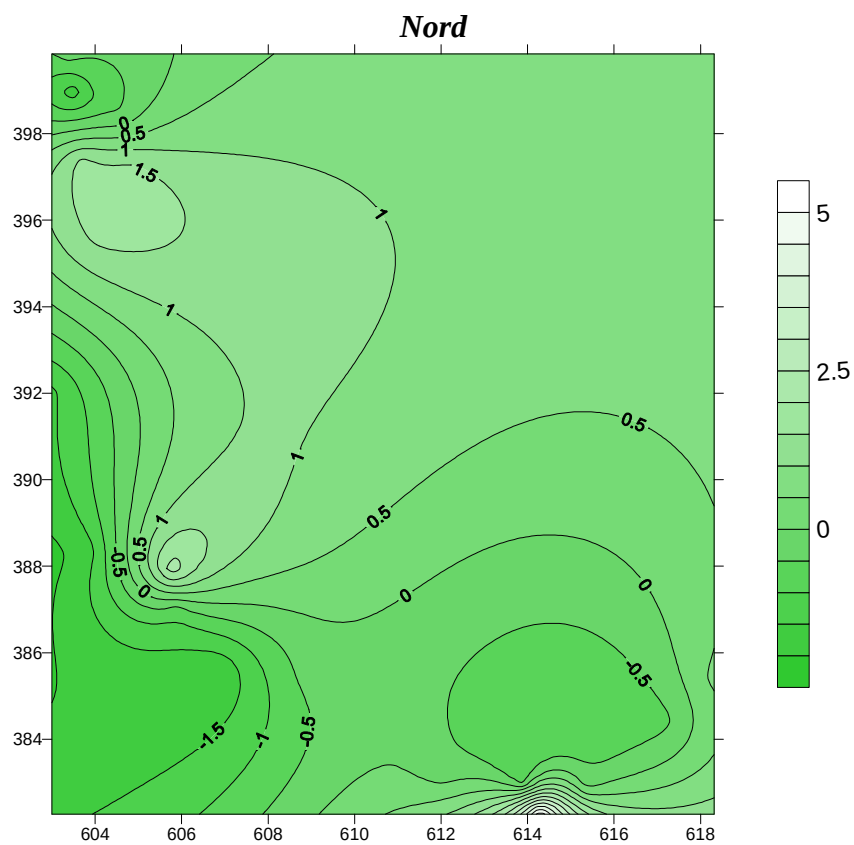


Fig.VI.3.1.10 : Carte krigée de l'axe 1

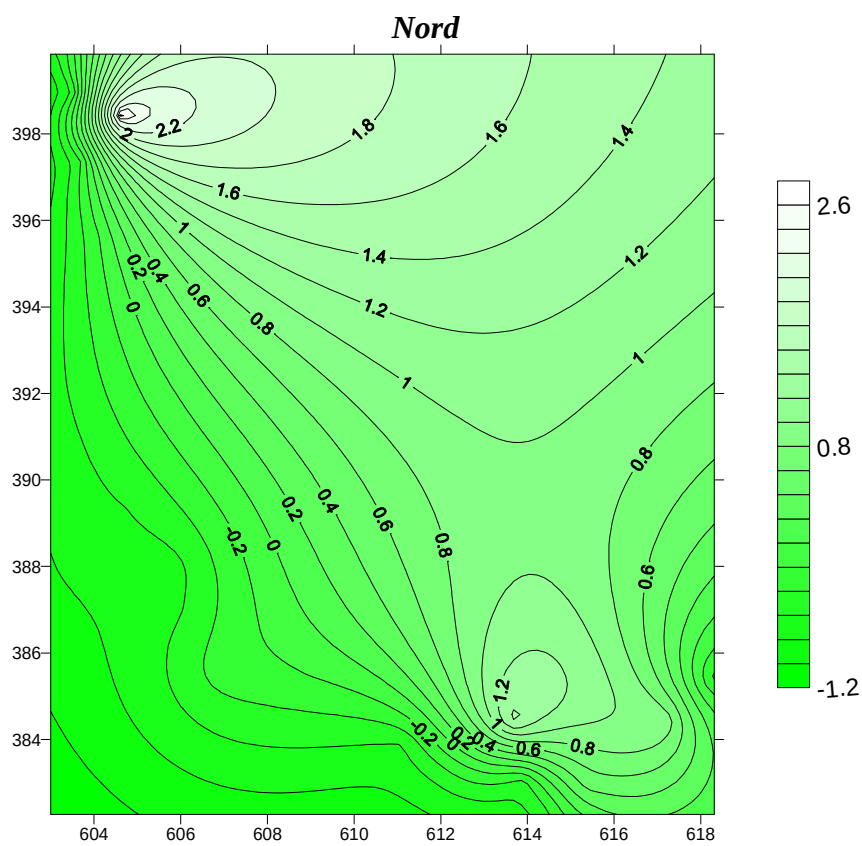


Fig. VI.3.1.11: Carte krigée de l'axe 2

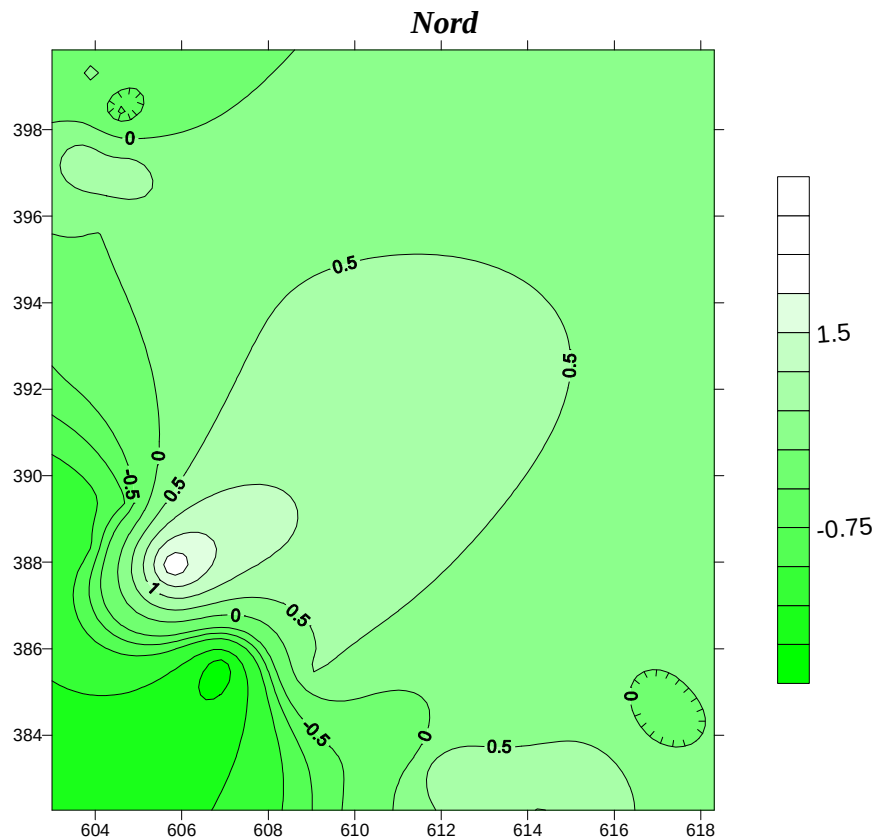


Fig. VI.3.1.14 : Carte krigée de l'axe 3

VI.3.2-Variographie des axes 1, 2 et 3 (vallée de Isser)

Le tableau.VI.2, donne les résultats obtenus après l'ajustement des variogrammes selon les trois axes (axe1, axe2, axe3) :

Tableau VI.3.2.1 : Caractéristiques des variogramme de l'axe 1, l'axe 2 et l'axe 3

Variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Taille	28	28	28
Pas de calcul	2.65	3.80	3.5
Nombre de classe	5	4	5
Direction d'isotropie	90	45	135
Direction d'anisotropie	180	135	225
Modèle	<i>Gaussian</i>	<i>Gaussian</i>	<i>Gaussian</i>
Nugget (pépité)	2.76	0.51	0.46
Sill (palier)	3.72	0.871	0.3
Range (portée)	5.07	2.25	7.6
Anisotropie	3.57	2.3	2.4
IGF	$3,06. 10^{-1}$	$1,54. 10^{-2}$	$3,14.10^{-2}$

VI.3.2.1-Etude des variogrammes de surface

➤ Variogramme de surface de l'axe 1

Le variogramme de surface (**Fig. VI.3.2.1**), montre deux directions principales, une direction d'isotropie dont l'angle est égal à 90° et une direction d'anisotropie dont l'angle est égale à 180° . La continuité des éléments représentée par l'axe1 est orientée du Sud vers le Nord qui est la direction de la circulation de l'eau.

➤ Variogramme de surface de l'axe 2

Le variogramme donné dans la figure (**VI.3.2.1**), montre une continuité maximale selon la direction 45° et une continuité minimale selon la direction 135° .

➤ Variogramme de surface de l'axe 3

Le variogramme du troisième axe (**VI.3.2.3**), indique l'existence de deux directions, une direction d'isotropie de 135° , et une direction d'anisotropie de 225° .

