



Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnalisant en :

Génie de l'Eau

Thème :

Etude de vulnérabilité à la pollution

**Physico-chimique des eaux souterraines de la wilaya
de Tizi-Ouzou**

(Cas de la nappe du moyen Sébaou)

Réalisé par :

MANOUR Dalila

Encadré par :

REZIG Amina

Enseignante chercheuse, MAA

Tuteur de l'entreprise :

CHALLALI Samir

Direction des Ressources en Eaux
(Tizi-Ouzou)

Soutenu devant les jurys

Mme BALOUL Djouhra

Examinatrice

M DJAFFER KHODJA Hakim

Président

Mme REZIG Amina

Promotrice

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mon père

Vous avez fait d'énormes sacrifices pour vos enfants et vous n'avez jamais cessé de nous prodiguer des conseils pour le droit chemin. Que votre simplicité, votre disponibilité, et votre respect pour les autres me servent d'exemples

À ma mère

Les mots me manquent pour vous qualifier, tout ce que j'aurais à dire ne saurait, exprimez à fond tout le sacrifice et l'endurance que vous avez consentis pour nous élever. Je vous demande pardon et vos bénédictions nuits et jours. Je ne saurais jamais vous remercier assez. Seul Dieu peut vous gratifier de tout ce que vous avez fait pour nous. Que Dieu le tout puissant vous accorde longue vie, bonne santé et bonheur à nos côtés et qu'il puisse me donner les moyens nécessaires pour affronter les épreuves de la vie.

Je le dédie également

À mes grands parents et je les remercie pour leurs encouragements, leurs conseils, et leurs soutiens,

À toute ma famille, mes sœurs, mon frère, mes tentes et mes cousins.

À tous mes amis(es) et collègues

À toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études

Dalila

REMERCIEMENTS

Avant tout, je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir accorder, courage et patience pour mener à terme ce travail.

*Je remercie également ma promotrice Madame **REZIG Amina** de m'avoir proposé ce thème et de m'avoir encadrer, guider et accompagner dans ce travail ainsi que sa compréhension, ses précieux conseils, son humour et surtout pour sa patience.*

*Je témoigne ma reconnaissance aussi à tous les enseignants du département de Génie de l'eau qui ont participés dans ma formation spécialement **Mr. DAHMANI Saad**.*

*Comme je remercie **Mr. CHALALI Samir** pour son aide au sein de la direction de la wilaya de Tizi Ouzou.*

Je tiens à remercier sincèrement l'ensemble des personnes qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce travail :

- Les membres du personnel de la Direction des Ressources en Eau (DRE) de la wilaya de Tizi Ouzou ; particulièrement le service de Mobilisation des Ressources en Eau (SMRE).*
- Les membres du personnel de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (**A.N.R.H –Tizi Ouzou**) qui ont mis à ma disposition les données géologiques de la région de cette étude*
- Tout le personnel de laboratoire ADE de la wilaya de Tizi Ouzou pour leurs aides.*

Mes remerciements sont destinés aussi aux membres du jury de m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail.

Liste des figures

Figure1.1 : Organigramme de la DRE (SOURCE : DRE, T.O).....	8
Figure 2.1 Relation nappe alluviale avec cour d'eau	11
Figure 3.1:Localisation géographique du bassin versant de l'oued Sébaou.	22
Figure 3.2: Formations géologiques de la vallée du Sébaou (ANRH, T.O, 2013)	24
Figure 3.3 Coupes hydrogéologiques E-O de la nappe alluviale du moyen Sébaou (ANRH, T.O, 1993).....	25
Figure3.4: pluviométries mensuelles de l'année 2017-2018.....	26
Figure 3.5 : Carte des précipitations annuelles moyennes (ANRH, 1993).....	27
Figure 4.1 Situation des forages dans le sous bassin.....	31
Figure 4.2 : pH mètre utilisé pour la mesure.....	31
Figure4.3 : Turbidimètre utilisé pour la mesure.....	32
Figure 4.4 : Spectrophotomètre à flamme utilisé pour la mesure.....	33
Figure 4.5: Spectrophotomètre utilisé pour la mesure	33
Figure4.6: dosage d'ammonium réalisé au niveau de laboratoire.....	36
Figure4.7 : Détermination de TAC.....	38
Figure 4.8 : Diagramme de Piper.....	41
Figure 4.9: Diagramme de Schoëller-Berkaloff.....	42
Figure5.1: Variation du pH au niveau des points de prélèvement.....	44
Figure 5.2: Carte de potentiel d'hydrogène pH.	44
Figure5.3 Variation de température au niveau de la zone d'étude.....	45
Figure5.4: Carte de température	46
Figure 5.5 Variation de la conductivité au niveau de la zone d'étude.....	47
Figure 5.6 : Carte de conductivité.....	47
Figure5.7 : Variation de turbidité au niveau de la zone d'étude.....	48
Figure 5.8: Carte de la turbidité.....	49
Figure 5.9 :Titre alcalimétrique.....	50
Figure 5.11: Variation de la dureté totale au niveau de la zone d'étude.....	51
Figure5.12: Variation du taux de calcium au niveau de la zone d'étude.....	52

Figure 5.13 : Carte du calcium.....	52
Figure 5.14: Variation du taux de magnésium au niveau de la zone d'étude.	53
Figure 5.15 : Carte de magnésium.....	53
Figure 5.16: Variation du taux de sodium au niveau de la zone d'étude.....	54
Figure 5.17 : Carte de sodium.....	55
Figure 5.18: Variation du taux de potassium au niveau de la zone d'étude.....	56
Figure 5.19 : Carte de potassium.....	56
Figure 5.20 : Variation du taux de chlorure au niveau de la zone d'étude.....	57
Figure 5.21 : Carte de chlorure.....	57
Figure 5.22 : Variation du taux de Sulfate au niveau de la zone d'étude.....	58
Figure 5.23 : Carte de Sulfate.....	59
Figure 5.24: Variation du bicarbonate au niveau de la zone d'étude.....	60
Figure 5.25 : Carte de Bicarbonate.....	60
Figure 5.26 : Variation d'ammonium au niveau de la zone d'étude.....	61
Tableau 5.27 : Variation des nitrates au niveau de la zone d'étude.....	62
Figure 5.28 : la carte de nitrates.....	62
Figure 5.29: Variation des nitrites au niveau de la zone d'étude.....	63
Figure 5.30 Les phosphates au niveau de la zone d'étude.....	64
Figure 5.31 : Le taux du fer au niveau de la zone d'étude.....	65
Figure 5.32 : Représentation des analyses chimiques anion et des cations sur le diagramme de Piper	66
Figure 5.33: Représentation des analyses chimiques des cations et des anions sur le diagramme de Schoëller-Berkaloff.....	67
Figure 5.34 : Carte d'indice de contamination.....	69

Liste des tableaux

Tableau2.1: Classe de conductivité électrique.....	16
Tableau2.2 : Classes de turbidités (NTU) . (JOEL. G2003).....	16
Tableau 2.3 : Normes des Paramètres physico-chimiques (Source : Rodier, 1996.et JORA, 2014	19
Tableau 2.4 : Normes des Paramètres physico-chimiques(Ions) (Source : Rodier, 1996.et JORA, 2014)	20
Tableau 3.1 : Précipitations moyennes mensuelle à la station de Tizi-Ouzou (DRE, T.O).....	26
Tableau 4.1 : Informations techniques des forages : (Source : DRE, T.O).....	31
Tableau 5.1 : Résultat des mesures de Ph.....	43
Tableau 5.2 : Résultats des mesures de température.....	45
Tableau 5.3: Résultats d'analyses de conductivité.....	46
Tableau5.4 : Résultats des mesures de turbidité.....	48
Tableau 5.5 Résultats des mesures des TA et TAC.....	49
Tableau 5.6 : Résultats des mesures de dureté totale	51
Tableau5.7: les teneures en calcium des eaux analysé.....	52
Tableau 5.8: les teneures en Sodium des eaux analysé.....	54
Tableau 5.9: Teneures en potassium des eaux analysées.....	55
Tableau 5.10: les teneures en chlorure des eaux analysé.....	57
Figure 5.11 : Teneures en sulfate des eaux analysées.....	58
Tableau 5.12 : les teneures en bicarbonate des eaux analysé.....	59
Tableau 5.13 : Teneures en ammonium des eaux analysé.....	61
Tableau 5.14 : Teneures en nitrate des eauxanalysées.....	62
Tableau 5.15: Teneures en nitrite des eaux analysées.....	63
Tableau 5.16: Teneures en phosphate des eaux analysées.....	64
Tableau 5.17: Variation du taux de fer des eaux analysées.....	64
Tableau 5.18 : Classement en vue de la détermination de l'indice de contamination.....	68
Tableau 5.19: Évolution d'IC dans la zone d'étude.....	69

- **D.G.R.H.A** : la direction du Génie rural et l'Hydraulique Agricole
- **D.D.H.A** : (la division du développement hydraulique Agricole) ;
- **S.A.M.** : Service de l'Administration et des moyens
- **S.A.** : Service assainissement
- **S.H.A** : Service Hydraulique Agricole
- **S.A.E.P** : Service alimentation en eau potable
- **S.M.R.E** : Service de Mobilisation des Ressources en eau
- **ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- **OMS** : l'Organisation Mondiale de la santé
- **T.O** : TIZI OUZOU
- **NTU** : Unités Néphélométriques de Turbidité
- **TA** : titre alcalimétrique
- **TAC** : titre alcalimétrique complet
- **(JORA** : journal officiel de la république algérienne
- **TH** : Titre hydrométrique (Dureté Totale)
- **μS / cm** : Micro-siémens par centimètre
- **IMS** : ion mobilité spectrométrie
- **EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétracétique ;
- **ISO** : International Standard Organisation
- **pH** : Potentiel d'Hydrogène
- **ADE** : Algérienne Des Eaux
- **MES** : Matières En Suspension.

Introduction générale

La rareté de l'eau potable devient un problème majeur, dans la nature elle peut exister sous tous les états de la matière d'où la diversité de ces sources mais les ressources d'eau douce qui répondent aux normes de potabilités sont peu nombreuses entre autre on peut citer les eaux souterraines. La préservation des ressources hydrique dans notre pays repose essentiellement sur un programme national multisectoriel de lutte contre la pollution de ces dernières.

La position de la structure du terrain, de type de nappe, le mode de circulation souterraine et la nature géologique du terrain, ont une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. L'eau souterraine se situe généralement dans les 100 mètres de la surface. C'est là que réside une grande partie de l'eau douce de la terre.

La nappe de moyen Sébaou représente un réservoir hydrique important pour la wilaya de TIZI-OUZOU., ou les eaux souterraines ont constituées depuis des années une source impotente d'alimentation en eau potable pour une grande partie de la population rurale. Ce travail consiste a vérifié cette richesse non renouvelable qui fait l'objet de plusieurs études analytiques visant surtout à la détermination de leur qualité physico-chimique et sa vulnérabilité a la pollution. Et pour mieux appréhender l'étude qualitative des eaux de la nappe alluviale du moyen Sébaou des échantillons d'eau ont été prélevés sur 10 forages durant le mois de mars 2019. Notre étude est concentrée sur l'analyse générale de la disponibilité de ces ressources naturelles pour produire de l'eau potable et pour bien réaliser cette étude, nous avons effectué un stage pratique au niveau de la direction des ressources en eaux et au laboratoire ADE de la willaya de Tizi-Ouzou.

Le but de ce travail est de faire une synthèse bibliographique sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de cette willaya et sur leurs sensibilités à la pollution.

Le mémoire présenté est structuré comme suit :

- Chapitre 1 : présentation de l'organisme d'accueil
- Chapitre 2 : Qualité des eaux souterraines et leur vulnérabilité à la pollution
- Chapitre 3 : présentation de la zone d'étude
- Chapitre 4 : Matérielles et méthodes
- Chapitre 5 : Résultats et discussion

1 Introduction

A cause de l'usage intensif des ressources naturelles de l'eau dans notre pays, la qualité de ces derniers est devenue épuisée par de différentes sortes des polluants, c'a rendu difficile de trouver des sources conformes aux exigences des normes. Dans ce sens le ministère de l'hydraulique a instauré dans chaque wilaya une direction des ressources en eau qui a pour mission de faire des programmes d'étude afin de répondre aux normes de potabilité d'eau et résoudre les différents problèmes comme la pollution et l'exploitation anarchique des sources.

