



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BOUIRA

FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE PREPARE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN HYDRAULIQUE

OPTION
Hydrotechnique

THEME

*Cartographie de la qualité de la nappe
alluviale du Bas Isser*

Présenté par : AMALOU Souhila

IDJOUBARE Hanane

Encadrées par : M^{me} EL MEDDAHI Yamina

Soutenu le 19/09/2017

Devant le jury:

Président : M^r Mirija

Examineurs : M^{me} Baloul - M^r Kara

2016/2017

Je dédie ce mémoire à :

- *Mes parents :*
Ma chère mère
Mon cher papa
- *Mes frères.*
- *Mes sœurs.*
- *Mon mari et sa famille.*
- *Mes amies :*
Ma chère amie "souhila"

Hanane

Je dédie ce travail à :

- ❖ *Mes parents.*
- ❖ *Mon frère et sa petite famille.*
- ❖ *Ma sœur et sa petite famille.*
- ❖ *Ma petite sœur.*
- ❖ *Mon grand-père et toute ma famille et mes ami(es).*

Souhila

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, il m'a été agréable d'exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui m'ont aidée dans sa réalisation par leur enseignement, leur soutien permanent, leurs conseils et encouragements, et en particulier ma famille.

Je remercie Madame El meddahí pour avoir bien voulu m'encadrer ainsi que pour ses précieux conseils, son orientation et son aide .

Mes remerciements vont également aux président et les membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

Introduction générale

L'eau douce est un élément vital, indispensable à tous les êtres vivants et à toutes les activités économiques. Assurer des quantités suffisantes et une bonne qualité de l'eau en exploitant les eaux de surface et les eaux souterraines est un enjeu majeur pour le développement socio-économique d'une nation.

Cette précieuse ressource est menacée par la pollution, cette dernière touche les eaux de surface (rivières, puits, lacs ...), ainsi que les eaux souterraines.

La qualité de l'eau souterraine dépend de l'origine de l'eau et de son temps de séjour dans les couches aquifères. La composition des eaux souterraines en un espace et à un temps donné dépend des apports extérieurs (dépôts atmosphériques, excédents des précipitations, infiltration des eaux de surface), de la nature des zones non saturée et saturée (géochimie), du chemin parcouru par l'eau, du temps de séjour et de la vitesse d'écoulement.

Dans ce présent travail nous nous sommes intéressées à l'étude de la cartographie de la qualité des eaux de la nappe du Bas Isser, tout en nous intéressant aux caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de la nappe. Cette étude s'intéresse surtout à l'aptitude des eaux souterraines à l'alimentation en eau. Pour ce faire, nous avons divisé ce mémoire en quatre chapitres :

Après une introduction générale, nous avons commencé par une recherche bibliographique sur les types des nappes, les normes et les paramètres de la qualité des eaux, pollution : ses critères, sa nature et la classification des polluants.

Ensuite nous avons présenté la nappe alluviale du Bas Isser et ses caractéristiques générales.

Dans le troisième chapitre nous avons exposé les différentes méthodes d'analyses utilisées pour déterminer un certain nombre de paramètres d'une eau.

Dans le dernier chapitre nous avons traité le chimisme et le comportement de la nappe alluviale du bas Isser.

Une conclusion générale récapitulera les principales informations acquises.

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

Chapitre I : Revue bibliographique

I.1. Introduction	2
I.2. Nappe souterraine	2
I.3.Type de nappes.....	3
I.4. Normes de qualité des eaux potables.....	4
I.4.1.Norme de l'alimentation en eau potable.....	4
I.5. Paramètres de qualité des eaux souterraines.....	6
I.5.1. La dureté.....	6
I.5.2. Le PH.....	6
I.5.3. La teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O ₂ et CO ₂).....	7
I.5.4. La teneur en substances minérales.....	7
I.5.5. La turbidité.....	7
I.6. Détérioration de la qualité.....	7
I.7. Vulnérabilité des nappes à la pollution.....	8
I.8. Critère de pollution d'une eau.....	8
I.9.Pollution directe ou indirecte.....	9
I.10. Nature de la pollution.....	9
I.11. Caractérisation de la pollution.....	9
I.12. Classification des polluants.....	9
I.12.1. En fonction de l'origine de la pollution.....	9
I.12.2. En fonction de la répartition géographique.....	10

I.12.3. En fonction de la répartition dans le temps.....	10
I.12.4. En fonction de la nature des polluants.....	10
I.12.5. En fonction du nombre de polluants.....	10
I.12.6. En fonction du comportement du polluant dans l'eau.....	10
I.13. Protection naturelle des eaux souterraines contre les pollutions.....	11
I.13.1. Rôle protecteur des sols.....	11
I.13.2. Rôle épurateur du couvert végétal et des organismes.....	11
I.13.3. Autoépuration biologique des eaux souterraines.....	11
I.14: Mécanismes de transport du polluant en milieu souterrain.....	12

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction.....	13
II.2. Situation géographique.....	13
II.3. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant.....	14
II.3.1. Forme du bassin versant.....	14
II.3.2. Rectangle équivalent.....	15
II.4. Paramètres géométriques Unités Valeurs.....	16
II.4.1. Réseau hydrographique.....	16
II.5. Couverture végétale.....	17
II.6. Contexte climatique.....	17
II.6.1. Précipitation.....	18
II.6.1.1. Evolution annuelle des précipitations.....	18
II.6.1.2. Evolution mensuelle des précipitations.....	18
II.7. Contexte pédologique.....	19
II.7.1. Les sols peu évolués.....	19

II.7.2. Les vertisols.....	20
II.7.3. Les sols calcimagnésiques carbonatés.....	20
II.7.4. Les sols hydromorphes.....	20
II.8. Cadre géologique de la région d'étude.....	21
II.8.1. Stratigraphie.....	21
II.8.2.Lithologie.....	23
II.8.3.Tectonique.....	25
II.9. Contexte hydrogéologique.....	26
II.9.1. Etude des formations quaternaires.....	26
II.9.2. Géométrie de l'aquifère.....	28
II.10. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.....	32
II.11.Conclusion.....	32
 Chapitre III : les méthodes	
III.1.Introduction.....	33
III.2.Système d'Information Géographique.....	33
III.2.1.Définition.....	33
III.2.2.Domaines d'application.....	34
III.2.3.Fonctionnalités d'un SIG.....	37
III.2.4.Avantages et Inconvénients de SIG.....	37
III.2.5.SiG Map Info.....	38
III.3.Diagrammes.....	39
III.3.1.Stabler.....	39
III.3.2.Piper.....	40
III.3.3.Schöeller-Berkaloff.....	42

II.3.4.Rapport ionique.....	43
III.3.5.Rapports caractéristiques.....	43
III.3.5.1.L'indice d'échange de base au sein des aquifères (i.e.b.).....	43
III.4.Analyse en Composantes Principales (ACP).....	44
III.4.1. Les étapes d'une ACP.....	44
III.4.2.Objectifs d'ACP.....	44
III.4.3.Construction d'un espace factoriel.....	46
III.4.4.Interprétation en termes statistiques de l'espace factoriel du nuage de points individus.....	47
III.5.Conclusion.....	48

Chapitre IV : Chimisme de la nappe

IV.1.Introduction.....	49
IV.2. Description du réseau de la surveillance.....	49
IV.3. Etude de l'évaluation piézométrique dans la nappe alluviale.....	50
IV.3.1.Evolution de la piézométrie dans l'espace.....	50
IV.4. Alimentation et drainage de la nappe.....	52
IV.5. Etude Hydro-chimique.....	53
IV.5.1 Présentation des résultats.....	53
IV.6. Les caractéristiques physico-chimiques.....	54
IV.6.1. Résidu sec.....	54
IV.6.2. Conductivité.....	55
IV.6.3. Potentiel d'hydrogène PH.....	56
IV.7. Evolution du chimisme des eaux souterraines dans l'espace.....	56
IV.7.1. Teneurs en calcium Ca^{2+}	56

IV.7.2. Teneurs en magnésium Mg^{2+}	57
IV.7.3. Teneurs en sodium Na^+	58
IV.7.4. Teneurs en potassium K^+	59
IV.7.5. Teneurs en chlorures Cl^-	60
IV.7.6. Teneurs en sulfates SO_4^{4-}	61
IV.7.7. Teneurs en Bicarbonates HCO_3^{3-}	63
IV.7.8. Teneurs en nitrates NO_3^{3-}	63
IV.8. Indice d'échange de base (i.e.bSchoeller).....	64
IV.9. Classification des eaux et représentations graphique de la nappe.....	68
IV.9.1. Classification des eaux selon STABLER.....	68
IV.9.2. Classification des eaux de la nappe selon le diagramme de Piper.....	70
IV.9.3. Classification des eaux de la nappe selon le diagramme de Schoeller- Berkaloff..	73
IV.10. L'analyse en composante principale.....	76
IV.10.1. Analyse des données physico-chimiques.....	76
IV.10.2.1' Analyse de la matrice de corrélation.....	76
IV.10.3. Analyse graphique.....	77
IV.11. Trace de la carte multiparamétrique.....	81
IV.12. Conclusion.....	82
Conclusion générale.....	83
Référence bibliographique.....	84

*La liste des tableaux
et
des figures*

La liste des tableaux

Tableau I.1: Norme de qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable.....	4
Tableau I.2 : Normes de PH.....	7
Tableau II.3: Paramètres géométriques du bassin versant du Bas Isser.....	16
Tableau II.4: Caractéristiques des stations pluviométriques.....	17
Tableau II.5: Variation des précipitations moyennes mensuelles.....	19
Tableau IV.6: Statistiques des Paramètres physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas- Isser (Hautes eaux 2014).....	54
Tableau IV.7: Statistiques des Paramètres physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas- Isser (Basses eaux 2014).....	54
Tableau IV.8: Valeurs d'indice d'échange de base.....	65
Tableau IV.9: Rapports caractéristiques des eaux souterraines (hautes eaux 2014).....	66
Tableau IV.10: Rapports caractéristiques des eaux souterraines (Basses eaux 2014).....	67
Tableau IV.11: Matrice de corrélation des variables.....	77
Tableau IV.12: Corrélations entre les variables et les facteurs.....	78
Tableau IV.13: Les statistiques élémentaires des trois groupes pour la campagne des hautes eaux.....	80

La liste des figures

Figure I.1 : les différents gisements.....	3
Figure II.2.Situation géographique du sous bassin versant du Bas Isser.....	14
Figure II.3.Réseau hydrographique du bassin versant du Bas Isser.....	17
Figure II.4. Variation des précipitations annuelles de la station de Lakhdaria.....	18
Figure II.5. Variation des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Baghlia....	19
Figure II.6. Carte des grands types des sols dans la plaine des Isser et ses environs.....	23
Figure II.7. Carte géologique du sous bassin versant du Bas Isser.....	22
Figure II.8.Coupes lithologique du sous bassin versant du Bas Isser	24
Figure II.9.Carte Tectonique de la vallée du Bas-Isser, selon la carte géologique.....	25
Figure II.10.Carte de l'emplacement des terrains quaternaires dans la plaine du Bas Isser....	28
Figure II.11. Situation des Coupes hydrogéologiques.....	30
Figure II.12. Coupe hydrogéologique 1-1'	30
Figure II.13. Coupe hydrogéologique 2-2'	31
Figure II.14.Coupe hydrogéologique 3-3'	31
Figure II.15.Coupe hydrogéologique 4-4'	31
Figure III.16.Représentation multicouches.....	34
Figure III.17. Les ressources naturelles.....	34
Figure III.18. Les réseaux urbains.....	35
Figure III.19. La gestion des installations.....	35
Figure III.20. La gestion du territoire.....	36
Figure III.21. Le commerce.....	36
Figure III.22. La santé.....	36
Figure III.23. Protection de l'environnement et gestion des risques.....	37

Figure III.24. Présentation du logiciel Map Info.....	39
Figure III.25. Diagramme de stabler.....	39
Figure III.26. Diagramme de piper.....	41
Figure III.27. Diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	42
Figure IV.28. Plan d'échantillonnage (Hautes et Basses eaux).....	50
Figure IV.29. Carte piézométrique de la basse vallée de l'Oued Isser (Basses eaux 2014).....	51
Figure IV.30. Carte piézométrique de la vallée de Bas de l'Oued Isser (Hautes eaux 2014).....	52
Figure IV.31. Carte de la répartition de la conductivité électrique (Période des Hautes eaux 2014).....	56
Figure IV.32. Carte de la répartition du calcium (Hautes eaux 2014).....	57
Figure IV.33. Carte de la répartition du Magnésium (Hautes eaux 2014).....	58
Figure IV.34. Carte de la répartition du Sodium (Hautes eaux 2014).....	59
Figure IV.35. Carte de la répartition des chlorures (Hautes eaux 2014).....	61
Figure IV.36. Carte de la répartition des Sulfates (Hautes eaux 2014).....	62
Figure IV.37. Carte de la répartition des bicarbonates (Hautes eaux 2014).....	63
Figure IV.38. Carte de la répartition des Nitrates (Hautes eaux 2014).....	64
Figure IV.39. Projection des résultats d'analyse selon le classement de Stabler (Hautes eaux 2014)	69
Figure IV.40. Projection des résultats d'analyse selon le classement de Stabler (Basse eaux 2014).....	70
Figure IV.41. Projection des résultats d'analyse sur le diagramme de PIPER (Hautes eaux 2014).....	71
Figure IV.42. Projection des résultats d'analyse sur le diagramme de PIPER (Basses eaux 2014).....	72
Figure IV.43. Projection des résultats sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Hautes eaux 2014).....	74

Figure IV.44. Projection des résultats sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Basses eaux 2014).....	75
FigureIV.45. Diagramme des variables (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe alluviale pour la période des hautes eaux.....	78
Figure IV.46.Diagramme des individus (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe alluviale pour la période des hautes eaux	79
Figure IV.47.Carte multiparamétrique de l'axe 1 pour la période des hautes eaux.....	81

Introduction Générale

Chapitre I

I.1. Introduction

Une eau est nécessaire à la vie, à l'hygiène et à la prévention des maladies d'origine hydrique. Elle constitue aussi le patrimoine d'une nation. L'eau est une préoccupation constante de toutes les époques et de tous lieux. Jadis on s'interrogeait à la pureté microbiologique mais aussi de ses caractéristiques physico-chimiques. Au cours des dernières décennies, les problèmes relatifs à la protection et à l'utilisation des ressources en eau se sont accentués dans le monde. Les problèmes d'eau affectent aussi bien les pays en voie de développement aux ressources économiques limités, que les pays développés.

Un polluant est un facteur physique, chimique ou bactériologique résultant de l'activité humaine et provoquant sous une intensité ou une concentration anormale, une altération de la qualité de l'eau naturelle (Billault.C, 1989)

La qualité de l'eau peut être altérée par plusieurs polluants avec l'homme comme facteur principal de la pollution.

I.2. Nappe souterraine

L'eau de pluie circule dans les pores et les fissures des roches ; on parle alors de roches réservoirs ou d'aquifères. Les aquifères sont composés de deux parties :

- une « zone non saturée » : l'eau ne remplit pas l'intégralité des pores et se trouve en mouvements permanents, vers la surface (la capillarité fait remonter l'eau vers la terre végétale comme un buvard), et vers les profondeurs (sous l'effet de la pesanteur).
- une « zone saturée » qui renferme la nappe. L'eau pénètre dans tous les pores et s'écoule dans le sous-sol sur la couche imperméable, en suivant la topographie sur plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres. L'eau souterraine peut resurgir à la surface du sol en formant une source à l'origine d'un cours d'eau.

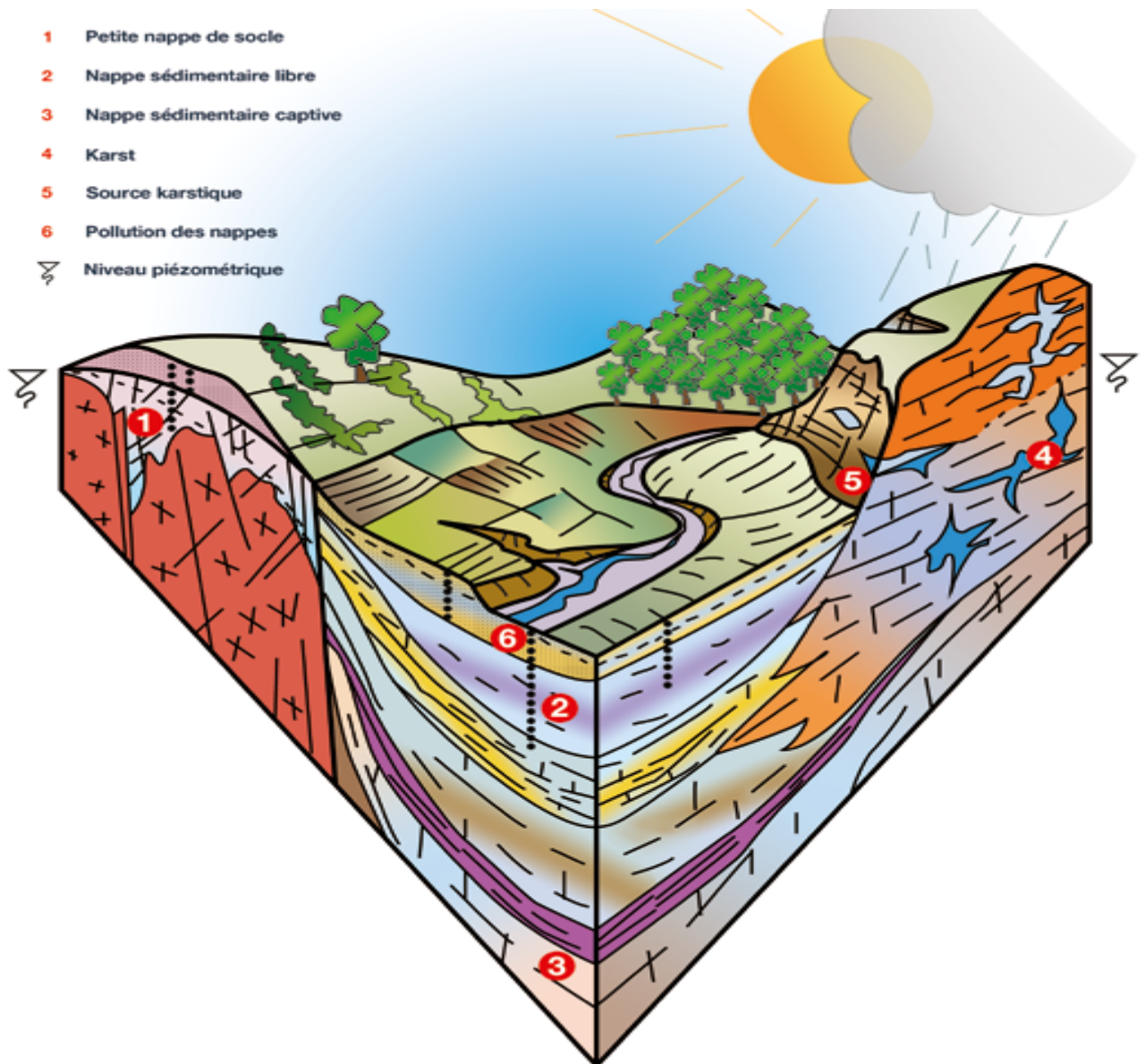


Figure I.1.les différents gisements(Fiche eaux souterraine)

I.3.Type de nappes

⇒ Nappe phréatique :

La nappe phréatique est la nappe qui est exploitable par un puits. Le langage courant désigne désormais une nappe phréatique comme la première nappe rencontrée en forage. Une nappe phréatique peut être libre ou captive.

⇒ Nappe libre :

Une nappe libre est une nappe qui n'est pas sous pression, dont la partie supérieure n'est pas limitée par une couche imperméable, de ce fait, son niveau peut monter et parfois atteindre la surface du sol si les précipitations augmentent. L'eau y est donc en équilibre avec la pression atmosphérique et atteint naturellement son niveau

piézométrique. Donc ces nappes sont généralement en contact hydraulique avec le cours d'eau ; la qualité de leur eau dépend de celle de la rivière.

⇒ **Nappe captive :**

Une nappe captive est une nappe sous pression, est recouverte par au moins une couche géologique imperméable qui confine l'eau. Les nappes captives sont souvent profondes en revanche, elles sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage.

I.4. Normes de qualité des eaux potables

I.4.1. Norme de l'alimentation en eau potable

Une eau est dite potable lorsqu'elle est consommable par l'être humain, c'est-à-dire lorsqu'elle ne contient aucune substance nuisible à sa santé.

Tableau I.1: Norme de qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable. (Journal officielle 2011)

Paramètres	Unités	Valeurs maximales	
		Norme algérienne (2011)	OMS (2006)
Température	°C	≤ 25	≤ 25
PH	-	6,5-9	6,5-8,5
Conductivités électrique(CE)	µs /cm à 25°C	2800	1500
Résidu sec	mg/l	1500	1000
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	400	200
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	500	250
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	50	550
Potassium (K ⁺)	mg/l	12	12
Sodium (Na ⁺)	mg/l	200	200
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	200	200

Pour apprécier la qualité d'une eau, il convient donc de déterminer ses caractéristiques physicochimiques et bactériologiques, et de les comparer aux normes de potabilité. (Collin.2004). Le tableau suivant représente les concentrations de certains paramètres à ne pas dépasser, selon la norme Algérienne de 2011 et celle de l'OMS 2006. Il existe aussi d'autres paramètres tels que :

Paramètres organoleptiques

L'eau ne doit pas présenter de coloration, de trouble, d'odeur et de saveur. Ces paramètres sont les seuls accessibles directement au consommateur.

Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle de l'eau

La température ne doit pas dépasser 25°C, le pH doit être compris entre 6,5 et 9, la teneur en chlorures, sulfates, magnésium, sodium, potassium et aluminium doit être inférieure à des valeurs déterminées (par exemple > 250 mg/l de sulfates). Le résidu sec à 180°C doit être inférieur à 1,5 g/l.

Paramètres concernant les substances indésirables

Des valeurs limites sont fixées pour les nitrates, les nitrites, l'ammoniaque, l'azote, les hydrocarbures, les phénols. De plus, des valeurs limites sont arrêtées pour Fe, Mn, Cu, Zn, Ag et le Phosphore. La teneur en Fluor ne doit pas dépasser 1,5 mg/l (D'après l'OMS, 2006).

Paramètres concernant les substances toxiques

Les valeurs limites sont définies pour des toxiques minéraux (arsenic, métaux lourds) et organiques (cyanures, Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques, benzo-pyrènes...)

Pesticides et produits apparentés

Elle mentionne les insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides. Des valeurs limites sont établies pour chaque catégorie. La teneur totale de l'ensemble de ces substances ne doit pas dépasser 0,5 µg/l.

Paramètres microbiologiques

Ce sont les germes indicateurs d'une pollution fécale (coliformes, streptocoques), certains germes pathogènes (salmonelles, staphylocoques, bactériophages fécaux, entérovirus) et des bactéries sulfito-réductrices dont la présence indique une mauvaise filtration. La métrologie à suivre pour leur dénombrement est indiquée.

En outre, les eaux adoucies ou déminéralisées livrées à la consommation humaine doivent satisfaire à une valeur minimale de dureté et d'alcalinité. Le décret précise également les modalités du contrôle sanitaire, en particulier sa fréquence en fonction de la pollution desservie.

I.5. Paramètres de qualité des eaux souterraines

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur. Les paramètres pris en compte sont:

I.5.1. La dureté

Une eau est dite "dure" lorsqu'elle est fortement chargée en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Selon l'OMS (organisation mondiale de la santé), l'eau présente un goût lorsque la teneur en calcium se situe entre 100 –300 mg/litre, dépendant de l'anion associé. En revanche pour le magnésium, la concentration sera inférieure par rapport à celle du calcium. Parfois, les consommateurs tolèrent la dureté de l'eau même lorsque celle-ci est supérieure à 500 mg/litre. Ainsi, dans les textes normatifs algériens, le calcium et magnésium possèdent une concentration maximale respective de 200 mg/l.

I.5.2. Le PH

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau:

Tableau I.2 : Normes de PH

Ph < 5	présence d'acide minéral ou organique dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité

I.5.3. La teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O₂ et CO₂)

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans le liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau: la saturation en O₂ diminue lorsque la température et l'altitude augmente.

I.5.4. La teneur en substances minérales

Dissoutes généralement sous forme ionique : anion (chlorures, sulfates, nitrates) et cations (calcium, sodium, potassium, fer, manganèse)

I.5.5. La turbidité

Les pics de turbidité suivent les fortes précipitations. Les eaux de ruissellement sont chargées de particules argileuses et d'autres de matières indésirables. La vitesse de circulation de l'eau dans le réseau souterrain en crue ne permet pas leur décantation et on les trouve souvent à l'exutoire.

A ces paramètres physico-chimiques s'ajoutent des paramètres microbiologiques.

I.6. Détérioration de la qualité

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être telle quelle utilisée à d'autres fins (irrigation...) ou devra subir un traitement approprié pour

qu'elle retrouve sa potabilité. L'eau des nappes n'est donc pas à l'abri de la pollution et l'auto-épuration naturelle n'est pas complète dans toutes les nappes et vis-à-vis de certaines substances. (Jacques. B, 2006)

I.7. Vulnérabilité des nappes à la pollution

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables: les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique; d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à " rincer " les particules de la zones non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage (ancien forage, fouille profonde...) Enfin, la percolation de l'eau dans un milieu poreux peut produire une fixation des substances sur les particules et donc une épuration de l'eau. Ce phénomène n'existe pas dans les milieux fissurés où la circulation est bien plus rapide.

Dans les nappes libres en milieu fissuré, la vulnérabilité à la pollution dépend de leur recouvrement. Les aquifères en terrains anciens (granites, schistes...) sont généralement recouverts par des formations meubles d'altération qui jouent le rôle de filtre. Ces matériaux meubles peuvent d'ailleurs remplir les fissures de la roche et prolonger ainsi leur action de protection. Il n'en est pas de même dans les aquifères calcaires: les polluants s'infiltrant dans les fissures, y circulent rapidement et réapparaissent en l'état dans les sources et les forages. La pollution apparaît sous forme de pics de courte durée; elle disparaît rapidement si l'apport de polluant cesse.

I.8. Critère de pollution d'une eau

L'eau souterraine est dite polluée lorsqu'elle contient des substances non liées à la structure naturelle des terrains où elle a séjourné, c'est-à-dire des substances introduites de façon directe ou indirecte par l'activité humaine et en particulier lorsque les polluants ou les minéraux dépassent les seuils maximaux fixés par les normes. (Saket, 2009)

I.9. Pollution directe ou indirecte

La pollution générée par l'homme est directe lorsqu'elle a lieu sur le toit de la nappe souterraine. C'est le cas par exemple d'un rejet de produit organique dans un puits. La pollution est indirecte lorsqu'elle se fait en direction des eaux souterraines, à travers les autres eaux du cycle, d'autres eaux souterraines, ou à travers l'environnement inerte. Le déversement sur le sol d'un pesticide est une pollution indirecte sur les eaux souterraines car pour que le contaminant parvienne à la nappe, il traversera le sol et la zone non saturée de l'aquifère.

I.10. Nature de la pollution

La pollution pourra être :

Quantitative : accroissement ou diminution du flux d'eau ou de flux de chaleur qui pourra être causé par la perméabilité de sol, le colmatage des berges...etc

Qualitative : bactérienne, chimique, radioactivité et thermique.

I.11. Caractérisation de la pollution

La pollution est caractérisée par le « **DEFI** » c'est-à-dire sa durée, son étendue, sa fréquence et son intensité (Parascandola, 1980)

- **Durée** : la durée de l'émission polluante est très variable en fonction de son origine, des moyens de détection et de lutte pour son atténuation.
- **Etendue** : l'étendue de la propagation d'un polluant dépend de sa source, du volume du polluant, des possibilités de détection et des moyens utilisés pour la stopper.
- **Fréquence** : la fréquence d'un phénomène de pollution est directement liée à l'activité humaine à laquelle elle se rapporte, aux mesures prises dans le sens de diminution des actes volontaires ou involontaires de pollution et à l'existence d'infrastructures.
- **Intensité** : est fonction de la toxicité des contaminations et de leurs concentrations. L'intensité maximale peut être estimée par le produit de la concentration maximale et de la toxicité.