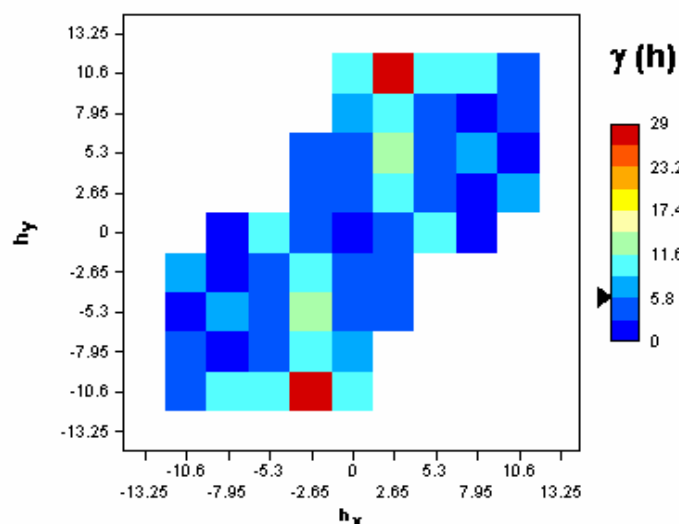


Fig. VI.3.2.1 : Variogramme de surface selon l'axe1

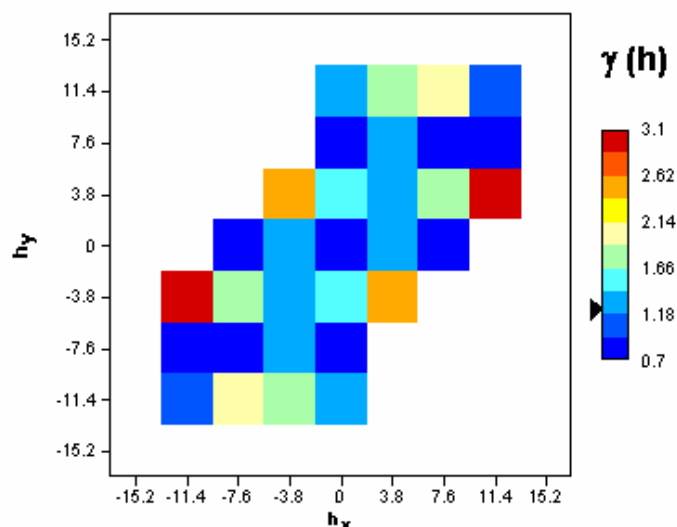


Fig. VI.3.2.2 : Variogramme de surface selon l'axe 2

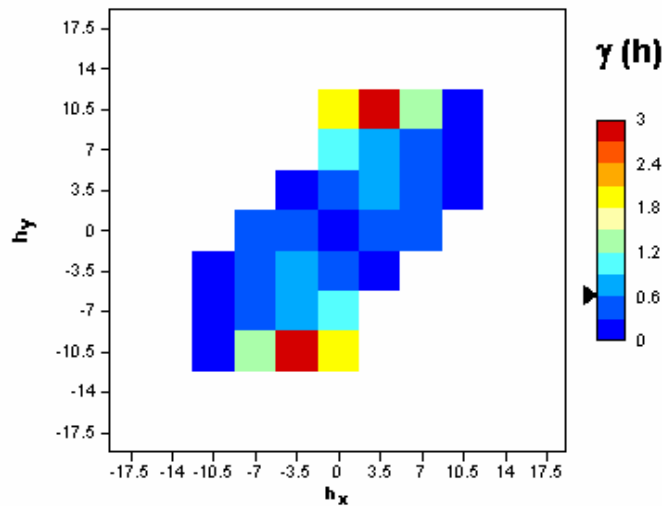


Fig. VI.3.2.3 : Variogramme de surface selon l'axe 3

VI.3.2.2-Etude des variogrammes directionnels

➤ Variogramme directionnel de l'axe1

La figure (VI.3.2.4), représente les deux variogrammes directionnels des deux directions 90° et 180° avec un pas de calcul de 2.56km et un nombre de classe égale à 5.

➤ Variogramme directionnel de l'axe2

Selon les deux directions (45° et 135°), nous avons tracé les variogrammes directionnels (Fig. VI.3.2.5) avec un pas de calcul 3.80km et un nombre de classe qui est égal à 4.

➤ Variogramme directionnel de l'axe3

Dans les figures (VI.3.2.6), nous retrouvons les variogrammes directionnels des deux directions principales (135° - 225°) tracés avec un pas de calcul de 3.5km et un nombre de classe égale à 5.

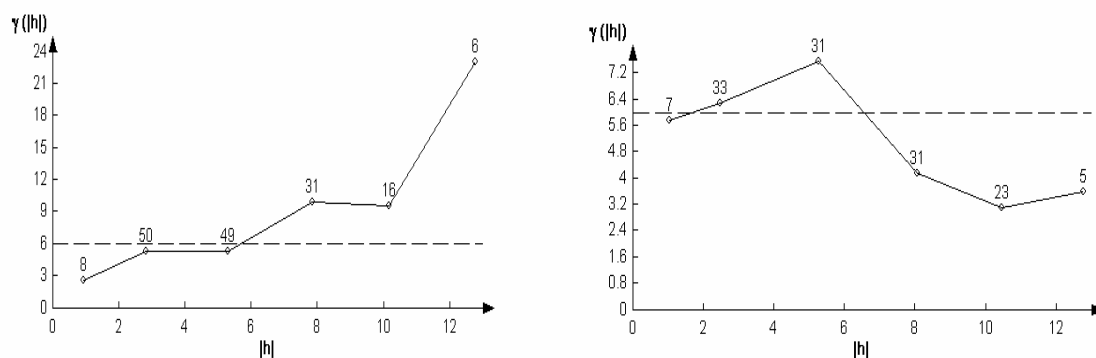


Fig. VI.3.2.4 : Variogramme directionnel de l'axe 1

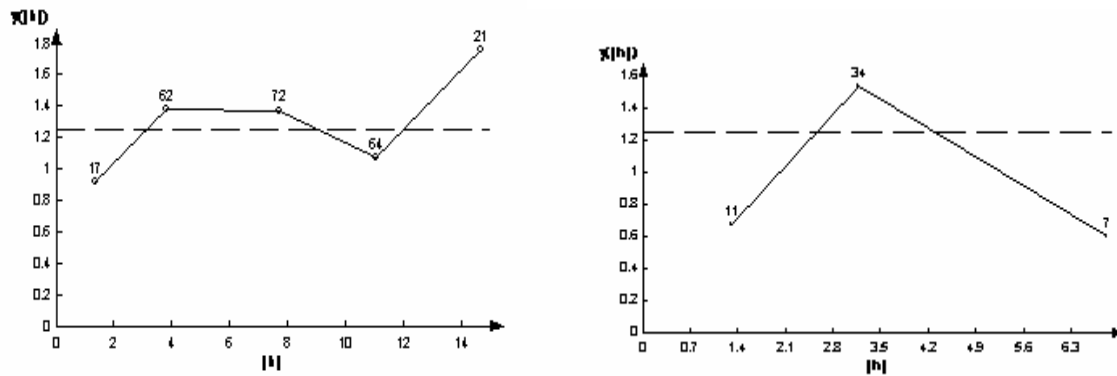


Fig. VI.3.2.5 : Variogramme directionnel de l'axe 2

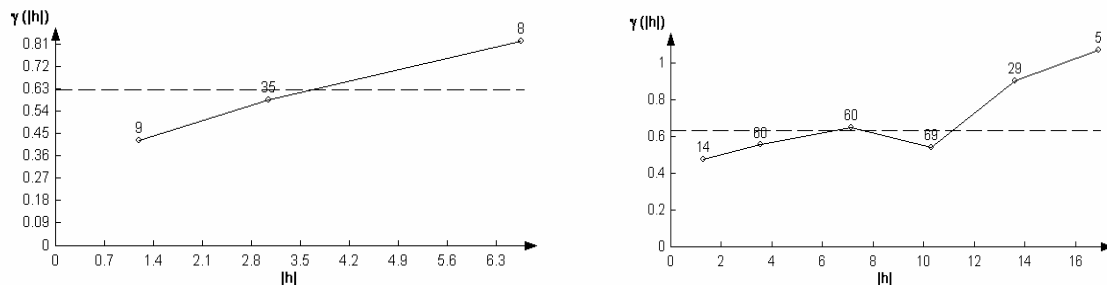


Fig. VI.3.2.6 : Variogramme directionnel de l'axe 3(135-225)

VI.3.2.3-Etude des variogrammes ajustés aux axes

➤ Variogramme ajustés à l'axe1

Les variogrammes ajustés pour les variogrammes directionnels (90° et 180°), qui sont bien représentés par la figure (VI.3.2.8), le modèle retenu est Gaussien. Il est caractérisé par un effet de pépite de 2.76 qui représente 30.6% de la variabilité totale, un palier de 3.72, une portée de 5.07 et un rapport d'anisotropie égale à 3.57.

➤ Variogramme ajustés à l'axe2

Les variogrammes directionnels des deux directions (45° - 135°), s'ajustent à un modèle Gaussien (Fig. VI.3.2.8) qui a comme caractéristique un effet de pépite de 0.51, un palier de 0.871, une portée de 2.25, un rapport d'anisotropie égale à 2.3 et un IGF de $8.19.10^{-2}$.

➤ Variogramme ajustés à l'axe3

Les variogrammes directionnels des deux directions (135-225), s'ajustent bien à un modèle Gaussien où l'effet de pépite 0.23, le palier 0.09, la portée 1.17, le rapport d'anisotropie de 3.9 et l'IGF $2.52.10^{-1}$.