Ce chapitre sera consacré à la description de cette direction et de ses différents services

2 Historique

La direction de l'hydraulique de Tizi-Ouzou existait déjà au temps du colonialisme, après l'indépendance, on créa la D.G.R.H.A (la direction du Génie rural et l'Hydraulique Agricole). Cette direction est considérée comme une subdivision rattachée au ministère de l'Agriculture. (DRE, T.O)

La direction de l'hydraulique fut créée en 1971 (Décret N°71-44 du 04 janvier 1971 contenant l'organisation de l'administration centrale du secrétariat de l'état de l'hydraulique) et depuis cette date elle n'a pas changé de temps. Dans les années 80 la direction de l'hydraulique de Tizi-Ouzou a été transférée au Ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire.(DRE, T.O)

Ensuite vers la fin des années 80, elle est rattachée au Ministère de l'équipement et de logement, notons qu'avant 1987 ou la création des divisions (qui s'est opérée au niveau local) et on a eu la D.D.H.A (la division du développement hydraulique Agricole).

La division comprend trois services :

- ❖ Service hydraulique.
- ❖ Service des agricole.
- ❖ Service des forêts.

La D.D.H.A existait jusqu'en 1991 ou chaque service est devenu une direction, par conséquent on a vu encore la création de la direction de l'agriculture ainsi que la conservation des forêts.

La publication d'un décret exécutif portant la N°90-328 du 27 octobre 1990 fixant les règles d'organisation et de fonctionnement des services de l'équipement des wilayas.

Selon l'article 03 les services de la direction de l'hydraulique sont :

- ❖ Service du développement hydraulique.
- ❖ Service des eaux et de l'assainissement.
- ❖ Service de l'administration et des moyens.

Actuellement la direction de l'hydraulique de la wilaya de Tizi-Ouzou est sous la tutelle du Ministère des ressources et eau depuis sa création 2001.

Après la création de cette dernière, on a procédé à la promulgation d'un décret exécutif portant le N°02-187 du 26mai 2002 ; qui consiste l'application des nouvelles dispositions. Ainsi un nouvel organigramme des directions de l'hydraulique de wilaya qui a été communiqué selon un arrêté interministériel du 18 avril 2004 fixant le nombre de services et déterminant leur organisation interne. (DRE, T.O)

Selon l'article 02 les directions des wilayas sont organisées en 05 services :

- ✓ S.A.M. (Service de l'Administration et des moyens).
- ✓ S.A. (Service assainissement).
- ✓ S.H.A. (Service Hydraulique Agricole).
- ✓ S.A.E.P. (Service alimentation en eau potable).
- ✓ S.M.R.E. (Service de Mobilisation des Ressources en eau).

2.1 Mission de la direction des ressources en eau

- Veiller à la sauvegarde, la préservation, la protection et l'utilisation rationnelle des ressources en eau.
- Recueillir et analyser les données relatives aux activités de recherches, d'exploitation, de production, de stockage et de distribution de l'eau pour des usages domestiques, agricoles ou industriels,
- Veiller à l'application de la réglementation régissant les ressources en eau.
- Instruire, en relation avec l'administration central, toutes demandes en matière d'affectation, d'utilisation et de réutilisation des ressources en eau d'exploitation du domaine public hydraulique et le cas échéant de délivrer les autorisations y afférents.
- Veiller à l'application et au suivi de la mise en œuvre de la réglementation dans le développement, de l'aménagement, de l'exploitation et de l'entretien des infrastructures destinées l'alimentation en eau potable, à l'assainissement et à l'irrigation.

- Tenir à jour le fichier des points d'eau situés sur le territoire de la wilaya et suivre les études en enquêtes concourant à une meilleure connaissance en eau superficielle et souterraine.
 - Ressembler les informations nécessaires à l'élaboration des bilans des programmes d'alimentation en eau potable, d'assainissement et d'hydraulique agricole.
- (JORA, 2011)

3 Activités des différents services :

3.1 La direction :

Selon le classement standard des services et leurs hiérarchies : le service direction vient en premier lieu et comme son nom l'indique, il dirige les différentes tâches effectuées dans l'organisme. (DRE, T.O)

3.2 Service de la mobilisation des ressources en eau (S.M.R.E.)

Est chargé notamment des fonctions suivantes :

- ✓ De participer aux études et à l'élaboration du programme d'action de la ressource superficielle et souterraine.
- ✓ D'assurer la maîtrise d'ouvrage, de suivre la réalisation des projets et de veiller au respect des règles et des normes de réalisation des ouvrages.
- ✓ De veiller à la bonne exploitation, gestion et entretien des ouvrages de mobilisation de la réalisation.
- ✓ De construire des banques de données sur connaissances, la mobilisation, l'utilisation et la conservation de l'eau au niveau de la wilaya.

Il est composé de trois (03) bureaux :

- ❖ Le bureau de la mobilisation des eaux superficielles.
- ❖ Le bureau de la mobilisation des eaux souterraines.
- ❖ Le bureau du suivi de la gestion et de l'exploitation des ouvrages de mobilisation des eaux et de la protection du domaine public hydraulique.

3.3 Service de l'assainissement :

Est chargé notamment des fonctions suivantes :

- ✓ Participer aux études et à la programmation des projets d'assainissement et de protection contre les inondations.
- ✓ Assurer la maîtrise d'ouvrage et le suivi de la réalisation des projets d'assainissement et de protection contre les inondations et de veiller au respect des règles de construction de ces ouvrages.
- ✓ Participer aux choix des procédés et des techniques d'assainissement et d'épuration.
- ✓ De veiller au bon fonctionnement du service public lié à l'assainissement et au respect des règles et normes de gestion et d'exploitation des infrastructures.
- ✓ De veiller en relation avec les services concernés à la protection et à la préservation de la ressource.
- ✓ De construire et de mettre à jour le système d'information relatif à l'assainissement et à la protection de l'environnement.

Il est composé de trois (03) bureaux :

- ❖ Le bureau des études et de programmation des projets.
- ❖ Le bureau des suivis de la réalisation des projets.
- ❖ Le bureau de service public d'assainissement et de la protection de la ressource.

3.4 Service de l'hydraulique Agricole : (S.H.A)

Est chargé notamment des fonctions suivantes :

- ✓ De réunir les éléments relatifs à l'octroi de concessions d'exploitation des informations d'irrigation et de drainage.
- ✓ De participer à l'élaboration des programmes de développement des petits et moyen hydraulique Agricole.
- ✓ De veiller à l'application de la réglementation et des normes d'exploitation des infrastructures et de drainage.

Il est composé de deux(02) bureaux :

- ❖ Bureau des études et des travaux.
- ❖ Bureau de suivi de la gestion et de l'exploitation.

3.5 Service de l'administration des moyens : (S.A.M)

Est chargé des fonctions suivantes :

- ✓ De participer à l'élaboration des budgets d'équipement et de fonctionnement et leur exécution.
- ✓ De gérer et de veiller à la présentation du patrimoine.
- ✓ D'élaborer et d'exécuter les plans de gestion de la ressource humaine et de la formation du personnel.
- ✓ D'instruire et de suivre les affaires contentions.

Il est composé de trois (03) bureaux :

- ❖ Le bureau de budget, de comptabilité et de patrimoine.
- ❖ Le bureau du contentieux, de la réglementation et des marchés public.
- ❖ Le bureau des ressources humaines de la formation.

4 Réglementation de l'organisme :

La direction des ressources en eau, emploie plus de (150) cent cinquante fonctionnaires, exécutant respectivement leurs tâches, dans un climat d'organisation, elle est placée sous la tutelle du ministre des R.E.E. elle dispose de (21) vingt et une subdivisions.

Cet organisme régit sous le statut général de la fonction publique qui détermine les règles statutaires applicables aux fonctionnaires et les garanties fondamentales qui leur sont accordées dans le cadre de l'exercice de leurs missions au service de l'état. (DRE, T.O)

5 Organigramme de la direction des ressources en eau :

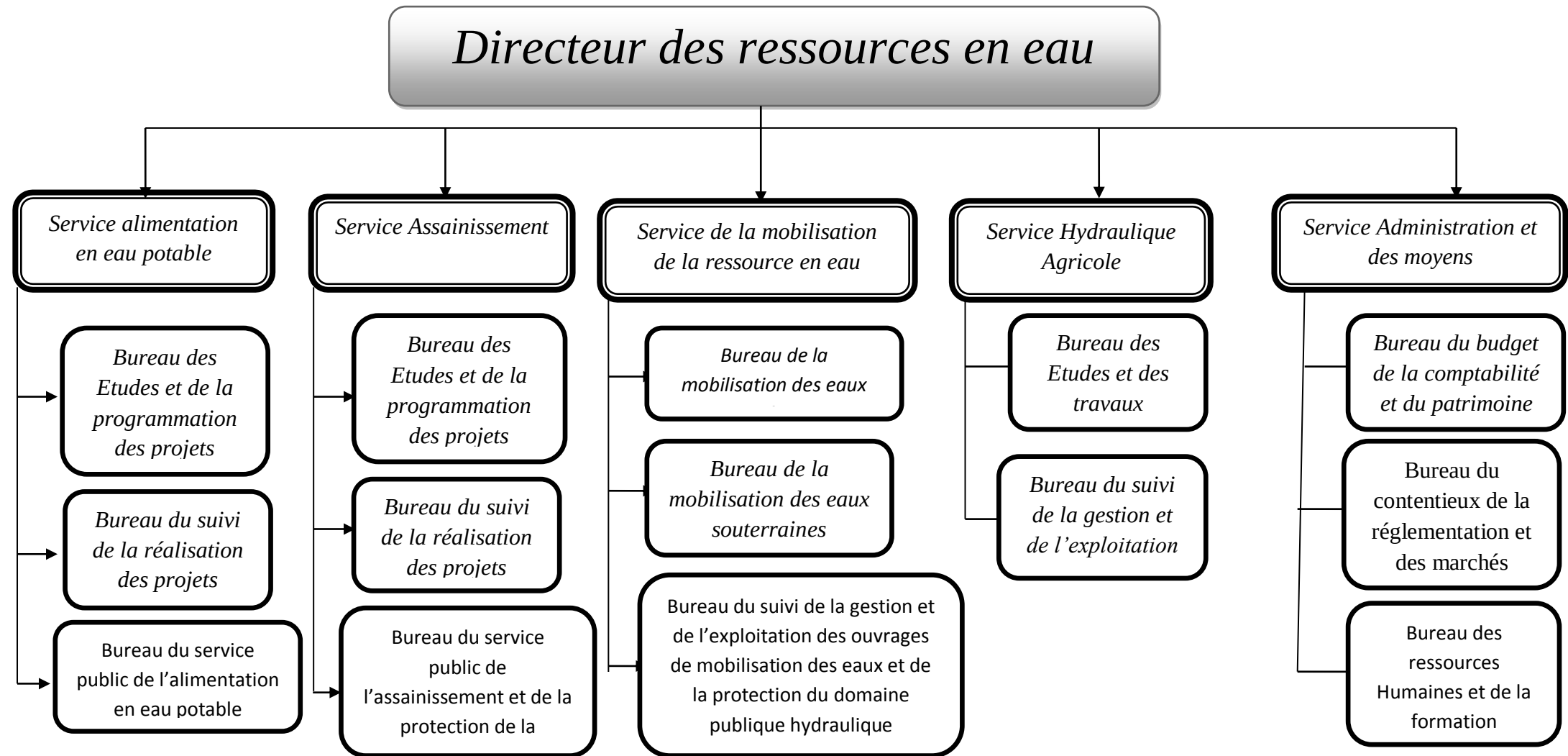


Figure1.1 : Organigramme de la DRE willaya de Tizi-Ouzou (SOURCE : DRE, T.O)

6 Conclusion

Au terme de ce chapitre il est considéré comme essentiel la définition et la mise en œuvre d'une politique nationale en générale et locale en particulier de protection contre toute contamination, de pollution, et de dégradation des ressources en eau potable. Toutefois, les autorités de la wilaya de Tizi Ouzou sont appelées à apporter leur ferme soutien aux projets de protection des nappes et des ressources existants et aux projets d'approvisionnement, et ceux d'exploitation des ressources en eau qui encouragent l'utilisation de technologies appropriées afin de réduire les émissions des polluants

1 Introduction

Les eaux souterraines en Algérie sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Certaines régions algériennes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène et ainsi l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité.