I.12. Classification des polluants

Les polluants peuvent être classés suivant différents critères :

I.12.1. En fonction de l'origine de la pollution

- La pollution **urbaine**, elle comprend :
 - Les eaux usées domestiques trop chargées

- Les eaux pluviales ou eau de ruissèlement
- La pollution **industrielle**
Les rejets industriels sont très variables en nature. Ils sont plus ou moins chargés en fonction du type d'industrie et des volumes d'eau rejetée.
- La pollution **agricole**
Elle résulte de l'utilisation des pesticides, des produits phytosanitaires, des eaux d'infiltration de drainage et de ruissèlement sous aires cultivées, de la pratique de l'élevage...etc

I.12.2. En fonction de la répartition géographique

- La pollution **diffuse** : le polluant se répand dans le milieu par petites quantités mais de façon régulière et parfois sur de très longues périodes.
- La pollution **ponctuelle** : la pollution est introduite à un endroit bien précis et restreint dans l'espace et le temps.

I.12.3. En fonction de la répartition dans le temps

- La pollution **permanente** ou **chronique**
- La pollution **accidentelle**
- La pollution **saisonnaire** (utilisation des engrais azotés dans certaines cultures saisonnières et sels de déneigement)

I.12.4. En fonction de la nature des polluants

- La pollution **physique** (chaleur, radioactivité, matière en suspension)
- La pollution **chimique** (sels minéraux, détergents, pesticides, solvants, métaux lourds, hydrocarbures)
- La pollution **microbiologique** (micro-organismes, virus, bactéries)
- La pollution **mixte**

I.12.5. En fonction de nombre de polluants

- La pollution **poly-produite** (industrie chimique)
- La pollution **mono-produite** (dépôt d'essence)

I.12.6. En fonction du comportement du polluant dans l'eau

- La pollution **miscible** (sels minéraux, métaux)
- La pollution **non miscible** (huiles, hydrocarbure)

I.13. Protection naturelle des eaux souterraines contre les pollutions

I.13.1. Rôle protecteur des sols.

Le sol constitue un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Les argiles, les hydroxydes et la matière organique adsorbent les cations (Ca, Mg, K, Na, métaux lourds) et certaines molécules organiques. Les molécules à moins de 6 carbones sont entraînées vers la nappe mais les cycles benzéniques sont retenus. Les phosphates et les atrazines sont bien fixés par les particules du sol; ils peuvent être néanmoins entraînés avec ces particules (érosion des sols à nu).

Le contenu microbiologique du sol peut épurer le sol de ses substances indésirables: minéralisation des composés azotés, dénitrification, dégradation des micropolluants organiques (pesticides). Les germes pathogènes introduits dans le sol sont éliminés quand les conditions de survie sont défavorables.

I.13.2. Rôle épurateur du couvert végétal et des organismes

Les plantes accumulent des éléments minéraux et servent donc de zone de stockage, en particulier pour les nitrates. La déforestation, le retournement des prairies libèrent une quantité importante d'azote. Les cultures d'hiver permettent de stocker l'excès d'azote, donc à éviter son transfert à la nappe. La végétation des zones humides et des bords de rivières (ripisylve) ont un effet épurateur remarquable (dénitrification dans les zones hydromorphes anaérobies). L'accumulation des polluants se poursuit le long de la chaîne alimentaire (bioaccumulation) chez les animaux. Il peut se produire une biotransformation qui peut être bénéfique (destruction des hydrocarbures) ou non (transformation du mercure en méthyle-mercure très toxique).

I.13.3. Autoépuration biologique des eaux souterraines

Les organismes vivants et non toxiques (bactéries, petits invertébrés) sont présents dans les eaux souterraines même à grande profondeur. Ils peuvent métaboliser les polluants introduits dans la nappe. Les polluants organiques toxiques comme les polychlorobiphénols (PCB) sont lentement transformés. Les nitrates sont détruits en milieu anaérobie (cas des nappes captives).

I.14: Mécanismes de transport du polluant en milieu souterrain

L'eau, dans son déplacement, peut entraîner des éléments sous forme dissoute. Le transport de ces polluants est un processus qui met en jeu plusieurs phénomènes physiques (convection, dispersion hydrodynamique) et chimiques (diffusion moléculaire, adsorption, précipitation/dissolution etc . . .).

Les processus de transport dans les sols, ont lieu principalement dans la phase liquide, par le réseau poreux partiellement remplis d'eau .En effet, quand les polluants entrent dans le sol, la plupart d'entre eux sont transportés par l'eau avec un mouvement convectif. Cependant, le transport peut également être affecté par d'autre processus de nature chimique, biologique et physique. (Bir ; 2012)

Chapitre II

II.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous allons parler de la situation géographique de la zone d'étude, des caractéristiques générales du bassin versant, de l'aspect climatologique et géomorphologique de la région et d'un aperçu sur la géologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude.

II.2. Situation géographique

La zone d'étude se trouve à 60 km à l'Est d'Alger. Elle est située dans le sous bassin versant du Bas Isser et ce dernier fait partie du bassin versant de l'Oued Isser. Cette zone est limitée :

- Au Nord par la Mer Méditerranée ;
- Au Sud par les Contreforts de la Dorsale Kabyle.
- A l'Est par le Massif de Cap Djinet ;
- A l'Ouest par Djebel Bou Arous.



Figure II.2. Situation géographique du sous-bassin versant du Bas Isser (source: ANRH, 2004)

II.3. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant

II.3.1. Forme du bassin versant

La forme d'un bassin versant joue un rôle important sur les modalités des écoulements superficiels. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration. En revanche, les bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront les plus forts débits de pointe. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons l'indice de compacité de Gravelius K_c , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{3,14 \times A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{II.1}$$

P = périmètre du bassin versant (Km)

A = surface du bassin versant (Km²)

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

Pour la surface et le périmètre du bassin versant du bas Isser sont comme suits :

$$P=114\text{Km} \quad A= 533 \text{ Km}^2$$

Après avoir calculé la valeur de $K_c = 1,38$ permet de conclure que le bassin versant du Bas Isser présente une forme allongée, suggérant a priori le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

II.3.2. Rectangle équivalent

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement. Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre.

Les formules qui nous permet de déterminer les dimensions de ce rectangle s'écrivent :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad \text{II.2}$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad \text{II.3}$$

Avec :

A = Surface du bassin versant en Km² ;

K_c = Indice de compacité de Gravélius;

L = La longueur du rectangle en Km ;

l = La largeur du rectangle en Km ;

Les dimensions du rectangle équivalent du bassin versant du bas Isser (longueur et largeur) sont : L = 45,21 Km ; l = 11,79 Km

Tableau II.3: Paramètres géométriques du bassin versant du Bas Isser.(ANRH 2004)

Paramètre géométrique	unités	Valeurs
Altitude Maximale	m	1031
Altitude minimale	m	0
Altitude moyenne	m	268
Surface	Km ²	533
Périmètre	Km	114
Longueur du rectangle équivalent	Km	45.21
Largeur du rectangle équivalent	Km	11.79
Indice de compacité du Gravélius	-	1.38
Indice de pente globale	%	1.19
Longueur d'oued Isser(du barrage Beni Amrane jusqu'à la Mer méditerranée)	Km	35

II.4.Paramètres géométriques Unités Valeurs

II.4.1. Réseau hydrographique

Le sous bassin versant du Bas Isser est caractérisé par un réseau hydrographique très dense de l'amont dans les gorges de Lakhdaria. L'Oued Isser a une longueur de 35 km (du barrage Beni Amrane jusqu'à la Mer méditerranée). L'écoulement se fait du Sud vers le Nord.

Les affluents de l'Oued Isser dans la Basse Vallée se limitent à l'Oued Djemaa, le reste des affluents ne sont que de petites rivières pérennes (qui coulent en permanence) ou saisonnières. Parmi ces cours d'eaux pérennes :

- Oued Ménaiel et Chender (ces derniers se regroupent et forment un seul cours d'eau à 1 km environ du lit majeur de l'Isser) ;
- Oued Aoudja (situé à l'aval de l'Isser) ;
- Oued Bou Amour (situé dans la partie amont de la zone). (Boulmatafe. 2012)

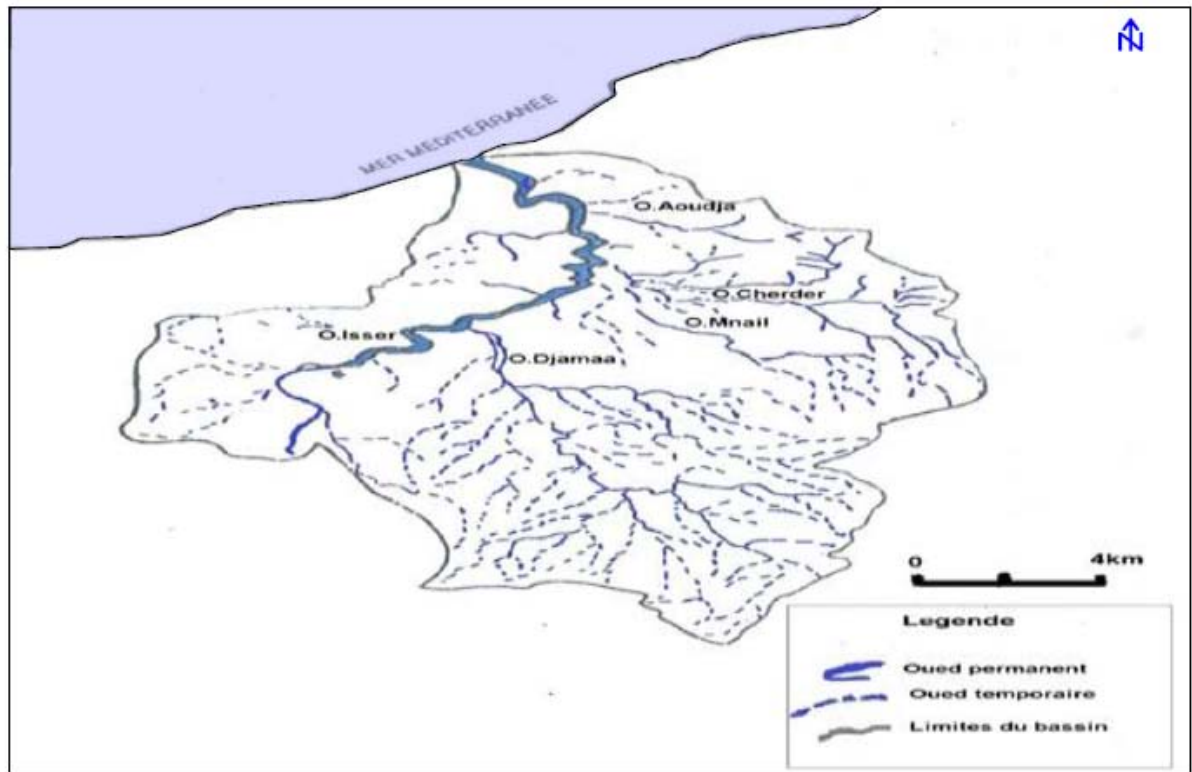


Figure II.3. Réseau hydrographique du bassin versant du Bas Isser.

II.5. Couverture végétale

La couverture végétale d'un bassin versant joue un rôle primordial dans le déroulement du cycle de l'eau, souvent complexe et contradictoire. Le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance de la précipitation. A l'inverse, le sol nu, de faible capacité de rétention favorise un ruissellement très rapide.

II.6. Contexte climatique

Pour avoir une idée sommaire sur le climat on a eu recours à exploiter les données d'une station climatique. Il s'agit de la station pluviométrique de Lakhdaria.

Tableau II.4: Caractéristiques de la station pluviométrique Lakhdaria .

Nom de la station	Coordonnées Lambert		Z (m)	Code
	X(Km)	Y (Km)		
Lakhdaria	579,3	370	50	090502

II.6.1.Précipitation

Si maintenant nous nous intéresserons aux précipitations : Nous dirons qu'elles sont d'un grand intérêt par rapport au côté hydro-climatologique, car leur étude nous permettra de décrire le régime d'écoulement. Nous disposons d'une chronique de données qui s'étale sur une période allant de 1980 à 2011. Mensuellement et annuellement des analyses des précipitations avaient été réalisées.

II.6.1.1.Evolution annuelle des précipitations.

Elles représentent la répartition annuelle de la pluviométrie sur un bassin versant.

⇒ Station de Lakhdaria :

L'interprétation de cette courbe montre que la valeurs la plus élevé des précipitations annuelles a été observée en 2002, et la plus faible a été relevée en 2001.

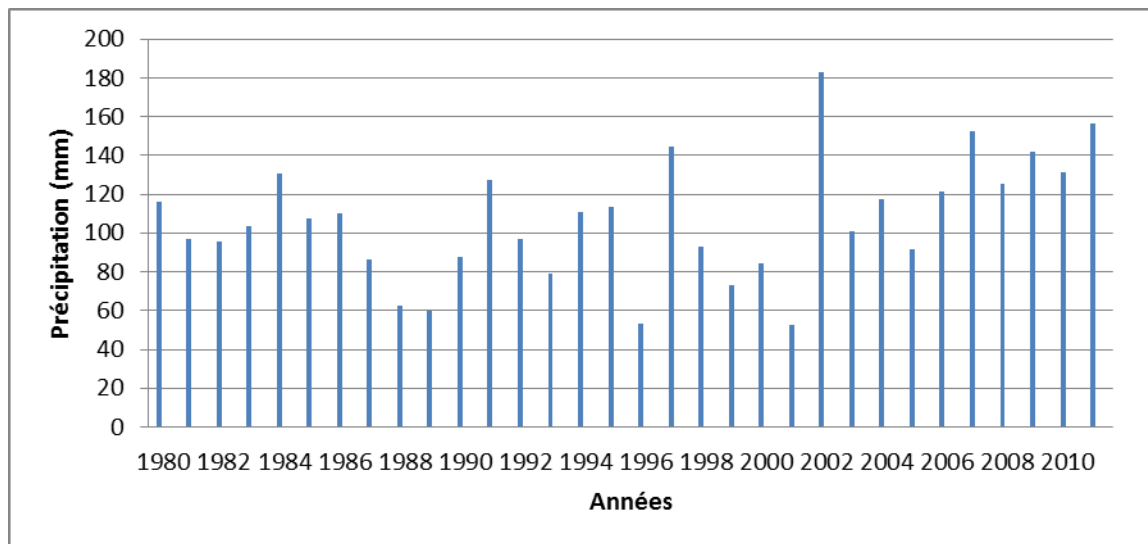


Figure II.4. Variation des précipitations annuelles de la station de Lakhdaria

II.6.1.2.Evolution mensuelle des précipitations.

C'est une représentation de la quantité des eaux de pluie que peut recevoir un bassin versant sur une période d'un mois. Cette représentation peut être donnée sous forme de tableau sur lequel les abscisses (x) représentent les douze mois de l'année et les ordonnées(y)les précipitations en mm enregistrées au niveau de chaque pluviomètre pour chaque mois d'une année hydrologique.

⇒ Station de lakhdaria :

Tableau II.5 : Variation des précipitations moyennes mensuelles

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Précipitations (mm)	30	59	89	114	92	91	72	71	50	09	03	07

Si on observe les résultats donnés par ce tableau, nous constaterons que les variations des précipitations moyennes mensuelles montrent que le mois de Décembre est le plus pluvieux (114mm) par contre le mois de juillet est celui qui a reçu le moins de précipitations (03mm).

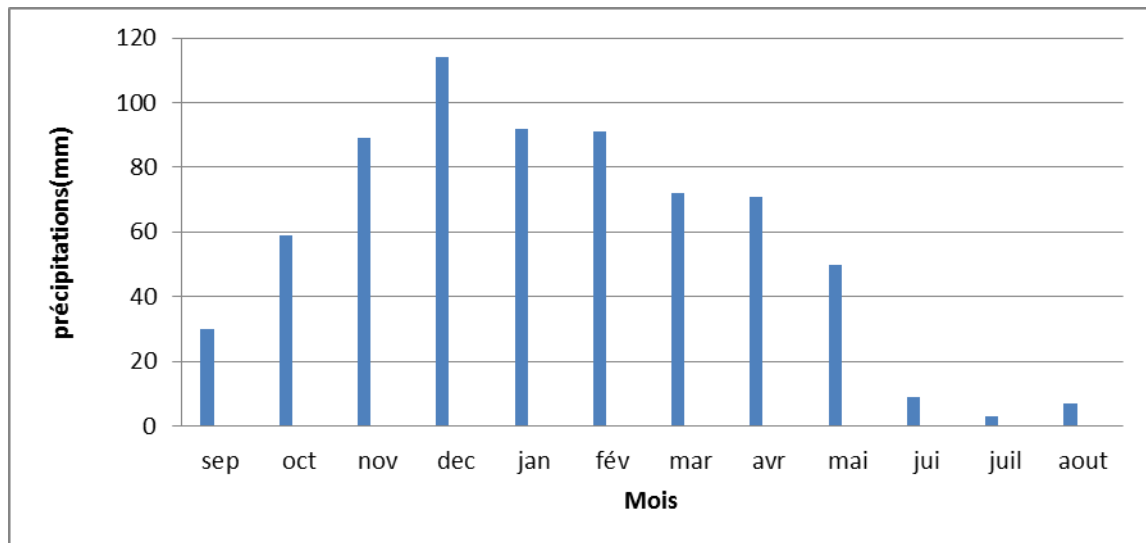


Figure II.4. Variation des précipitations moyennes mensuelles pour station de Lakhdaria

II.7. Contexte pédologique.

Les sols de la Basse vallée d'Isser se répartissent en quatre classes :

II.7.1. Les sols peu évolués.

Ils couvrent plus de 70 % de la superficie de la plaine lui donnant un caractère d'homogénéité; la couverture de ces sols et leurs limites comparées aux formations géomorphologiques de la région présentent souvent une concordance avec la limite de la terrasse récente du Quaternaire. Ils sont d'origine non climatique et se caractérisent par la diversité de leur sous-groupe. On distingue 3 variantes des sols :

- Sols à texture limono-argileuse devenant équilibrée en profondeur (entre 25-50 cm)
- Sols de texture limono-argileuse à sableuse (entre 70-120 cm).
- Sols de texture limoneuse devenant fine (à partir de 80-90 cm).

a) Sols à Texture limono-argileuse devenant équilibrée en profondeur (entre 25-50 cm).

II.7.2. Les vertisols

Ils occupent une superficie très restreinte (inférieure à 10%) et se limite à deux petites parcelles situées au milieu de la périphérie Sud de la plaine ; la structure de ces sols est moyennement lourde.

II.7.3. Les sols calcimagnésiques carbonatés

Occupent une superficie de 12% environ, on les remarque nettement autour de Bordj-Ménaiel où ils évoluent sur une terrasse limono-argileuse.

II.7.4. Les sols hydromorphes

Ils se classent par superficie en deuxième place après les sols peu évolués (Boulmataf. 2012)

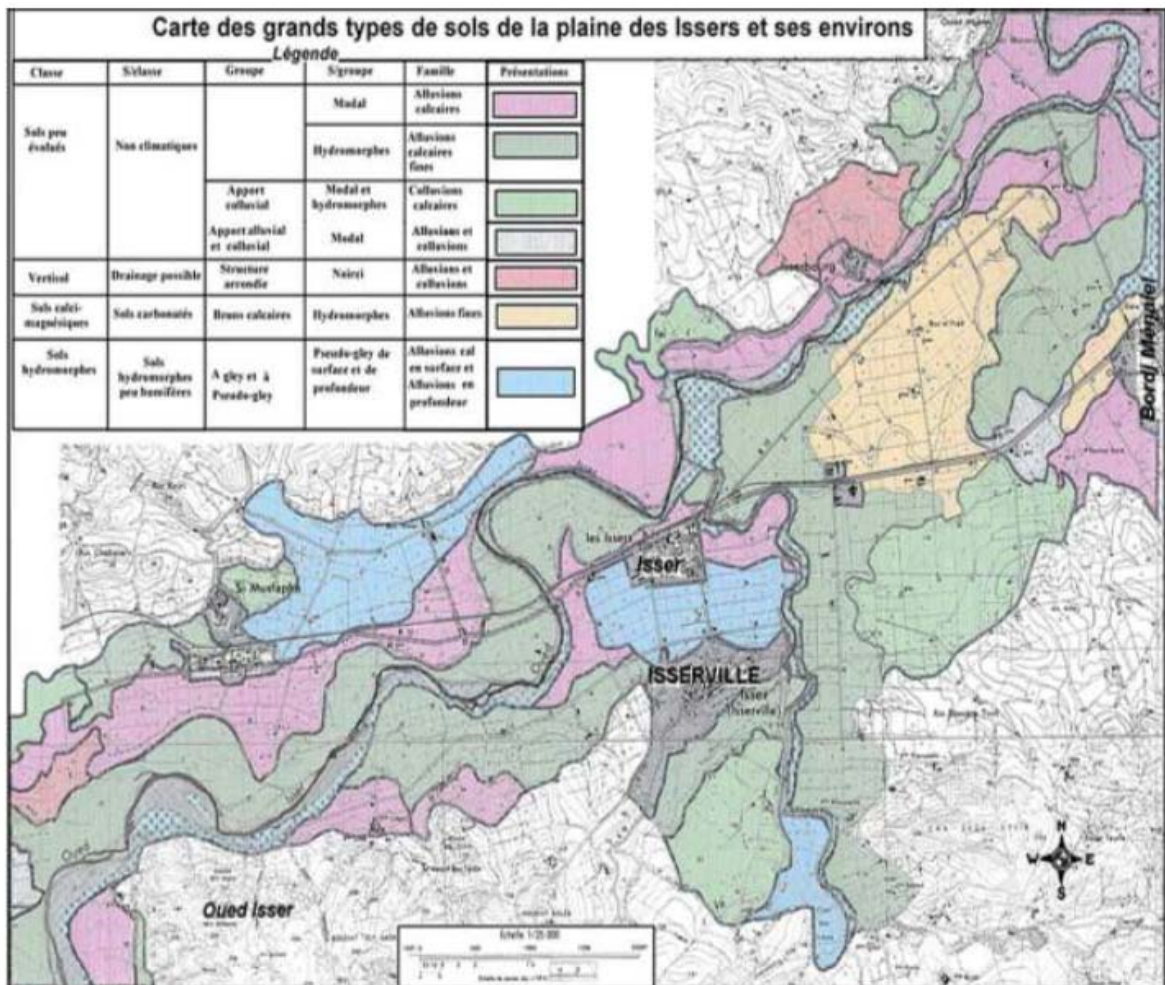


Figure II.5. Cartes des grands types des sols dans la plaine des Isser et ses environs

II.8. Cadre géologique de la région d'étude

Le sous bassin versant de l'Oued Isser appartient au vaste ensemble géologique qui est le tell septentrional kabyle, Les études géologiques antérieures ont montré que la basse vallée de l'Oued Isser se caractérise par sa complexité tant structurale que stratigraphique, il montre aussi l'existence de formation métamorphique d'âge précambrien recoupée localement par des roches intrusives et d'autre part par des formations sédimentaires.

II.8.1. Stratigraphie

Les structures géologiques de la région sont marquées, par l'existence de formation métamorphique d'âge antécambrien recoupées localement par des roches intrusives acides et basiques d'une part, et de formations sédimentaires d'autre part. Nous rencontrons à l'affleurement des roches les plus anciennes aux plus récentes. (Bouček.F,2015)

❖ Socle cristalloyllien

Les terrains antécambriens sont développés sur les vieux Massif kabyle de Boudouaou et de Ben Norah de Beni Amrane et de Thenia et sont subdivisés en deux assises :

⇒ Assise métamorphique inférieure

Elle est représentée par un intercalage de Gneiss oeillet et de Micaschistes Feldspath quartzitiques, formant des plis.

⇒ Assise supérieure

Elle est moins métamorphisée et est constituée essentiellement de chloritoschistes quartzifères. A l'ouest de Beni Amrane une série de quartzites s'associe à des magnétites-hématites, la puissance de cette assise dépasse les 200 mètres.

❖ Les roches éruptives

Ces roches sont d'âge pré-tertiaire et tertiaire, les roches pré-tertiaires sous forme de filons de pegmatites ou granites souvent tourmalinifères affleurent à Beni Amrane et Bordj Menaé tandis que les roches tertiaires sont représentées d'une part par un pointement de roche granodioritique dans le Massif de Thenia et d'autre part par des formations volcaniques (liparites, basaltes et les roches ophiolitiques).

❖ Les formations sédimentaires

Les terrains Paléozoïques et Mésozoïques sont développés dans le Dorsal Kabyle et jalonnent les versants Nord de la chaîne calcaire.

❖ Les roches siluriennes

Elles sont représentées par les schistes argileux intercalées de grès quartzeux puissant de 300 à 400 m. Les sédiments permo-triasiques : Ce sont le plus souvent des grès à micro-poudingues conglomérates et argiles d'une puissance de 500 m.

❖ Les dépôts méso-cénozoïques.

Ils ont été subdivisés en trois(3) parties : Le lias de 500 m d'épaisseur est constitué des calcaires, des marnes et des dolomies.

❖ L'aptien et l'albien.

Ce sont des dépôts d'une puissance de 500 à 700 m, ils sont représentés par les grès quartzitiques, des argiles et les marnes, ils affleurent au sud de Boudouaou et aux limites de la Dorsale Kabyle.

❖ Le flysch paléogène.

Ils sont largement développés dans la chaîne calcaire et dans la région des bordures dessaillies du socle métamorphique, leur puissance est de 1500 à 2000 m dans la bande de la Dorsale Kabyle et de quelques centaines de mètres dans la limite des Massifs.

❖ Le burdigalien.

Il est constitué par des conglomérates, des marnes, des argiles, de grès de teinte rouge, d'une puissance de 400 à 500 m, il repose en discordance angulaire sur les schistes métamorphiques antécambriens et les roches du paléogène.

❖ L'Helvétien.

Il affleure dans la partie Nord et Ouest de la région, constitue une assise volcanosédimentaire d'environ 300 m d'épaisseur, au-dessus se trouvent des marnes bleues de 150 m de puissance.

❖ Les marnes et argiles du plaisancien et de l'Astien.

La puissance de ces formations est de 250 à 300 m, constituées par des sables marins éoliens, alluviaux et poudingues de villafranchien. Ces formations constituent les terrasses du quaternaire inférieure, moyen et supérieure, d'une puissance totale de 200 m. Elles sont développées dans les parties basses du relief du littoral Méditerranéen. Au Nord, les marnes miocène sont transgressives sur ces formations.

Les dépôts actuels des plages qui jalonnent le bord de la Mer forment des bandes larges de 200 m à 300 m. Les galets, les sables et les argiles alluvionnaires que l'on rencontre ont une puissance de l'ordre de 10 m. (ANRH, 2001)

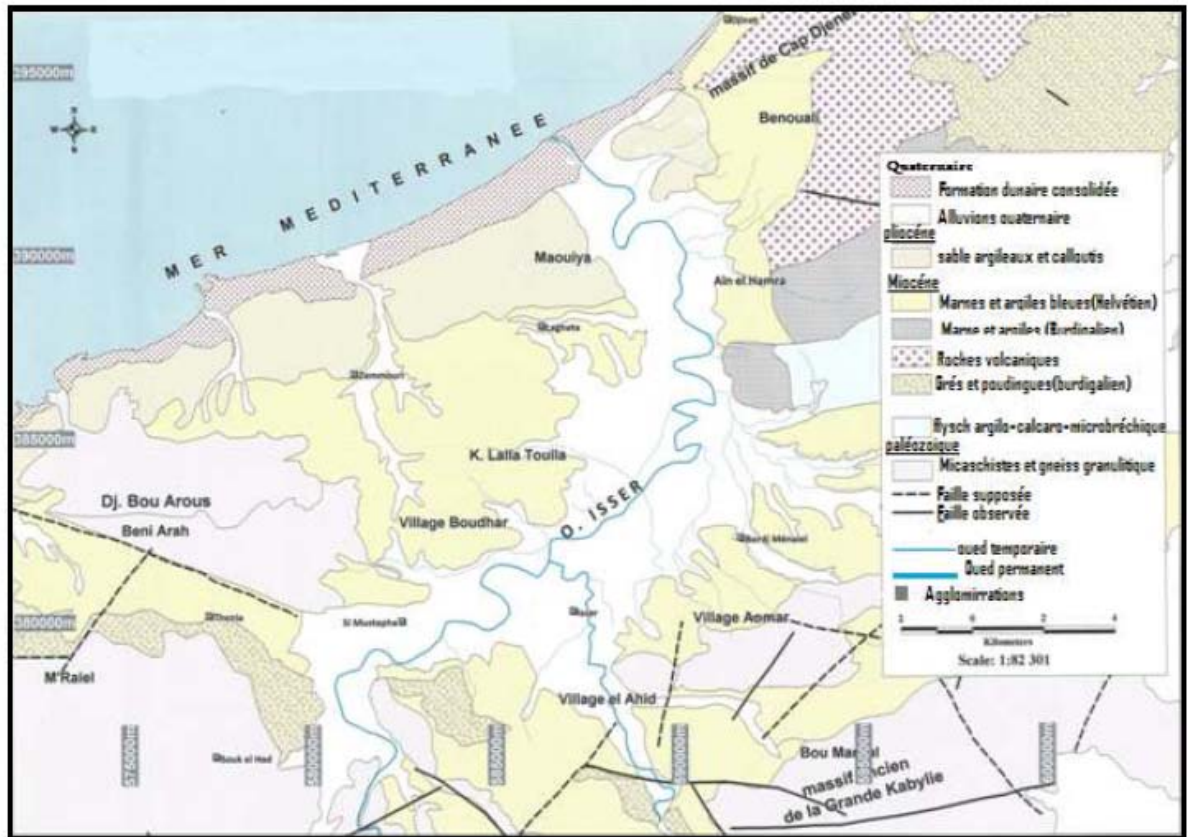


Figure II.6. Carte géologique du sous bassin versant du Bas Isser.