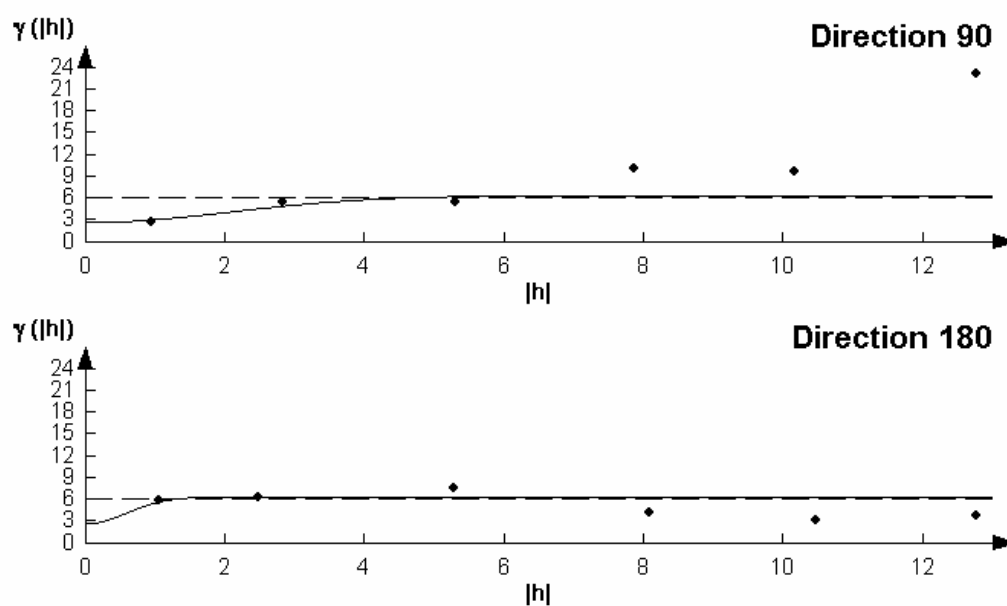


Fig. VI.3.2.7 : Variogramme ajusté à l'axe 1

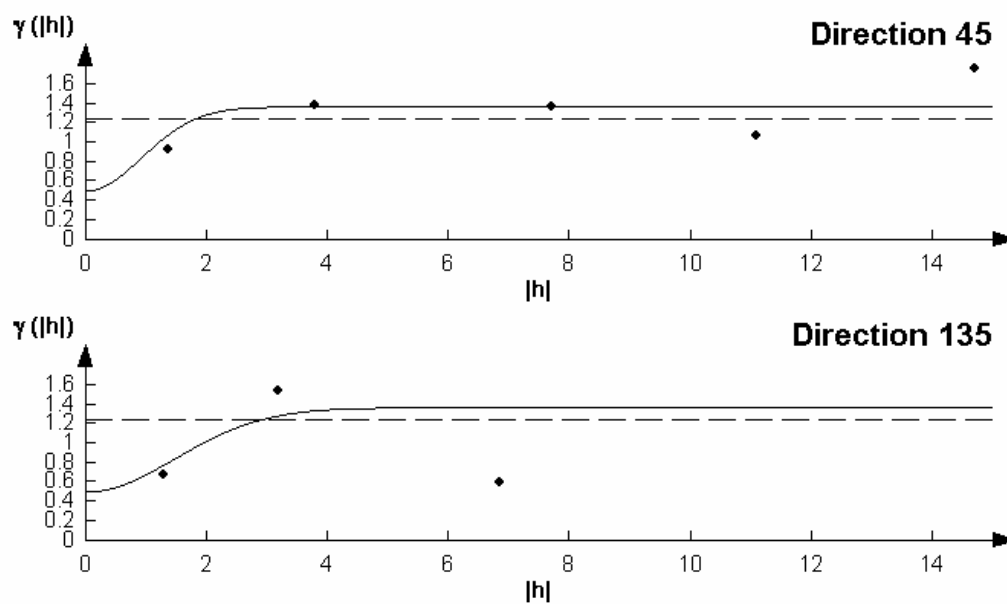


Fig. VI.3.2.8 : Variogramme ajusté de l'axe 2

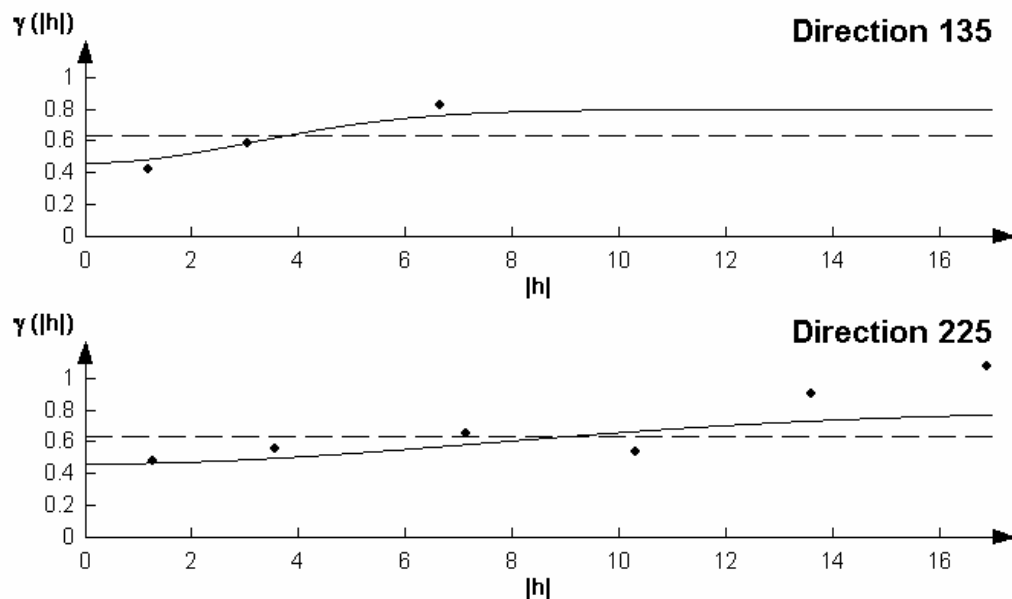


Fig. VI.3.2.10: Variogramme ajusté de l'axe 3

VI.3.2. 4-Interprétation des cartes krigées des axes

➤ Cartes krigées de l'axe1

Il apparaît sur la carte krigée (**Fig. VI.3.2.12**) de l'axe1 qui représente (*Ca, Mg, SO_4 , Cl, Na+K*), une zone centrale où les valeurs sont importantes évoluent de part et d'autre, selon l'axe NE-SW des valeurs relativement moins élevées. Cela est du probablement aux conditions géologiques particulières.

Le gradient dans l'ensemble de la carte est relativement faible.

➤ Cartes krigées de l'axe2

La carte de l'axe2 donnée dans la figure (**VI.3.2.12**), qui explique principalement les nitrates montre principalement trois zones où les teneurs en nitrates sont très élevées (zone Est ; Sud-est et Sud-ouest), alors qu'ailleurs les valeurs sont faibles.

➤ Cartes krigées de l'axe3

La carte krigée (**Fig.VI.3.2.12**), de l'axe3 liée essentiellement aux bicarbonates, montre que l'évolution des bicarbonates est dans la direction N-S.

Le gradient est très important dans la partie nord de la région et en quelques plages à l'est et au centre.

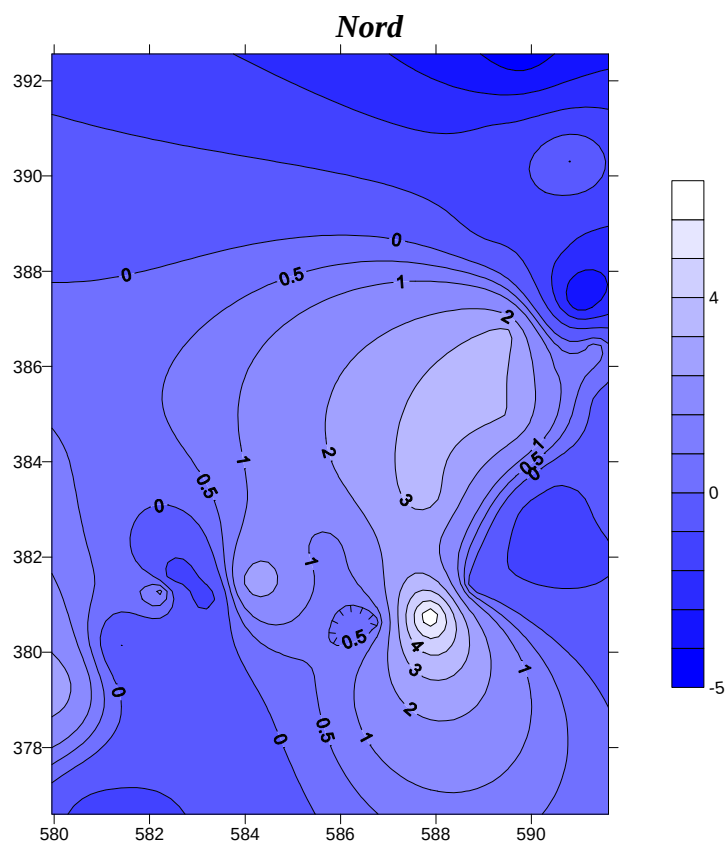


Fig. VI.3.2.12 : Carte de krigée selon l'axe 1

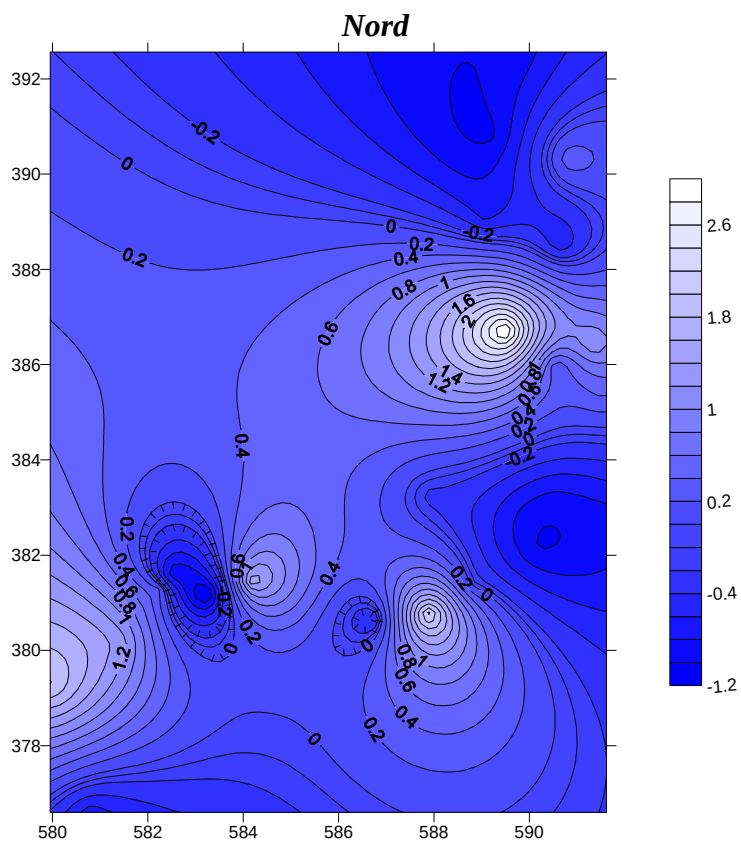


Fig. VI.3.2.13 : Carte de krigée selon l'axe 2

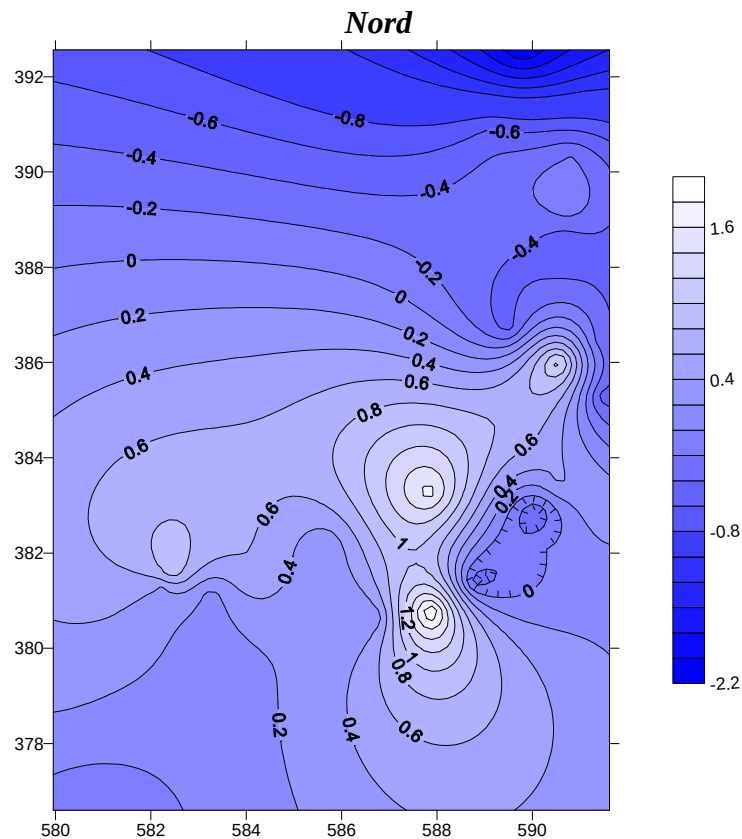


Fig. VI.3.2.14 : Carte de krigée selon l'axe 3

VI.3.3) Vallée de la Basse Soummam :

Les résultats donnés dans le tableau (VI.3.3.1) après l'ajustement des variogrammes des axes principaux sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.3.3.1 : Caractéristiques des variogramme de l'axe 1, l'axe 2 et l'axe 3

Variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Taille	59	59	59
Pas de calcul	7.5 Km	2.2 Km	4.1 Km
Nombre de classe	5	4	4
Direction d'isotropie	135	135	45
Direction d'anisotropie	225	225	135
Modèle	<i>Power</i>	<i>power</i>	<i>Gaussian</i>
Nugget (pépite)	2.52	0.374	0.34
Sill (palier)	0.04	0.0036	0.21
Range (portée)	0.61	0.049	26
Anisotropie	2.5	1.2	70
IGF	$5.01. 10^{-2}$	$8.3. 10^{-1}$	$1.27.10^{-1}$

VI.3.3.1-Etude des variogrammes de surface

➤ Variogramme de surface de l'axe 1

Nous remarquons dans la figure (VI.3.3.1), que la direction d'isotropie est la direction 135° et la direction d'anisotropie est 225° .