Ce chapitre donne des informations générales sur les eaux souterraines leur chimie et leur vulnérabilité à la pollution.

2 Généralités sur les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant dans le sous-sol, et qui constituent la majeure réserve de l'eau exploitable, elles sont formées par les précipitations des pluies, une grande partie qui s'est infiltrée dans le sol pour former des nappes souterraines. La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue parce qu'elle est en contact direct avec cette dernière, ce qui va établir un équilibre entre sa composition et celle du terrain. Lorsqu'une nappe souterraine a été polluée, il est difficile de récupérer sa pureté originelle à cause des polluants ayant contaminé le sol de la nappe. Toutefois, il est capital de les protéger contre toute infiltration des polluants en les éloignant du rejet industriel et du drainage agricole. (Degremont, 1989).

3 Les eaux potables

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. L'OMS la définit comme une eau ayant les caractéristiques microbiennes, chimiques et physiques qui répondent aux directives de l'OMS ou aux normes nationales relatives à la qualité de l'eau de boisson. En clair, une eau potable est une eau qui ne contient pas d'agents pathogènes ou d'agents chimiques à des concentrations pouvant nuire à la santé. Aussi une eau de boisson ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait sur toute durée de sa vie, compte tenu des variations des sensibilités éventuelles entre les différents stades de sa vie. (Degremont, 1989).

4 Une nappe d'eau souterraine

La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air.

libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque les deux tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12 000 milliards de mètres cubes d'eau par an. (Castany, 1979)

4.1 Type des nappes

4.1.1 Nappe libre :

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non. Les nappes situées sous un sol perméable sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser à son aise. De telles nappes peuvent donc contenir des volumes d'eau variables. (Castany, 1979)

4.1.2 Nappes captives

Les nappes captives sont souvent profondes de quelques centaines de mètres voire plus. Elles se renouvellent plus lentement. Leur alimentation provient pour partie de la zone affleurant de l'aquifère (2) et elles bénéficient d'une protection naturelle, représentée par la formation géologique imperméable sus-jacente. Elles sont de ce fait peu vulnérables aux pollutions de surface. (Castany, 1979)

4.1.3 Nappe semi captive

Le toit ou le substratum de la nappe sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable. Celle-ci permet, dans certaines conditions hydrodynamiques favorables (différence de charge) des échanges d'eau (ou de pression) avec la nappe superposée ou sous-jacente appelée drainante. Ce phénomène implique une nappe semi captive (Castany, 1979)

4.2 Les nappes alluviales

Elles constituent un type particulier de nappes, formées par les grands épandages de sables et graviers des fleuves et des rivières. Elles sont le lieu privilégié des échanges entre les cours d'eau et les autres grandes nappes des coteaux (nappes libres). C'est à travers ces nappes alluviales que les grands flux issus des nappes libres rejoignent les rivières. Parfois, ce sont les rivières qui cèdent de l'eau aux nappes alluviales. Ce phénomène est habituel dans les oueds des pays arides. (Afiri et Azi 2005)

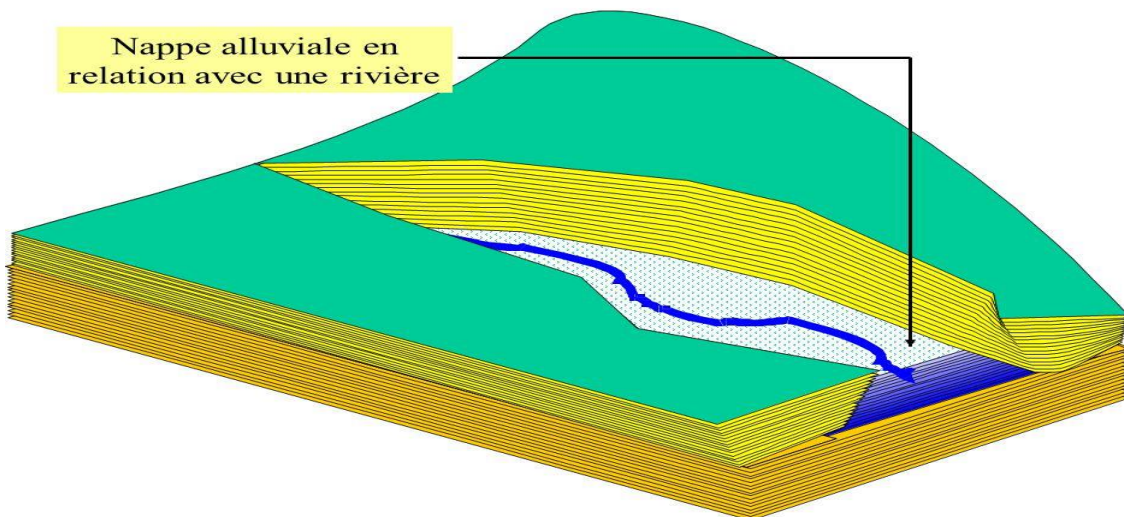


Figure 2.1 Relation nappe alluviale avec cour d'eau

4.3 Caractéristiques et type de sol :

Le sol représente la partie supérieure de la zone non saturée et est caractérisé par une activité biologique significative. La capacité à atténuer et faire migrer le contaminant change en fonction du type de sol. En effet, la composition, la texture et la structure des sols sont trois propriétés qui influencent l'intensité des processus d'atténuation (Aller et al, 1987; Fagnan, 1998).

4.4 Profondeur à la nappe :

Ce paramètre détermine l'épaisseur de matériaux que doit traverser un contaminant avant d'arriver à la nappe. Il permet de déterminer le temps de contact avec le milieu et donc l'influence du milieu et l'efficacité des processus chimiques, de dégradation et d'atténuation d'un contaminant. Le milieu va déterminer le temps de passage des fluides de par ses caractéristiques et la profondeur à laquelle se situe la nappe (Valérie Murat ,2000).

5 Définition de la vulnérabilité :

La prise de conscience de la nécessité de protection de la ressource en eau est présente depuis très longtemps dans nos sociétés. Mais depuis quelques décennies, l'exigence de planification du territoire selon des modalités tolérables pour l'environnement souterrain a contribué au développement de la notion d'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, on peut le remarquer par le développement de nombreuses méthodes d'estimation de la vulnérabilité (Valérie Murat ,2000).

La vulnérabilité est le défaut de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre des menaces de pollution en fonction des conditions hydrogéologiques locales.

On distingue deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique. (Valérie Murat ,2000).

5.1 La vulnérabilité intrinsèque :

C'est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. Elle ne tient compte que des facteurs physiques influençant le mouvement d'un polluant vers la nappe. (Schnebelen, 2002)

5.2 La vulnérabilité spécifique :

C'est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec divers composants de la vulnérabilité intrinsèque. (Schnebelen, 2002)

La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car, d'une façon générale elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation, la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme variant dans le temps ; alors que la vulnérabilité spécifique ne caractérise qu'un instant précis. (Merzougui, 2017)

6 La Pollution

6.1 Définition

On entend par pollution de l'eau, toute modification d'ordre physique, chimique, biologique rendant une eau de surface, une eau souterraine, ou une eau marine toxique ou nocive et par suite inadaptée à un service normal visant à satisfaire les besoins urbains, industriels, agricoles, touristiques et la pêche . (Oukacin, 1994).

Un forage est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont directement ou indirectement modifiés du fait de l'action de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel, ou à certaines d'entre elles. (Oukacin, 1994).

6.2 Principales sources de pollution des eaux

6.2.1 Pollution d'origine urbaine :

Elle résulte de la forte utilisation ménagère de produits destinés au nettoyage. (Eaux de cuisine, eaux de blanchissage de salles de bains, eau de lavage des locaux) (Oukacin, 1994).

6.2.2 Pollution d'origine industrielle :

Les eaux usées d'origine industrielle comportent toute sorte de composés minéraux, organique, chimiques selon la nature du produit fabriqué. (Oukacin, 1994).

6.2.3 Pollution d'origine agricole :

L'utilisation massive d'engrais chimiques en agriculture peut donner à une pollution des nappes par suite de l'entraînement dans le sol des constituants les plus habituellement contenus dans les engrais tels que les pesticides, chlorures et le potassium (Oukacin, 1994)

6.2.4 Pollution d'origine atmosphérique

L'atmosphère terrestre s'il contient des polluants peut être une source non négligeable de pollution. En effet en cas d'orage les sols seront contaminés et le ruissellement et l'infiltration des polluants menacent à la fois les eaux superficielles et les eaux souterraines. Cette contamination qui risque d'être durable cause de grande difficulté de traitement (Oukacin, 1994)

6.3 Les principaux polluants des eaux**6.3.1 Les matières en suspension**

Les matières en suspension sont de fines particules. Présentes naturellement dans l'eau des rivières pour certains (planctons, débris végétaux fins, minéraux), elles sont aussi des polluants d'origine humaine pour d'autres (matières organiques et minérales). Elles peuvent réduire la transparence de l'eau (turbidité), ce qui est néfaste pour la biologie des cours d'eau. (Bencheikh et Goudjile 2011)

6.3.2 Les matières organiques

Certains rejets contiennent des matières organiques, Ces polluants sont biodégradables, ils peuvent être transformés en eau et en CO₂ par des micro-organismes (bactéries, algues) mais cette biodégradation consomme de l'oxygène, qui ne sera donc plus disponible pour la faune aquatique (poissons, crustacés...). C'est pourquoi l'on mesure souvent la pollution organique par " la demande biologique en oxygène" (DBO), autrement dit la quantité d'oxygène qui sera consommée par des micro-organismes pour sa biodégradation. On mesure également " la demande chimique en oxygène" (DCO), c'est à dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder tout ce qui peut l'être par voie chimique. (Bencheikh et Goudjile 2011)

6.3.3 Les matières fertilisantes

La présence d'azote et de phosphore en quantité excessive dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et surtout consomment l'oxygène dissous

dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels, et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés en excès aux cultures. (Bencheikh et Goudjile 2011)

6.3.4 Les polluants métalliques et les polluants chimiques persistants

Certains polluants chimiques sont particulièrement persistants, ils résistent à la dégradation chimique et biologique. Avec les métaux lourds ils forment une famille de polluants très dangereux qui absorbés par des plantes ou des petits animaux, ils s'accumulent et se concentrent tout au long de la chaîne alimentaire, au sommet de laquelle se trouve l'homme. (Bencheikh et Goudjile 2011)

6.3.5 Les sels minéraux

La présence des sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) naturellement dans l'eau est généralement faible, comme elle est variable selon la nature du terrain. Quand l'eau passe entre les différentes couches du sol, celles-ci lui confèrent une composition minérale tout à fait unique, ce qui peut nuire directement à la source et élever la concentration de ces éléments quand elle se trouve en contact avec les ruisselles des rejets industriels. (Bencheikh et Goudjile 2011)

6.3.6 Les polluants microbiologiques

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (baignade, élevage de coquillage). (Bencheikh et Goudjile 2011)

6. La potabilisation d'une eau de forage.

L'eau souterraine, qui est généralement de meilleures qualités que celle de surface peut être vulnérable à la contamination, et des précautions doivent être prises pour assurer un approvisionnement en eau de bonne qualité (Lanjri et al. 2014).

La potabilisation d'une eau passe surtout par trois niveaux de qualité (Unicef, PS-Eau 2012) :

- ✓ **Qualité biologique** : la microbiologie de l'eau fait référence aux microorganismes présents.
- ✓ **Qualité physique** : la qualité physique d'une eau fait notamment référence à sa turbidité et sa couleur.

- ✓ **Qualité chimique** : Une eau de consommation contient beaucoup des substances chimiques, dont un grand nombre est utile. Certaines substances chimiques posent en revanche des problèmes.

7 Qualité physico-chimique de l'eau:

L'attention est attirée sur le fait qu'une évaluation ponctuelle des eaux peut ne pas refléter la qualité globale d'une nappe souterraines ou d'une masse d'eau.