II.8.2.Lithologie

Le Bas Isser est constitué de 43 % par des formations marneuses des grès et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin. Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grès et des marnes constituant 15 % du Bas Isser. Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 20 % de la superficie totale.

Le crétacé inférieur occupe 2 % du bassin, ces formations sont représentées par des schistes argileux, des marnes grises et des grès. Les alluvions de quaternaire continentales occupent 18 % du Bas Isser. On trouve aussi des granites qui forment 2 % de la superficie totale.(ANRH, 2004).

Ere	système	Sous étages	Lithostratigraphie	Lithologie	Caractéristiques Hydrogéologiques
quaternaire	quaternaire	quaternaire (qm, q)		plages actuelles dunes anciennes terrasses marines et alluviales	très perméable
Cénozoïque	pliocène	plaisancien (Pb)		marnes bleues, grises et dures	impermeable
		Helvétien		lave andésito-basaltique	très peu perméable
			bans de grès, de conglomérats et de marnes à intercalations de lave andésito-basaltique	très peu perméable	
			marnes gréseuses avec passage de grès calcaire	impermeable	
			conglomérats et marnes à marnes intercalations de lave andésito-basaltiques	perméable	
	Burdigalien		grès calcaireux marnes à interis de gypse poudingues et grès	impermeable perméable	
		argiles et marnes grises bleuâtre à intercalations de grès calcaire			
mésozoïque	crétacé sup	turonno-sénonien (e1-5)		alternance d'argiles et calcaires bréchiques	impermeable
Protérozoïque	Précambrien	assise supérieure (X3)		schistes satinés avec des lentilles de marbre dolomitisé	impermeable
		assise inférieure (X2)		schistes à deux micas avec des lentilles de marbe et de gneiss ocellé	perméabilité de fissures

Figure II.7. Coupes lithologiques du sous bassin versant du Bas Isser (ANRH 2004)

II.8.3.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. (Ider.2006).

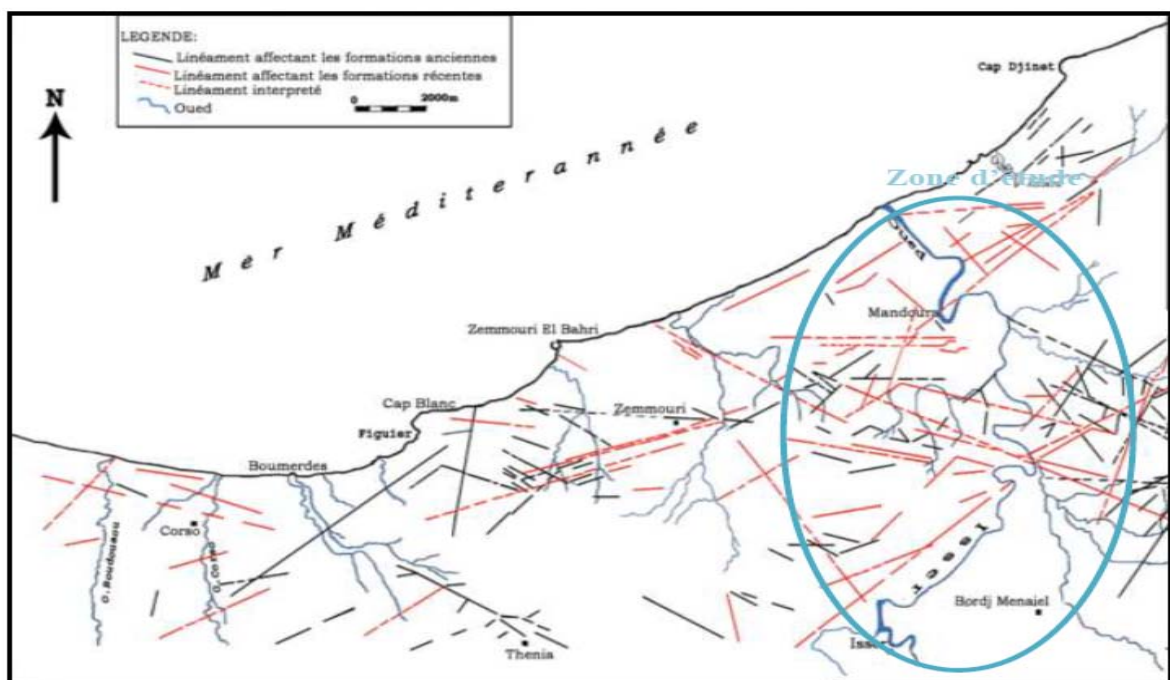


Figure II.8. carte Tectonique de la vallée du Bas-Isser, selon la carte géologique (Boulmataf, 2012)

II.9. Contexte hydrogéologique

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

L'hydrogéologie a pour finalité la planification de l'exploitation de la ressource en eau. Sa base essentielle est l'identification des aquifères ou nappes d'eau souterraine. Celle-ci exige l'acquisition, au meilleur coût, de données numériques précises et nombreuses sur les caractéristiques des aquifères.

II.9.1. Etude des formations quaternaires

Le Quaternaire est constitué essentiellement par des graviers, galets, sables et argiles, du fait de son épaisseur assez importante du réservoir utile, ces formations constituent le milieu le plus favorable pour l'accumulation des eaux souterraines. Elle est représentée par :

⇒ Terrasses marines

Elles comprennent les plages actuelles affleurant aux plateaux de Beni kous, rive gauche de l'Oued Isser et Cap Djenat, et les dunes anciennes développées parallèlement au littoral.

⇒ Terrasses alluviales

Ce sont les terrains les plus abondants dans la vallée du Bas-Isser (environ 100km²). Elles sont en nombre de sept (07), elles sont étagées et partiellement emboîtées, dont l'intérêt hydrogéologique de chacune est représentée ci-dessus :

.1ère Terrasse

C'est la terrasse la plus ancienne de l'Oued Isser, elle se rencontre à Kalaa, elle est formée de grès, galets, schistes et quartzites emballée dans une gangue argileuse.

.2ème Terrasse

Elle affleure au Sud de Beni Kous, Sidi Bennor et Lala Touili, se sont des lambeaux isolés de poudingue à galets et schistes, grès calcaires et quartzites emballés dans une gangue sableuse d'épaisseur de 5 à 10 m.

.3ème Terrasse

Elle apparaît au Nord de Berafai et s'étend du Nord de Legata jusqu'au plateau de Beni Kous. Elle est formée par des marnes bleues de substratum, des argiles brunes

jaunâtres, des limons aux argiles sableux, des graviers et galets peu consolidés, l'épaisseur moyenne de la terrasse est de 35 m.

.4ème Terrasse

Elle affleure entre les Isser, Bordj Menaël, Legata et Beni Ksir. Elle repose sur le plaisancin et montre une lithologie variée de conglomérats et de quartzites, cette disposition explique la présence de sources le long de ce contact, son épaisseur varie de 30 à 40 m.

.5ème Terrasse

Elle affleure au Nord de Bordj Menaël de Sidi Mustapha jusqu'à Berafaï sous forme de lambeaux de conglomérats à grès calcaire et quartzites plaquée contre le substratum, son épaisseur varie de 20 à 30 m.

.6ème Terrasse

Elle affleure au niveau de la gare de Sidi Mustapha, sous forme de lambeaux conglomératiques dont les éléments sont de même nature que ceux de la 5ème terrasse.

7ème Terrasse

C'est la plus récente, elle occupe tout le fond de la basse vallée de l'Oued Isser. Elle affleure depuis Beni Amrane jusqu'à l'embouchure de l'Oued Isser sur une longueur de 20 à 25 km et une largeur de 1 à 4 km, cette dernière atteint sa valeur maximale entre les Isser et Bordj Menaël. Elle est constituée par des galets, graviers et des sables reposant sur les marnes plaisanciennes, et surmontée par des argiles. Son épaisseur moyenne est de 25 m (Rezki, 2004).

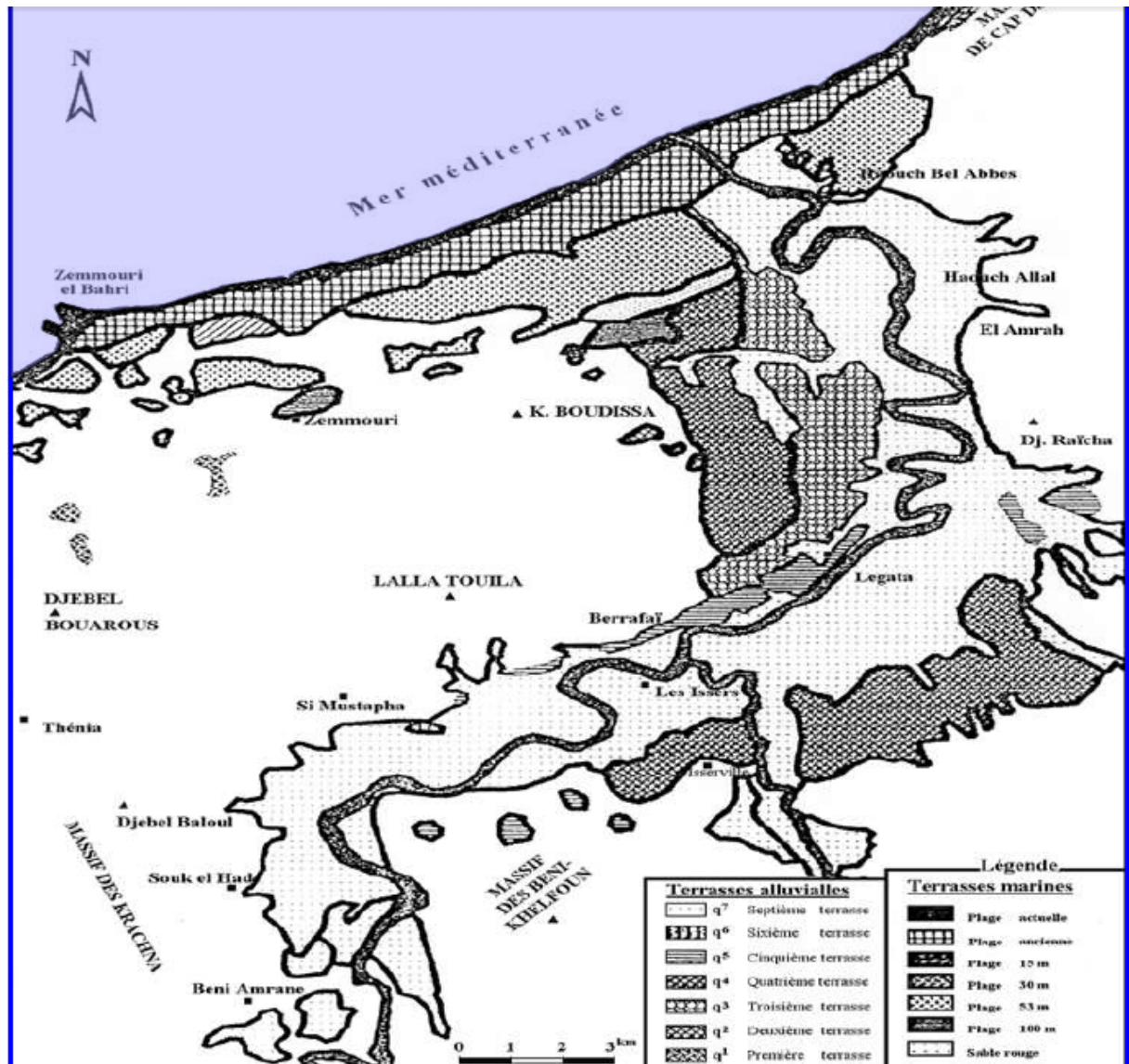


Figure II.9. carte de L'emplacement des terrains quaternaires dans la plaine du Bas Isser.

II.9.2. Géométrie de l'aquifère

Dans le Bas Isser le comportement hydrogéologique est très différencié selon la lithostructure encaissante, les formations aquifères sont localisées dans les terrains quaternaires de la vallée de l'Oued Isser. Le fond et les bordures de la vallée sont constitués par des terrains anti-quaternaires (schiste, poudingue, grès, conglomérat, roche éruptives).

Les formations susceptibles d'être aquifère sont en nombre de quatre :

❖ La nappe de la formation éolienne actuelle

Elle affleure tout le long du littoral, son épaisseur varie entre 3 et 5 m, le niveau statique est de l'ordre de 0.5 à 1 m. L'écoulement général des eaux souterraines s'effectue vers la mer, et les transmissivités sont de l'ordre de $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

❖ La nappe de la terrasse littorale du quaternaire inférieur.

Elle est constituée par des sables graveleux et des graviers, son épaisseur varie de 10 à 15m.

❖ La nappe de la formation du quaternaire moyen.

Cette nappe est formée par des galets à remplissage sableux et graveleux ; avec une alternance par endroit de passage argileux. La nappe est libre sur toute son extension, son épaisseur varie entre 10 et 15 m.

❖ La nappe aquifère du quaternaire récent et actuel et des alluvions du quaternaire inférieur

Elle constitue le réservoir le plus important du système aquifère du Bas Isser. Deux nappes ont été individualisées :

.1ère nappe

Elle est répandue sur tout le Bas Isser. Elle coïncide avec les formations alluviales (lit majeur de l'Oued Isser) et avec les formations alluviales du quaternaire récent (7ème terrasse). L'épaisseur de la nappe aquifère varie de 10 à 20 m. Les alluvions formant la 7ème terrasse, forment une bande large le long du lit majeur actuel, de 1.5 Km à 2.5 Km dans la région de Bordj Ménaïel. La surface couverte par ces dernières constitue 44 Km². La composition granulométrique des roches aquifères va des galets à remplissage sableux, graviers et sables jusqu'aux limons sableux et limons de graviers.

.2ème nappe

Les terrains d'alluvions sont rattachées, occupent la partie la plus basse de l'Isser, et suivent en bande interrompue (de largeur 500 à 2000 m), de Souk el Had jusqu'au pont routier à l'embouchure de l'Isser. A Bordj Ménaïel, elle atteint une largeur de 2300m.

Les alluvions sont assez homogènes, ils sont présentés par des galets, des graviers, et de remplissage sableux (plus au moins argileux), l'épaisseur de l'aquifère varie de 9 à 15 m de la région de Souk el Had jusqu'au confluent l'Oued Isser et de Oued Djemaa, de ces deux Oueds jusqu'au pont routier à l'embouchure (Chemlal.1983).

Pour mieux décrire la lithologie des diverses formations, et en comptant sur l'étude faite par Chemlal (1983), nous présenterons les différents coupes géo-électriques qui ont été obtenues à partir des sondages électriques perpendiculaires à la terrasse alluviale supérieure et littorale.

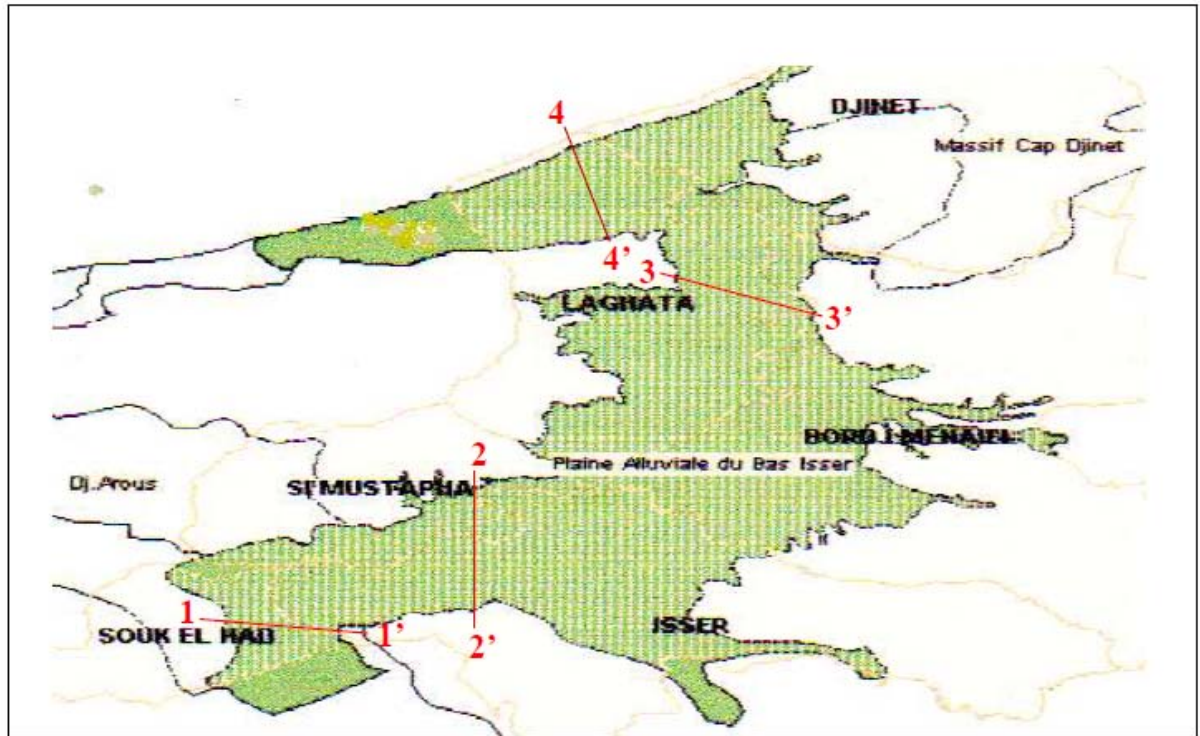


Figure II.10. Situation des Coupes hydrogéologiques

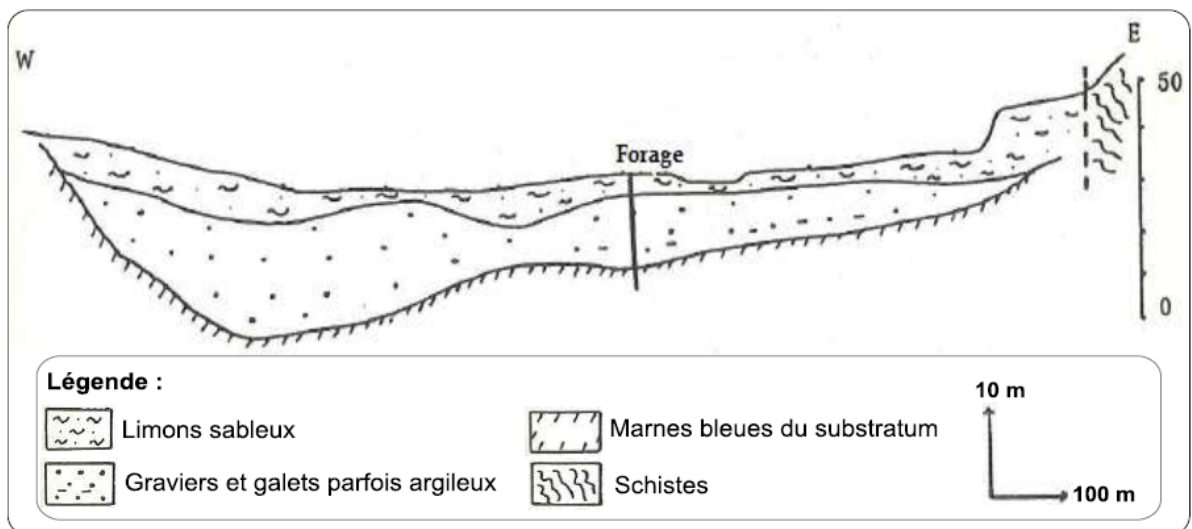


Figure II.11. Coupe hydrogéologique 1-1'

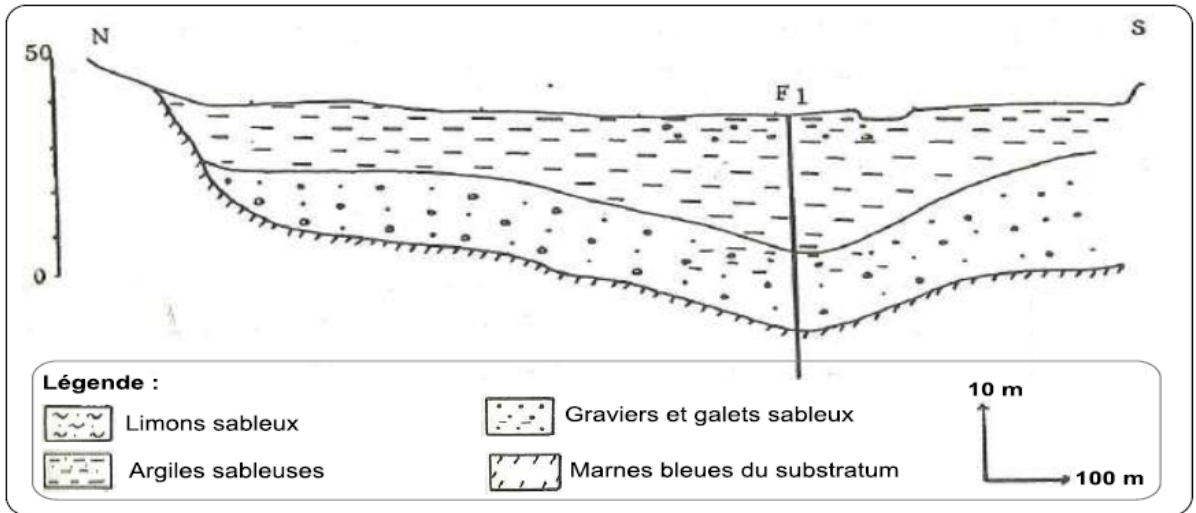


Figure II.12. Coupe hydrogéologique 2-2'

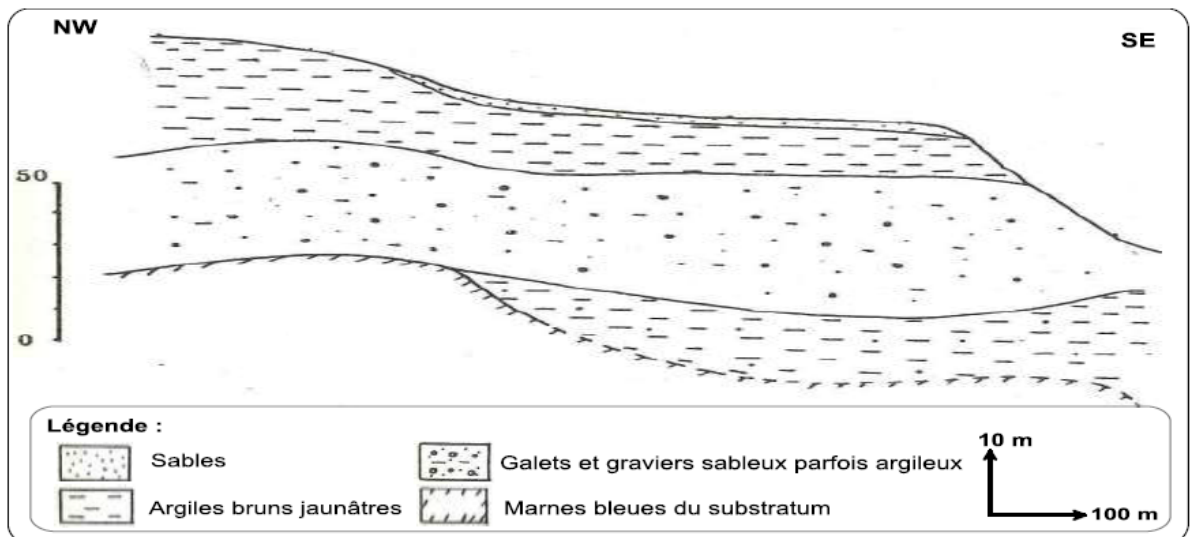


Figure II.13. Coupe hydrogéologique 3-3'

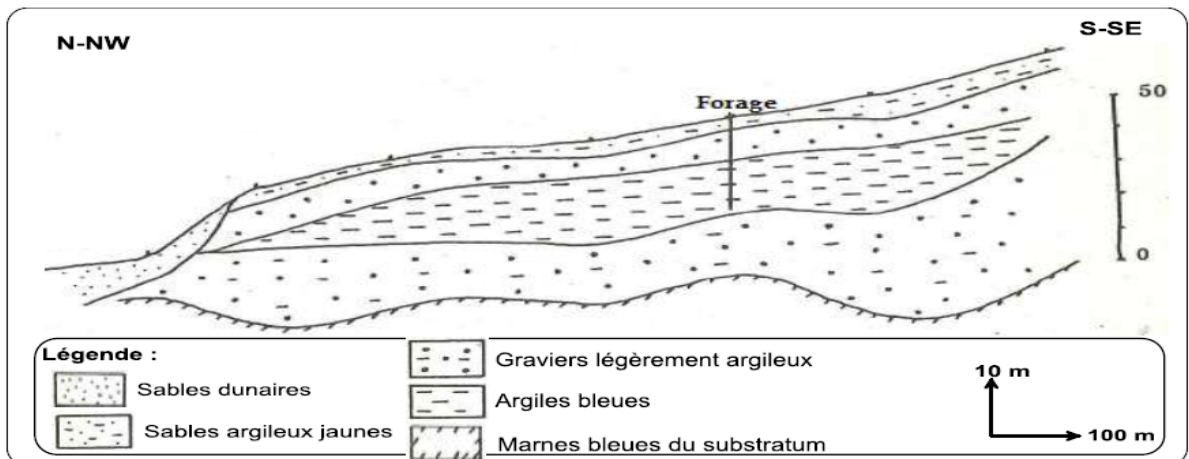


Figure II.14. Coupe hydrogéologique 4-4'

II.10. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

L'estimation du coefficient d'emmagasinement et de la transmissivité est très importante pour l'estimation du bilan hydrogéologique et des réserves en eau souterraine des nappes aquifères.

Les valeurs de ces paramètres ont été tirées à partir des annuaires de l'ANRH de Blida.

❖ Coefficient d'emmagasinement

Il exprime le volume d'eau libérée par un prisme vertical du terrain aquifère pour une variation unitaire de la charge hydraulique, il varie entre 0.1 % et 24 %, pour l'ensemble des aquifères de la zone d'étude.

❖ Transmissivité

Elle est le produit de la perméabilité par l'épaisseur du niveau aquifère variant entre $3.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, pour l'ensemble des aquifères de la zone d'étude.

❖ Perméabilité

Elle 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.

II.11. Conclusion

En conclusion, l'ensemble des résultats d'étude hydroclimatologique du bassin versant du Bas Isser montrent que le bassin est caractérisé par :

- un climat méditerranéen de type sub-humide.
- Un bassin versant allongé avec une couverture végétale souvent complexe et contradictoire.
- l'étude géologique a mis en évidence une structure complexe.
- Sept terrasses alluviales ont été mises en évidence par l'étude des formations quaternaires. Ces terrasses sont disposées en gradins étagés et partiellement emboîtées. Parmi ces terrasses, certaines sont susceptibles d'être aquifères car elles sont constituées par galets, graviers et des sables peu ou pas argileux.

Chapitre III

III.1.Introduction

La qualité d'une eau souterraine est définie par un certain nombres de paramètres physiques, chimiques, bactériologiques, virus, radioactifs...leur évolution au cours du temps nécessite des mesures et des analyses. Elle nécessite la détermination de l'aptitude de cette eau en fonction de sa qualité à satisfaire plus ou moins certains usages (Aptitude à l'AEP, à l'irrigation, ou à l'industrie).

Les méthodes d'analyse utilisées dans cette étude sont présentées dans le présent chapitre.

III.2.Système d'Information Géographique

III.2.1.Définition

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace.

Un système d'information géographique est aussi un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées.