➤ Variogramme de surface de l'axe 2

Il apparaît dans la figure (.VI.3.3), l'existence une direction d'isotropie et une directions d'anisotropies qui sont respectivement (135° - 225°).

➤ Variogramme de surface de l'axe 3

Le variogramme de la figure (VI.3.3.3), montre l'existence de deux directions sont 0° et 45° et deux directions une direction d'isotropie suivant 45° et une direction d'anisotropie suivant 135° .

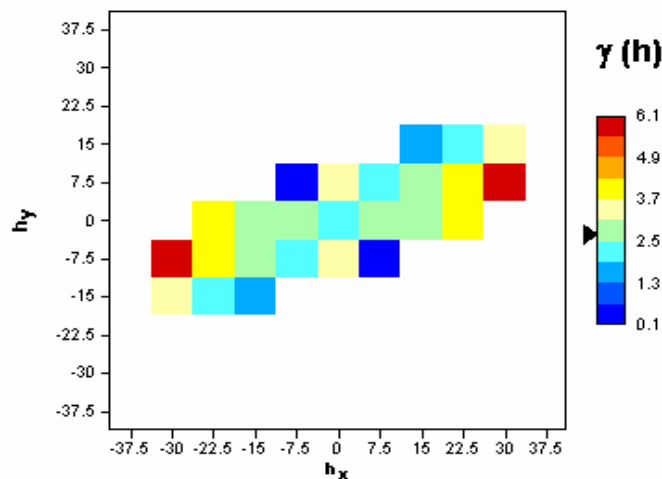


Fig. VI.3.3.1 : Variogramme de surface selon l'axe 1

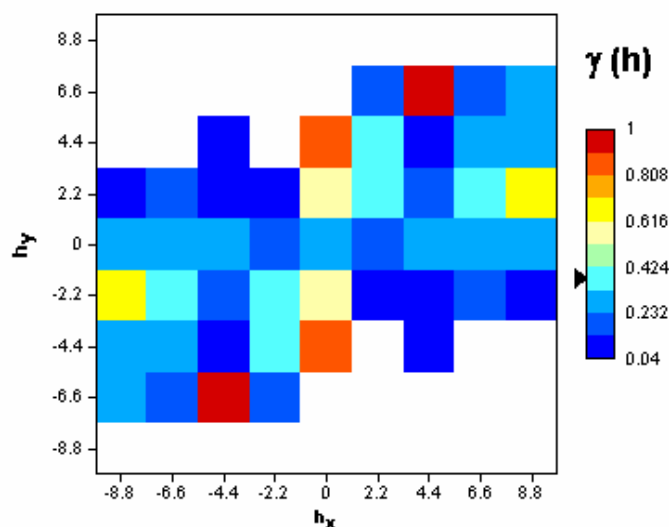


Fig. VI.3.3.2 : Variogramme de surface selon l'axe 2

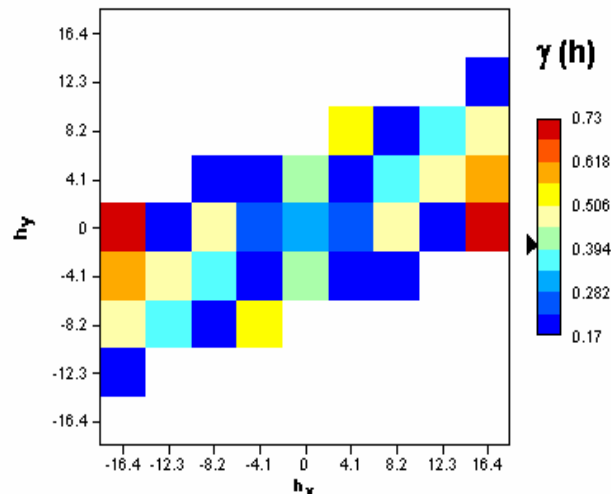


Fig. VI.3.3.3 : Variogramme de surface selon l'axe 3

VI.3.3.2-Etude des variogrammes directionnels

➤ Variogramme directionnel de l'axe 1

Le variogramme de surface nous a permis de tracer deux variogrammes directionnels selon les deux directions citées précédemment, (**Fig. VI.3.3.4**) avec un pas de calcul 7.5 km et un nombre de classe de 5.

➤ Variogramme directionnel de l'axe 2

Les deux variogrammes directionnels du deuxième axe sont représentés par la figure. VI.3.3.5 (directions 135° et 225 °) avec un pas de calcul de 2.2 km et un nombre de classe égale à 4.

➤ Variogramme directionnel de l'axe 3

Avec un pas de calcul de 4.1 km et un nombre de classe égale à 4, nous avons tracés les variogrammes directionnels donnés dans les figures (**Fig. VI.3.3.6**), selon les deux directions principales (45°-135°).

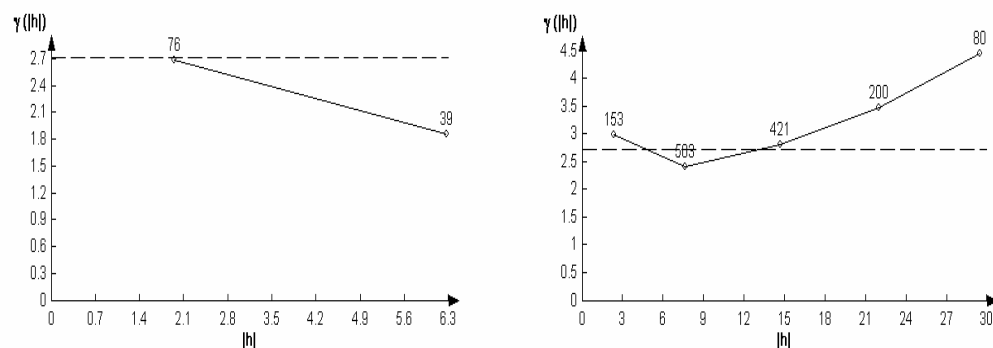


Fig. VI.3.3.4 : Variogramme directionnel de l'axe 1

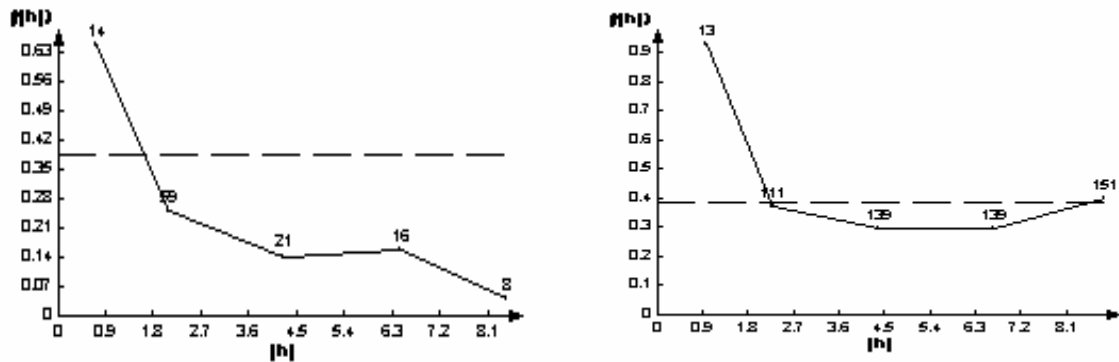


Fig. VI.3.3.5 : Variogramme directionnel de l'axe2

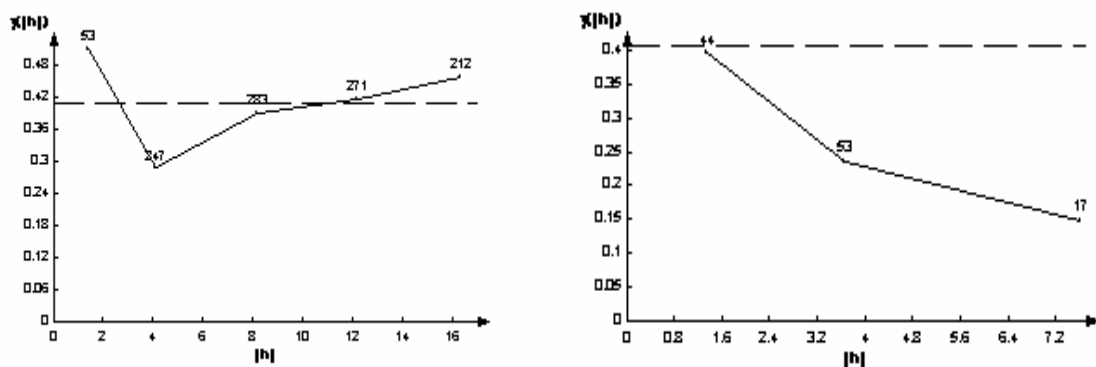


Fig. VI.3.3.6 : Variogramme directionnel de l'axe 3 (45-135)

VI.3.3-Etude des variogrammes ajustés aux axes

➤ Variogramme ajustés à l'axe1

L'ajustement donne deux variogrammes qui s'ajustent à un modèle power (**Fig. VI.3.3.8**), caractérisé par un effet de pépite de 2.52 qui représente 5.01% de la variabilité totale, un palier de 0.04, une portée de 0.61 et un rapport d'anisotropie d'ordre de 2.5.

➤ Variogramme ajustés à l'axe2

Les variogrammes expérimentaux présentés précédemment s'ajustent mieux à un modèle power (**Fig. VI.3.3.9**), caractériser par un effet de pépite de 0.374 qui représente 5.73% de la variabilité totale, un palier de 0.0036, une portée de 0.3 et un rapport d'anisotropie qui est égale à 1.2.

➤ Variogramme ajustés à l'axe3

Le variogramme directionnel des directions (45°.135°), s'ajuste bien à un modèle Gaussian (**Fig. VI.3.3.10**), avec les caractéristiques suivantes, l'effet de pépite 0.34, le palier 0.21, la portée 26, un rapport d'anisotropie 70 et un IGF égale à $1.27.10^{-1}$.