Les analyses physico-chimiques d'eau souterraine font référence à toutes les actions de détermination d'une valeur sur un échantillon, qu'ils s'agissent d'analyses, de mesures, d'observations, etc... Faites en laboratoire ou sur le site de la station de mesure. Les informations relatives aux résultats d'analyse sont fournies par l'organisme chargé de l'analyse, et communiquées sous la responsabilité de l'organisme producteur de données qui confirme ou non le résultat au regard de la connaissance et du contrôle du processus de Production de la donnée et qui s'engage ou pas sur la vraisemblance et la représentativité de la donnée par rapport au milieu où a été réalisé le prélèvement (Sandre ,2011).

8 Paramètres physico-chimiques de l'eau

8.1 Paramètres physique

8.1.1 Température

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle réagit presque en totalité sur les réactions physiques, chimiques et biologiques (Nouayti et al. 2015). Elle se mesure en degré Celsius (°C), comme elle joue un rôle sur la pH et la conductivité.

8.1.2 La Conductivité

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. En effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration....

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus important lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Pescod, 1985. Rodier, 1984). Et elle constitue une bonne appréciation de la minéralisation de l'eau. Une conductivité élevée une quantité de sels dissous très importante (Rodier 1996) et elle donne une idée de la minéralisation d'une eau et elle est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau (HCEFLCD, 2006).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre et les résultats obtenus exprimés en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Classe de conductivité électrique « CE » (Rodier 1996)

Tableau2.1: Classe de conductivité électrique

Classe de conductivité	Valeur [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
Moyenne	500 - 1000
Importante	1000 - 1500
Excessive	1500 – 2000

8.1.3 La turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organique, micro-organismes....), étant souvent lié à des phénomènes pluviométriques dans les eaux superficielles et dans certaines eaux souterraines (nappes peu profondes). La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre. Et sont exprimées en unités et correspondent à une mesure optique de passage de lumière. D'autres unités comparables sont employées, l'unité Néphélométriques de turbidité ou NTU (JOEL. G2003).

Tableau2.2 : Classes de turbidités (NTU) .(JOEL. G2003).

NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

8.1.4 Dureté :

Dureté de l'eau semble venir de ce qu'il était dur de laver avec une telle eau. Sauf exception très particulière, la dureté à un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Rodier, 1976)

9 Les paramètres chimiques

9.1 Le pH

Le pH appelé encore potentiel Hydrogène mesure la concentration des ions H_3O^+ dans une solution aqueuse. Le pH permet ainsi de connaître l'acidité de l'eau. Il a été rapporté que le pH et la turbidité sont parmi les facteurs qui peuvent affecter la sensibilité de l'IMS, dont le facteur le plus important est la concentration en anhydride carbonique lié à la minéralisation (Rodier 1996) et dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966). Il ressort que le pH n'a qu'un effet direct sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples. Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Chapman et al, 1996).

9.2 Ions majeurs :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium, et anions: Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes. (CHAPMAN D 1996)

9.3 Les Cations

9.3.1 Calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc (Rodier, 1976)

9.3.2 Magnésium

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires, dolomitiques, du jurassique ou du trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasser rarement 15 mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates (Rodier, 1976).

9.3.3 Sodium

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sable, argile, évaporite). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ions Na^+ , par le processus d'échange de bases (Rodier, 1976).

9.3.4 Potassium

Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (Rodier, 1976).

9.4 Les anions

9.4.1 Sulfate

D'une façon générale, la présence de sulfate dans les eaux naturelles non polluées invoque la présence de gypse ou de pyrite. Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfure, sulfates et soufre élémentaire). Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains minéraux : gypse, baryte... La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre (Peck, 1970).

9.4.2 Chlorure

La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium. Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives. (Humbert et Pommier, 1988 in Tarik, 2005).

9.5 Les éléments en trace

9.5.1 Fer :

Très répandu, le fer se classe au 4^{ème} rang des éléments de la croûte terrestre. Il est largement utilisé dans la métallurgie et ses utilisations secondaires dans la chimie sont très variées. Les eaux minérales et principalement les eaux thermo-minérales peuvent en contenir plus de 10 mg/l (Rodier, 1976).

9.5.2 Nitrite

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, l'azotification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action de nitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (Rodier, 1976).

10 Les normes de la qualité des eaux souterraines

Les tableaux suivants ont été construits à partir de la nomenclature de l'OMS. Les valeurs guides sont données d'après les Directives de qualité pour l'eau de boisson, 2ème édition 1994 OMS, et correspondent aux principaux paramètres retenus dans les normes de qualité d'eau de boisson.

10.1 Norme de potabilité des eaux OMS et les normes algériennes

Tableau 2.3 : Normes des Paramètres physico-chimiques (Source : Rodier, 1996. et JORA, 2014)

Paramètres	Unité	Valeurs guide OMS (mg/l)	Les normes Algériennes (mg/l)
Ph	Unité pH	$6.5 \leq \text{PH} \leq 9.2$	$6.5 \leq \text{PH} \leq 9$
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Pas de norme	2800
Température	$^{\circ}\text{C}$	25	25
Turbidité	NTU	5	5

Tableau 2.4 : Normes des Paramètres physico-chimiques(Ions) (Source : Rodier, 1996.et JORA, 2014)

Paramètres	Valeurs guideOMS (mg/l)	Les normesAlgériennes(mg/l)
Calcium	Pas de norme	200
Magnésium	100	Pas de norme
Nitrites	3	0.2
Chlore	250	
Dureté	500	500
Phosphate	0.5	5
Potassium	12	12
Sulfates	250	400
Fer	0. 3	0.3
Ammonium	0,5	0.5
Chlorure	250	500
Sodium	200	200
Nitrate	50	50

11 Conclusion

Dans le cadre de ce travail, on a essayé de synthétiser des informations bibliographiques essentielles sur une étude de la qualité physico-chimique des eaux souterraines en générale ainsi que les normes internationales à respecter pour préserver cette denrée qui relève de l'avenir des générations futures, Car le siècle que nous vivons se repose sur la présence et l'utilisation rationnelle de l'eau.

1 Introduction :

Durant la période du stage j'ai eu l'occasion d'effectuer plusieurs sorties en collaboration avec le groupement personnelle de la direction des ressources en eaux on a constaté que la qualité de l'eau de cette zone est sous l'influence de plusieurs facteurs naturels.

L'étude de la pollution des eaux souterraines dans le moyen Sébaou permet de poser la main sur les principaux facteurs intervenant dans la vulnérabilité à la pollution de ces eaux. On présente dans ce chapitre les différentes conditions qui caractérisent la zone d'étude.

2 Présentation du bassin versant d'oued Sébaou :

2.1 Situation géographique :

Le Sébaou est situé dans la partie septentrionale de l'Algérie à une centaine de kilomètres à l'Est d'Alger et à moins de 50 Km au sud du littoral méditerranéen. Il occupe la moitié de la superficie totale de la wilaya de Tizi-Ouzou qui s'étend sur une superficie de 2500Km² et pour un périmètre de 250Km, avec un réseau hydrographique très développé. (AZI et AFIRI, 2005)

Il est délimité comme suit :

- ✓ Au Nord par la chaîne littorale de la mer méditerranée.
- ✓ Au Sud par la chaîne du Djurdjura (wilaya de Bouira).
- ✓ A l'Est par les massifs d'Akfadou.
- ✓ A l'Ouest par le bassin versant des Isser.

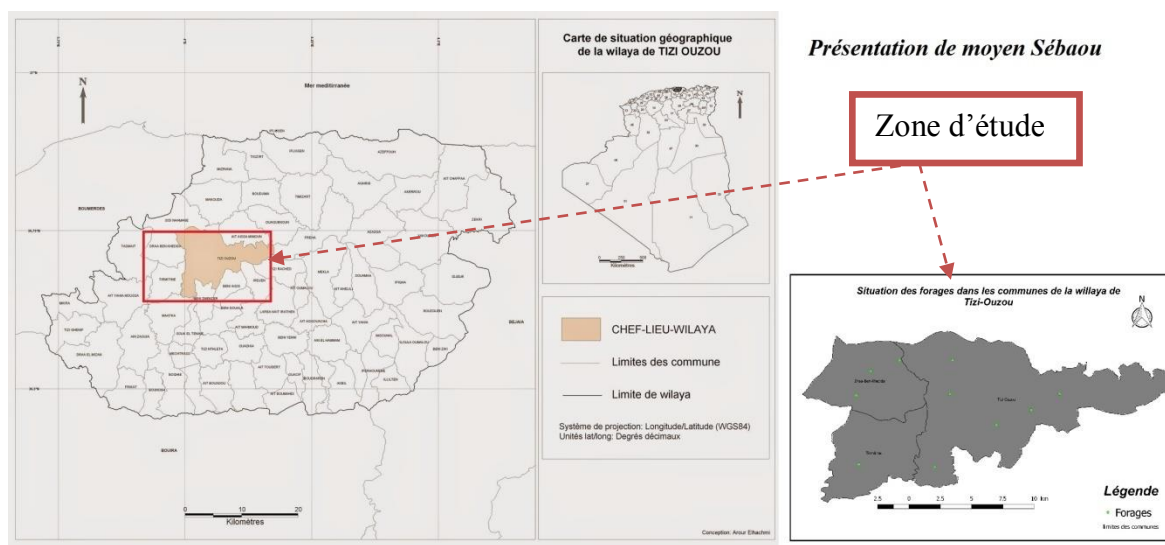


Figure 3.1 localisation de moyen Sébaou

Le bassin versant de l'oued Sébaou comprend trois grands sous bassin (Haut Sébaou, Moyenne Sébaou et le Bas Sébaou). Il se positionne entre les latitudes Nord ($36^{\circ}30'$ et $37^{\circ}00'$) et les longitudes Est ($03^{\circ}30'$ et $04^{\circ}30'$). Il s'intègre dans les bassins versants des côtières Algérois codés (02), selon la nomenclature de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH, T.O).

La région est caractérisée par une population dense localisée au niveau de nombreux villages perchés sur des crêtes. (M. BOUADJELA 2013).

Les sous bassins versants du Sébaou présentent un allongement Est- Ouest pour le haut Sébaou, NE- SW pour le moyen et Nord- Sud pour le bas Sébaou. (Source : ANRH, T.O)

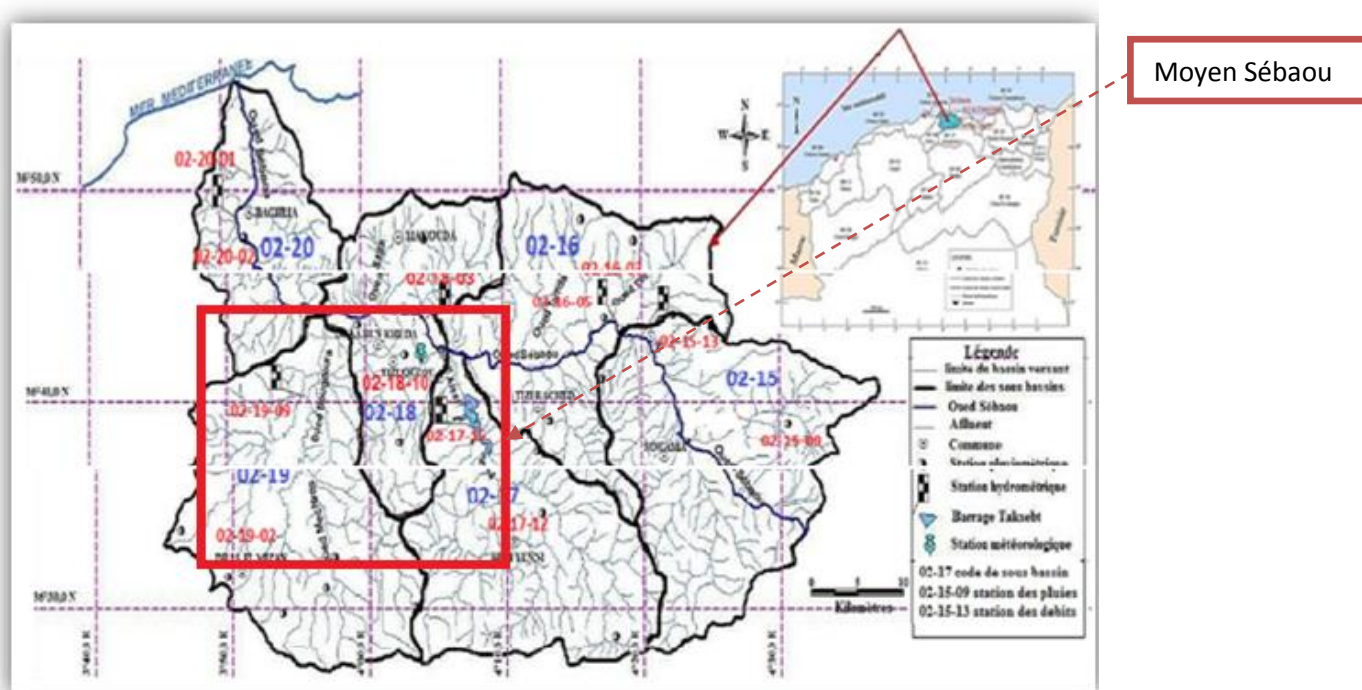


Figure 3.2: Localisation géographique du bassin versant de l'oued Sébaou.
(ZEROUALI, 2015).