C'est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. Un système d'information géographique est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et l'aide à la décision.(Amadou)

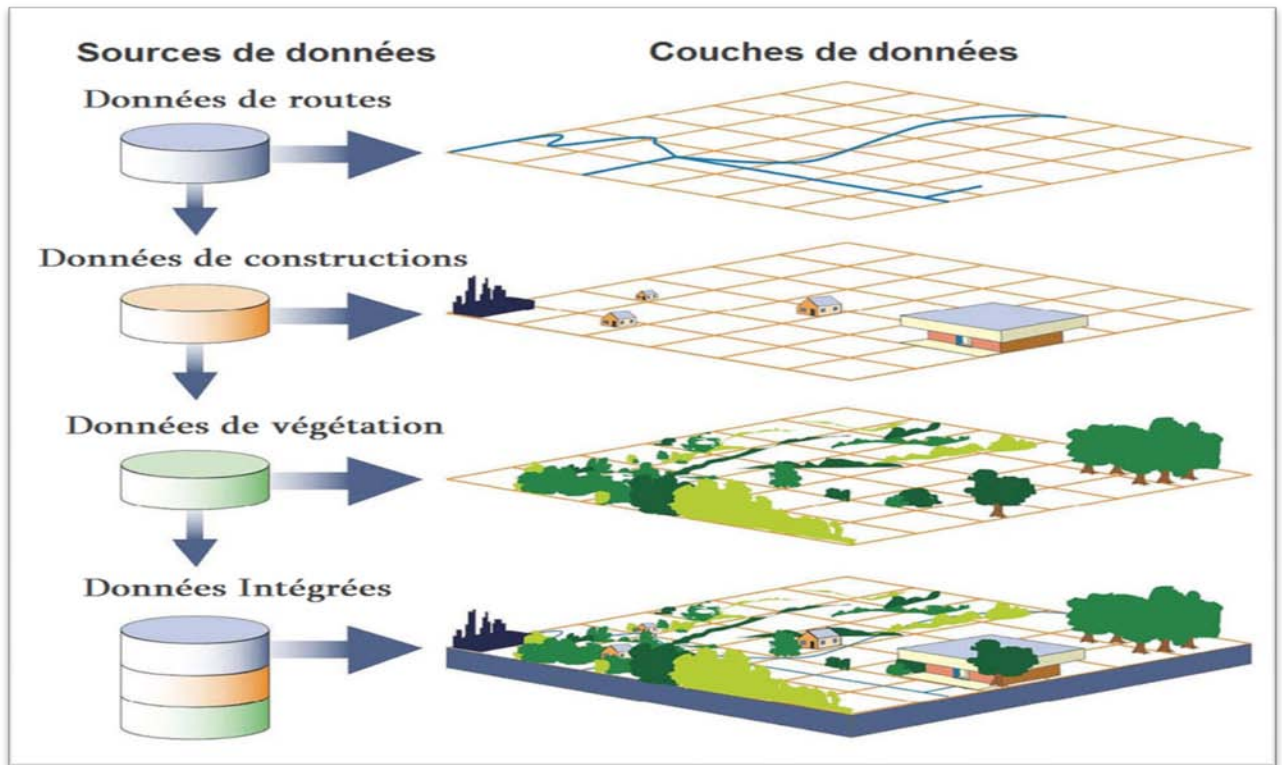


Figure III.15.Représentation multicouches

III.2.2.Domains d'application

➤ Les ressources naturelles

Localisation des terrains agricoles, les ressources en eau superficielles et souterraines, étude d'impact environnemental, étude de danger et lutte contre la pollution ...etc.



Figure III.16.Les ressources naturelles

➤ Les réseaux urbains

Localisation à partir des adresses, aide à la planification et la conception des voies, routes, chemins de fer, planification et distribution des flux de véhicules, gestion des encombrements...etc.

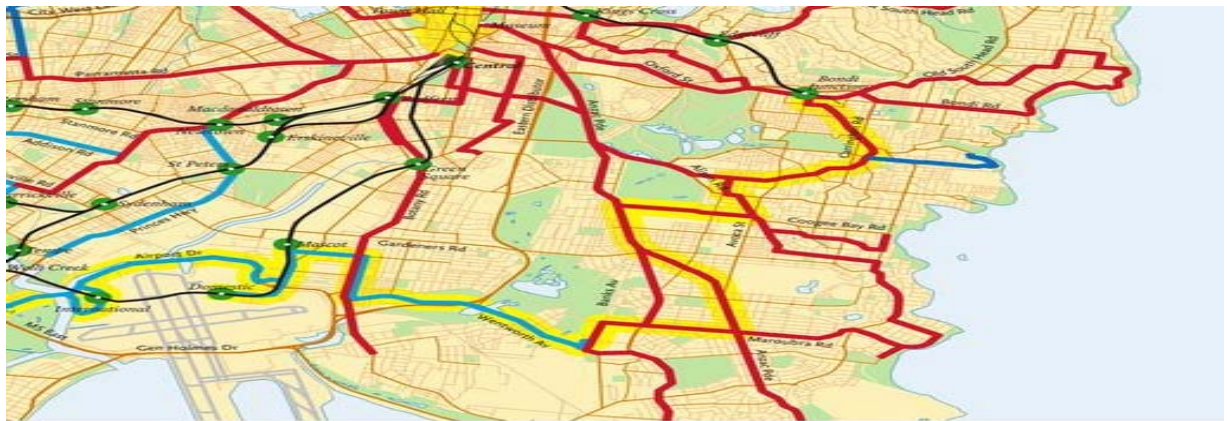


Figure III.17. Les réseaux urbains

➤ La gestion des installations

Contribution à la planification, conception, réalisation et gestion des réseaux urbains tels que : (Electricité, Eau, Gaz, Assainissement, Téléphone, Fibres optiques, eetc).

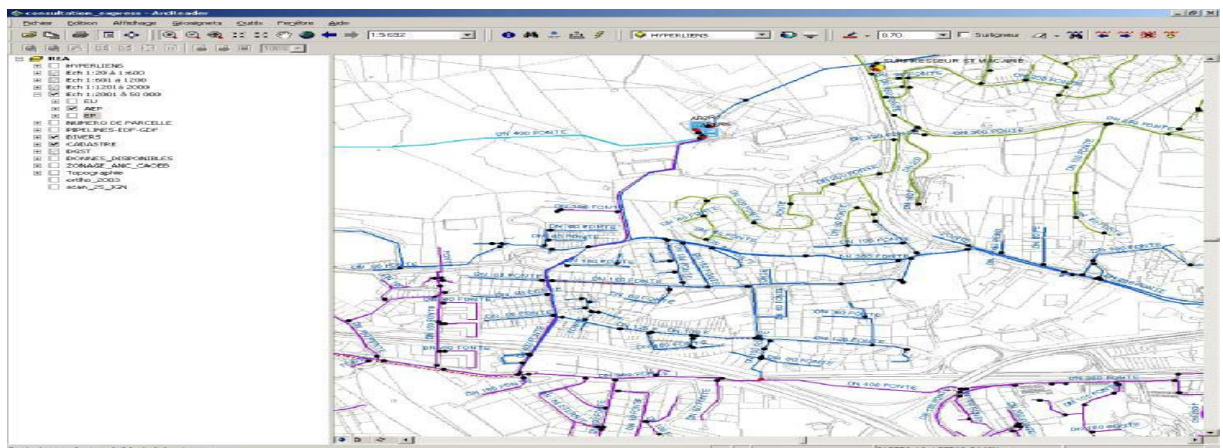


Figure III.18. La gestion des installations

➤ La gestion de territoire

Appliquée notamment à la gestion du foncier, élaboration et mise à jour des plans cadastraux, Evaluation du foncier, planification et élaboration des plans directeurs d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) et plans d'occupation du sol (POS) ...etc.



Figure III.19.La gestion de territoire

➤ Le commerce

Analyse des marchés (cartographie de vente, de consommation ...), planification des développements et ciblage des clients, implantation des points de vente....etc).

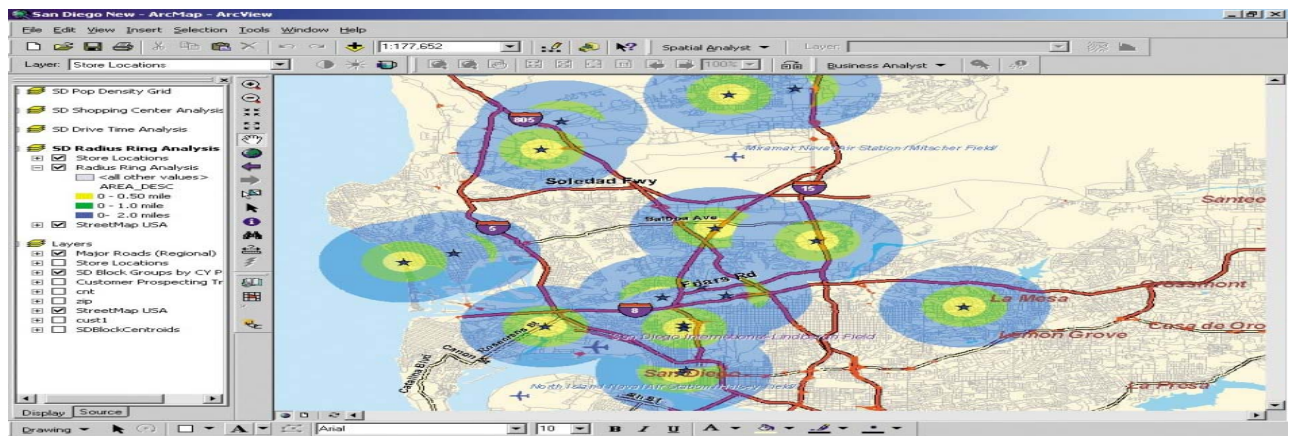


Figure III.20.Le commerce

➤ La santé

Suivi des épidémies, répartition des maladies, répartition des statistiques des taux de natalité et de mortalité d'une région et distribution des établissements sanitaires...etc.

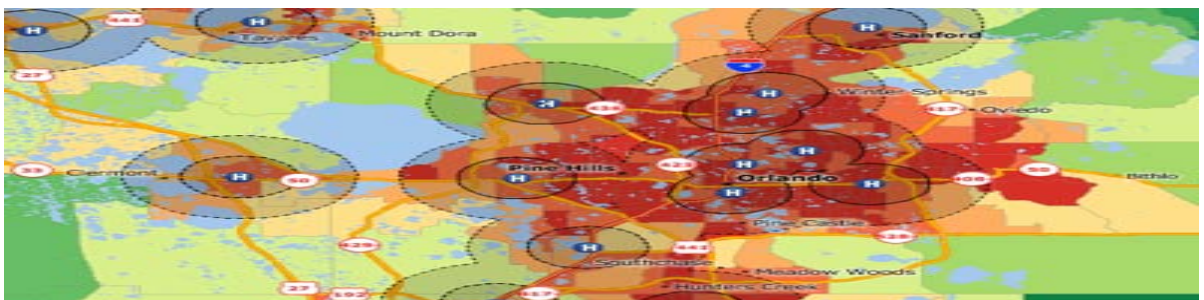


Figure III.21.La santé

➤ Protection de l'environnement et gestion des risques

Etude des changements climatiques, biologiques, morphologiques et océaniques...etc. La protection contre inondations des fleuves et des oueds, étude d'impact des dangers (rupture d'un barrage, accident nucléaire...etc

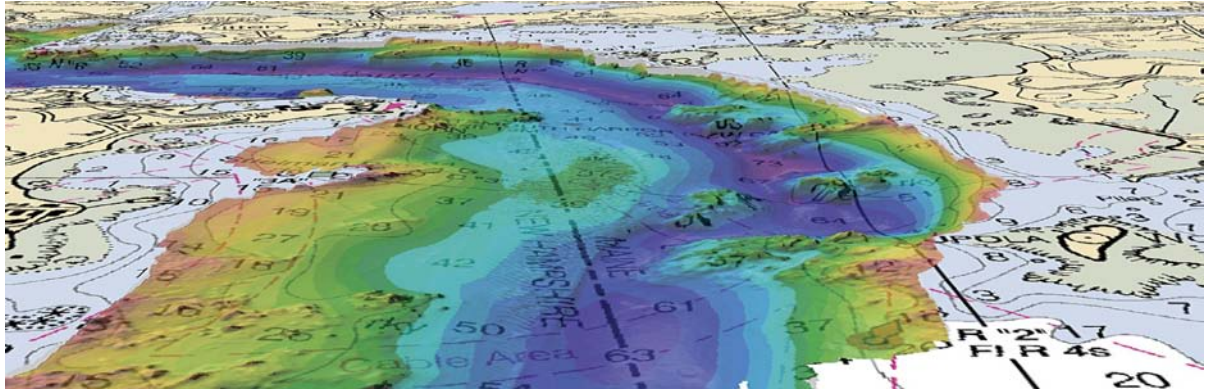


Figure III.22. Protection de l'environnement et gestion des risques

III.2.3. Fonctionnalités d'un SIG

Un SIG répond à 5 fonctionnalités (les 5 A) :

- **Abstraction:** modélisation de l'information,
- **Acquisition:** récupération de l'information existante, alimentation du système en données,
- **Archivage:** stockage des données de façon à les retrouver et les interroger facilement,
- **Analyse:** réponses aux requêtes, cœur même du SIG,
- **Affichage:** restitution graphique.

III.2.4. Avantages et Inconvénients de SIG

➤ Les avantages des SIG

- ❖ Capacité de stockage importante des données.
- ❖ Fiabilité de stockage des données.
- ❖ Rapidité d'enregistrement et de récupération des données.
- ❖ Facilité de modification des données (suppression et mise à jour).
- ❖ Intégration et combinaison de données de sources différentes.
- ❖ Précision des processus cartographiques.

- ❖ Analyse des relations spatiales (Requête, combinaison et superposition des cartes).
- ❖ Elaboration des cartes et rapports.
- **Les inconvénients des SIG**
 - ❖ Les SIG exigent un personnel spécialisé et qualifié.
 - ❖ Difficulté d'acquisition des données fiables et précises, ainsi le problème de manque de données.
 - ❖ Un cout élevé.

III.2.5. SiGMap Info

MapInfo Professional est un Système d'information géographique (SIG) à l'origine Bureautique créé dans les années 1980 aux États-Unis. C'est un logiciel qui permet de réaliser des cartes en format numérique. MapInfo est conçu autour d'un moteur d'édition de cartes qui permet la superposition de couches numériques. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygones et image raster. Ce logiciel permet de créer, d'afficher, de modifier toutes formes d'informations géographiquement référencées.

MapInfo est un SIG, parmi les plus répandus en France (plus de 40 000 licences) et dans le monde (60 pays et 21 langues). Son succès tient essentiellement de :

- sa simplicité d'utilisation
 - son langage de programmation (Map Basic qui permet d'ajouter de nouvelles applications répondant aux exigences de tous projets).
 - sa puissance de gestion et de traitement de données.
 - ses capacités d'échange avec les formats standards bureautiques et les bases de données.
- **Map Info** est utilisé pour :
- Créer des cartes détaillées afin d'améliorer les présentations et faciliter la prise de décision.
 - Mettre en évidence des tendances de vos données qui autrement ne sont pas perceptibles.
 - Réaliser des analyses spatiales dans un environnement bureautique.



Figure III.23. Présentation du logiciel Map Info.

III.3. Diagrammes

Les résultats d'analyses physico-chimiques sont présentés sous forme de diagramme qui facilite l'interprétation de ces analyses.

III.3.1. Diagramme de Stabler

Le diagramme de Collins ou Stabler est utilisé pour déterminer rapidement les différents titres d'une eau (titre d'alcalimétrie, titre en sels d'acides forts et titre d'hydrotimétrie). Pour cela les concentrations en meq.L^{-1} des anions et des cations sont reportées sur deux barres ou colonnes distinctes de même longueur - les concentrations étant reportées en %. La détermination des différents titres est alors visuelle.

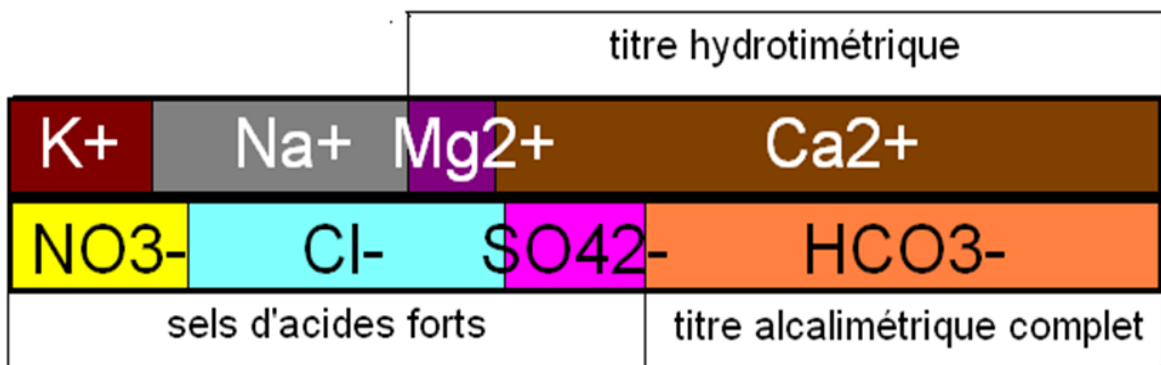


Figure III.24. Diagramme de stabler

➤ Le **titre hydrotimétrique (TH)**

Ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium. La dureté s'exprime en mg/L de CaCO_3 ou en degrés français. Un degré français correspond à 4 mg de calcium ou 2,4 mg de magnésium par litre d'eau.

Plage de valeurs du titre hydrotimétrique : Les eaux peuvent être classées de la façon suivante :

Degrés français (°F)	Dureté de l'eau
• 0 à 9	très douce (très peu calcaire)
• 10 à 19	douce à peu dure (peu calcaire)
• 20 à 24	peu dure à moyennement dure (calcaire)
• 25 à 35	moyennement dure à dure (calcaire à très calcaire)
• 35 et +	dure à très dure (très calcaire)

➤ **Titre alcalimétrique**

D'une eau permet de connaître sa concentration en carbonates (CO_3^{2-}) et en bases fortes, autrement dit son alcalinité. Ce titre se mesure en degrés français (°f) : 1°f équivaut à 3,4 mg/L d'ion hydroxyde (HO^-) ou à 6 mg/L d'ion carbonate, ou encore à 12,2 mg/L d'ion hydrogencarbonate (HCO_3^-). Pour prendre également en compte les ions bicarbonates (HCO_3^-), on utilise le titre alcalimétrique complet (TAC). L'alcalinité d'une eau est fortement liée à sa dureté et donc à son caractère corrosif et à sa capacité d'entartrage des canalisations.

III.3.2. Diagramme de Piper

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et des anions sur deux triangles spécifiques (équilatéraux) dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée. Le diagramme de

Piper permet également : d'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes ; d'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques ; d'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant ; la projection de plusieurs échantillons en même temps :

- Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace,
- Pour les comparer ;
- Pour avoir une idée sur la notion de mélange ; de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.

Diagramme de Piper

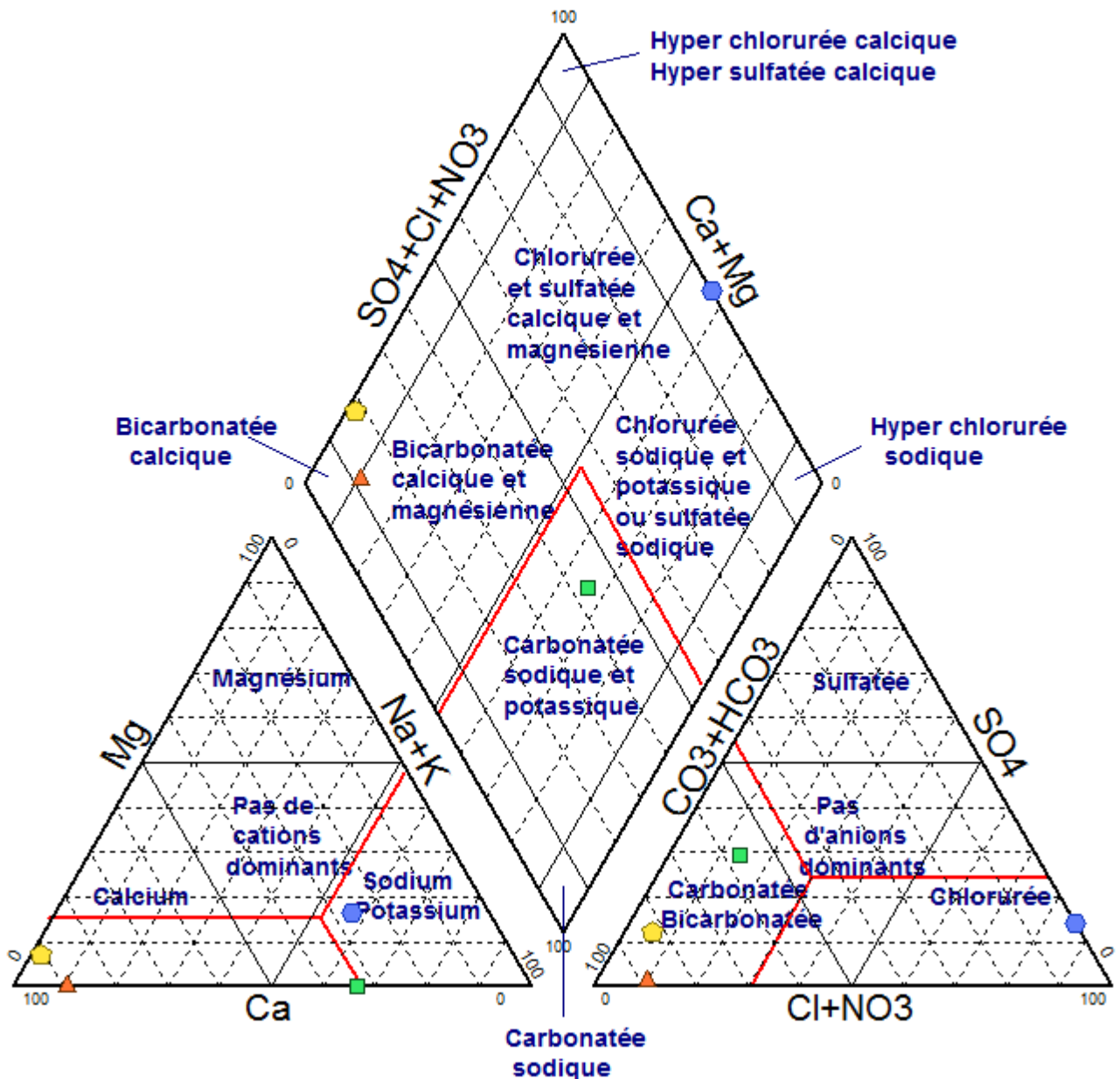


Figure III.25. Diagramme de piper (Habes.S)

III.3.3. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi-logarithmique (à échelle logarithmique il permet de distinguer par simple lecture des échelles des concentrations des ions et donc de déduire rapidement les différentes familles des eaux) sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées. Cette représentation permet aussi la détermination du faciès d'une eau. En effet, le diagramme de Schöeller- Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/l) en éléments majeurs de ces eaux, de comparer des éléments en traces et d'établir les faibles variations entre les éléments chimiques. Les deux représentations de Piper et de Schöeller-Berkaloff ont été utilisées car elles sont complémentaires.(Habes.S)

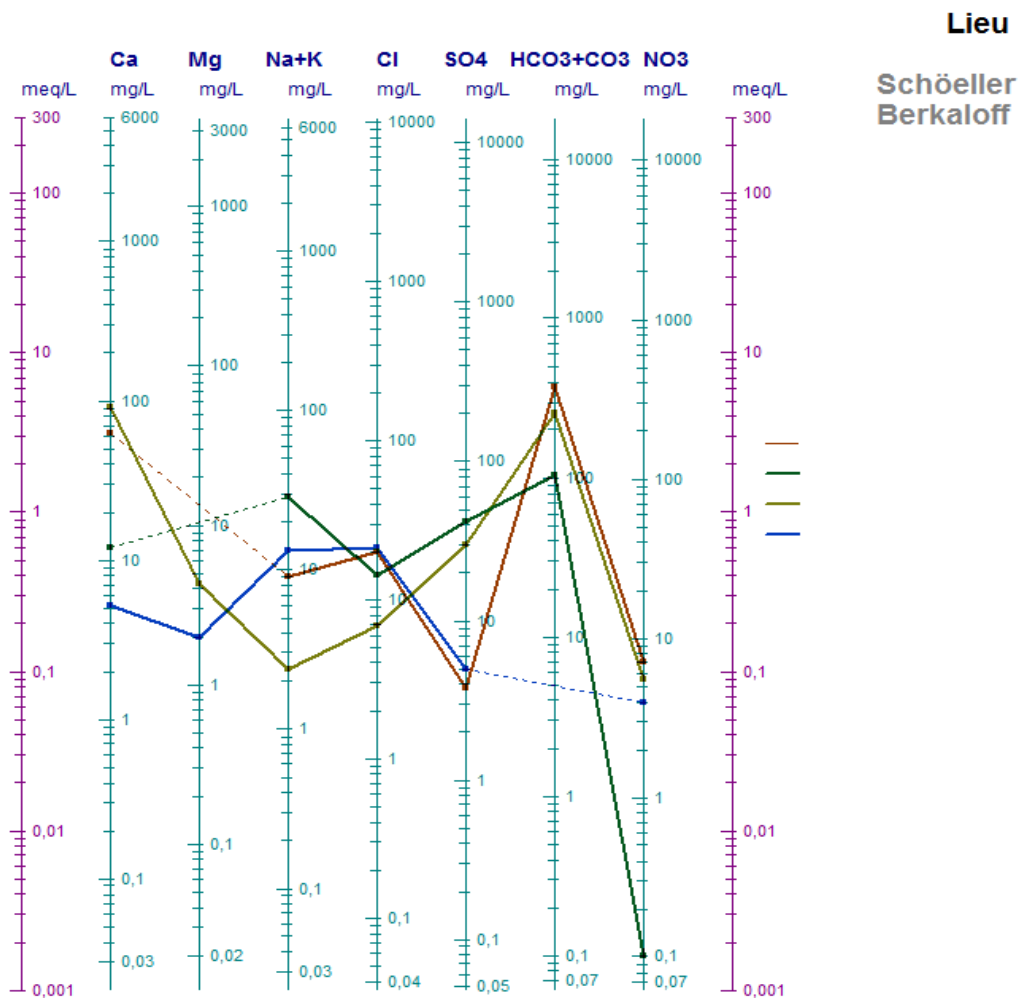


Figure III.26.Diagramme de Schöeller-Berkaloff

III.3.4. Rapport ionique

L'examen des rapports caractéristiques permet de comparer les eaux entre elles et d'apporter d'éventuelles informations, ces rapports sont : $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$, $\frac{SO_4^{--}}{Cl^-}$ et $\frac{HCO_3^{--}}{Cl^-}$

- $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} = 1$; Cela peut impliquer une circulation des eaux dans les dolomies.
- $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} < 1$; Ce qui indique la prédominance de l'ion calcium ; traduit que l'eau a obtenue sa minéralisation dans les calcaires ($Ca CO_3$) ou les gypses ($Ca SO_4, 2H_2O$)
- $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} > 1$; La teneur élevée en ion Mg^{2+} est l'indice d'une circulation des eaux dans les dolomies calcaires ; ou contamination par l'eau de mer.
- $\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} > 1$; Ce rapport indique un séjour prolongé des eaux au contact des marnes
- $\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} < 1$; C'est le Cl^- qui l'emporte sur le SO_4^{2-} , ce qui indique le lessivage des engrais chimiques ($Na Cl$, $K Cl$) ou une pollution d'origine humaine ou animale.
- $\frac{HCO_3^{--}}{Cl^-}$; Certain auteurs ont montré que pour des valeurs de ce rapport < 0.2 dans les nappes côtières, il y a une forte probabilité de l'intrusion marine (Bouderbala et al. 2014).

III.3.5. Rapports caractéristiques

Les principaux rapports étudiés est : l'indice d'échange de base (i.e.b.)

III.3.5.1. L'indice d'échange de base au sein des aquifères (i.e.b.)

L'indice d'échange (i.e.b.) exprime les échanges cationiques qui peuvent avoir lieu dans un aquifère. En effet, la surface de la fraction fine de la matrice d'une nappe peut absorber des Cations qui peuvent être substitués à d'autres en solution dans l'eau souterraine. Les Cations mis en jeu sont : le Calcium, le Magnésium, le Sodium et le Potassium. Le sens des échanges cationiques tend à établir l'équilibre entre l'eau et la fraction fine.

L'indice d'échange de base est donné par la formule:

$$i.e.b = \frac{rCl^- - (Na^+ + K^+)}{rCl^-} \quad \text{III.4}$$

Selon le signe de l' i.e.b., on peut distinguer d'après Schoeller si :

i.e.b = 0, il y a équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et de l'encaissant.

i.e.b < 0, le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain.

i.e.b > 0, il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium.