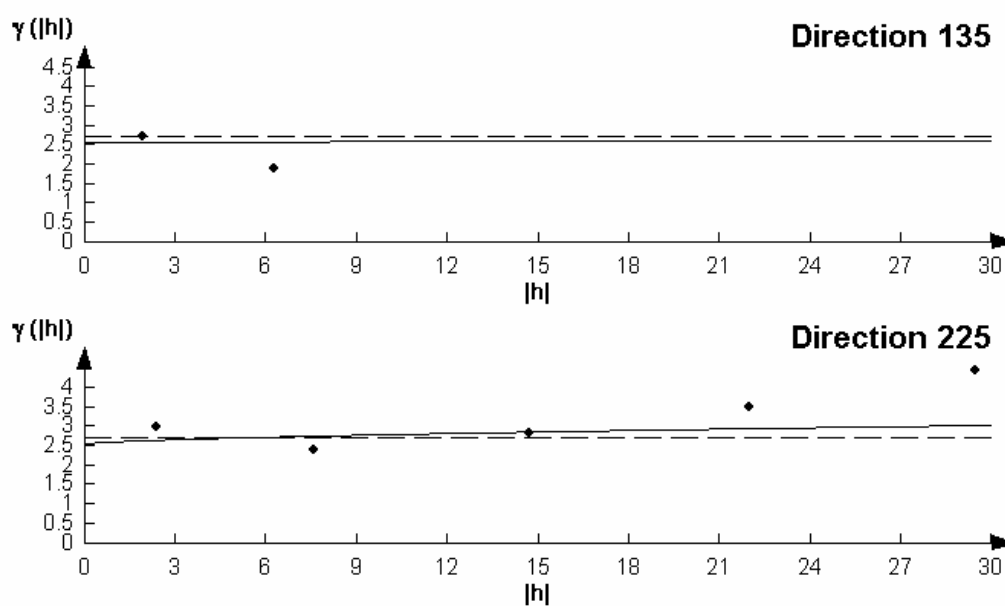


Fig. VI.3.3.8: Variogramme ajusté à l'axe 1

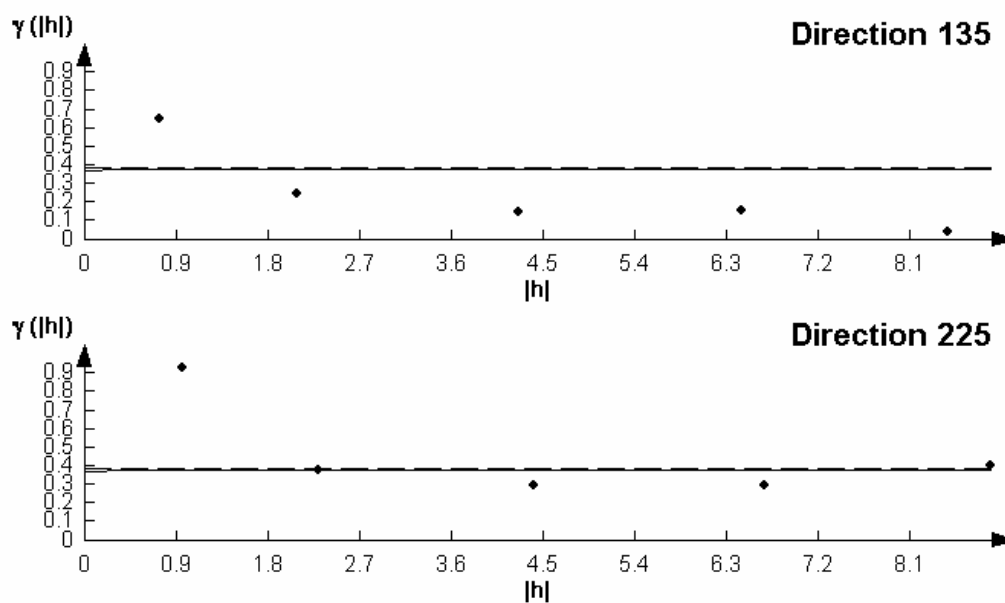


Fig. VI.3.3.9: Variogramme ajusté à l'axe 2

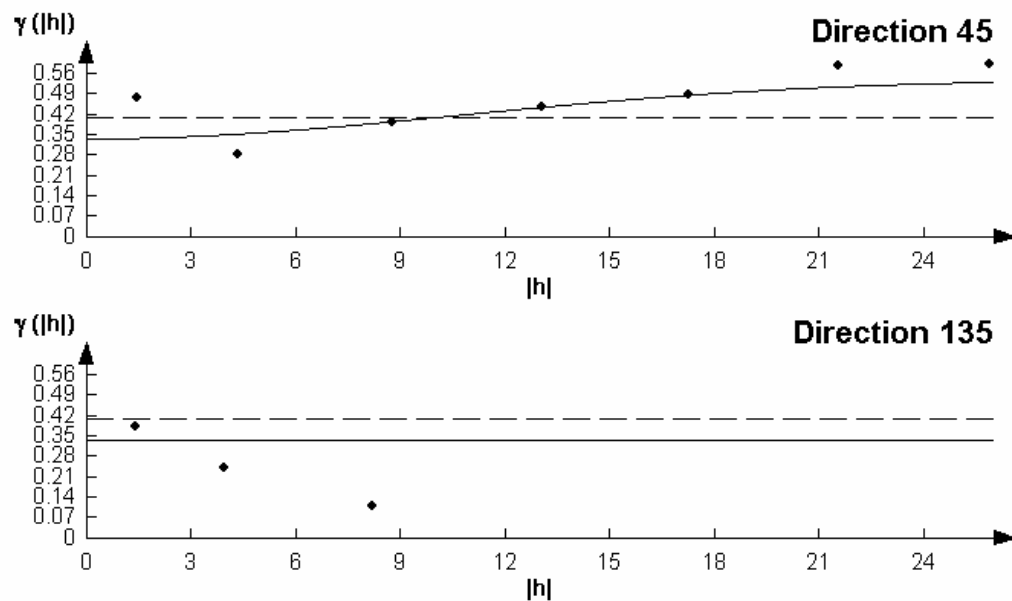


Fig. VI.3.3.10: Variogramme ajusté à l'axe 3 (45-135)

VI.3.3.4-Interprétation des cartes krigées des axes

➤ Carte krigée de l'axe1

la carte krigée de l'axe1 (**Fig. VI.3.3.12**) qui représente les variables chimiques suivantes (Ca, Mg, SO₄, Cl, Na+K). Nous voyons que les plus fortes valeurs augmentent selon une direction SW-NE, qui est celle de l'écoulement de l'eau de la vallée qui coïncide avec l'axe de cette dernière. Au nord et à l'ouest de la vallée les valeurs sont faibles.

➤ Carte krigée de l'axe2

Sur la figure (**VI.3.3.12**), qui représente la carte krigée de la deuxième composante qui est liée principalement aux nitrates. Nous remarquons que la concentration des nitrates est importante le long de la vallée et le gradient dans l'ensemble est stable mise à part quelques anomalies situées au centre et à l'Est de la région.

➤ Carte krigée de l'axe3

La cartographie du troisième axe qui représente les bicarbonates est donnée dans la figure (**VI.3.3.13**). Nous observons sur cette carte que les teneurs en bicarbonates évoluent le long de l'axe de la vallée, elles sont relativement importantes au centre de la vallée qui est reliée probablement aux accidents tectoniques qui ont affectés la région.

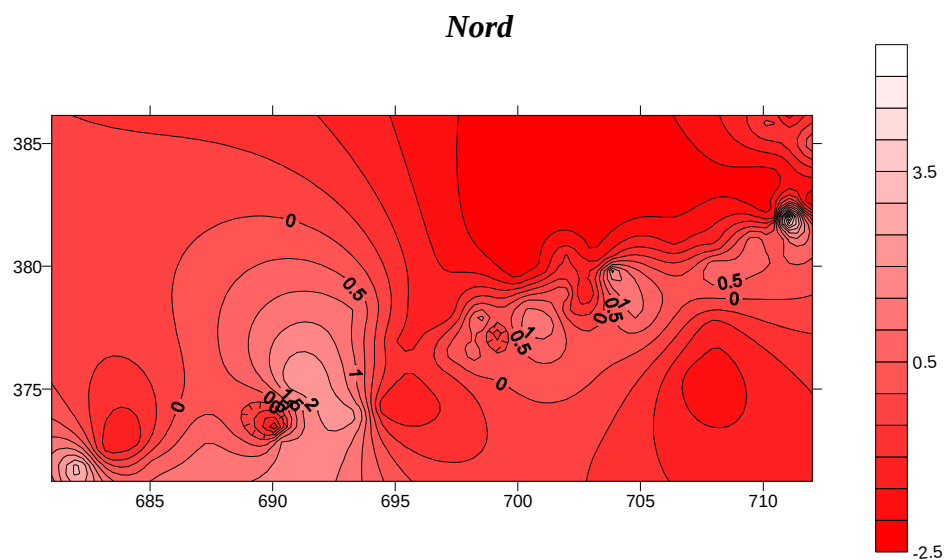


Fig. VI.3.3.11 : Carte krigée de l'axe 1

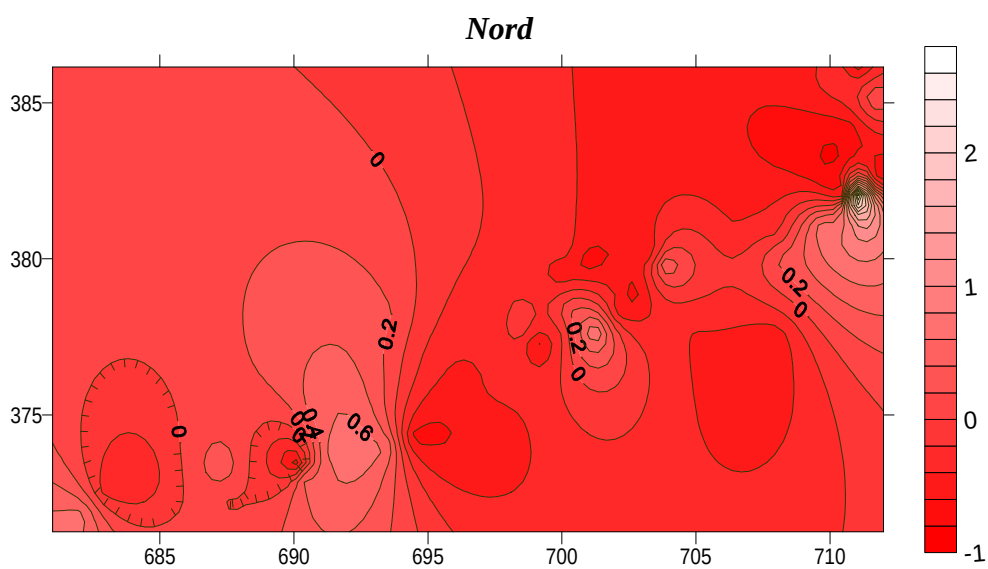


Fig. VI.3.3.12: Carte krigée de l'axe 2

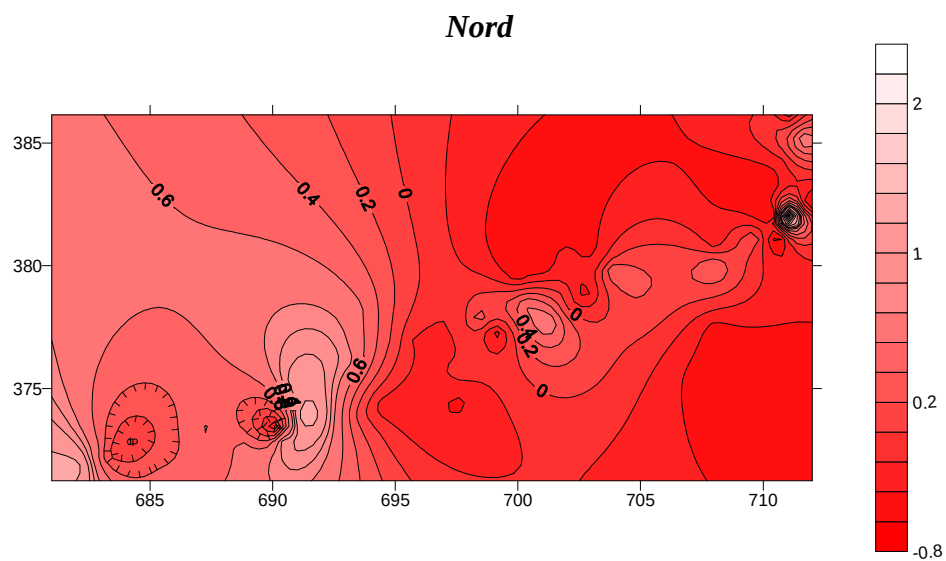


Fig. VI.3.3.13: Carte krigée de l'axe 3

VI.4.Conclusion

La cartographie en composantes principales par l'utilisation de la géostatistique montre les zones et les directions des concentrations des variables chimiques. Nous retrouvons que :