Le présent travail porte sur l'étude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe du moyen Sébaou.

2.2 Le moyen Sébaou :

La situation géographique et la superficie du moyen Sébaou qui s'étale d'est en ouest sur 40 Km, entre 60 et 200m d'altitude, sa localisation entre plusieurs villes de fortes densité en populations à partir des gorges de Balloua situées à 3km à l'est de Tizi-Ouzou jusqu'à la région de Fréha, et la forme de Son lit qui est relativement plat, avec une pente moyenne de l'ordre de 0,3% et qui peut atteindre dans certains endroits une largeur de plus de 200m, on

trouve sur son parcours d'importantes sablières induisant, par les extractions de granulats, et qui ont fortement collaboré à des perturbations du milieu et du parcours d'eau de (Oued Sébaou) la réception également des rejets urbains notamment ceux des villes de Fréha, Tamda et TIZI-OUZOU et industriels comme ceux de l'Entreprise National Electronique (ENEL), l'Entreprise National Algérienne de transformation du Bois (ENATB), l'Entreprise National Industrielle d'électroménager (ENIEM) ont participé à la contamination des nappes profondes. (AZI et AFIRI, 2005)

3 Géomorphologie

La première unité morpho structurale est la chaîne du Djurdjura, elle représente la marge méridionale de notre domaine d'étude. Elle culmine à Lala-Khedidja (2308m) et à Ras-Timédouine (2305m). La chaîne du Djurdjura se présente sous forme d'un arc, très peu étendu et étroit qui s'achève à l'Est par l'élément isolé, le massif de Chellata.

La seconde unité est le socle kabyle, il domine le bassin de Tizi-ouzou au Nord et assure la transition avec la chaîne du Djurdjura au Sud.

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

Entre la chaîne littorale au Nord et le socle Kabyle au Sud, se trouve le synclinal de Tizi-ouzou qui contient les marnes du miocène post-nappé. L'oued Sébaou traverse tous les ensembles morphostructuraux de la région. (M.BOUADJELA 2013).

4 Géologie de la vallée du Sébaou :

La vallée du Sébaou est constituée par des dépôts détritiques où sont incorporés des horizons argileux discontinus. Cette formation détritique d'âge quaternaire représente L'aquifère de la vallée constituant le remplissage d'un synclinal à cœur miocène, on retrouve dans cette dernière un matériau hétérogène, formé de sable galet, graviers et limons.

La lithologie et la tectonique ont imposé une grande diversité de paysages et une surface d'extension de la vallée limitée où se côtoient des reliefs parallèles d'orientation Est-ouest et des dépressions renfermant des plaines étirées, plus étendues vers l'aval.

La vallée de l'oued Sébaou est une dépression comblée d'alluvions formant un complexe de terrasses. (M.BOUADJELA 2013).

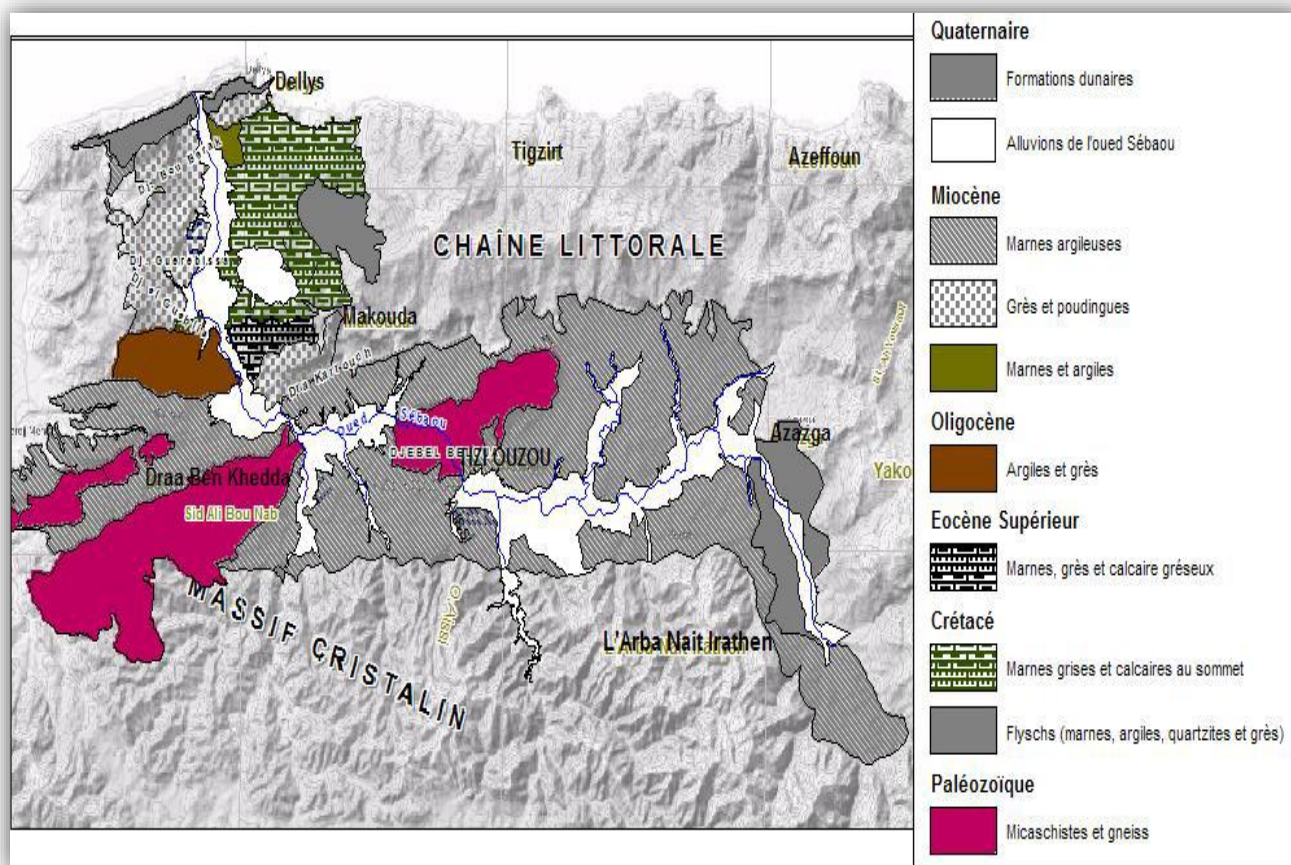


Figure 3.3: Formations géologiques de la vallée du moyen Sébaou (ANRH, T.O, 2013)

5 Hydrogéologie

L'extension et la répartition spatiale des alluvions, en section longitudinale et transversale sont déterminées, par les recherches géophysiques (C.G.G.1964).

Dans le moyen Sébaou, la nappe alluviale s'étend sur 13 km de long et 3 km de large. L'épaisseur du remplissage alluvial est de l'ordre de 30 m, les coupes géo électriques et hydrogéologiques montrent l'existence d'horizons argileux discontinus incorporés dans la masse détritiques résistante.(M. BOUADJELA 2013).

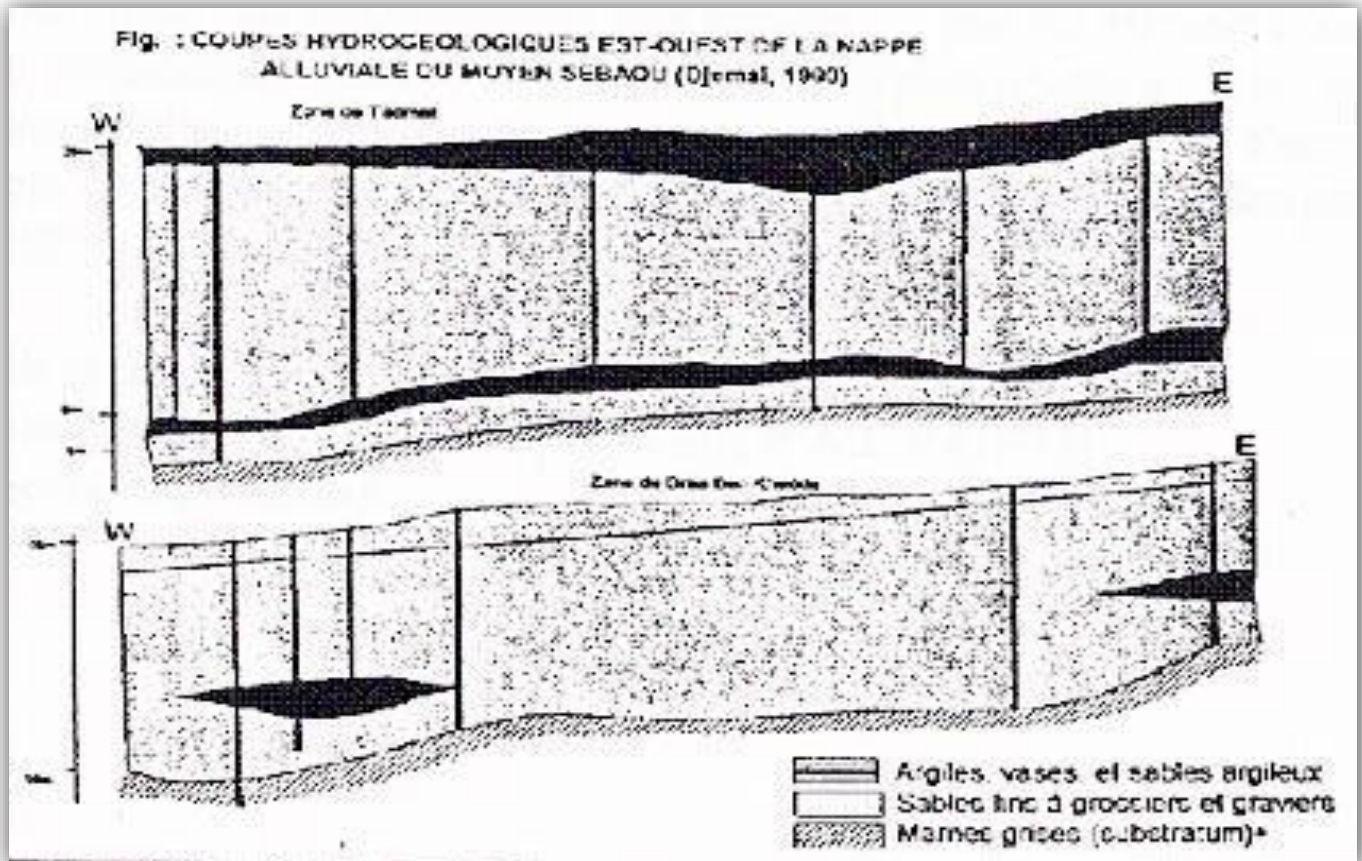


Figure 3.3 Coupes hydrogéologiques E-O de la nappe alluviale du moyen Sébaou (ANRH, T.O, 1993)

6 Climatologie

Le climat de la région est tempéré, méditerranéen. La grande Kabylie est une des régions les plus humides de l'ALGERIE, dont on distingue deux périodes à savoir, une période sèche allant du mois de juin au mois de septembre et une période humide allant du mois d'octobre au mois de mai.