III.4. Analyse en Composantes Principales (ACP)

III.4.1. Les étapes d'une ACP

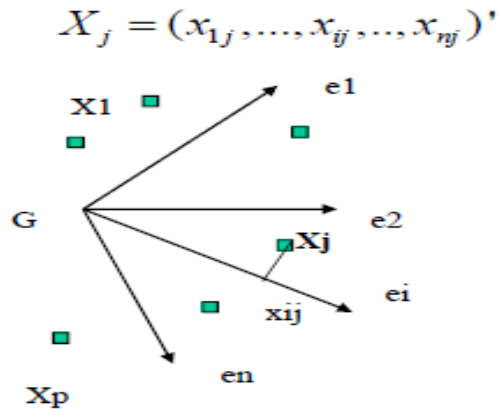
- ❖ Choix du tableau X
- ❖ Analyse directe : Construction de l'espace factoriel du nuage de points individus associé au tableau. On garde pour l'instant les p axes factoriels
- ❖ Analyse duale : Construction de l'espace factoriel du nuage de points variables : elle est déduite de la première
- ❖ Interprétation de ces analyses : choix du nombre d'axes q à retenir, construction des nuages de points projetés sur ces axes, interprétation des axes principaux et étude des proximités entre points.
- ❖ Synthèse des résultats, construction éventuelle du tableau C réduit (tableau des composantes principales) et visualisation des nuages de points associés.

III.4.2. Objectifs d'ACP

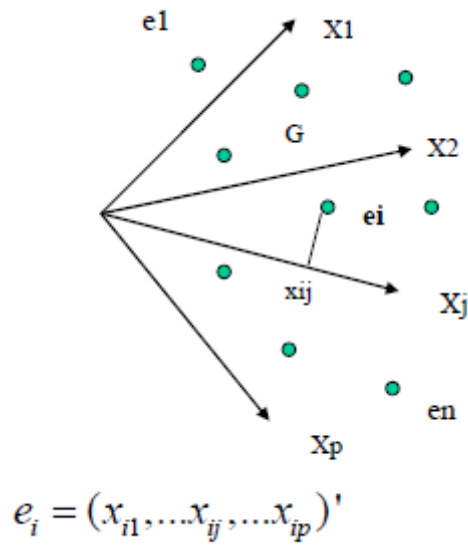
On dispose d'un tableau de données X. Ce tableau définit deux nuages de points :

- Nuage de points-variables = coordonnées des vecteurs variables tracées dans le repère dont les axes représentent les individus (espace de dimension n)
- Nuage de points-individus = coordonnées des vecteurs individus tracées dans le repère dont les axes représentent les variables (espace de dimension p)

le nuage des points variables représenté dans l'espace de dim n défini par les individus



Le nuage des points individus représenté dans l'espace de dim p défini par les variables



Problème : Difficulté à mettre en évidence les relations globales existant entre les variables dès que $p > 3$, car impossibles à visualiser.

Lorsqu'il n'y a que deux dimensions (largeur et longueur par exemple), il est facile de représenter les données sur un plan :



Avec trois dimensions (largeur, hauteur et profondeur par ex.), c'est déjà plus difficile :



Solution: Condenser l'information du tableau de manière à retirer les relations vraiment caractéristiques (proximités entre variables et individus), ceci en limitant la perte d'information.

Déterminer un sous-espace de dimension $q < p$ (q nouveaux axes) (ou $\hat{U} \ q < n$), sur lequel sont projetés les nuages de points relatifs au tableau de données qui soit :

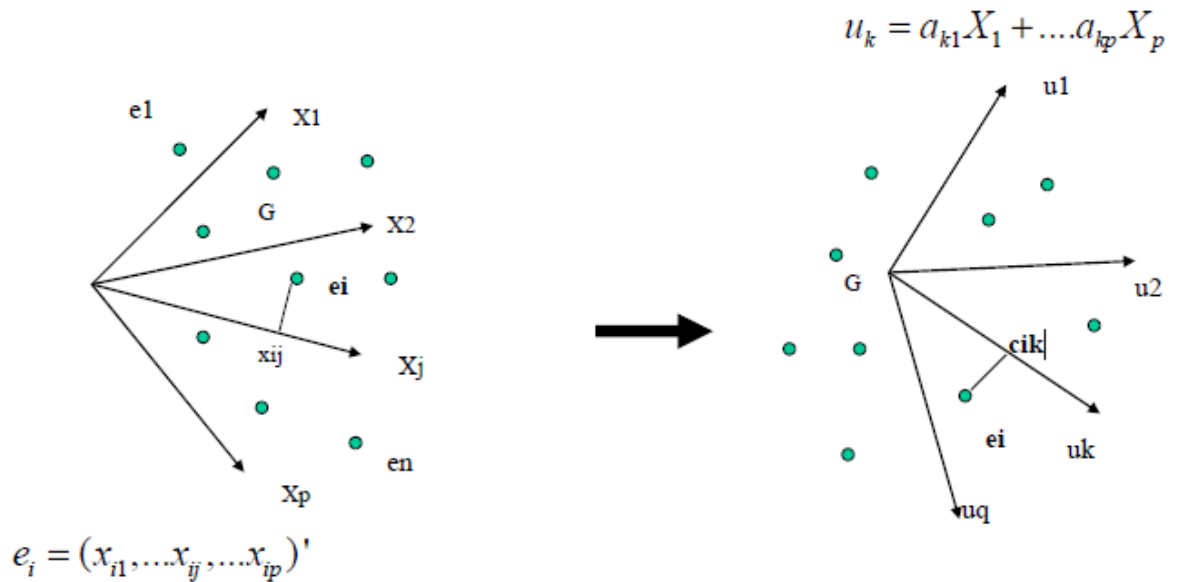
- « compréhensible » par l'œil: q faible, de préférence $q=1,2$ ou 3
- le moins déformants possible (projection la plus fidèle possible)

Ce sous-espace est appelé espace factoriel du nuage.

III.4.3. construction d'un espace factoriel

➤ Principe de construction de l'espace factoriel (ex : individus) :

- ❖ On effectue un changement de repère, passant du repère défini par les p variables à un repère de dimension p le moins déformant possible pour le nuage. Il sera défini par p nouveaux axes, appelés axes factoriels.
- ❖ On retient ensuite les q premiers axes du nouveau repère, ce qui nous donnera l'espace factoriel de dimension q . Il permet de récupérer les liens les plus significatifs contenus dans le tableau



❖ Les p axes factoriels sont définis séquentiellement :

- On détermine l'axe (premier axe factoriel) sur lequel le nuage se déforme le moins possible en projection,
- On cherche un second axe, sur lequel le nuage se déforme le moins en projection, après le premier axe, tout en étant orthogonal au premier,
- On réitère jusqu'à l'obtention de p axes.
- _ le meilleur axe (premier axe factoriel) sera celui sur lequel le nuage de points projeté est de dispersion, tel que le nuage projeté est d'inertie maximale.
- _ Le second axe sera celui qui, après le premier est tel que le nuage projeté est d'inertie maximale, tout en étant orthogonal au premier.
- _ Idem pour le nuage de points variables

III.4.4. Interprétation en termes statistiques de l'espace factoriel du nuage de points individus:

- Chaque axe factoriel k, de vecteur directeur u_k , représente une nouvelle variable C_k de dimension n, construite comme combinaison linéaire des variables (axes) de départ, appelée composante principale. La coordonnée c_{ik} d'un individu i donné sur cet axe correspond à la valeur de la composante principale prise par cet individu.
- Les composantes principales sont construites de manière à restituer la majeure

Partie de l'information du tableau. Elles déforment le moins possible l'information. La première composante principale sera une CI des variables de départ de dispersion (de variance) maximale.

- Les composantes principales sont non corrélées (les axes sont orthogonaux)

III.5. Conclusion

Les paramètres chimiques présents dans l'eau sont nombreux et certains d'entre eux comme les éléments traces nécessitent des analyses microscopiques pour leur détermination. Dans la plupart des études sur les eaux destinées à la consommation domestique, seuls les éléments majeurs (ions majeurs) sont pris en compte. En effet les bicarbonates, les chlorures, les nitrates et les sulfates seront pris en considération en ce qui concerne les anions majeurs.

L'analyse et l'interprétation de données géochimiques permettent de résumer la composition chimique d'un échantillon sur la base des concentrations en constituants majeurs en milliéquivalent par litre.

En utilisant les différents diagrammes, on peut juger la qualité de l'eau, ainsi que les milieux par lesquels elle pass.

Chapitre IV

IV.1.Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la piézométrie, qui constitue la synthèse la plus importante pour caractériser l'écoulement souterrain (sens de l'écoulement, gradient hydraulique,...). Ce chapitre traite encore le chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution de certains éléments chimiques ainsi que de connaître le fonctionnement hydraulique dans la nappe alluviale du Bas Isser.

L'étude hydrochimique permet de mettre en évidence :

- Les relations pouvant exister entre l'eau et les formations qu'elle traverse.
- D'approcher l'origine des eaux ainsi que leur potabilité.

En raison des données disponibles, nous tenterons d'examiner dans ce chapitre en détail la nature des eaux de la nappe alluviale.

IV.2. Description du réseau de la surveillance

La plaine alluviale du bas Isser constitue la principale ressource d'approvisionnement en eau potable de plusieurs communes ainsi que l'irrigation des grandes parcelles agricoles dans la région.

La nappe a fait l'objet d'un suivi piézométrique en 1973 par le service hydrogéologique de l'ANRH et en 1980 par la DHW d'Alger. Un nouveau réseau de surveillance a été implanté (20 nouveaux piézomètres) réalisés en 2005, afin de contrôler les fluctuations de la nappe alluviale et de contrôler une éventuelle intrusion marine dans l'aquifère du Bas Isser.

Les analyses effectuées sur 15 et 08 échantillons pour deux périodes (hautes et basses eaux) au laboratoire de chimie des eaux de l'A.N.R.H (Alger).

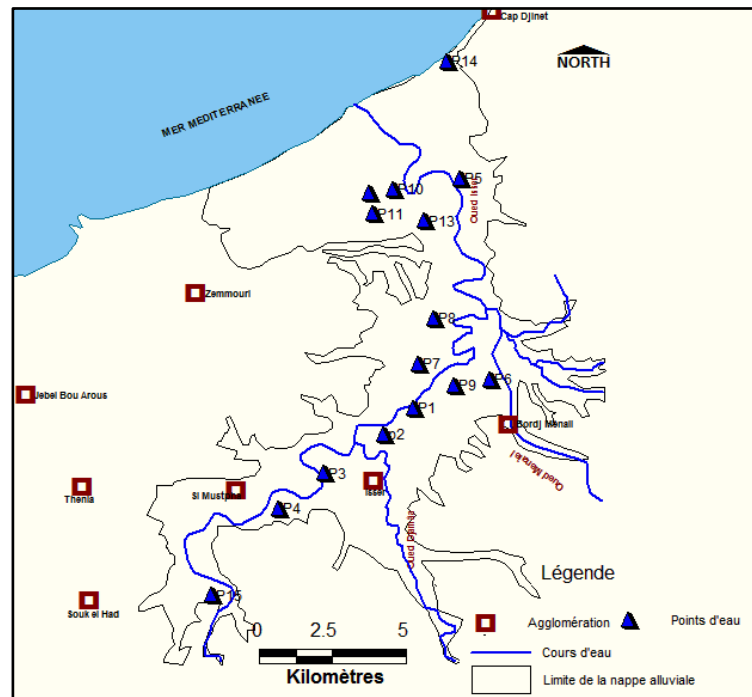


Figure IV.27. Plan d'échantillonnage (Hautes et basses eaux)

IV.3. Etude de l'évaluation piézométrique dans la nappe alluviale

IV.3.1. Evolution de la piézométrie dans l'espace

Pour établir la carte piézométrique de cette nappe, nous disposons de 15 points d'eau pour la campagne hautes eaux 2014 et 08 points d'eau pour la campagne de basses eaux. Le tracé des courbes isopièzes a été établi en supposant que les différentes formations étaient en continuité hydraulique. L'observation de la morphologie de la carte piézométrique de la période des basses eaux nous a permis de constater que l'écoulement souterrain se dirige, en général, des bordures des terrasses supérieures vers le centre de la plaine suivant une direction Sud-Nord. La carte piézométrique montre aussi que l'écoulement souterrain coïncide avec l'axe principal de la vallée, correspond à l'axe de drainage des eaux.

Le gradient hydraulique moyen à l'aval est de 0.05 %, avec des courbes isopièzes très espacées traduisant un écoulement lent des eaux souterraines vers la mer, tandis qu'au centre de la plaine, le gradient hydraulique est supérieur 0.50 %, où les courbes isopièzes sont très resserrées.

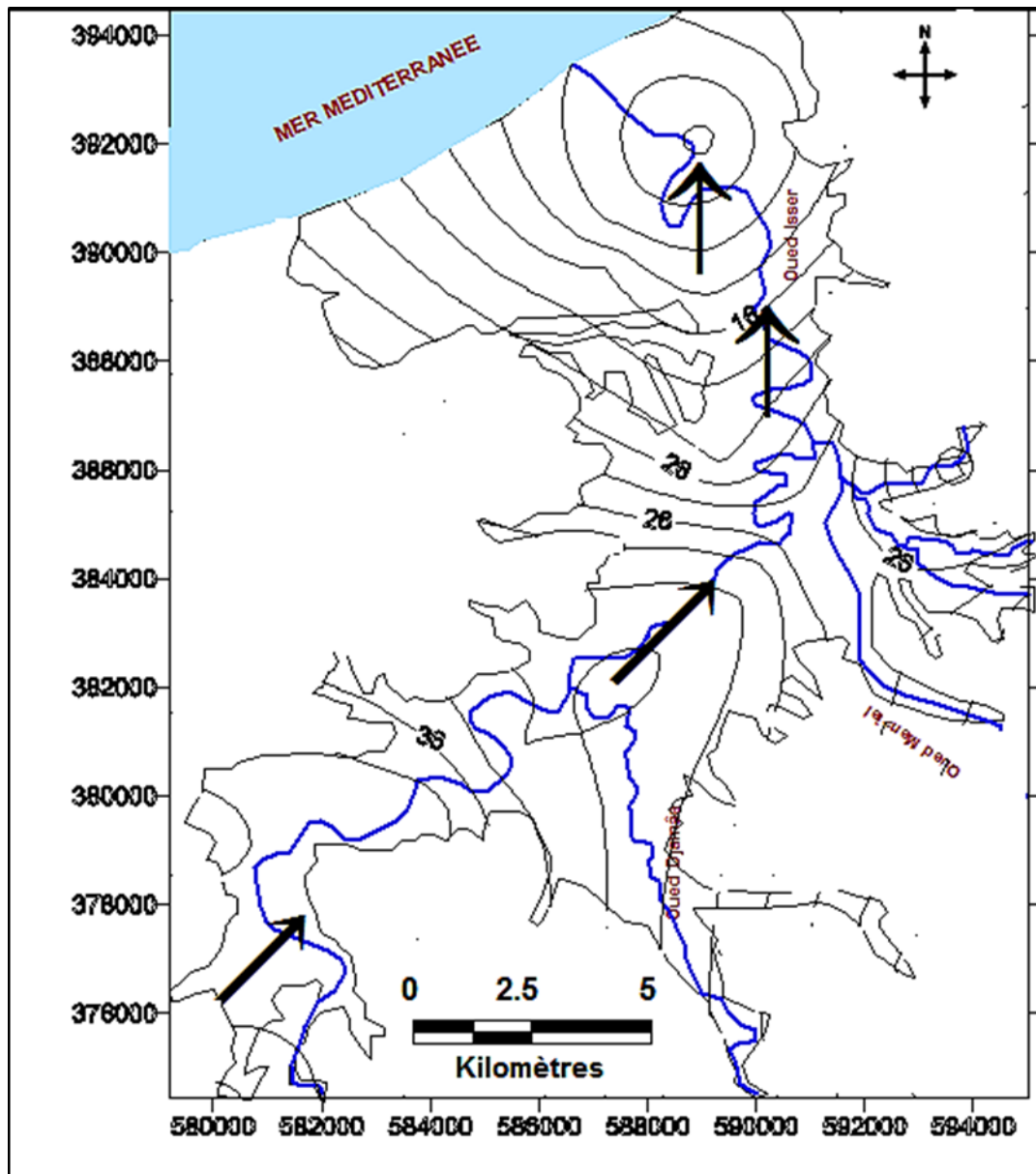


Figure IV.28. Carte piézométrique de la basse vallée de l'Oued Isser (Basses eaux 2014)

La carte piézométrique de la période des hautes eaux est similaire à celle des basses eaux, le sens d'écoulement des eaux souterraines reste toujours le même d'une direction Sud – Nord, avec des gradients hydrauliques moyennes de 0.5 % en amont et de 0.05 % en aval.

L'écoulement des eaux souterraines est plus rapide au centre de la plaine qu'aux secteurs amont et aval, cela est probablement dû aux caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère (l'épaisseur de l'aquifère, la pente du substratum et la perméabilité de l'aquifère).

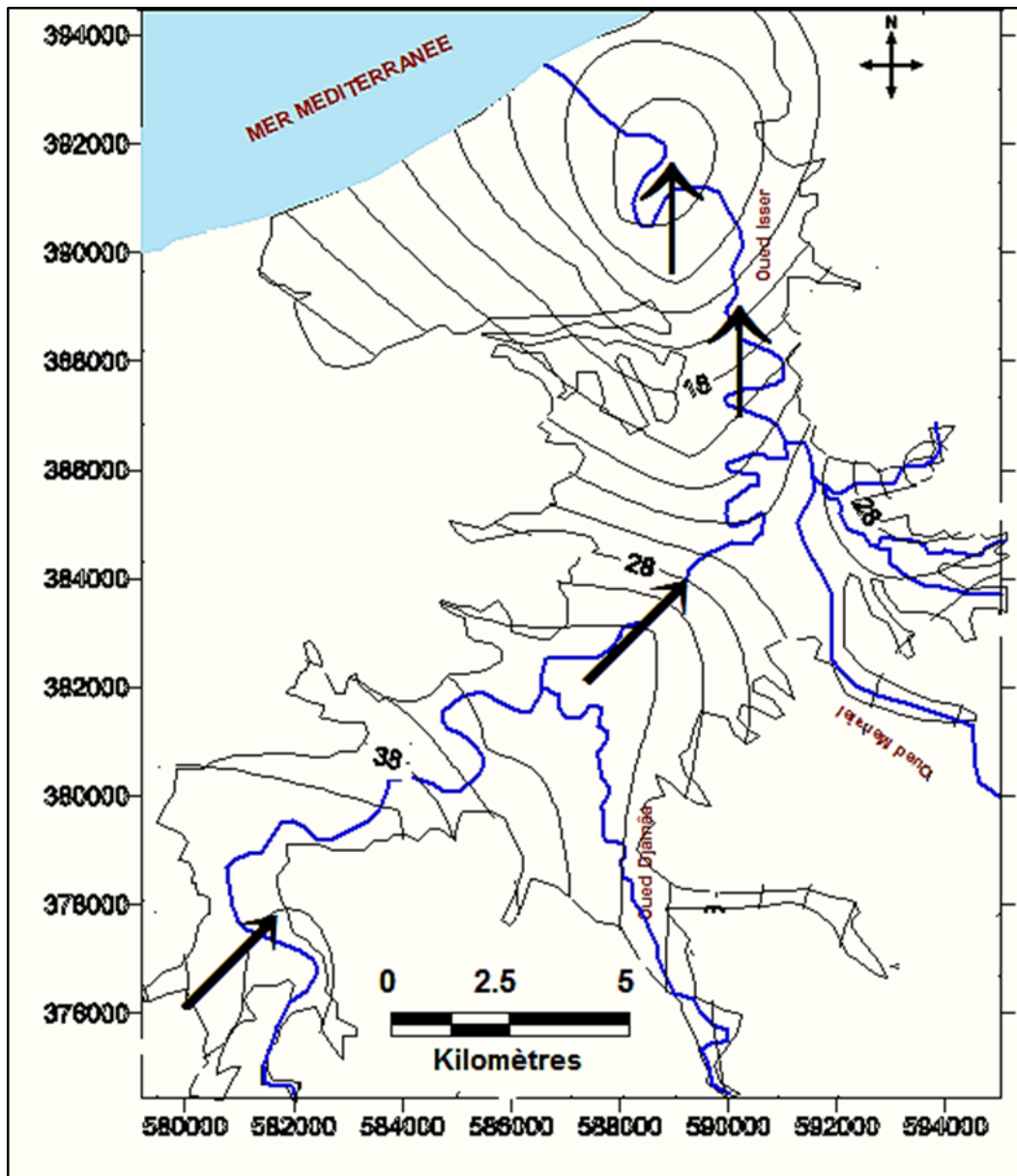


Figure IV.29. Carte piézométrique de la vallée de Bas de l'Oued Isser (hautes eaux 2014)

IV.4. Alimentation et drainage de la nappe

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 pluie, et d'autre part, par l'afflux des eaux souterraines provenant des formations de bordure et des alluvions situés à l'amont de ces terrasses littorales.

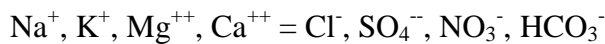
Quant aux terrasses alluviales, l'alimentation de la nappe aquifère des terrasses supérieures s'effectue pour une part importante; par les apports souterrains des formations de bordures et pour une moindre part, par l'infiltration des eaux de pluie en raison de la présence au toit de la nappe aquifère.

L'axe de drainage de la nappe alluviale est orienté de Sud vers le Nord, vers l'embouchure d'Oued Isser au niveau de la mer méditerranéenne. L'axe de drainage des eaux souterraines coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Isser qui draine les eaux de surface.

IV.5. Etude Hydro-chimique

IV.5.1 Présentation des résultats

Les ions les plus abondants dans les eaux se réduisent à 4 cations et 4 anions



L'unité la plus répandue pour l'expression des résultats est le milligramme par litre.

$$\text{Még/l} = \frac{\text{masse } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \text{ de l'élément considéré}}{\text{Equivalent chimique de l'élément}} \quad \text{IV.5}$$

La différence susceptible d'apparaître tient essentiellement aux erreurs commises sur chaque dosage ; plus cet écart est faible, meilleure sera la fiabilité des résultats. La valeur de l'écart ne doit cependant pas dépasser 5 %. Les analyses des échantillons non conformes à ces conditions doivent être éliminées.

La précision de l'analyse de l'eau est vérifiée par le calcul du pourcentage d'erreur selon la formule suivante :

$$E = \frac{E_r^+ - E_r^-}{E_r^+ + E_r^-} \times 100 < 5\% \quad \text{IV.6}$$

Le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la Composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs.

Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface. Suite au nombre d'échantillons limités dans la période des basses eaux 2014 (8 contre 15), nous avons présenté les cartes de la période des hautes eaux 2014.

Tableau IV.6 : Statistiques des Paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas- Isser (Hautes eaux 2014)

	Ca ⁺²	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	pH	CE	R.S
Max	226	111	66	9	361	239	647	23	8,3	191 3	143 3
Min	30	24	3	2	46	0	46	0	7,1	700	427
Moy	94,0 6	77,4 7	36,9 4	3,4 1	173,9 4	82,0 6	284,5 3	5,82	7,6 1	126 5	822
OMS 2006	200	200	150	12	250	200		50	6,5- 9	150 0	100 0
Normes Algérie n	200	200	200	12	500	400		50	6,5- 9	280 0	150 0

Tableau IV.7: Statistiques des Paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas- Isser (Basses eaux 2014)

	Ca ⁺²	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	pH	CE	R.S
Max	119	410	51	9	653	143	549	21	8,3	2700	1923
Min	33	50	18	2	140	10	25	1	7,1	1100	335
Moy	73,2	162,4	33,7	4,3	275,7	70,7	195,7	6,2	7,71	1478	973,4
OMS 2006	200	200	150	12	250	200	-	50	6,5- 9	1500	1000
Normes Algérien	200	200	200	12	500	400	-	50	6,5- 9	2800	1500

L'étude de la fiabilité des données a été systématiquement vérifiée pour l'ensemble des échantillons analysés, où des valeurs d'environ 5 % ont été remarquées dans l'ensemble des analyses.

IV.6. Caractéristiques physico-chimiques

IV.6.1. Résidu sec

Le résidu sec correspond à la minéralisation totale d'une eau et représente la totalité des sels dissous, ainsi que la matière organique. Le résidu sec des eaux souterraines du

Bas Isser varie de 427 mg/l (P11) à 1433 mg/l (P9) en période des basses eaux, et de 335 mg/l (P11) à 1923 mg/l (P15) en période des hautes eaux.

IV.6.2. Conductivité

Elle varie de 700 à 1913 μ S /cm pour les hautes eaux et 1100 à 2700 pour les basses eaux. Les valeurs élevées sont observées au niveau des points d'eaux qui se situent à la proximité de l'oued. On constate que les eaux souterraines sont plus conductrices d'une part et d'autre part de l'oued Isser. A l'échelle spatiale, les plus fortes conductivités sont observées principalement au centre et à l'aval de la vallée en période des hautes eaux, et en amont de la vallée en période des basses eaux.

La carte révèle une augmentation de la conductivité des bordures de la nappe alluviale vers l'axe de drainage et vers les dépressions mises en évidence par la carte piézométrique.

Ce qui traduit d'une part, l'augmentation de concentration en sels dissous dans le sens de l'écoulement qui est due à l'évaporation des eaux peu profondes de la nappe en bordure de la vallée et d'autre part par le temps de contact et de séjour avec l'aquifère.

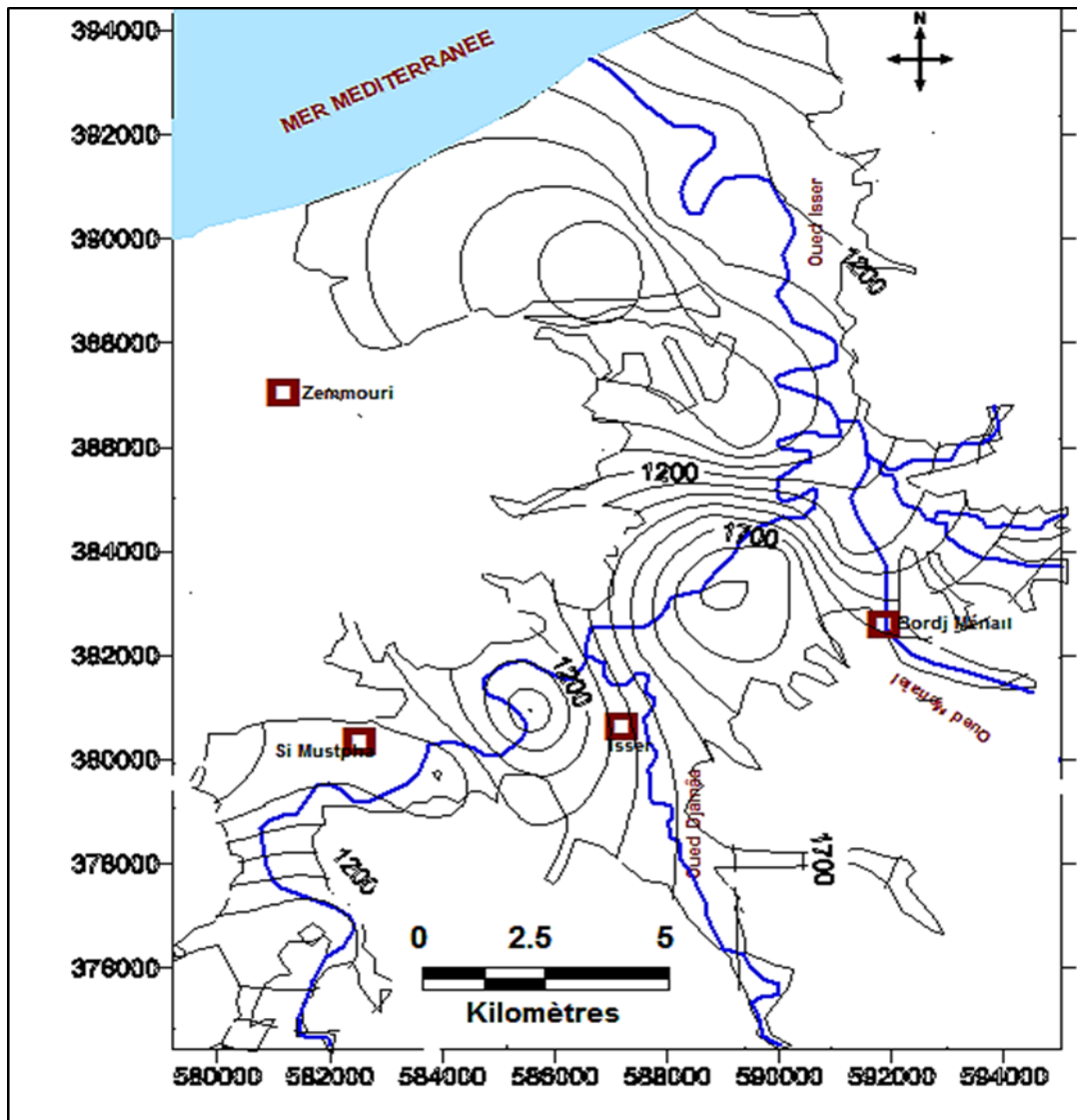


Figure IV.30. Carte de la répartition de la conductivité électrique (Période des hautes eaux 2014)

IV.6.3 Potentiel d'hydrogène PH

Le pH mesuré donne des valeurs comprises entre 7.1 et 8.3 pour les hautes et 7.6 à 8.3 pour les basses eaux, ce qui est conforme aux normes. Ces valeurs traduisent une eau à caractère neutre à basique.