- Les concentrations des paramètres (*Ca, Mg, SO₄, Cl, Na+K*) représentés par l'axe1, évoluent selon la direction SW-NE (sens d'écoulement) dans le cas de la région de Sébaou et de la basse Soummam. Par contre dans la région d'Isser les fortes concentrations de ces éléments sont localisées au centre de la vallée ;
- Les nitrates sont représentés par l'axe2, augmentent le long de la vallée dans les plaines de Sébaou et la Soummam. Par contre au niveau de l'Isser elles sont localisées à l'Est au Sud Est et au sud ouest ;
- Les teneurs en bicarbonates qui sont représentées par la troisième composante, sont très élevées au centre de la vallée du Sébaou. Elles sont localisées au sud de la vallée du bas Isser et évoluent selon la direction N-S de cette dernière. Dans la vallée de la Soummam, les teneurs en bicarbonates augmentent selon l'axe de la vallée.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous rappelons les différentes étapes réalisées dans ce travail :

Les plaines alluviales du bas Sébaou du bas Isser de basse Soummam sont situées dans le Nord de l'Algérie, ayant des réseaux hydrographiques très dense avec des paramètres physiographique qui favorisent l'infiltration au dépend du ruissellement quand les conditions géologiques le permettent. Le climat est de type méditerranéen avec deux saisons d'égale durée, une saison humide allant de novembre en avril, caractérisée par des précipitations irrégulières et une saison chaude et sèche qui s'étale de mai en octobre.

La géologie de ces régions est caractérisée par une tectonique complexe et fait partie des zones du <<domaine kabyle>> structurée lors de l'orogénèse. 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.

Les terrains méso-cénozoïques sont représentés par des formations lithologiques variées. Nous rencontrons essentiellement des formations sédimentaires (marnes, argiles, molasses, conglomérats et grès) du miocène qui affleurent dans ces basses vallées.

Le remplissage quaternaire constitue en raison de l'importance de son développement et sa caractéristique hydrogéologique un bon aquifère.

Du point de vue hydrogéologique, ces régions sont matérialisées par :

- La piezométrie montre un écoulement des eaux souterraines de sud vers le nord cas de la vallée de bas Sébaou. Deux types d'écoulement des eaux souterraines dans la vallée d'Isser dont le premier va vers la mer et l'autre des deux rives de la vallée vers l'axe de drainage. L'écoulement de la nappe aquifère de la Soummam se fait du SW vers le NE ;
- Au niveau de ces vallées, la recharge des nappes est assurée principalement par l'infiltration des eaux des précipitations, et par le ruissellement s'effectuant le long de cours d'eau ;
- De bonnes caractéristiques hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité, coefficient d'emménagement).

L'analyse statistique élémentaire des paramètres physico-chimique et chimique des trois régions, nous permet de conclure :

- Le potentiel d'hydrogène de ces régions a un caractère légèrement basique ;
- La minéralisation est relativement très forte dans la région d'Isser et la Soummam qui est à relier à la nature géologique de cette dernière.
- Les anions qui dominent dans ces régions sont les chlorures, les bicarbonates et les sulfates ;
- Le calcium est le cation dominant dans les trois aquifères ;

L'étude des corrélations entre les variables montre :

- l'influence de la conductivité électrique par le magnésium, les sulfates, les chlorures, le calcium, le sodium et le potassium et en faible mesure par les bicarbonates ;
- une très bonne corrélation entre les anions et les cations ;
- les nitrates qui indépendants, de toutes les autres variables sont à relier à l'utilisation en excès d'engrais azotés et des rejets des eaux usées.

L'application de l'analyse en composantes principales, nous a permis de déduire les conclusions suivantes:

- Un taux d'information important cerné dans les trois premières composantes;
- La première composante correspond à un groupement de variables qui vont ensemble, caractéristique milieu hydrogéologique continu du remplissage alluvial des trois plaines côtières ;
- La deuxième composante explique un seul paramètre, représenté par les nitrates (NO_3) avec un coefficient très élevé. Cet élément est d'origine exogène au milieu hydrogéologique dû essentiellement aux épandages d'engrais et des rejets des eaux usées ;
- La troisième composante explique l'alcalinité représentée par les bicarbonates HCO_3 . Cette variable est probablement à relier au milieu fissuré des roches calcaires ;
- l'état des individus (points d'eau) a montré l'existence d'un seul chimisme (1 seule famille d'eau) mis à part quelques points qui s'éloignent de cette famille.

La cartographie par approche multiparamétrique, nous a permis d'avoir la direction et les zones où l'évolution est importante.

- les concentrations des paramètres (Ca , Mg , SO_4 , Cl , $Na+K$) représentés par l'axe1, évoluent selon la direction SW-NE (sens d'écoulement) dans le cas de la région de Sébaou et de la basse Soummam. Par contre dans la région d'Isser, les fortes concentrations de ces éléments sont localisées au centre de la vallée ;
- Les nitrates qui sont représentés par l'axe2, augmentent le long de la vallée dans le cas de la plaine de Sébaou et la Soummam et ils sont localisés à l'Est au Sud Est et au sud ouest de la vallée d'Isser ;
- Les teneurs en bicarbonates qui sont représentées par la troisième composante, sont très élevées au centre de la vallée de Sébaou. Elles sont localisées au sud de la vallée du bas Isser et évoluent selon la direction N-S de cette dernière. Dans la vallée de la Soummam les teneurs en bicarbonates augmentent selon l'axe de la vallée.

Pour remédier aux différents problèmes auxquelles sont confrontées ces nappes, nous suggérons de :

- Confronter les résultats obtenus avec les observations de terrain en vue d'évaluer l'importance des épandages et les rejets des eaux usées ;
- Procéder à des campagnes de prélèvement et d'analyse des eaux de surface et des eaux souterraines pour déterminer la qualité bactériologique, l'existence des métaux lourds ;
- Traitement des rejets des eaux usées industrielle et domestique qui se déversent directement dans les affluents et la mise en place d'un réseau de canalisation planifié.

Références bibliographiques

- 1- AMGHAR M. (1991) :** Synthèse hydrogéologique de la plaine de la basse Soummam.
Thèse d'Ing, USTHB, 90p.
- 2-ANRH, (de Blida), (2003) :** Annuaire des données hydrochimiques des basses vallées du Sébaou et de l'Isser.
- 3-ARAFI, D. (2003) :** Distribution spatiale de la salinité et l'influence de la nappe superficielle dans la région d'Ouargla.
Thèse, d'Ing. INA, 121p.
- 4-AZOUZI, B. (1993) :** contribution à la cartographie automatique des grandeurs hydrogéologique (application à la Mitidja).
Thèse de Magister, INA, 130p.
- 5-AZZEMOU, A. (2005) :** comportement hydrochimique des trois vallées bas Isser, basse Soummam et bas Sébaou.
Thèse, d'Ing .ENP, 89p.
- 6-DOUAOUI, A. (1993) :** Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff
Variabilité spatiale de quelques propriétés physico-chimiques des sols du moyen Chelliff
Incidences cartographiques
Thèse de Magister, INA, 121 p.
- 7-PHILYPEAU, P. (1986) :** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composante principale. Service des études statistiques ITGC, 61p.
- 8-SLIMANE, B. (2003) :** Etude de la variabilité spatiale de la charge hydraulique et perméabilité de l'aquifère superficiel de la basse Soummam.
Thèse, d'Ing .ENP, 115p.
- 9-VOLTZ, M. (1986) :** Variabilité spatiale des propriétés physiques en milieu alluvial, essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques.
Thèse Doc. Ing ; ENSAM ,198p.
- 10-WALTER, M. (1990) :** Estimation des propriétés du sol et quantification de leur variabilité à moyenne échelle cartographie pédologique et géologique dans le sud de L'Ille et Vilaine, France.
Thèse Doc. De l'université de Paris, 172p.
- 11-ZAINI, M. (1995) :** Contribution à l'étude géostatistique du gisement aquifère.
Thèse, d'Ing. ENP, 102p
- 12-ZERREROU, M. (1990) :** Contribution à l'étude hydrogéologique de la basse Soummam.
Thèse, d'Ing .USTHB, 91p.