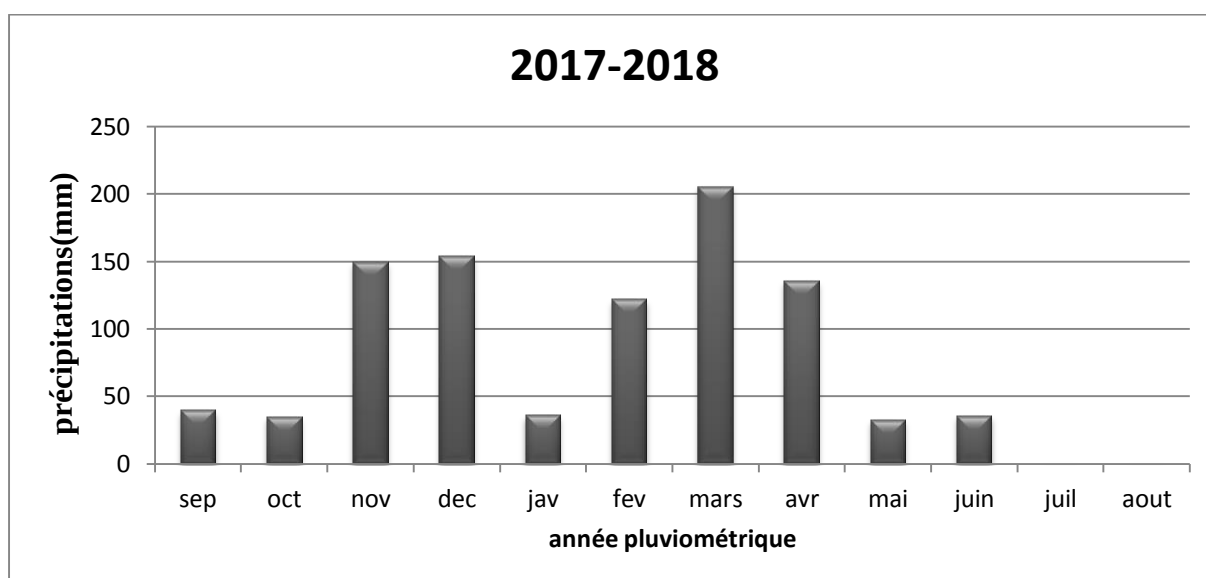
L'évolution des précipitations à la station de TIZI OUZOU montre bien ces deux périodes durant les deux dernières années.(DRA,T.O)

6.1 Pluviométrie

Vue son emplacement géographique proche de la mer méditerranéenne cette région se caractérise par la présence de fortes pluies durant la saison humide. Dans tout le bassin de Sébaou la quantité annuelle des précipitations atmosphériques dépassent 700mm (pour l'année 2018).

Tableau 3.1 : Précipitations moyennes mensuelle à la station de Tizi-Ouzou (DRE, T.O)

Année pluvio	sep	oct	nov	dec	jav	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	Cumule année (mm)
2017-2018	39.60	34.80	149.70	153.50	35.80	121.70	205.50	135.40	32.70	35.50	0.00	0.00	944.20

**Figure3.4: pluviométries mensuelles de l'année 2017-2018.**

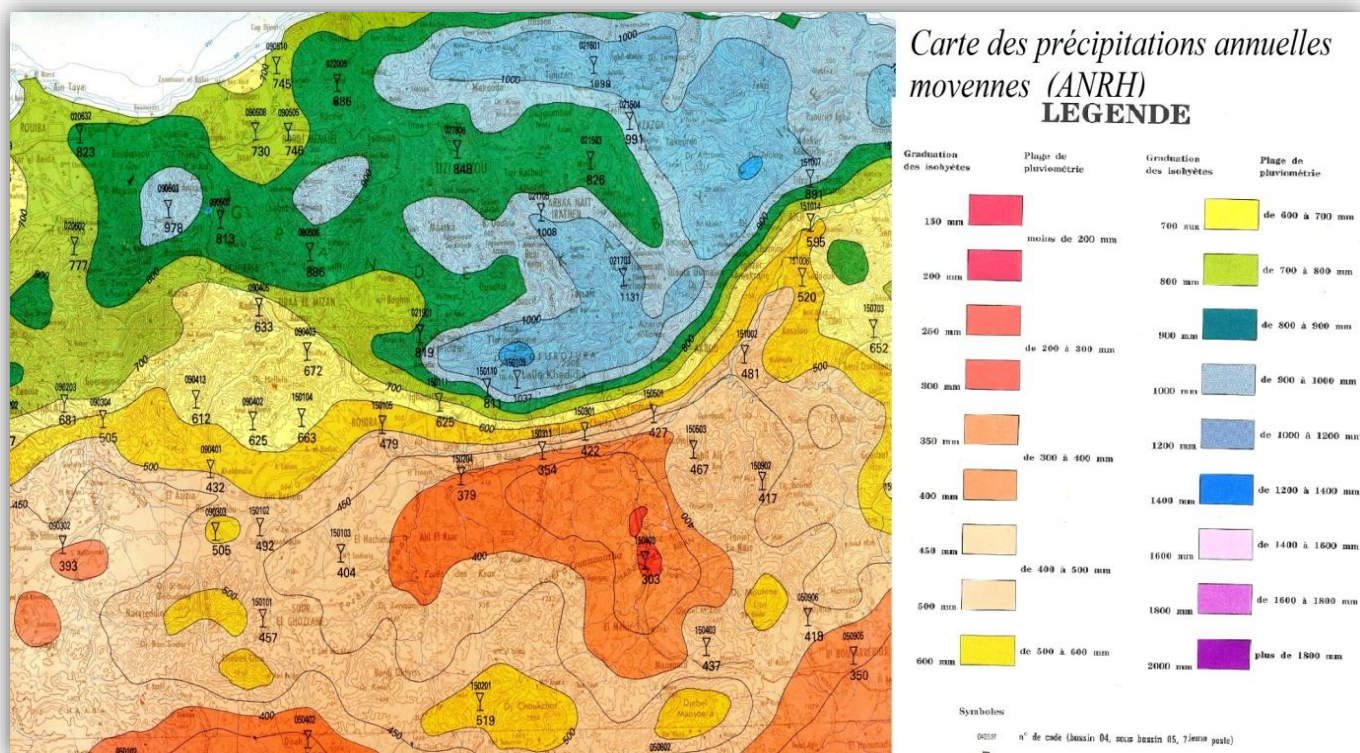


Figure 3.5 : Carte des précipitations annuelles moyennes (ANRH, 1993)

D'après la carte des précipitations annuelles moyennes on voit que les précipitations dans notre zone d'étude sont de 800 à 900 mm.

La distribution mensuelle en pluie est très irrégulière, elle est forte (90%) durant la saison humide, et très faible (10%) pendant la saison sèche (DRE, T.O, Y. CHADRINE ,1973)

6.2 Température

La température moyenne de plusieurs années (2004, 2005, 2015, 2016) dans tout le bassin est déterminée d'après les données des observateurs sur Cinq stations, elle est de 17,6°C. (AZI et AFIRI, 2005), (ADE, T.O), (ANRH, T.O) La différence entre la température mensuelle moyenne la plus haute et la plus basse varie de 6°C à 35°C au centre de la nappe Sébaou. Les mois les plus chauds sont les mois d'été ou la température moyenne maximale est de 30 à 50°C. Par contre les plus froids ayant la température mensuelle moyenne minimale de 3°C sont les mois d'hiver.

L'humidité de l'air varie dans de grandes limites, de 40 à 50% en été et 75 à 80% en hiver. (Y. CHADRINE, 1973)

7 Végétation

La végétation est un facteur qui influence sur le ruissellement superficiel, l'évaporation et la capacité de rétention. Elle exerce une protection mécanique en diminuant la force vive des eaux et en favorisant l'infiltration et l'interception.

Dans la Kabylie (moyen Sébaou), la couverture végétale est dense et varie en fonction de l'altitude. L'étude de la répartition des associations du réseau hydrographique, permet de distinguer au niveau du bassin de l'oued Sébaou (AZI et AFIRI, 2005), (DRE, T.O) :

-En altitude supérieure à 1100 m, une végétation constituée principalement de pelouses écorchées à xérophytes épineux et rampants, avec quelques pieds de cèdres très épars.

-Entre 500_1100 m d'altitude, une forêt de chêne se présentant sous forme de maquis dense à la suite d'agressions anthropiques : coupe, surpâturage, incendie. Par endroit, elle se mélange à l'olivier formant ainsi une formation mixte chêne vert- olivier.

-Dans les piémonts (200-400m), l'olivier reste l'arbre dominant par l'arboriculture fruitière. Sur les terrasses alluviales, peuvent se trouver du frêne, du merisier, du figuier, et du grenadier.

En plaine, la végétation est représentée principalement par des cultures de grandes productivités : figuiers, orangers, citronniers, pommiers, poiriers, la vigne et surtout les cultures maraîchères. (AZI et AFIRI, 2005)

Ces groupements végétaux jouent un rôle protecteur contre l'érosion et empêchent le réchauffement excessif des eaux en été par l'insolation. D'autre part, ils constituent une importante ressource en matière organique consommable par certaines catégories de la faune aquatique.

8 Impacts humains

En Kabylie (moyen Sébaou), les zones montagneuses prédominent sur les plaines, où se concentrent les populations humaines et leurs activités agricoles et industrielles. En conséquence, de nombreuses grandes villes sont situées près des parties inférieures des cours

d'eau qui reçoivent les effluents urbains, industriels et ceux provenant de l'agriculture intenses.

Oued Boubhire est un exemple concret qui présente le cours d'eau le plus atteint d'oued Sébaou, on trouve dans sa partie amont que la pollution est essentiellement d'origine domestique et agricole cumulée au pompage de l'eau tandis que dans sa partie aval la pollution a plusieurs origines : industrielle, agricole et urbaine. (AZI et AFIRI, 2005),

Selon l'origine de la pollution on distingue :

- ✓ La pollution domestique provenant des eaux issues de la cellule d'habitation familiale, ces eaux renferment des matières organiques et de détergents.
- ✓ La pollution agricole provenant de l'agriculture, de l'élevage et de l'aviculture qui sont responsables du rejet de nombreux polluants inorganiques dans les eaux souterraine.
- ✓ La pollution industrielle provenant des usines, elle se caractérise par : matières organiques et graisses hydrocarbures, métaux, acides, bases, produits chimiques divers, eau chaude matières radioactives.(M. BOUADJELA 2013).

Parmi les unités industrielles situées dans la ville de TIZI-OUZOU et qui provoquent la pollution de la nappe de Sébaou, on distingue :

- ENIEM : dont les principaux rejets sont le cyanure et les chromates.
- COTITEX : les eaux rejetées par Cotitex sont fortement polluantes car elles contiennent des colorants et des teintures.
- ✓ La pollution provoquée par l'extraction anarchique du sable, elle déstabilise le fond du lit avec une modification de sa morphologie et une remise en suspension accrue des éléments fins.Ce phénomène réduit la production primaire et par conséquent contribue à l'altération des écosystèmes aquatique. (DRE, T. O), (M. BOUADJELA 2013).

9 Conclusion

L'étude minutieuse des différents paramètres cites dans ce chapitre évoluera encore nos connaissances et nous permettra d'évaluer la gravité et le danger de la pollution de la ressource en eau souterraine qui constitue le concept de base pour l'étude de la vulnérabilité a la pollution des eaux de la nappe alluviale de moyen Sébaou.

1 Introduction

Le présent chapitre consiste à présenter le protocole analytique ainsi que le matériel utilisé en vue d'examiner la qualité physico-chimique de l'eau des forages dans la nappe de moyen Sébaou. Tous les essais expérimentaux ont été menés au laboratoire central de l'ADE de Tizi-Ouzou.

2 Échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, il convient que le préleveur est une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytique. Le mode de prélèvement varie suivant l'origine de l'eau.