IV.7. Evolution du chimisme des eaux souterraines dans l'espace

IV.7.1. Teneurs en calcium Ca^{2+}

Les teneurs en Ca^{2+} s'échelonnent entre 30 à 226 mg/l en hautes eaux et s'échelonnent entre 33 à 119 mg/l en basses eaux, elles sont moins élevées par rapport aux hautes eaux.

L'examen de la carte des teneurs en cations (Figure IV.31) montre une variation des concentrations dans l'espace, elle augmente à l'rive droite de l'oued Issers le Sud Est. La teneur maximale observée au point d'eau (P1) est probablement due à la dissolution des carbonates de calcium contenue dans les calcaires et dans les massifs basaltiques de la région.

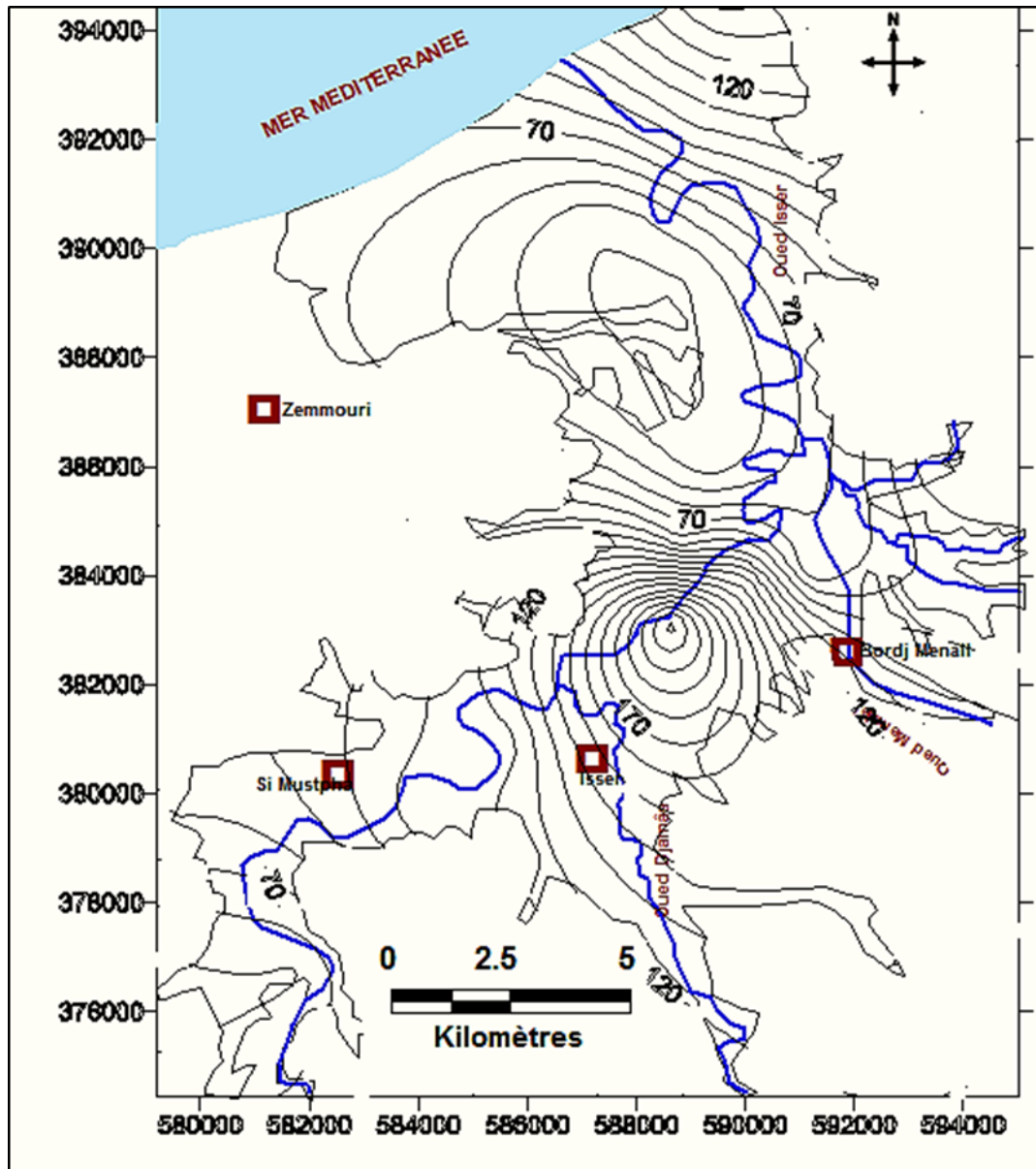


Figure IV.31. Carte de la répartition du calcium (hautes eaux 2014)

IV.7.2. Teneurs en magnésium Mg^{2+}

Les valeurs les plus élevées s'observent dans la zone **oued Isser** en rive droite de celui-ci on enregistre la teneur la plus élevée au niveau de point d'eau (P9) avec 66 mg/l, en hautes eaux et varient entre 18 et 51 mg/l en basses eaux. Les ions Mg^{2+} proviennent, de la dissolution des formations carbonatées riches en Magnésium (dolomite), ils proviennent aussi des minéraux ferromagnésiens et les micas contenus dans les roches.

Les teneurs élevées sont le résultat de la dissolution des formations aquifères par les eaux souterraines et le temps de séjour de ces dernières dans l'aquifère.

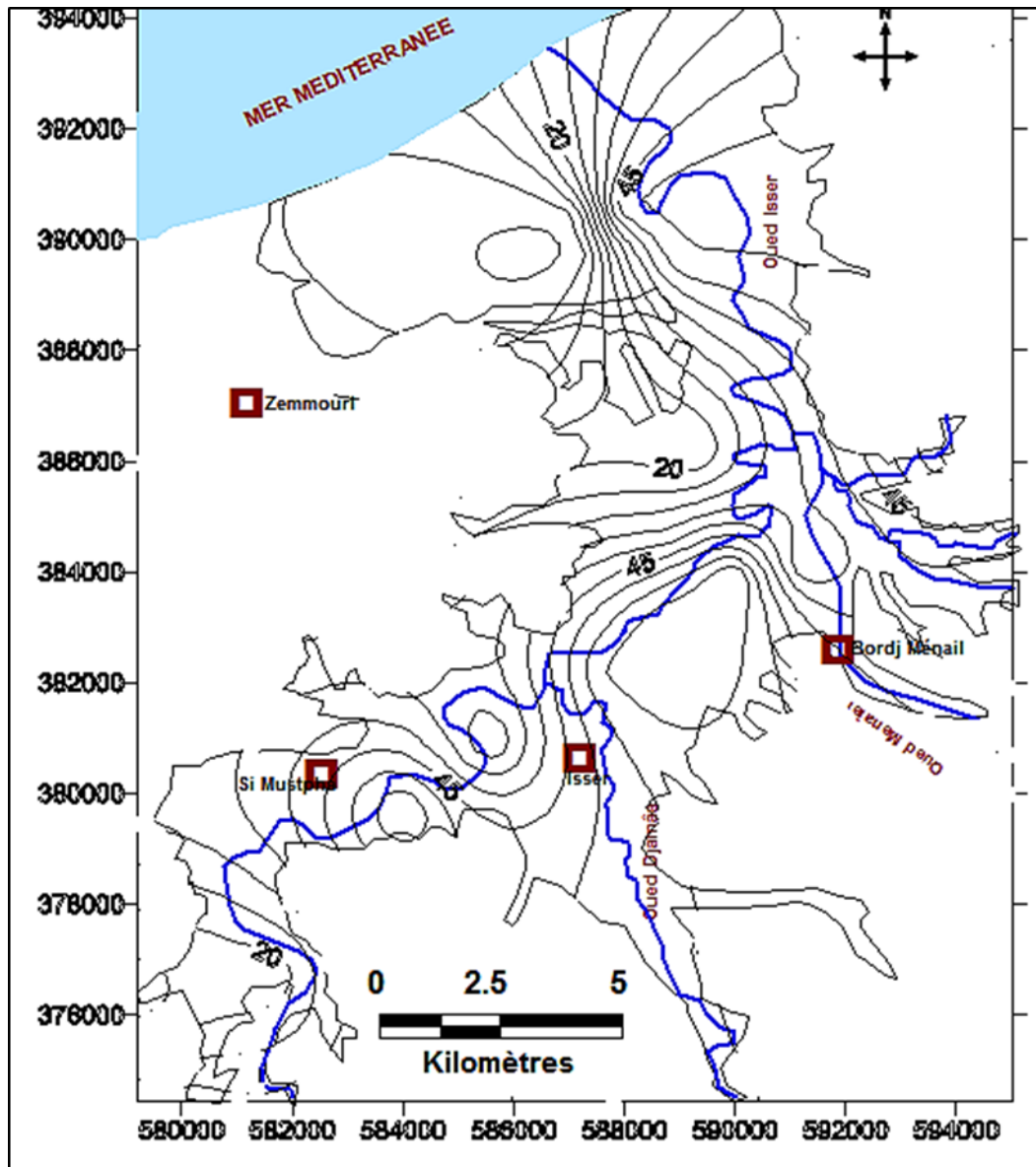


Figure.IV.32.Carte de la répartition du Magnésium (hautes eaux 2014)

IV.7.3. Teneurs en sodium Na^+

Les teneurs sont généralement moins élevées. Ces concentrations s'échelonnent entre 24 mg/l (P3) et 111 mg/l (P7) en hautes eaux et s'échelonnent entre 50 et 410 mg/l (P15). La distribution spatiale de ces concentrations ne suit aucune tendance particulière. Les fortes teneurs en sodium peuvent être liées à la présence d'argile (les échanges de base) mais également au mélange des eaux avec les autres nappes. D'autres foyers de

pollution peuvent être énumérés, tels que les dépôts de déchets et des rejets domestiques et industriels.

Les teneurs en Na^+ de tous les points d'eau sont dans la norme ($< 200 \text{ mg/l}$) à l'exception d'un point (P 15) situé en amont de la plaine où sa valeur dépasse la norme admissible Algérienne, en périodes des basses eaux.

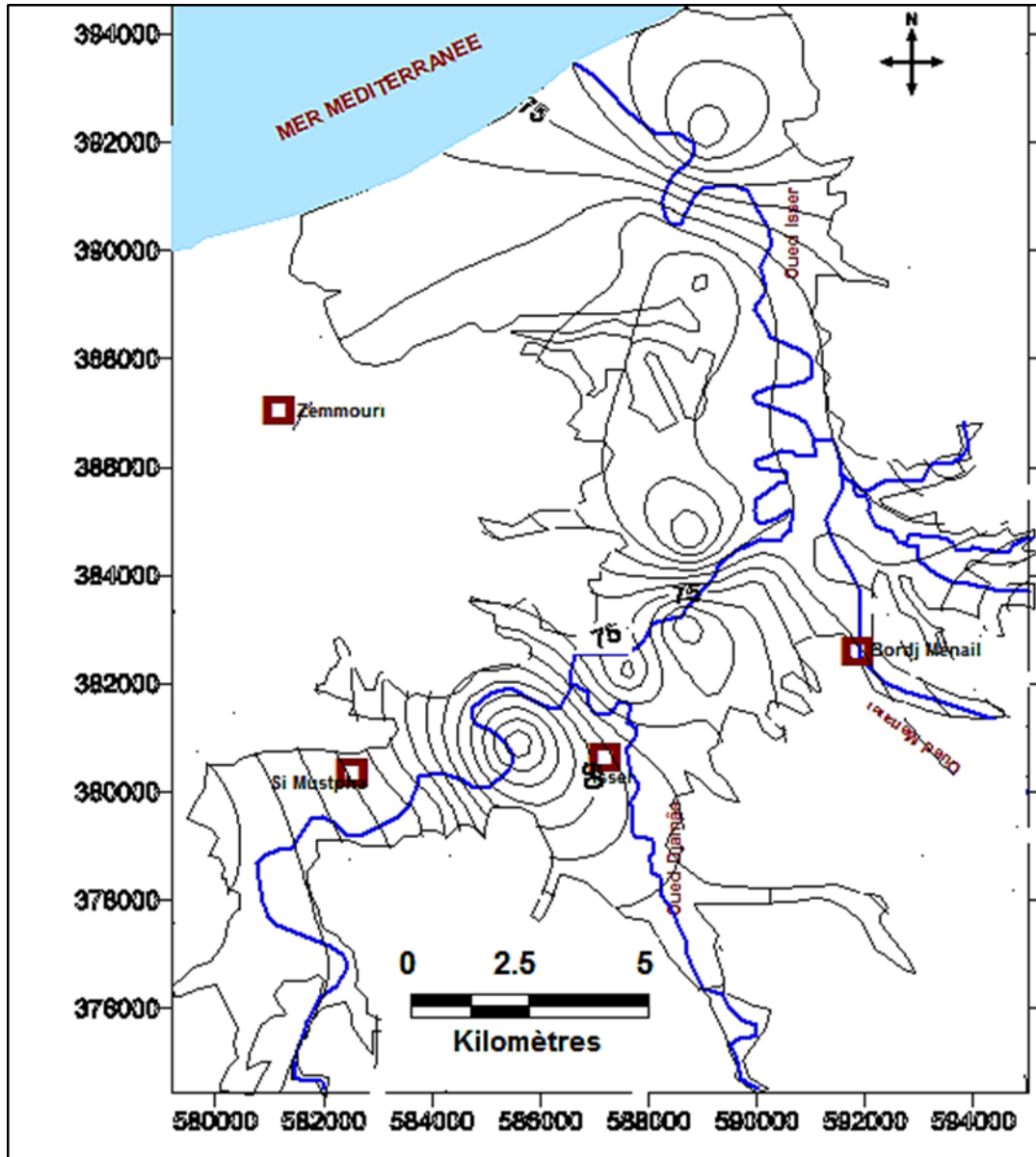


Figure IV.33. Carte de la répartition du Sodium (hautes eaux 2014)

IV.7.4. Teneurs en potassium K^+

Les concentrations en potassium varient de 2 à 9 mg/l en hautes eaux et en basses eaux. Ces valeurs sont conformes aux normes Algériennes et de l'OMS (12 mg/l).

Le potassium est l'élément le moins répandu dans les eaux souterraines. Il accompagne souvent le sodium mais en concentration très faible. Les sources de potassium se distinguent comme suit :

- les gisements des minéraux du potassium sédimentaire
- les déchets industriels et domestiques ainsi que les eaux usées.

IV.7.5. Teneurs en chlorures Cl⁻

L'origine des chlorures dans les eaux souterraines peut être de diverses natures.

- * La solubilité et le lessivage des minéraux des roches sédimentaires.
- * L'évaporation intense dans le climat semi- aride.

*Les concentrations élevées en Cl sont liées principalement à la nature lithologique des faciès marneux qui existent dans la série des calcaires et aussi à l'existence des argiles.

*Les chlorures peuvent également avoir une origine marine, raison pour laquelle il demeure un meilleur indicateur de l'invasion marine dans les continents.

Les teneurs en chlorure enregistrées dans la vallée du Bas-Isère, sont variées entre 46mg/l (P3) et 361mg/l (P13) en période des hautes eaux et de 140 mg/l (P12) et 653 mg/l (P15) en période des basses eaux. On constate que l'évolution des teneurs en chlorures se fait suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines. Ce qui s'explique par l'évaporation des eaux peu profondes de la nappe aquifère de la vallée, qui conduit à un enrichissement progressif des chlorures dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines. Les fortes teneurs dans la zone aval, peut aussi s'expliquer par le phénomène de l'intrusion marine).

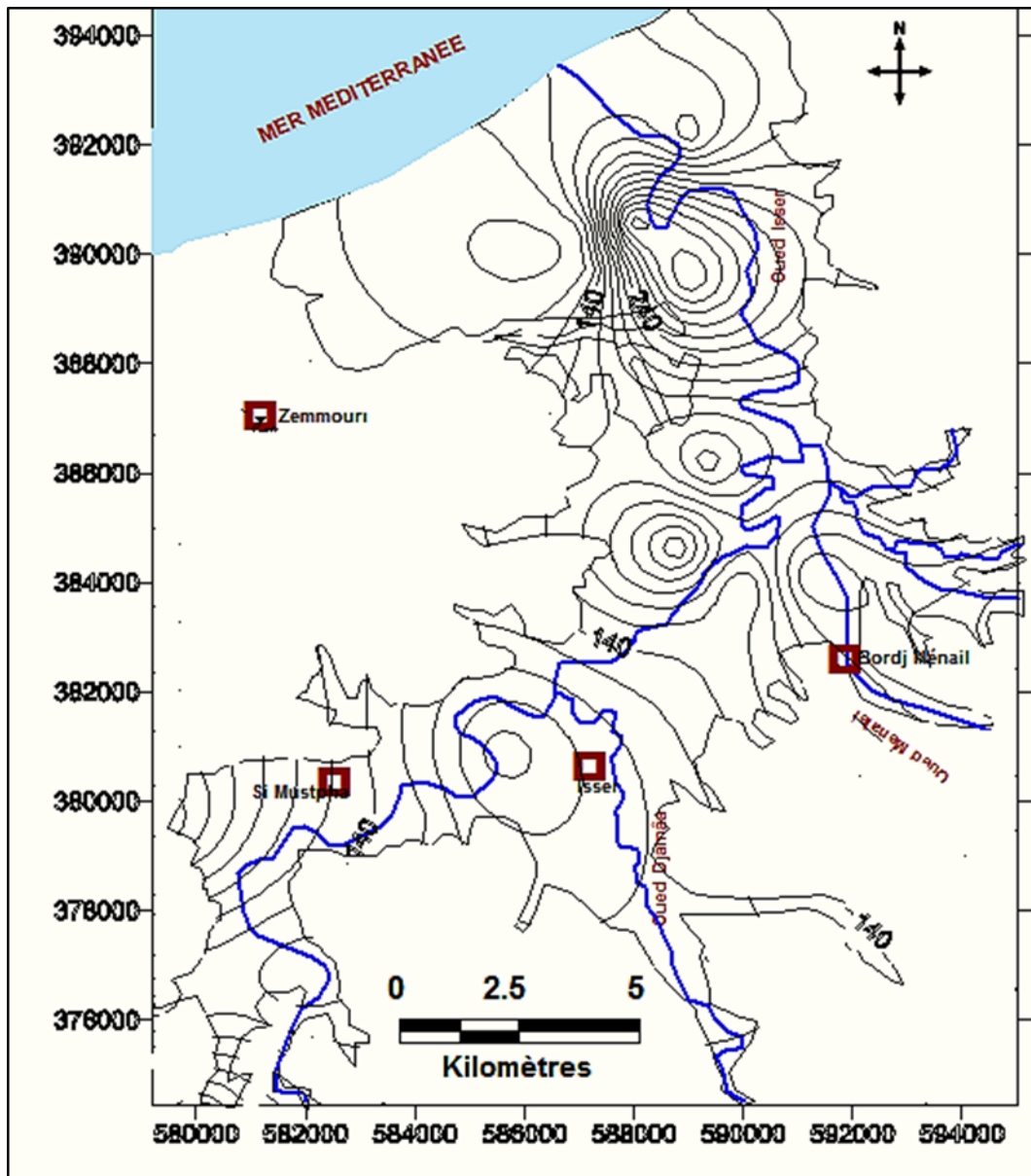


Figure IV.34. Carte de la répartition des chlorures (hautes eaux 2014)

IV.7.6. Teneurs en sulfates SO_4^{2-}

Les valeurs en sulfates sont comprises entre 0 et 239 mg/l (P1) en hautes eaux et sont comprises entre 10 et 143 mg/l (P11) en basses eaux; La présence des sulfates dans les eaux souterraines est due essentiellement à l'apport de cet élément contenu dans les minéraux des différentes roches sédimentaires (Gypse, Anhydrite ...).

Cet apport est conditionné par le degré de solubilité de ces minéraux et le lessivage des roches. Cependant, d'autres sources de sulfates peuvent - être considérées :

*La dissolution du sulfate de magnésium dans les roches est certaine dans les terrains gypsifères.

*Dans les régions à faible pluviométrie et à forte évaporation, la teneur en S04 est grande.

*Les rejets des égouts industriels et domestiques, ainsi que les dépôts des déchets entraînés par lessivage.

La valeur en sulfates élevée confirme ainsi l'alimentation indirecte de la nappe alluviale par les eaux superficielles, expliqué par l'effet de lessivage des engrais utilisés pour le traitement des vignes par les eaux d'irrigation et de pluie, cela a permis l'enrichissement des eaux infiltrées par les sulfates.

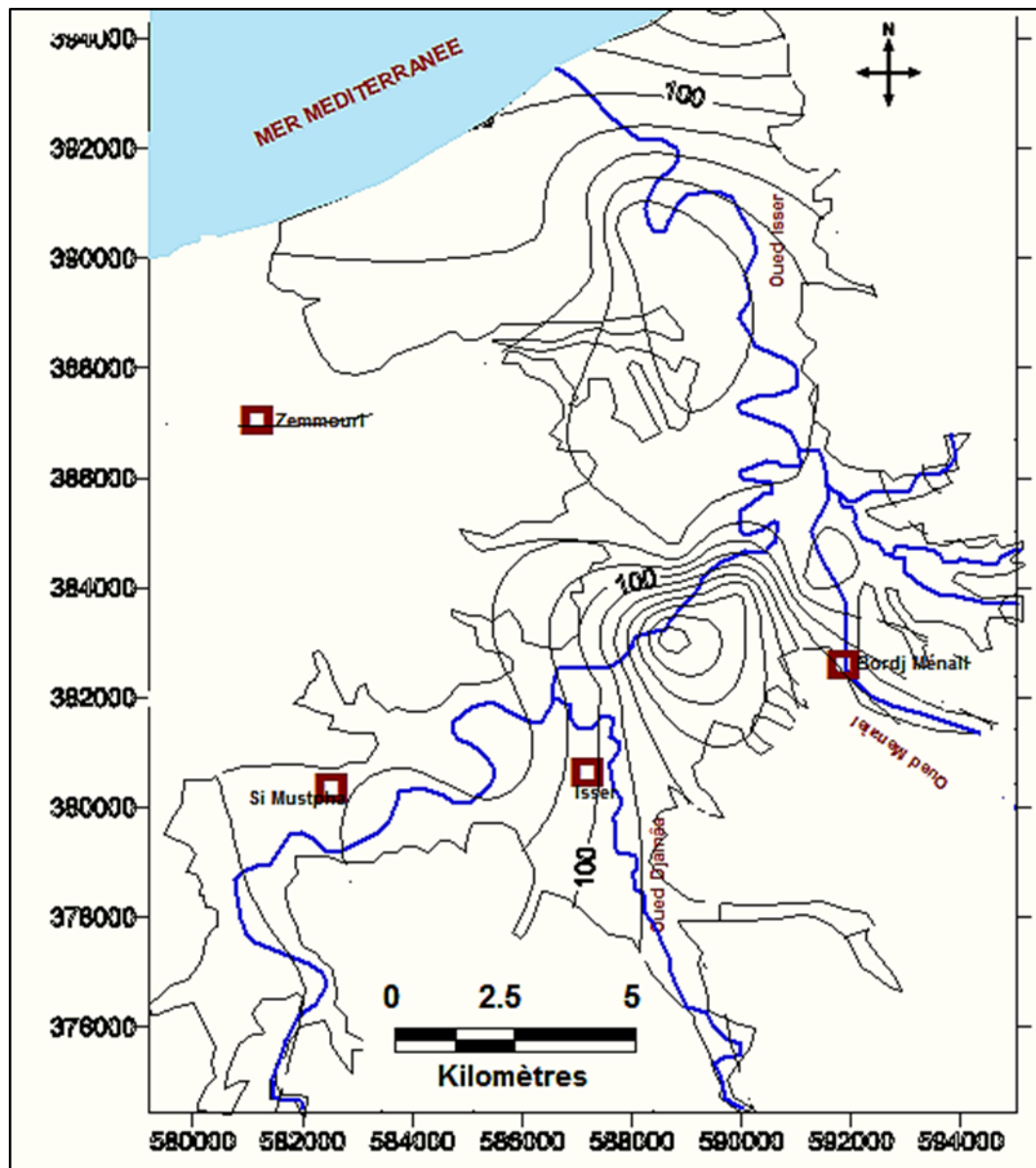


Figure IV.35. Carte de la répartition des Sulfates (hautes eaux 2014)

IV.7.7. Teneurs en Bicarbonates HCO_3^-

Les bicarbonates ont une origine géologique, elles se forment par l'intermédiaire du CO_2 contenu dans les eaux d'infiltration, et qui dissout les carbonates des formations calcaires et marneuses, et le terrain aquifère (gravies, galets, calcaires des alluvions).

Les teneurs en bicarbonates enregistrées dans la vallée du Bas-Isser sont variées entre 46mg/l à 647mg/l (P2) en période des hautes eaux, et de 25 mg/l à 549 mg/l (P15) au période des basses eaux.

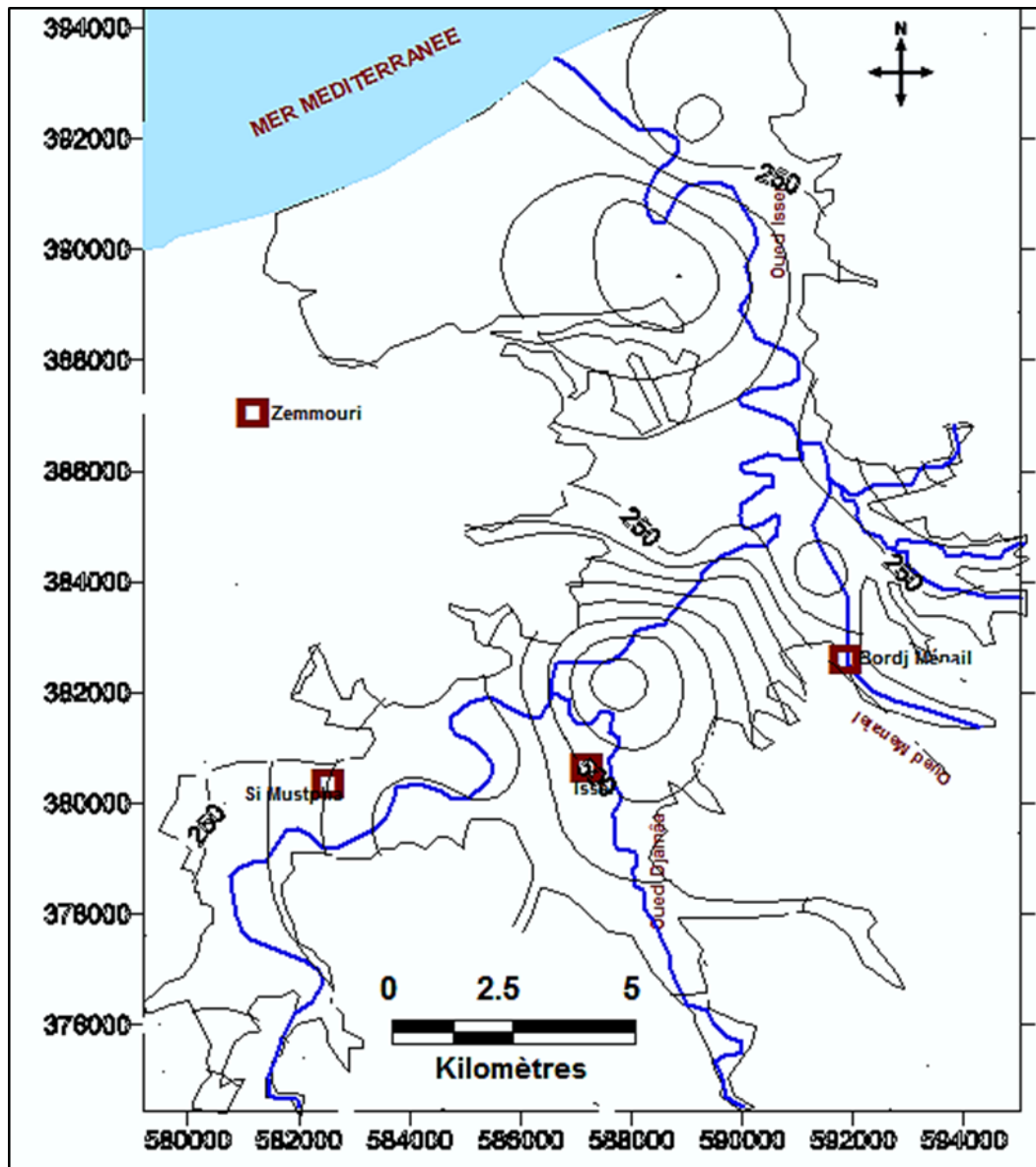


Figure IV.36. Carte de la répartition des bicarbonates (hautes eaux 2014)

IV.7.8. Teneurs en nitrates NO_3^-

Les résultats des analyses montrent que les teneurs de la totalité des échantillons sont dans les normes de potabilité. Les teneurs varient entre 0.1 mg/l (P15) et 23 mg/l (P1)

en période des hautes eaux, et de 1 mg/l (P13) à 21 mg/l (P11) en période des basses eaux, sans présenter une tendance particulière. Ils proviennent de l'agriculture et de l'élevage, et aussi des rejets d'origines domestique et industrielle (eaux usées, résidus de production...).