Annexes 1 : Les centrées réduites des variables (Vallée de Sébaou)

Cl	SO4	HCO3	NO3	Ca	Mg	NA+K
-0,478	-0,530	0,19486667	0,3862069	-0,22207796	-0,24681176	-0,65006553
1,364	0,251	-0,02066667	-0,25517241	0,70757485	0,79786178	1,38138925
1,237	0,635	0,93906667	-0,47931034	1,06593264	0,81618939	1,0406291
-0,1779661	-0,030	1,09766667	0,46206897	-0,0195279	0,2480336	-0,12581913
-0,44067797	-1,17179487	-0,68353333	-0,74482759	-0,38827287	-1,50225277	-0,65006553
-0,3940678	0,0974359	0,996	-0,55862069	-0,12859332	0,02810233	-0,19134993
3,79025424	2,64871795	0,53646667	-0,57241379	2,44742787	2,92386407	3,2948886
-0,41101695	-0,45384615	1,0448	-0,52413793	-0,18052923	-0,11851852	-0,58453473
-0,27966102	0,08461538	0,84146667	1,6862069	0,52579916	-1,11737304	-0,09960682
-0,51694915	-1,8	-0,49646667	-0,67241379	-0,69988834	-1,05322642	-0,78112713
-0,75	-1,50512821	-1,33826667	-0,73793103	-0,98553585	-1,08988163	-0,92529489
-0,71186441	-1,53076923	-2,73313333	-0,32413793	-1,27637695	-1,25483009	-0,92529489
-0,44915254	0,14871795	0,63	-0,20689655	-0,22727155	0,01893853	-0,33551769
0,4279661	1,45641026	2,85446667	-0,75862069	-0,35711132	2,14494082	1,34207077
-0,31355932	0,54615385	0,142	-0,47241379	-0,35711132	0,03726613	-0,34862385
-0,25	-0,12051282	-0,98853333	2,87931034	0,08434392	-0,78747614	0,09698558
-0,44915254	-0,28717949	-0,31753333	1,03793103	-0,12859332	-0,01771669	-0,66317169
-0,41525424	-0,35128205	0,0322	1,57241379	0,08434392	-0,34761359	-0,50589777
0,48728814	0,61025641	0,24773333	-0,48275862	0,75010857	0,30676884	0,0576671
-0,37288136	0,03333333	-0,6998	2,65517241	0,01724138	-0,24878672	-0,20445609
2,72033898	2,08461538	1,03666667	-0,31034483	3,00299661	2,02132822	2,87549148
-0,63135593	-0,55641026	-0,99666667	-0,37931034	-0,7726266	-0,39725415	-0,87287025
-0,37711864	0,57179487	0,15013333	-0,55172414	-0,08590289	-0,26794381	-0,0733945
-0,40254237	0,34102564	-0,6022	-0,65517241	-0,65319639	0,19661558	-0,28309305
-0,62711864	-0,73589744	-0,59	-0,65517241	-0,62605316	-0,84744572	-0,50589777
0,00423729	-0,50512821	-0,895	-0,65517241	-0,88391384	0,11519796	0,07077326
-0,36864407	-0,59487179	0,83333333	-0,68965517	-0,11304612	-0,60319285	-0,11271298
-0,50847458	-0,62051282	-0,99666667	-0,68965517	-0,72648311	-0,77560664	-0,44036697
-0,62711864	-0,83846154	-0,24433333	-0,75862069	-0,62876748	-0,5265645	-0,74180865
0,91101695	2,08461538	0,83333333	1,13793103	2,44927473	-0,04763729	0,98820446
-0,54661017	-0,1974359	-0,102	0,24137931	-1,20420394	1,55197957	-0,71559633
-0,47033898	0,23846154	-0,56153333	-0,44827586	-0,48762269	0,05772669	-0,41415465

Annexes 2 :Les centrées réduites des variables (Vallée d'Isser)

Cl	So4	Hco3-	No3-	Ca++	Mg++	Na+k
-0,29632353	-0,02764228	0,38442308	1,37555556	0,7528395	0,01329407	-0,55737705
-0,64191176	-0,38536585	1,10879808	-0,54888889	0,36856721	-0,26642621	-0,83606557
0,17426471	-0,29593496	0,77447115	1,64888889	0,64990942	0,49176297	-0,31147541
-0,24485294	-0,18211382	0,27884615	0,54222222	1,14397379	-0,12656607	-1
0,43897059	-0,0601626	0,28471154	-0,48	-0,0568771	0,21940375	0,7704918
2,01617647	1,52520325	2,35225962	2,44222222	1,71352021	1,72105999	2,68852459
-0,04632353	0,63902439	-0,36634615	-0,05555556	-0,08432512	0,17965403	0,03278689
-0,70073529	-1,00325203	-0,00855769	-1,07111111	-0,96266177	-0,81114464	-0,78688525
0,13014706	-0,51544715	-2,53947115	-0,96444444	-0,31077129	-0,83322782	-0,78688525
-0,14191176	0,25691057	-0,21971154	0,36888889	-0,09459758	0,18834331	-0,27868852
-0,93602941	-0,95447154	-0,56283654	-0,32	-1,0147911	-0,76248231	-0,78688525
-0,64926471	-0,63739837	-0,65081731	-0,58666667	-0,7576782	-0,98022863	-0,81967213
-0,81102941	-0,10081301	-0,33701923	0,68	-0,50733144	-0,05117764	-0,39344262
-0,81102941	-0,91382114	-0,28716346	1,25777778	-1,23130722	0,16656868	-0,8852459
0,05661765	0,09430894	1,52230769	-0,74222222	0,08808789	1,30610778	-0,59016393
0,72941176	1,28130081	-0,539375	0,39111111	1,53603945	0,49318817	-0,04918033
-0,75955882	-0,58861789	-0,51298077	-0,98666667	-1,30573463	0,07221194	-0,73770492
-0,55367647	0,75284553	0,41668269	-0,87555556	0,36549917	0,02140446	-0,39344262
-1,12720588	-0,48292683	0,12927885	-0,80888889	-1,40046044	-0,18182544	-0,8852459
0,35808824	0,99674797	-0,12293269	2,13777778	-0,19172073	-0,01748039	1,62295082
-0,92132353	-0,95447154	-0,16985577	-0,76222222	-0,87312828	-0,57862483	-1,09836066
0,57132353	-0,23089431	-0,615625	-1,11555556	-1,43752646	-0,21683433	1,08196721
0,15220588	-1,13333333	-0,35461538	-0,66666667	-0,0058823	-0,80751269	-0,80327869
0,31397059	-0,80813008	-0,55110577	3,25555556	0,47592102	-0,21683433	0,26229508
3,24779412	3,96422764	0,89471154	0,22666667	2,88493762	3,43060452	2,32786885
0,71102941	-0,14146341	-2,22860577	-0,43111111	-0,19878194	-0,36821479	-0,06557377
0,57132353	0,02113821	-0,26956731	0,25777778	0,15249583	0,15180405	0,19672131
-0,9875	-0,62926829	-0,20211538	-0,49777778	-0,58518749	-1,53637306	-0,67213115
-1,32573529	-0,93821138	0,02663462	-0,96444444	-0,81703082	-1,06157325	-0,96721311
-0,63455882	-0,83252033	0,15860577	-1,36444444	-0,92241416	-0,5340179	-0,08196721
0,40220588	-0,2796748	0,68942308	0,59111111	0,54592693	0,85269901	0,04918033
-0,64926471	-0,26341463	0,146875	0,34666667	0,26490472	-0,2325577	-0,73770492
2,80661765	1,50081301	1,95048077	-0,25333333	2,02129358	2,6614602	2,96721311
-0,00220588	-1,06829268	-0,39860577	-0,32	-0,00909195	-0,85055111	-0,31147541
2,40220588	2,4195122	1,23197115	0,52444444	2,02831914	1,99071126	1,68852459
0,29191176	-0,46666667	-0,07014423	-0,00888889	0,45459471	-0,39082431	0,14754098
-0,70073529	-0,59674797	-0,36634615	-0,47555556	-0,54303416	-1,00128121	-0,50819672
-0,71544118	-0,18211382	-3,44713942	0,36888889	-1,66009748	-0,91837965	-0,39344262
-0,81102941	-0,61300813	0,19673077	0,61333333	0,29300694	-0,91084315	-0,54098361
0,0125	0,40325203	1,09706731	0,25777778	-0,0793475	1,38779086	0,09836066
-1,21544118	-0,23902439	0,47240385	-0,80888889	-1,13318082	-0,45865285	-0,26229508
-0,3625	-0,51544715	-0,11120192	-1,20888889	-0,75380083	-0,57170042	-0,31147541
-0,38455882	-0,00325203	0,05596154	-0,92	-0,45170194	-0,95606218	0,90163934
0,68897059	0,47642276	0,43721154	0,23555556	0,79182138	0,73965144	0,91803279
0,35073529	1,71219512	0,34629808	-0,29777778	0,86207693	0,19702308	1,55737705

Annexes 3 : Les centrées réduites des variables (Vallée de la Soummam)

Ca	Mg	Na + K	Cl	SO4	HCO3	NO3
0,02881579	-0,01243243	0,71027848	0,3833288	0,19928	-0,15725806	-0,6786
1,38892105	0,43513514	0,72250633	0,3833288	0,616496	0,21169355	-0,6786
-0,44376316	-0,31081081	0,33121519	-0,18332065	-0,30952	0,35685484	-0,4929
-0,34002632	-0,41524324	0,08665823	-0,13156522	-0,20776	-0,85826613	-0,6786
-0,24781579	-0,46	-0,03562025	-0,21766304	-0,41128	-0,52620968	-0,4929
0,02881579	0,28594595	0,19670886	-0,03748641	0,19928	0,58064516	-0,6786
0,09797368	0,644	0,24562025	-0,0116087	0,19928	1,31854839	1,3671
0,00576316	0,13675676	0,35567089	0,21161685	0,19928	-0,15725806	-0,6786
0,09797368	0,43513514	0,36789873	-0,04595109	-0,16324	0,90604839	-0,4929
0,00576316	0,18151351	0,80810127	0,3833288	0,209456	0,28548387	1,1811
0,01728947	0,28594595	0,49017722	0,21161685	0,433328	-0,00967742	-0,6786
-0,55902632	-0,46	-0,29240506	-0,44088859	-0,472336	-0,89516129	-0,6786
0,3285	0,47989189	0,60022785	0,3059375	0,80984	0,35927419	-0,6786
-0,36307895	-0,41524324	-0,29240506	-0,389375	-0,472336	-0,89516129	1,3671
0,3285	0,13675676	-0,03562025	-0,21766304	0,30104	1,31854839	-0,6786
-0,01728947	-0,29589189	-0,0478481	-0,30351902	-0,00424	-0,00967742	-0,6786
0,23628947	0,00248649	0,46572152	0,48635598	0,138224	-0,41552419	0,0651
-0,01728947	0,18151351	0,35567089	0,12576087	0,341744	-0,15725806	-0,6786
-0,31697368	-0,31081081	-0,26794937	-0,30351902	-0,197584	-1,15342742	-0,6786
0,3285	0,18151351	0,12334177	-0,13180707	0,4028	0,94959677	1,1811
-0,13255263	-0,16162162	-0,29240506	-0,36373913	-0,00424	-0,52620968	-0,6786
0,44376316	-0,01243243	-0,01116456	-0,1330163	0,51304	-0,15725806	0,0651
0,3285	-0,31081081	-0,17012658	-0,21766304	0,50456	0,58064516	-0,4929
-0,01728947	-0,16162162	-0,0478481	-0,2007337	0,09752	-0,08467742	-0,4929
0,21323684	-0,40032432	-0,24349367	-0,30472826	-0,09752	-0,08467742	1,5531
-0,1095	0,34562162	0,36683544	0,1330163	0,19928	-0,15725806	-0,6786
-0,01728947	0,73351351	0,68582278	0,33133152	0,4028	-0,15725806	-0,3069
-0,24781579	-0,31081081	-0,17012658	-0,38091033	-0,26924	0,21169355	-0,6786
0,13255263	-0,11686486	-0,01116456	-0,09915761	-0,106	0,58064516	1,1811
-0,13255263	0,43513514	0,44126582	0,12576087	0,19928	-0,48991935	-0,6786
-0,01728947	0,28594595	-0,45136709	-0,0116087	0,09752	0,58064516	0,0651
-0,24781579	-0,26605405	0,07443038	-0,13422554	-0,41128	0,58064516	0,2661
-0,16713158	-0,35556757	-0,10898734	-0,20266848	-0,268816	-0,93205645	0,9981
-0,55902632	-0,31081081	-0,09622785	-0,20266848	-0,350224	-1,2641129	-0,4929
-0,09797368	-0,16162162	-0,10101266	-0,20266848	-0,30104	0,21169355	-0,3069
0,47834211	0,15167568	0,18448101	0,00241848	0,626672	-0,00967742	0,0651
-0,01728947	-0,1467027	0,07443038	-0,13422554	-0,30952	1,31854839	-0,3069
-0,47834211	-0,54951351	-0,29240506	-0,32891304	-0,51304	-0,89516129	0,2511
-0,36307895	-0,46	-0,29240506	-0,39856522	-0,41128	-0,15725806	-0,3069
-0,01728947	-0,31081081	-0,17012658	-0,32891304	-0,047912	0,94959677	0,0651
-0,36307895	-0,44508108	-0,17012658	-0,30497011	-0,41128	-0,38104839	-0,4929
0,48986842	1,04432432	0,22116456	0,23289946	0,19928	2,05645161	3,0411
-0,13255263	-0,11686486	0,00106329	-0,13180707	-0,41128	1,09717742	0,2511
-0,47834211	-0,46	-0,26794937	-0,2776413	-0,51304	-0,89516129	0,0471
-0,47834211	-0,43016216	-0,01116456	-0,21766304	-0,482512	-0,37862903	0,0651
-0,01728947	-0,29589189	-0,17012658	-0,13180707	-0,41128	-0,04657258	1,1811
-0,47834211	-0,46	-0,29240506	-0,389375	-0,553744	-0,82137097	0,8091
-0,57055263	-0,46	-0,29240506	-0,45805978	-0,51304	-0,89516129	-0,1209
-0,36307895	-0,46	-0,14567089	-0,38091033	-0,41128	-0,52620968	1,1811
-0,24781579	-0,31081081	-0,28017722	-0,389375	-0,492688	0,21169355	-0,3069
-0,01728947	-0,01243243	0,00106329	-0,11463587	-0,106	0,58064516	-0,1209
-0,13255263	0,28594595	0,36789873	0,04836957	0,005936	0,58064516	0,0651
-0,24781579	-0,31081081	0,46572152	0,12576087	-0,197584	-0,15725806	-0,4929
-0,01728947	0,28594595	0,73473418	0,46918478	-0,00424	1,06028226	-0,3069
1,16992105	1,18108108	1,554	1,75702446	0,70808	0,58064516	1,1811