Pour ce travail, les échantillons sont recueillis dans des flacons en vers, rincés au préalable avec de l'eau distillé. Ces flacons sont de nouveau rincés trois fois avec de l'eau à analyser au moment du prélèvement. Puis, ils sont remplis jusqu'aux bords pour éviter toute pénétration d'air. Chaque flacon doit être accompagné d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements au laboratoire et comportera les renseignements suivants :

- ✓ L'origine de l'eau
- ✓ Nom du point d'eau et localisation précise.
- ✓ La date et l'heure de prélèvement
- ✓ Ville ou établissement que l'eau alimente.
- ✓ Température de l'eau à l'émergence au moment du prélèvement

Les échantillons sont directement prélevés des robinets placés spécialement pour cette fin après avoir laissé couler l'eau pendant un certain temps (5 à 10 minutes).

2.1 Conservation des échantillons :

D'une façon générale, les échantillons ont été conservés et transportés au frais dans des glacières et les analyses ont été effectuées le plutôt possible en raison de l'évolution chimique de certains ions.

2.2 Choix et localisation des points de prélèvement :

Dans le cadre du choix des points de prélèvement, on a choisi 10 forages de la nappe alluviale localisée dans le moyen Sébaou.

Le tableau ci-dessous regroupe des informations indispensables sur les dix points d'eaux sélectionnés.

Tableau 4.1 : Informations techniques des forages : (Source : DRE, T.O)

Nom de forage	Latitude Y	Longitude X	Elévation (m)	Profondeur (m)	Année de réalisation	Débit exploité (l/s)	Débit mobile (l/s)
BK-3	36°45'9.47"	4°1'9.82"	50	32	1983	20	30
BK-4	36°45'10.33"	4°0'59.87"	50	28	1985	20	30
BK-2	36°45'8.02"	4°1'13.96"	50	31	1983	15	30
DR3	36°43'28.24"	3°57'20.67"	42	26	1994	10	20
1_5	36°45'12.44"	3°55'32.05"	31	36	2009	10	10
SM-4	36°42'20.62"	4°6'48.47"	76	22	1992	5	10
PB06	36°43'9.02"	4°5'8.41"	66	20	2004	10	10
DR2	36°44'1.29"	3°56'57.19"	37	30	1988	10	12
F-2bis	36°42'50.76"	3°56'48.50"	37	26	1984	20	46
B8-D6X	36°41'16.74"	3°56'28.21"	56	35	1983	10	12.5

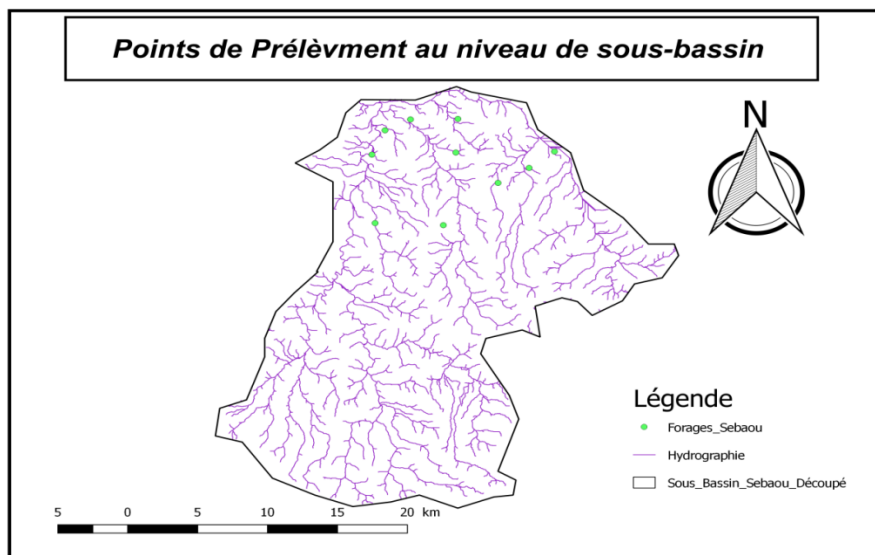


Figure 4.1 Situation des forages dans le sous bassin

3 Appareillage

Lors de ce travail expérimental, on a employé Cinq appareils dont le principe de fonctionnement est résumé dans ce qui suit :

3.1 pH mètre AD1000

La détermination électro métrique du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel-KCI saturé) plongeant dans une même solution.

Cette différence de potentiel est une fonction linéaire du pH de la solution.

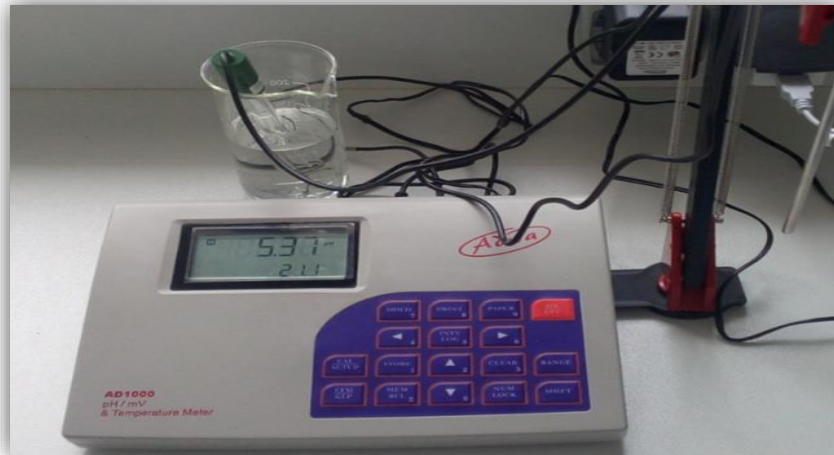


Figure 4.2 : pH mètre utilisé pour la mesure

3.2 Turbidimètre 2100N :

L'appareil employé fonctionne sur le principe de la mesure diffusée. La longueur d'onde de la radiation incidente est de 860 nm comme recommandé dans la méthode ISO 7027 et ce, afin d'éviter l'influence des matières dissoutes absorbant la lumière. La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.



Figure4.2 : Turbidimètre utilisé pour la mesure

3.3 Conductimètre WTW inoLab 720

Un conductimètre est un appareil permettant de mesurer la conductivité d'une solution. Il est constitué de deux parties : un boîtier électronique qui affiche la valeur de la conductivité et d'une cellule qui mesure cette valeur. La mesure de la conductivité se fait en courant alternatif pour éviter la polarisation des électrodes. L'appareil mesure la tension aux bornes d'une cellule plongeant dans la solution à étudier et l'intensité du courant qui y circule.

3.4 Spectrophotomètre à flamme :

Lorsqu'une solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau s'évapore, les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés à l'état d'atome ou de radicaux. Ceux-ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme leur permettant ainsi d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie. Ce dernier est lié à la concentration de l'élément considéré.



Figure 4.3 : Spectrophotomètre à flamme utilisé pour la mesure

3.5 Spectrophotomètre DR 3900 :

La lumière d'une lampe tungstène est réfléchiée par un miroir parabolique et dispersée par un double passage à travers un prisme; la longueur d'onde choisie est reçue sur une fente mobile. Lorsque le faisceau lumineux traverse la solution colorée une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration du composé coloré.



Figure 4.4: Spectrophotomètre utilisé pour la mesure

4 Réactifs et technique d'analyse

Les méthodes de mesure utilisées sont : volumétriques, gravimétriques, titrimétrique

4.1 Détermination du pH

Une méthode électrométrique est utilisée pour la détermination du pH de l'eau. Elle s'applique aux eaux de distribution, souterraines, de surface et les eaux minérales dont la température est comprise entre 0 et 60°C.

La zone de détermination de cette méthode s'étend de pH 4,00 à pH 10,00. La mesure du pH se fait selon l'instruction de travail du pH mètre concerné, Les mesures sont exprimées en unités de pH et les résultats sont affichés directement sur l'écran de l'appareil (pH mètre AD1000). (LABORATOIRE ADE, T.O).

4.2 Détermination de la conductivité

Cette mesure de conductivité a pour objet de décrire une méthode électrique pour la détermination de la conductivité des eaux. Elle s'applique aux eaux de distribution, souterraines, de surface et eaux usées. La zone de détermination de cette méthode s'étend de 50 à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les mesures de conductivité se font selon l'instruction de travail de l'équipement concerné, elles sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la température de 25°C.

La température est automatiquement corrigée par l'appareil de mesure et les résultats sont affichés directement sur l'écran de l'appareil. (LABORATOIRE ADE, T.O).

4.3 Détermination de la turbidité

- ✓ La mesure de turbidité s'applique aux eaux de distribution, souterraines et de surface.
- ✓ La zone de détermination de cette méthode est de 0 à 4000 NTU.
- ✓ Si les échantillons ont été conservés au froid, les laisser revenir à température ambiante avant d'effectuer la mesure. Eviter tout contact entre l'échantillon d'eau et l'air et toute variation non indispensable de température de l'échantillon.
- ✓ L'échantillon doit être bien homogénéisé.
- ✓ Les résultats sont exprimés en NTU si cette unité est sélectionnée.

5 Dosage des éléments chimique parspectrométrie

5.1 Les nitrites(NO_2^-)

5.1.1 Réactif mixte

Dissoudre 40 gr d' amino-4 benzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) dans un mélange formé de 100ml d'acide orthophosphorique et de 500ml d'eau. Ajouter 2 gr de dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2-2\text{HCl}$), compléter le volume à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

5.1.2 Dosage

Introduire 50 ml d'échantillon, ajouter 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 mn. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- . Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm). Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités des réactifs mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai. Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l des nitrites. Puis ils sont retranscrits sur la feuille des résultats puis dans une trame informatique. (LABORATOIRE ADE, T.O).

5.2 Phosphore(PO_4^{3-})

5.2.1 Réactif

- 1) Acide ascorbique, solution, $\rho = 100 \text{ g/l}$
- 2) Réactif mélange (solution molybdate acide)

5.2.2 Dosage

Introduire 40 ml d'échantillon, ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2mL de réactif mélange dans une fiole jaugée de 50 ml. Compléter le volume.

Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai. (LABORATOIRE ADE, T.O).

5.3 Ammonium (NH_4^+)

5.3.1 Réactif

- 1) Réactif coloré
- 2) Solution de Dichloroisocyanurate de sodium

5.3.2 Dosage

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

- ✓ 4 ml du réactif coloré homogénéisé ;
- ✓ 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.

Après au moins 60 mn, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm. Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l d'ammonium. (LABORATOIRE ADE, T.O).

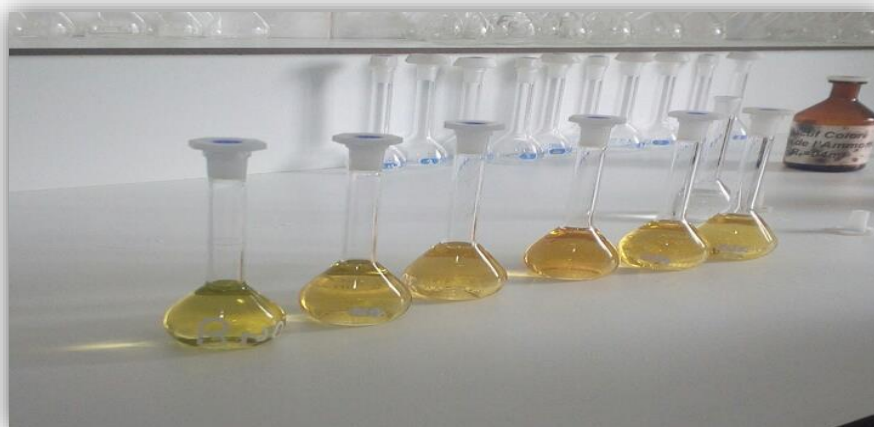


Figure4.5: dosage d'ammonium réalisé au niveau de laboratoire

5.4 Nitrates (NO_3^-)

5.4.1 Réactifs

1. Solution de Salicylate de Sodium à 0.5%
2. Solution d'hydroxyde de Sodium à 30%.
3. Solution de tartrate double de sodium et de potassium
4. Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.

5.4.2 Dosage

- ✓ Introduire 10ml d'eau à analyser
- ✓ Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de Sodium à 30%
- ✓ Ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium à 0.5 %
- ✓ Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C ;
- ✓ Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré
- ✓ Laisser reposer 10 minutes ;
- ✓ Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- ✓ Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium

Faire la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm et les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l des nitrates.(LABORATOIRE ADE, T.O).