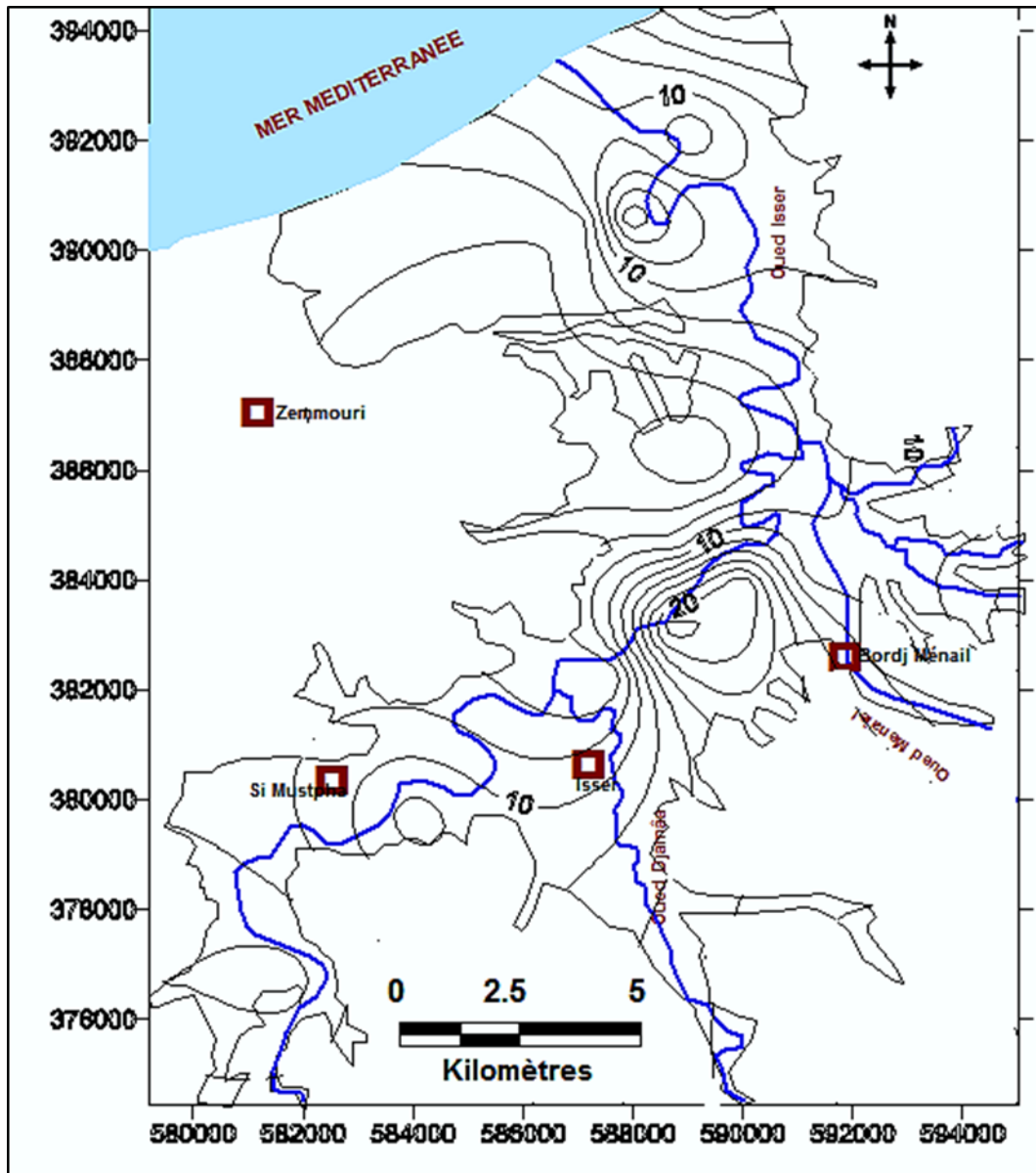


Figure IV.37. Carte de la répartition des Nitrates (hautes eaux 2014)

IV.8. Indice d'échange de base (i.e.bSchoeller)

C'est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau, il est obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$\text{i.e.b} = \frac{rCl^- - (Na^+ + K^+)}{rCl^-} \text{IV.7}$$

D'après Shoeller, si :

i.e.b = 0, il ya équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et de l'encaissant.

i.e.b < 0, l'encaissant libère le Sodium et le potassium et fixe le calcium.

i.e.b > 0, l'encaissant libère le Calcium et fixe le Sodium et le Potassium.

Les valeurs de l'indice d'échange de base sont mentionnées dans le tableau IV.8.

La majorité des valeurs sont positives (10 points d'eaux), elles s'échelonnent entre 0.06 à 0.6 indiquant que les eaux souterraines de la nappe échangent les ions Na^+ et K^+ contre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'encaissant. Ces échanges révèlent la présence d'argiles dans l'aquifère confirmée par ailleurs par les coupes géologiques. Tandis que le reste (5 points d'eaux) avec un indice est négatif entre -0.1 et -0.4 traduit des échanges entre le calcium de l'eau avec le sodium des formations encaissantes.

Tableau IV.8 : valeurs d'indice d'échange de base

Indice	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Haute eau	0.43	-0.1	0.2	0.06	0.4	0.5	0.4	-0.4	0.12	0.6	-0.3	-0.3	0.6	0.27	-0.4
Basse eau	/	/	/	/	/	/	/	0.14	0.42	0.13	0.44	0.43	-0.2	-0.48	0.018

En basses eaux, les échantillons ont pour la majorité des indices d'échange de base positif, qui varie entre 0,018 à 0,48 et traduisent la substitution du sodium de l'eau par le calcium et magnésium du sol.

Rapports caractéristiques

L'examen des rapports caractéristiques permet d'apporter d'éventuelles informations sur les échanges entre les ions. Les rapports caractéristiques sont :

$$\frac{\text{Mg}^{++}}{\text{Ca}^{++}}, \frac{\text{SO}_4^{--}}{\text{Cl}^-} \text{ et } \frac{\text{HCO}_3^{--}}{\text{Cl}^-}$$

Les valeurs sont reportées sur le tableau ci-dessous :

Tableau IV.9: Rapports caractéristiques des eaux souterraines (hautes eaux 2014)

Point d'eau	Rapports		
	Mg^{2+}/Ca^{2+}	HCO_3^- / Cl^-	SO_4^{2-} / Cl^-
P1	0,27	3,49	1,56
P2	0,33	5,39	0,88
P3	0,24	7,69	0,89
P4	1	3,45	0,61
P5	0,23	1,37	0,94
P6	0,49	0,57	0,11
P7	0,45	0,75	0,13
P8	0,48	2,32	0,25
P9	0,48	2,88	1,40
P10	1,28	0,17	0
P11	0,1	1,00	0,60
P12	0,15	1,17	0,69
P13	1,51	0,12	0
P14	0,46	2,90	0,63
P15	0,43	2,66	0,34

Tableau IV.10:Rapports caractéristiques des eaux souterraines (Basses eaux 2014)

Point d'eau	Rapports		
	Mg ²⁺ / Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻ / Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ / Cl ⁻
P8	0,39	0,13	0,34
P9	0,60	0,21	0,36
P10	0,45	0,25	0,56
P11	0,56	1,35	0,90
P12	0,54	0,25	0,58
P13	0,55	1,40	0,05
P14	0,54	0,59	0,05
P15	0,22	0,84	0,11

L'analyse des résultats montre :

$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} = 1$; Cela peut s'expliquer par circulation des eaux dans les dolomies, avec un équilibre ionique, c'est le cas de point d'eau (P4).

$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} < 1$; il indique la prédominance de l'ion calcium par rapport au magnésium. Il montre que l'eau a obtenu sa minéralisation dans les calcaires (CaCO₃) ou les gypses (CaSO₄, 2H₂O). C'est le cas de la majorité des points d'eau (P1, P2, P4, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P11, P12, P14 et P15).

$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} > 1$; La teneur élevée en ion Mg²⁺ par rapport au calcium est un indice d'une circulation des eaux dans les dolomies calcaires. C'est le cas des deux points d'eaux (P10, P13).

$\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} > 1$; il indique un séjour prolongé des eaux, c'est le cas des deux points d'eaux (P1, P9)

$\frac{SO_4^{--}}{Cl^-} < 1$; Certain auteurs ont montré que pour des valeurs de ce rapport < 0.05 dans les nappes côtières, il y a une forte probabilité de l'intrusion marine (Bouderbala et al. 2014),

$\frac{\text{HCO}_3^{--}}{\text{Cl}^-}$; Certain auteurs ont montré que pour des valeurs de ce rapport < 0.2 dans les nappescôtières, il y a une forte probabilité de l'intrusion marine (Bouderbala et al. 2014). Dans cette zone, deux points d'eau ont un rapport < 0.2 , il s'agit des points P10 et P13, d'où une probable intrusion marine a affecté ce secteur.

IV.9. Classification des eaux et représentations graphiques de la nappe

Pour identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil indispensable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Stabler, Piper et à celui de Schoeller-Berkaloff La réalisation de ces diagrammes a été faite par le logiciel diagrammes.

IV.9.1. Classification des eaux selon STABLER :

La méthode de STABLER consiste à classer séparément les anions et les cations par ordre de valeurs décroissantes (r%) et de déterminer ainsi le faciès chimique.

Hautes eaux :

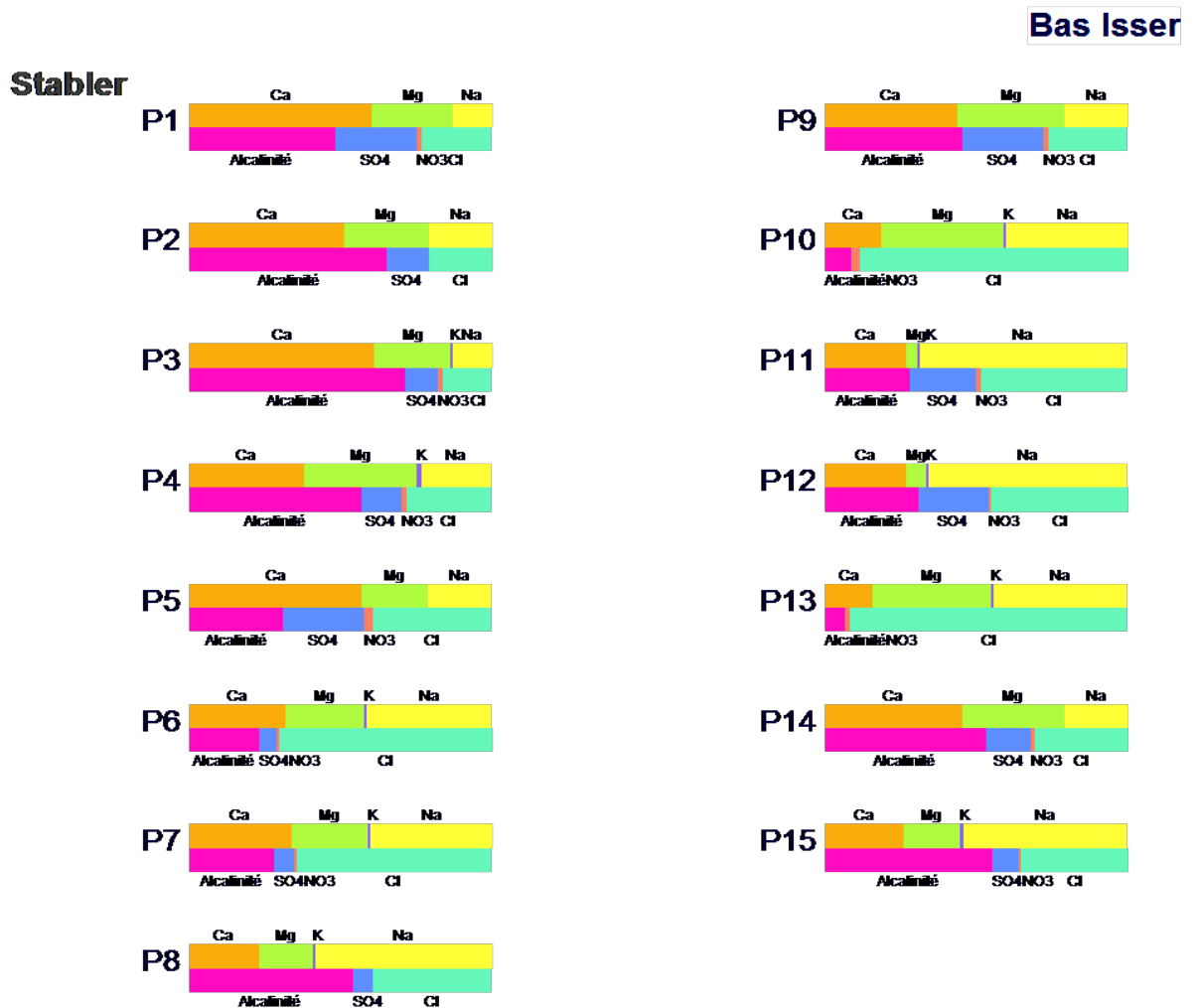


Figure IV.38. Projection des résultats d'analyse selon le classement de Stabler (hautes eaux 2014)

- Bicarbonaté Calcique (P1, P2, P3, P9 et P14) ;
- Bicarbonaté Magnésium (P4) ;
- Bicarbonaté Sodique (P8 et P15) ;
- Chlorure Calcique (P5) ;
- Chlorure Sodique (P6, P7, P11 et P12) ;
- Chlorure Magnésium (P10 et P13)

Généralement, On observe donc une tendance générale vers un pôle Bicarbonaté et chloruré.

Les basses eaux :

- Chlorure Sodique (P8, P13, P14 et P15) ;
- Chlorure Calcique (P9, P10, P11 et P12)

Même constat, la tendance chlorurée est prédominante..

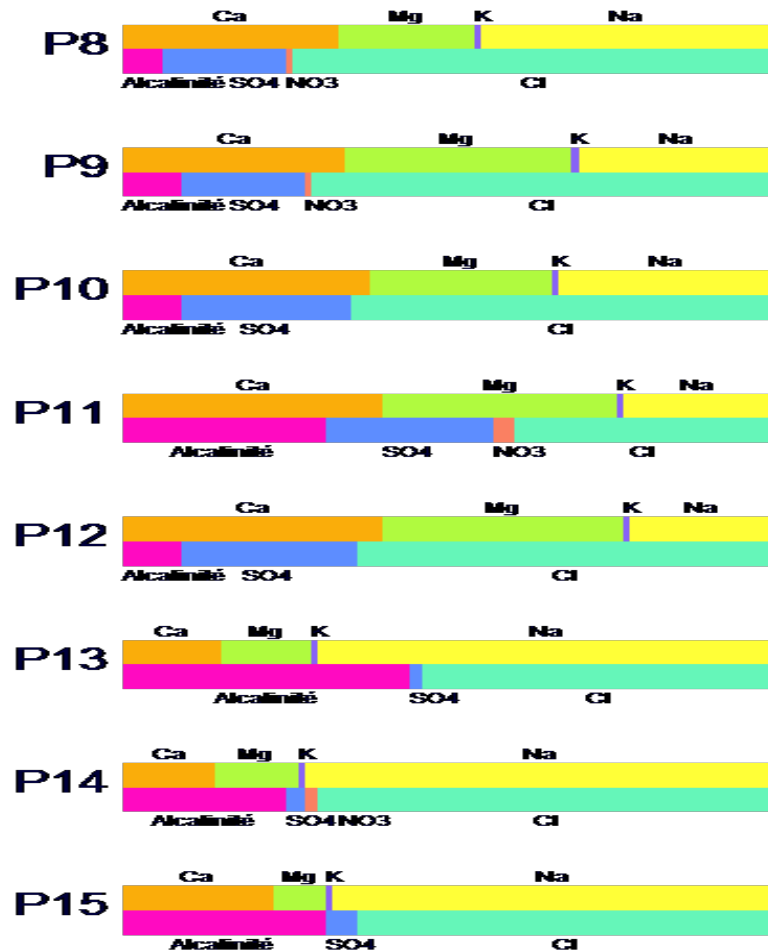


Figure IV.39.Projection des résultats d'analyse selon le classement de Stabler (Basse eaux 2014)

IV.9.2. Classification des eaux de la nappe selon le diagramme de Piper :

Le diagramme de PIPER est généralement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes des échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques de la période des hautes eaux, a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas Isser.

Des diagrammes de Piper ont été réalisés pour les points d'eaux en hautes et basses eaux, les principaux résultats obtenus sont synthétisés dans les figures IV.40 et IV.41.

Hautes eaux :

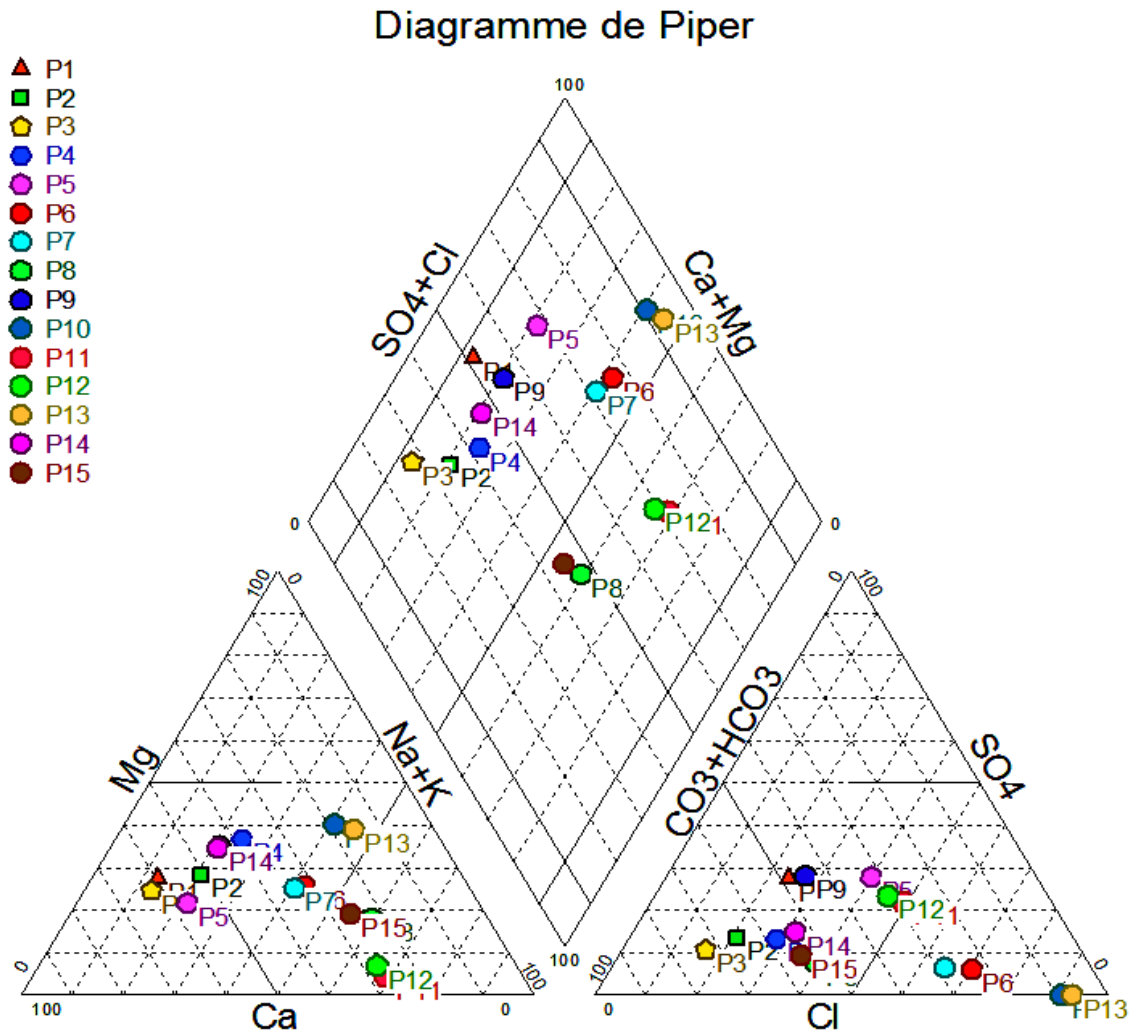


Figure IV.40. Projection des résultats d'analyse sur le diagramme de PIPER (hautes eaux 2014)

Le diagramme montre la dominance des faciès suivants :

- Bicarbonaté-Calcique (P1, P2, P3, P4, P9 et P14)
- Bicarbonaté-Sodique (P8 et P15)
- Chloruré-Calcique (P5)
- Chloruré- Sodique (P6, P7, P10, P11, P12 et P13)

Selon ce diagramme, certains points d'eau ont le même faciès chimique que les eaux marines (Chloruré- Sodique), d'où on constate qu'au niveau de la zone côtière, il y a eu un contact entre les eaux douces de la nappe avec les eaux marines.

.Les basses eaux :

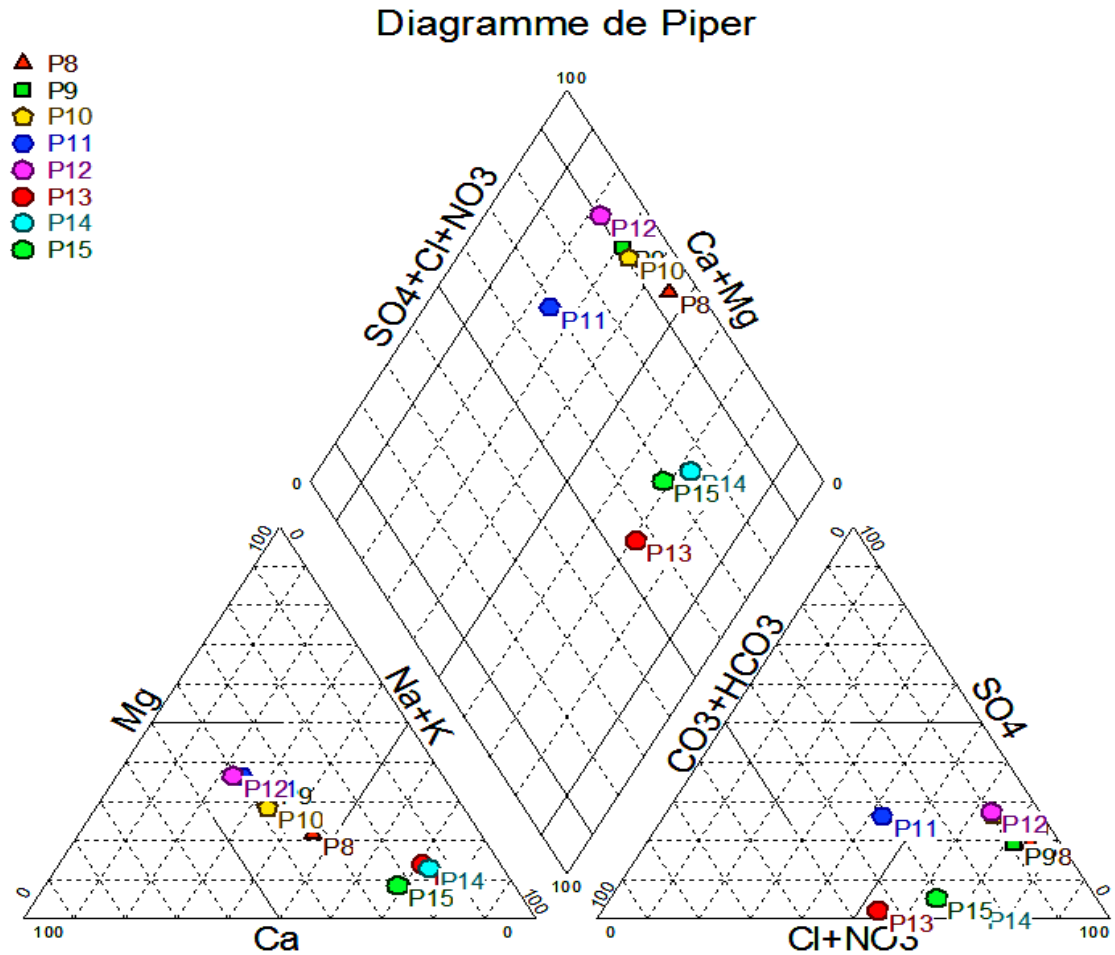


Figure IV.41. Projection des résultats d'analyse sur le diagramme de PIPER (basses eaux 2014)

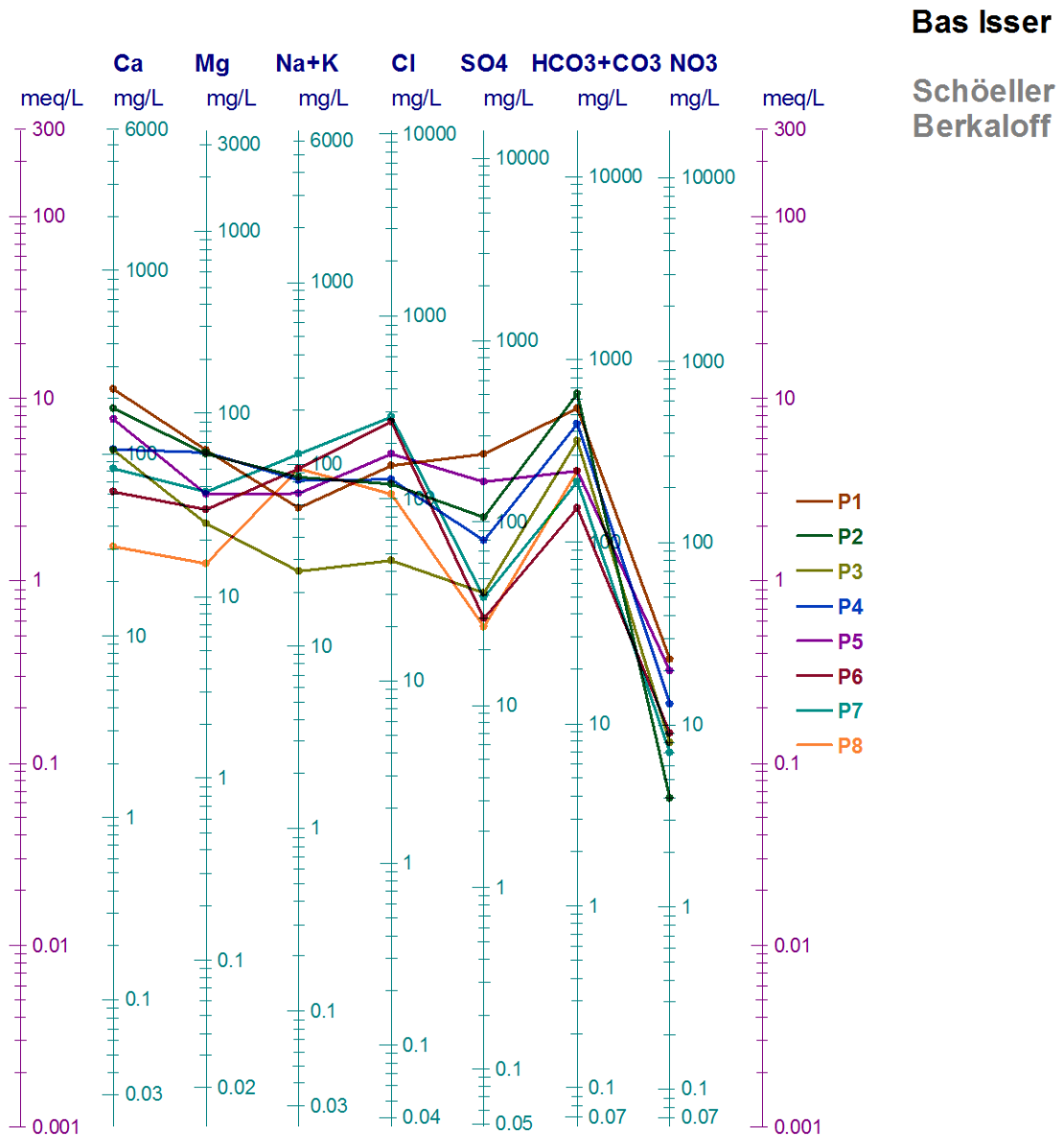
on constate la dominance des faciès suivants

- Chloruré- Sodique (P8, P10, P11 et P12)
- Bicarbonaté-Calcique (P13, P14 et P15)

L'examen des triangles indique une tendance générale vers le pôle chloruré.