-0,5475	-0,60918919	-0,36577215	-0,44088859	-0,574096	-0,89516129	-0,4929
0,21323684	0,28594595	0,11111392	0,39179348	-0,106	0,58064516	0,0651
0,47834211	-0,01243243	0,08665823	-0,21766304	0,80984	-1,11653226	-0,4929
-0,47834211	-0,41524324	-0,26794937	-0,30424457	-0,370576	-1,2641129	1,1811
0,3285	0,13675676	0,24562025	0,12576087	0,229808	0,72822581	0,0651
-0,16713158	-0,04227027	0,83255696	0,52916304	0,117872	-0,93205645	-0,3069
1,41197368	1,56897297	0,55131646	1,24188859	1,501808	-0,93205645	-0,3069
1,16992105	1,18108108	1,554	1,75702446	0,70808	0,58064516	-0,3069

Annexe 4 : Coordonnées des variables sur les axes (vallée de Sébaou)

X (Km)	Y (Km)	Coord sur F1	Coord sur F2	Coord sur F3
603.880	399.285	-0.830953476	0.355310345	0.165636667
604.065	395.620	1.643845799	-0.234758621	-0.017566667
603.675	397.375	1.610230468	-0.440965517	0.798206667
615.363	382.887	-0.048235809	0.425103448	0.933016667
603.000	392.030	-1.596028076	-0.685241379	-0.581003333
612.000	383.150	-0.203803979	-0.513931034	0.8466
614.293	382.266	5.455847116	-0.52662069	0.455996667
613.875	383.010	-0.687117332	-0.482206897	0.88808
603.475	398.960	-1.782470659	-0.61862069	-0.421996667
603.780	388.350	-1.834821251	-0.678896552	-1.137526667
606.900	385.600	-1.895391137	-0.298206897	-2.323163333
609.000	385.500	-0.273947882	-0.190344828	0.5355
605.770	387.920	2.283068301	-0.697931034	2.426296667
604.590	398.435	-0.432640532	2.648965517	-0.840253333
617.160	384.420	-0.626105547	0.954896552	-0.269903333
613.670	384.440	-0.700494002	1.44662069	0.02737
618.310	385.425	0.626699866	-0.444137931	0.210573333
611.080	383.900	-0.075164394	-0.602758621	-0.51187
604.730	389.350	-0.140465526	-0.602758621	-0.76075
605.900	387.000	-0.71172225	-0.634482759	0.708333333
604.830	397.095	1.730821769	1.046896552	0.708333333
603.375	399.840	-0.263907144	-0.412413793	-0.477303333

Annexe 5 : Coordonnées des variables sur les axes (vallée d'Isser)

X (Km)	Y (Km)	Coord sur F1	Coord sur F2	Coord sur F3
584.170	381.470	2.85	1.308153333	0.334448077
585.700	382.200	0.60	1.568093333	0.964654327
586.720	380.650	0.10	0.515653333	0.242596154
587.880	380.760	7.04	-0.45648	0.247699038
588.780	381.400	-0.52	2.322553333	2.046465865
590.220	382.150	-1.61	-0.052833333	-0.318721154
589.800	392.560	-4.74	-1.018626667	-0.007445192
590.820	390.320	0.048	-0.917186667	-2.209339904
590.750	389.280	-1.42	0.350813333	-0.191149038
590.660	388.500	-1.87	-0.30432	-0.566211058
591.360	386.440	0.785	-0.55792	-0,29322
590.560	386.000	0.830	0.64668	-0.249832212
591.440	385.280	-0.24	1.1961466	1.324407692
591.620	382.980	-0.67	0.371946667	-0.46925625
590.540	383.420	-1.16	-0.93832	-0.446293269
579.950	379.250	3.065	-0.832653333	0.362513942
580.775	376.600	-1.57	-0.769253333	-0.147774519
589.180	390.840	-1.69	2.033026667	-0.53559375
589.080	389.040	-1.58	-0.724873333	-0.308515385
589.500	386.700	3.309	-1.060893333	-0.479462019
581.440	380.200	-1.12	-0.634	0.778399038
582.450	381.600	-1.51	3.096033333	0.137987019
583.250	381.170	-1.46	-0.917186667	0.599798077
587.850	383.270	3.403	-1.297586667	1.696918269
589.600	384.900	2.897	-0.24092	-0.061025481
591.010	387.380	-4.15	0.498746667	0.410991346
590.050	382.840	-1.72	0.245146667	0.380374038
582.253	381.286	1.216	0.224013333	0.301279327

Annexe 6 : Coordonnées des variables sur les axes (vallée de la Soummam)

X (Km)	Y (Km)	Coord sur F1	Coord sur F2	Coord sur F3
681.0	371.25	1.309270642	0.671902174	1.26835443
682.1	371.8	3.546387321	0.671902174	1.290189873
682.975	372.575	-0.916199431	-0.321326087	0.591455696
683.3	372.35	-1.007936549	-0.230608696	0.154746835
684.3	372.85	-1.372379086	-0.381521739	-0.063607595
685.075	372.0	0.673264183	-0.065706522	0.351265823
687.6	372.325	1.175265242	-0.020347826	0.438607595
687.3	373.3	0.909087649	0.370923913	0.635126582
688.875	372.7	0.691816467	-0.080543478	0.656962025
691.3	373.9	1.588162742	0.671902174	1.443037975
690.3	373.05	1.438357483	0.370923913	0.875316456
690.15	373.35	-2.224655966	-0.772793478	-0.522151899
690.8	375.3	2.52439724	0.53625	1.071835443
702.75	378.95	-1.932438254	-0.6825	-0.522151899
701.95	378.925	0.51301346	-0.381521739	-0.063607595
702.1	378.3	-0.668788489	-0.53201087	-0.085443038
701.25	377.675	1.329077457	0.85248913	0.83164557
700.35	378.425	0.987399795	0.220434783	0.635126582
708.0	377.5	-1.396836884	-0.53201087	-0.478481013
700.0	377.55	0.90434822	-0.231032609	0.220253165
699.1	377.25	-0.954558447	-0.637565217	-0.522151899
698.25	376.45	0.800189864	-0.233152174	-0.019936709
697.15	376.475	0.134459563	-0.381521739	-0.303797468
697.5	375.75	-0.329972892	-0.351847826	-0.085443038
697.625	374.575	-0.832829414	-0.534130435	-0.434810127
693.5	378.25	0.935253369	0.233152174	0.655063291
693.5	373.95	2.136178346	0.58076087	0.1224683544
694.425	374.275	-1.378903509	-0.667663043	-0.303797468
694.35	373.35	-0.200634399	-0.173804348	-0.019936709
693.325	376.1	1.068889196	0.220434783	0.787974684
710.65	381.2	-0.096799312	-0.235271739	-0.806012658
694.975	377.0	-0.984945007	-0.35523913	0.132911392
695.65	377.0	-1.103170967	-0.35523913	-0.194620253
696.9	378.15	-1.518957453	-0.35523913	-0.171835443
697.55	378.05	-0.864316442	0.00423913	-0.180379747
698.425	377.85	1.443589272	-0.235271739	0.32943038
699.35	378.7	-0.53330734	-0.576521739	0.132911392
699.95	379.55	-2.162213726	-0.698608696	-0.522151899
700.95	379.875	-1.925329228	-0.576521739	-0.522151899
701.95	380.4	-0.87505191	-0.534554348	-0.303797468
703.35	380.25	-1.694536719	0.408228261	-0.303797468
703.85	379.8	2.187536759	-0.231032609	0.394936709
704.0	380.35	-0.791441271	-0.486652174	0.001898734
702.875	380.75	-1.996972777	-0.381521739	-0.478481013
706.4	380.925	-1.619843868	-0.231032609	-0.019936709
708.05	380.85	-1.026395013	-0.6825	-0.303797468
710.55	382.1	-2.173866169	-0.802891304	-0.522151899
710.4	383.3	-2.294057477	-0.667663043	-0.522151899
710.75	384.25	-1.76094016	-0.6825	-0.260126582
711.05	386.15	-1.720866815	-0.200934783	-0.500316456
710.3	385.85	-0.249294485	0.084782609	0.001898734
712.0	385.0	0.575597614	0.220434783	0.656962025
711.65	385.15	-0.164728212	0.822391304	0.83164557
710.95	382.0	6.37010659	3.079728261	2.775
711.8	382.5	-2.537445928	-0.772793478	-0.653164557

709.65	381.15	0.89609019	0.68673913	0.198417722
704.8	378.05	1.144744857	-0.381521739	0.154746835
707.25	375.375	-1.836355281	-0.533282609	-0.478481013
708.0	380.0	1.066445879	0.220434783	0.438607595