IV.9.3. Classification des eaux de la nappe selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller- Berkaloff tient compte des principaux anions et cations, il permet de préciser rapidement le faciès chimique des eaux et de faire une comparaison entre eux. On peut les classer comme suit :



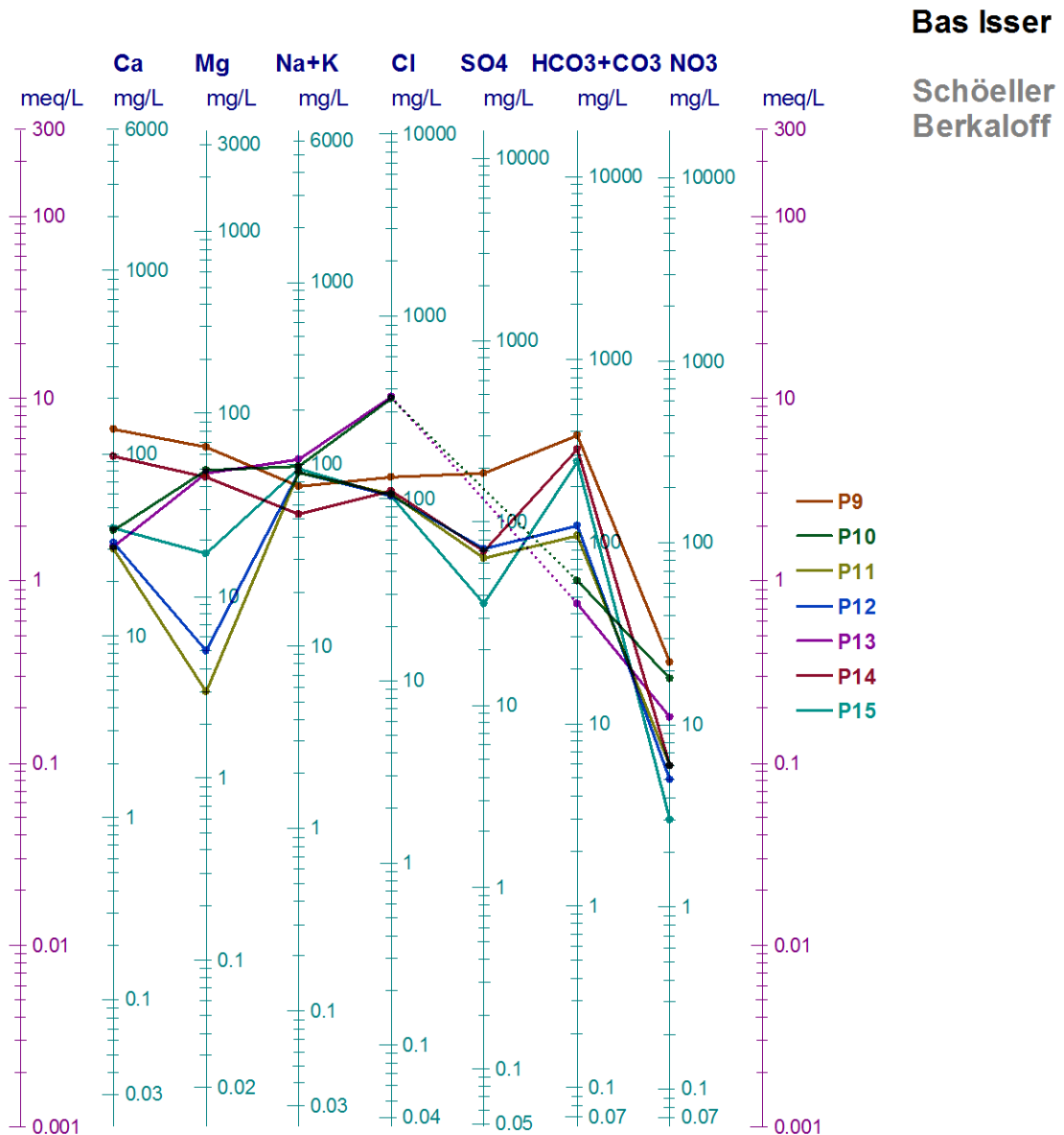


Figure IV.42. Projection des résultats sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (hautes eaux 2014)

Pour les hautes eaux :

Le diagramme montre la dominance des faciès suivants :

- BicarbonatéCalcique (P1, P2, P3, P4, P9 et P14)
- BicarbonatéSodique (P8 et P15)
- ChloruréCalcique (P5)
- Chloruré Sodique (P6, P7, P10, P11, P12 et P13)

Selon ce diagramme, certains points d'eau ont le même faciès chimique que les eaux marines (Chloruré- Sodique), d'où on constate qu'au niveau de la zone côtière, il y a eu un contact entre les eaux douces de la nappe avec les eaux marines, ce qui confirme les résultats du diagramme de PIPER.

Pour les basses eaux :

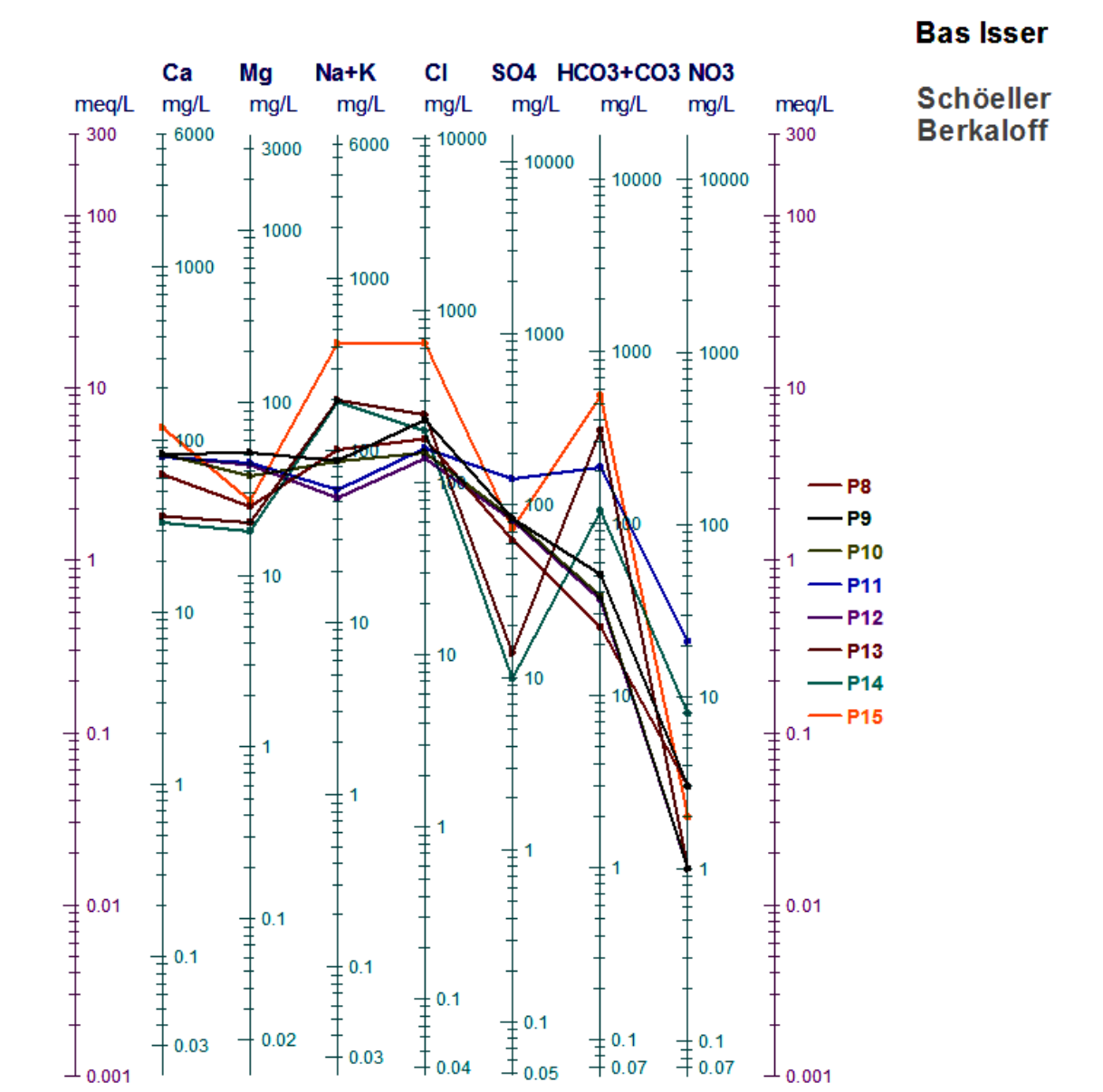


Figure IV.43. Projection des résultats sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Basses eaux 2014)

En basses eaux, on constate la dominance des faciès suivants :

☐☐ ChloruréCalcique (P8, P9, P10, P11, P12)

☐☐ Chloruré Sodique (P13, P14 et P15)

IV.10. L'analyse en composante principales

L'ACP est une méthode d'analyse statistique multidimensionnelle essentiellement descriptive. Il s'agit d'une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques jouant tous le même rôle (Bourouche & Saporta, 1983).

Son objectif est de présenter sous forme graphique le maximum d'informations contenues dans un tableau de données (en ligne les individus, en colonne les variables).

IV.10.1. Analyse des données physico-chimiques

Le traitement des paramètres physico-chimiques des eaux étudiées par l'analyse en composantes principales (ACP) vise non seulement à visualiser les liaisons inter-éléments (de faire ressortir la structure des variables et leurs origines, la répartition des individus, la ressemblance et les dissemblances existant entre eux), mais aussi à appréhender les principaux facteurs qui contrôlent la qualité des eaux.

IV.10.2.1' Analyse de la matrice de corrélation

Cette méthode met en évidence les liens et les compétitions (oppositions) qui peuvent exister entre les éléments chimiques deux à deux (Tableau IV.11).

Tableau IV.11 : Matrice de corrélation des variables

Variables	Ca	Na	Mg	K	CL	SO4	HCO3	NO3	CE	pH	R.S
Ca	1										
	-										
Na	0.632	1									
Mg	0.677	-0.238	1								
	-										
K	0.459	0.486	0.029	1							
CL	0.091	0.396	0.536	0.482	1						
SO4	0.768	-0.702	0.409	-0.430	-0.166	1					
HCO3	0.829	-0.652	0.508	-0.583	-0.334	0.707	1				
NO3	0.481	-0.299	0.665	0.182	0.620	0.360	0.091	1			
CE	0.847	-0.229	0.850	-0.153	0.539	0.576	0.556	0.643	1		
			-								
pH	0.041	0.008	0.049	-0.243	-0.159	0.101	0.142	-0.234	0.007	1	
R.S	0.712	-0.161	0.819	-0.068	0.567	0.583	0.453	0.619	0.913	0.184	1

Le tableau montre en gras les valeurs significatives pour un nombre d'individus $n = 15$

On constate que les variations de la conductivité électrique sont régies principalement par les teneurs des résidus sec ($r = 0.913$), teneurs en calcium ($r = 0.847$) et le magnésium ($r = 0.850$). Le calcium, les sulfates, les bicarbonates et sodium présentent aussi une participation importante dans la minéralisation des eaux analysées ; les coefficients de corrélation sont respectivement de 0.0.768, 0.829 et 0.702, cette corrélation indique une origine commune.

La contribution des chlorures, le potassium et les nitrates est relativement faible par rapport aux autres éléments.

IV.10.3. Analyse graphique

La projection des variables sur le plan F1-F2 est illustrée sur la figure IV.44. Les deux axes expriment 74.02% de l'information, ce qui rend la corrélation entre les variables significatives.

L'axe d'inertie principal F1 exprime 47.82 % de la variance. Il est défini positivement par la conductivité électrique, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CE et R.S.

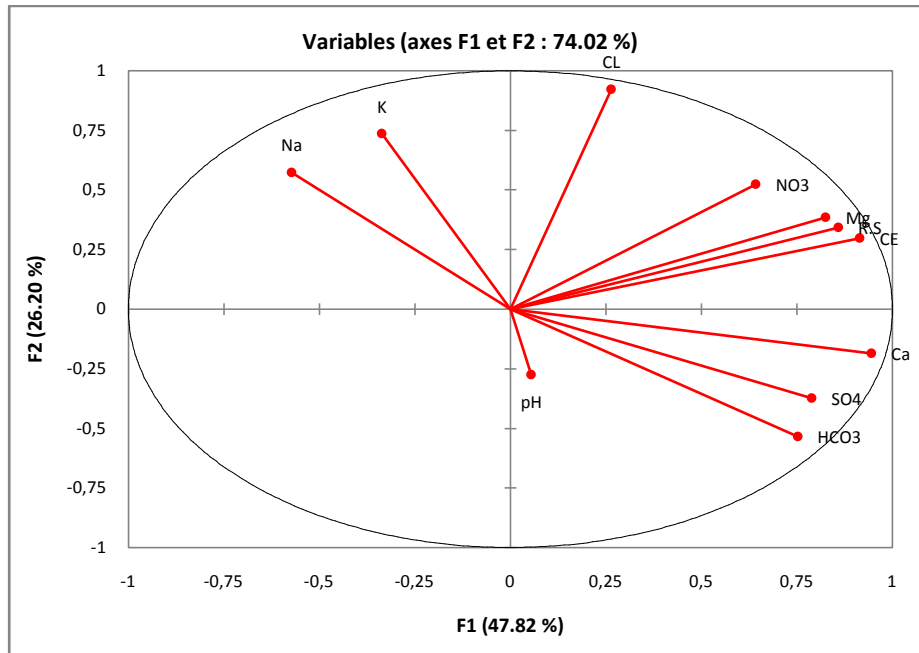


Figure IV.44. Diagramme des variables (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe alluviale pour la période des hautes eaux

Tableau IV.12: Corrélations entre les variables et les facteurs

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Ca	0.945	-0.186	-0.036	-0.109	-0.017	-0.006	0.229
Na	-0.572	0.573	0.398	-0.346	0.004	0.185	-0.054
Mg	0.825	0.384	0.033	-0.126	0.189	-0.263	-0.197
K	-0.336	0.736	-0.136	0.236	0.506	0.056	0.110
CL	0.264	0.921	0.104	-0.021	-0.186	-0.005	0.075
SO4	0.789	-0.374	-0.093	0.228	0.066	0.395	-0.096
HCO3	0.752	-0.534	0.026	-0.237	0.250	-0.107	0.012
NO3	0.642	0.523	-0.308	0.351	-0.203	-0.118	-0.038
CE	0.915	0.297	0.124	-0.178	-0.042	0.071	0.106
pH	0.055	-0.275	0.873	0.374	0.021	-0.124	0.040
R.S	0.858	0.343	0.293	0.010	0.011	0.158	-0.088

L'axe d'inertie F2 exprime 26.20 % de la variance ; il est défini positivement par K^+ et Cl^- , et indique une origine anthropique de ces éléments.

Dans l'espace, des unités statistiques (figure IV.45), les deux axes F1 et F2 définissent un nuage de points. A partir de ce nuage de points se dessinent trois évolutions.

La première évolution tend vers la partie positive de l'axe F1, il s'agit d'un pôle plus minéralisé.

La deuxième évolution tend vers la partie négative de l'axe F1. Ce sont les eaux les moins minéralisées.

La troisième évolution tend vers la partie positive de l'axe F2, il s'agit des eaux intermédiaires entre les plus minéralisées et les moins minéralisées.

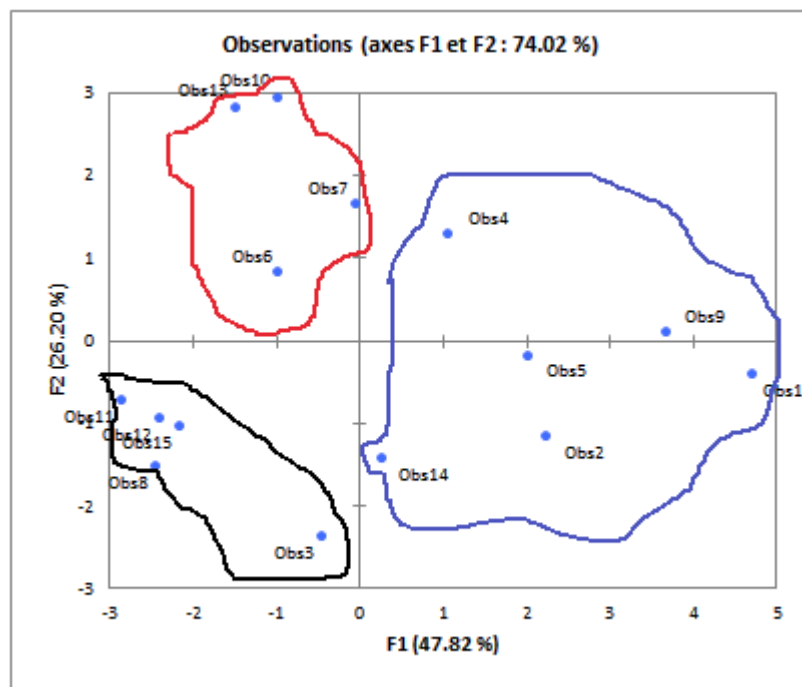


Figure IV.45. Diagramme des individus (plan I-II) relatif à l'ACP sur les eaux souterraines de la nappe alluviale.

Tableau IV.13. Les statistiques élémentaires des trois groupes pour la campagne des hautes eaux.

		Ca+	Mg	Na	K	Cl	So4	Hco3	NO3	pH	CE	R.S
Groupe I	Max	226	66	83	9	177	239	647	23	8,1	1913	1433
	Min	96	36	51	2	110	70	244	4	7,1	1128	784
	Moy	149,16	55 ,1	67,1	3,1	136,	141,1	428	14,6	7,63	1603,5	1059,3
	Ecart-type	24 ,97	5,88	6,04	1,5	12,9	32,33	76,44	3,61	0,18	151,63	124,05
	Cv	0,16	0,10	0,09	0,5	0,09	0,22	0,17	0,24	0,02	0,09	0,11
Groupe II	Max	104	25	92	3	106	72	354	8	8,2	882	570
	Min	30	3	24	2	46	27	107	0	7,1	700	427
	Moy	47,2	76,6	13	2,4	92,8	48	220,4	4,4	819,2	7,52	515,4
	Ecart-type	15,86	24,02	21,3	0,18	12,99	8,52	46,83	1,51	306,7	298,1	27,76
	Cv	0,33	0,31	1,63	0,07	0,14	0,17	0,21	0,34	0,37	0,37	0,05
Groupe III	Max	82	49	111	5	361	39	214	18	7,2	1641	1023
	Min	31	30	92	3	265	0	46	7	7,8	1100	676
	Moy	53	99	32,6	4	316,5	17,2	118,5	11,2	1294	7,375	796,75
	Ecart-type	2,78	22,77	26,2	0,37	18,19	6,94	32,04	2,16	369,4	294,8	68,59
	Cv	0 ,05	0,2	0,8	0,09	0,05	0,40	0,27	0,19	0,28	39,97	0,08

IV.11. Trace de la carte multiparamétrique

Le tracé de la carte multiparamétrique permet d'estimer la qualité de l'eau qui est fonction de plusieurs paramètres (cations et anions), en tenant compte de l'autocorrélation entre les coordonnées des individus déterminés par l'ACP. Cette méthode consiste à cartographier les valeurs des coordonnées des individus sur l'axe d'ACP pris en considérations, elle permet de dégager un fond régional des mesures, c'est-à-dire la tendance spatiale dans la zone d'étude. A partir des groupes ressortis par l'ACP, on va tracer une carte multiparamétrique correspondant à la période des hautes eaux (suite au nombre d'échantillons limités dans la période des basses eaux 2014 (8 points d'eau, on n'a pas pris en considération cette campagne)).

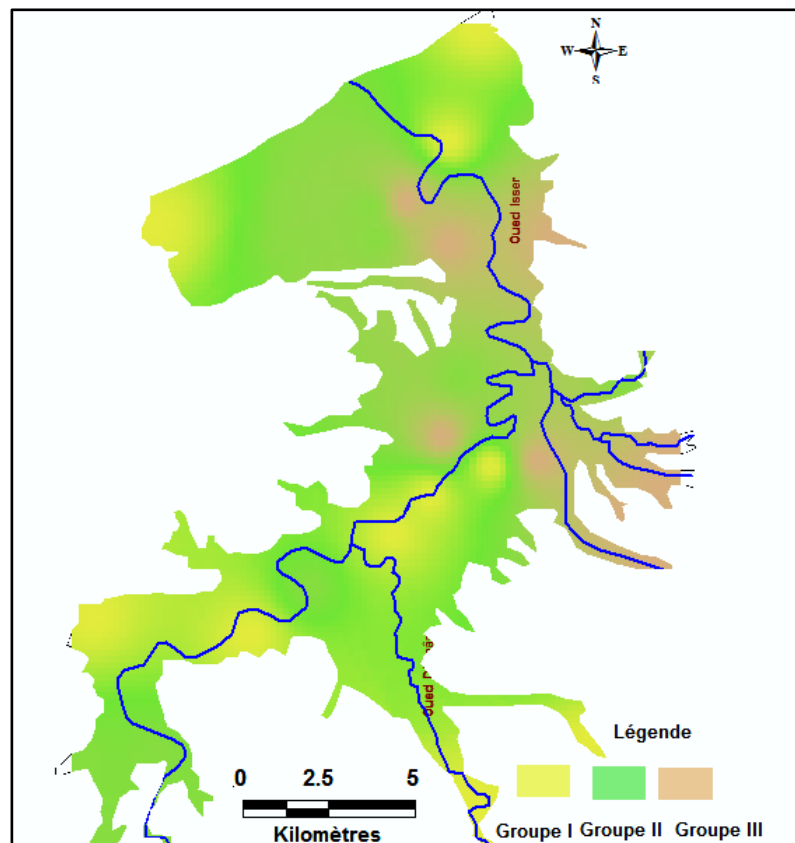


Figure IV.46. Carte multiparamétrique de l'axe 1 pour la période des hautes eaux

Le groupe deux (II) qui présente une qualité faible minéralisée est prédominant dans la zone d'étude, il couvre presque toute la vallée de Bas Isser. Par contre les eaux du groupe III qui est caractérisé par une minéralisation moyenne, sont localisées vers Nod-Est de la vallée. Le premier groupe (I) qualifié de forte minéralisation couvre une superficie non négligeable au centre de la vallée et les extrémités Sud –Est de la région.

IV.12. Conclusion

Les résultats obtenus par l'approche statistique appliquée dans le traitement des données hydrochimiques de la vallée du Bas Isser ont permis les déductions suivantes :

- Les concentrations sont moins élevées pour la majorité des éléments physico-chimiques et chimiques dans les eaux de la nappe alluviale du Bas Isser. Des concentrations qui ne dépassent pas les normes de potabilité fixées par l'OMS et les normes Algériens.
- Les eaux sont caractérisées par la présence de quatre faciès dominants, qui sont : Bicarbonaté- Calcique, Bicarbonaté- Sodique, Chlorure-Calcique et Chlorure-Sodique.
- L'application de l'ACP a permis de faire ressortir trois groupes de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe étudiée.

Bibliographie

Références Bibliographiques

BILLAULT.C, 1989 :livre,Le rôle épurateur du sol.

BOULMATAFES B,2012. étude morphopédologique du la vallée du Bas Isser .48 pages

BOUCHEK Faiza et IKHLEF Amina, 2015 :Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du bas issar (boumerdes).

BOUDERBALA A., REMINI B. and PULIDO-BOSCH A, 2014 : Hydrogeological characterization of the Nador Plio-Quaternary aquifer, Tipaza (Algeria), Boletin Geologico y Minero, 12-25pages

CHEMLAL, 1983 :Etude paléo-morphologique et hydrogéologique de la vallée du bas issar, thèse de doctorat

JACQUES BEAUCHAMP, JUIN 2006 : Qualité et pollution des eaux souterraines.

SAKET.Z, JUILLET 2009 :Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale du haut Sebaou.

REZKI A ,2004. Mobilisation de la ressource en eaux dans le bassin versant du Bas Isser .

HABES .S, cours master II hydrogéologie (analyse des eaux)

Conclusion Générale

Conclusion générale

La cartographie de la qualité des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue impérative dans le but d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau et la protection des captages d'eau potable. Elle apparaît donc nécessaire et incontournable, car elle permet d'identifier facilement les zones sensibles à des pollutions potentielles. Elle permet aussi d'orienter l'aménagement du territoire. Cependant, l'usage de ces cartes pour la limitation efficace de la protection des eaux souterraines doit tenir compte du contexte hydrodynamique de l'aquifère qui ne compromet pas inutilement la planification et la gestion du territoire.

Dans le cadre de notre projet, 15 points d'eaux ont été choisis pour l'étude de la qualité et de l'hydrochimie de la nappe alluviale du Bas d'Isser.

L'étude piézométrique de cette dernière nous a révélé que le sens d'écoulements des eaux converge vers la mer méditerranéenne.

L'étude hydrochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines ; Les facteurs naturels et anthropiques influent sur cette qualité. Plusieurs outils d'interprétations ont été utilisés (cartographie, diagrammes ...etc)

L'interprétation des résultats des données hydrochimique a montré que :

- ❖ Les concentrations sont moins élevées pour la majorité des éléments physico-chimiques dans les eaux de la nappe alluviale du Bas Isser. Des concentrations qui ne dépassent pas les normes de potabilité fixées par l'OMS et par les normes Algériennes.
- ❖ Les eaux sont caractérisées par la présence de quatre faciès dominants, qui sont : Bicarbonaté- Calcique, Bicarbonaté- Sodique, Chlorure-Calcique et Chlorure-Sodique.
- ❖ L'application de l'ACP a permis de faire ressortir trois groupes de la qualité physico-chimique des eaux de la nappe étudiée.

تم دراسة التغيرات المكانية و الزمانية في نوعية المياه الجوفية في سهل يسر الجنوبي الغربي الذي يقع على بعد 60 كم شرق الجزائر باستخدام نهج تحليلي في أساس أدوات نظم المعلومات الجغرافية (SIG) و نهج تحليلي في المكون الرئيسي (ACP). هذه الأدوات ,من خلال قدراتها على الجمع بين كميات كبيرة من المعلومات بصريا , مفيدة للتنظيم و التحليل والإدارة والتصوير الجغرافي وكذلك لرسم خرائط المعلومات عن نوعية المياه الجوفية . لهذه الدراسة تم أخذ عينات المياه الجوفية من 15 نقطة قياس تقع في البقعة الغربية. تم تحليل عينات المياه لمختلف المعلومات الفيزيائية و الكيميائية .و من ثم تكون النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة وخرائط الجودة المائية واحدة مفيدة لرصد وإدارة تلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

Résumé

Les variations spatio-temporelles de la qualité de l'eau souterraine dans la plaine alluviale du Bas Isser située à 60km à l'Est d'Alger, ont été étudiées en utilisant une approche cartographique basée sur des outils SIG et approche d'analyse en composante principale (ACP). Ces outils, par leurs capacités à conjuguer visuellement de grandes quantités d'informations, sont utiles pour organiser, analyser, gérer, géovisualiser et également pour cartographier l'information sur la qualité de l'eau souterraine. Pour cette étude, des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés dans 15 points de mesure localisés dans la nappe des alluvions. Les échantillons d'eau ont été analysés pour divers paramètres physico-chimiques.

Les résultats obtenus dans cette étude et les cartes dressées en termes de qualité hydrogéochimique seront utiles pour surveiller et gérer la pollution des eaux souterraines dans la zone d'étude.

Abstract

The spatio-temporal variations of the quality of the underground water in the alluvial plain of lower Isser, a region situated 60 km far from Algiers, have been studied using the cartographic approach based on (SIG) tools and the analysis approach of the main components (ACP).

The ability of these tools to consider visually a big quantity of information is effective to organize, to analyse and to geo visualize moreover to transform these information concerning underground water into mapdrawings many samples of under ground water have been taken in 15 points of measure locate in the alluvial blanket for the study .these samples of water are analyzed for Geo chemical parameter.

The results of the study the maps drawn after the maps drawn after that in terms of the hydro two chemical quality will be effective to manage and to supervise underground waters pollution in the studied area