5.5 Le fer (Fe^{2+})

5.5.1 Réactifs

Tous les réactifs seront préparés à partir d'eau distillée exempte de toutes traces de fer. Ces réactifs sont :

1. Solution d'acide chlorhydrique à 10%
2. Solution de Peroxodisulfate de potassium à 40 g/l
3. Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 100 g/l
4. Solution de phénantroline-1,10
5. Solution tampon acétate

5.5.2 Dosage

- ❖ Prendre comme prise d'essai, 50 ml d'eau à analyser.
- ❖ Transvaser la solution dans une fiole de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution
- ❖ Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5.
- ❖ Ajouter 2 ml de la solution phénantroline et conserver pendant 15 min à l'obscurité.
- ❖ Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV VIS en utilisant une cuve de 10 mm²
- ❖ Procéder de la même façon pour l'analyse de l'échantillon. Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l du fer.

6 Dosage par méthode titrimétrique

6.1 Détermination de l'alcalinité titre alcalimétrique simple (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)

La présente méthode d'essai a pour objet de déterminer l'alcalinité d'une eau par la mesure du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC). L'opération est effectuée en utilisant un pH-mètre. (LABORATOIRE ADE,T.O).

Cette méthode s'applique aux eaux de distribution, souterraines, de surface et les eaux minérales dont la température est comprise entre 0 et 60°C. Elle comporte la description d'une méthode volumétrique applicable dans tous les cas où la présence de substances qui tamponnent les ions hydrogène dans les zones de pH 4.3 et 8.3 n'est pas à craindre, elle est mise en œuvre à l'aide d'un pH-mètre.

- ✓ Amener 100 ml d'eau à analyser au pH 4.3 ; Soit V2 le volume total d'acide employé. Si le pH est supérieur à 8.3 verser lentement l'acide chlorhydrique pour obtenir cette valeur .Noter le volume V1 lu.
- ✓ Suivre les instructions de l'utilisation du PH mètre



Figure4.6: Détermination de TAC

- ✓ Les résultats de titre alcalimétrique simple (TA) et de titre alcalimétrique complet (TAC), exprimés en mg/l par litre sont donnés respectivement par les expressions :
$$TA = (V1 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des carbonates} / V$$
$$TAC = (V2 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des bicarbonates} / V$$
Avec :
 - Masse molaire des bicarbonates = 61mg
 - Masse molaire des carbonates = 60mg

- V est le volume en millilitres, de la prise d'essai (100) ml.
- V1 est le volume de la solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,01 N versé de la burette.
- V2 est le volume d'acide chlorhydrique en millilitres

6.2 Dosage du calcium méthode titrimétrique à l'EDTA

Dans ce cas l'analyse titrimétrique à l'EDTA a pour objet la détermination du dosage de calcium. Elle est applicable pour les eaux souterraines, les eaux de surfaces et les eaux destinées à la consommation humaine. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en quantités interférentes.

Elle est applicable aux eaux dont la teneur en calcium varie de 2 à 100 mg/l. Pour les eaux contenant plus de 100 mg/l de calcium, une dilution de l'échantillon doit être effectuée. La méthode n'est pas applicable aux eaux de mer et eaux du même type à forte teneur en sels. (LABORATOIRE ADE, T.O).

6.2.1 Réactifs

- 1) Hydroxyde de sodium, solution 2 N
- 2) EDTA, solution titrée 0,01 mol/l
- 3) Murexide (indicateur)

6.2.2 Dosage

- Prélever 50 ml de l'échantillon,
- Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et une pincée d'indicateur (Murexide). Bien mélanger le tout.
- Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement.
- Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette.
- La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

6.3 Dosage de la dureté totale (somme du calcium et magnésium) par méthode titrimétrique à l'EDTA

Cette méthode titrimétrique d'essai a pour objet de déterminer la dureté totale d'une eau. Elle est applicable pour les eaux souterraines, les eaux de surfaces et les eaux destinées à la consommation humaine. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en

quantités interférentes. Ce dosage n'est pas applicable aux eaux de mer et eaux du même type à forte teneur en sels. (LABORATOIRE ADE, T.O).

6.3.1 Réactifs

- 1) EDTA, solution titrée à 0,01 mol/l
- 2) Solution tampon pH 10
- 3) Mordant noir 11, indicateur

6.3.2 Calcul de facteur de correction (Fc)

Prendre 50 ml de la solution de référence calcium à 100 mg/l. S'en servir pour titrer la solution d'EDTA en versant lentement l'EDTA jusqu'au virage au violet.

Lorsque la coloration violette est obtenue, noter le volume d'EDTA versé. Le facteur de correction Fc est égal à :

$$Fc = \frac{\text{volume versé}}{\text{Volumethéorique}(12.5ml)}$$

Si : $0,96 \leq Fc \leq 1,04$, alors la solution d'EDTA est utilisable pour le dosage.

1.1.1 Dosage

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 4 ml de la solution tampon (2) et une pincée d'indicateur NET (3). Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose. Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA (1), en versant lentement jusqu'au virage au bleu.

La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA. La concentration totale en ions calcium et magnésium, exprimée en °F, est donnée par la formule :

$$TH = V2 \times 2 \times F \times Fc$$

TH : dureté exprimée en °F

V2 : est le volume d'échantillon dosé, en millilitres

Fc : facteur de correction

F : facteur de dilution

7 Dosage par méthode gravimétriques

7.1 Dosage du sodium et du potassium

Pour une prise d'essai de 100 ml d'échantillon, il faut le suivre les étapes suivantes :

1. Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz et laisser se stabilise 5 à 10 min.
2. Une fois qu'elle se stabilise a zéro activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de **Na+** ou du **K+** a 10 mg/l
3. Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de « **Na+** ou du **K+** » a 10 mg/l
4. A la fin analyser les échantillons jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable.

Remarque : A la fin du dosage et par mise de la sécurité il faut toujours fermer la bouteille de gazpropane en premier lieu ensuite l'appareil.

8 Représentation des résultats sur les diagrammes de Piper et de Schoëller Berkloff

8.1 Le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. 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, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée l'échantillon considéré. (M. BOUADJELA 2013).

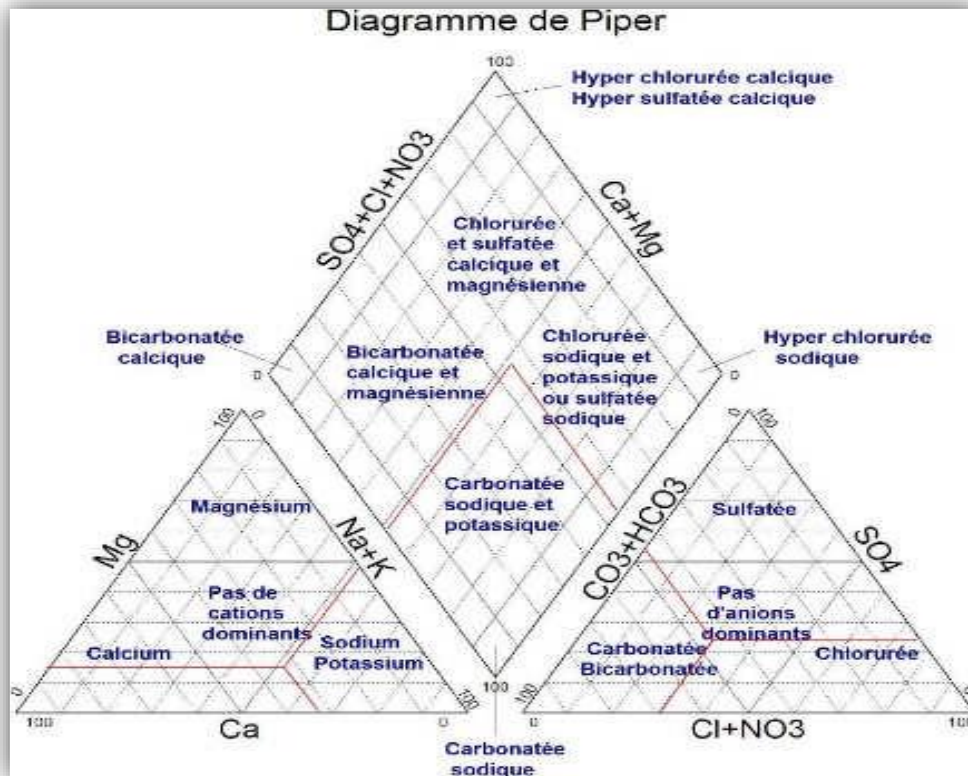


Figure 4.7 : Diagramme de Piper

8.2 Le diagramme vertical (Schoëller Berkloff).

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

Le diagramme de Schoëller-Berkloff ne permet pas présenter un nombre important d'analyses, mais autorise une comparaison quantitative des analyses, l'unité utilisée n'est plus un rapport (%) mais le meq/l. (M. BOUADJELA 2013).

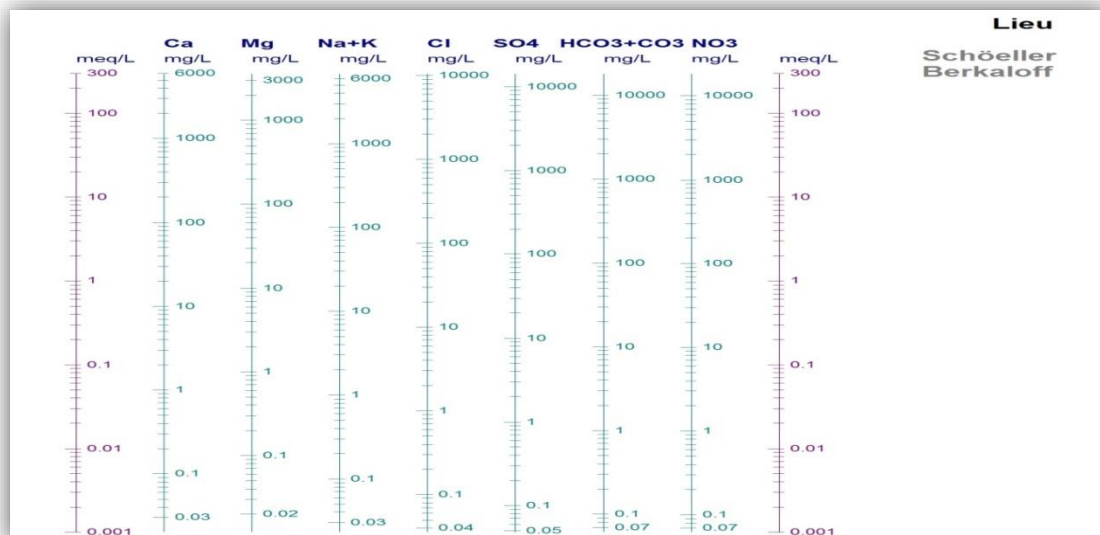


Figure 4.8 : Diagramme de Schoëller-Berkaloff

9 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter la procédure expérimentale suivie pour la réalisation de nos essais en laboratoire.

1 Introduction

Les eaux souterraines présentent toujours une certaine concentration des différents éléments chimiques élevée. Ces concentrations ne doivent pas dépasser un certain seuil défini par les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les services de la santé publique (Djemmal, 2009).

Le principal objectif de ce chapitre est de déterminer à travers les résultats obtenus des analyses des différents paramètres physico-chimiques, de pollution, de minéralisation globale et de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines destinée à la consommation. Pour cela on a effectué des prélèvements sur dix forages qui ont été effectués au cours du mois de Mars (2019), période très indiquée pour une accessibilité facile à l'échantillonnage.

2 Interprétation des Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines recueillis au niveau de laboratoire ADE TIZI-OUZOU sont regroupés dans le tableau (Annexe 1), La teneur de chaque paramètre est représentée sous forme de graphes, des cartes et des tableaux.

2.1 Potentiel d'hydrogène 'pH'

Le pH d'une eau représente son alcalinité, le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie entre 7,2 et 7,6. (Rodier, 1996)

Les températures expérimentales obtenues, sont données dans le tableau 5.1 et sur la figure 5.1.

Tableau 5.1 : Résultat des mesures de pH

Points de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
pH	7,16	7,41	7,29	7,35	7,15	7,03	7,11	7,17	7,24	7,30

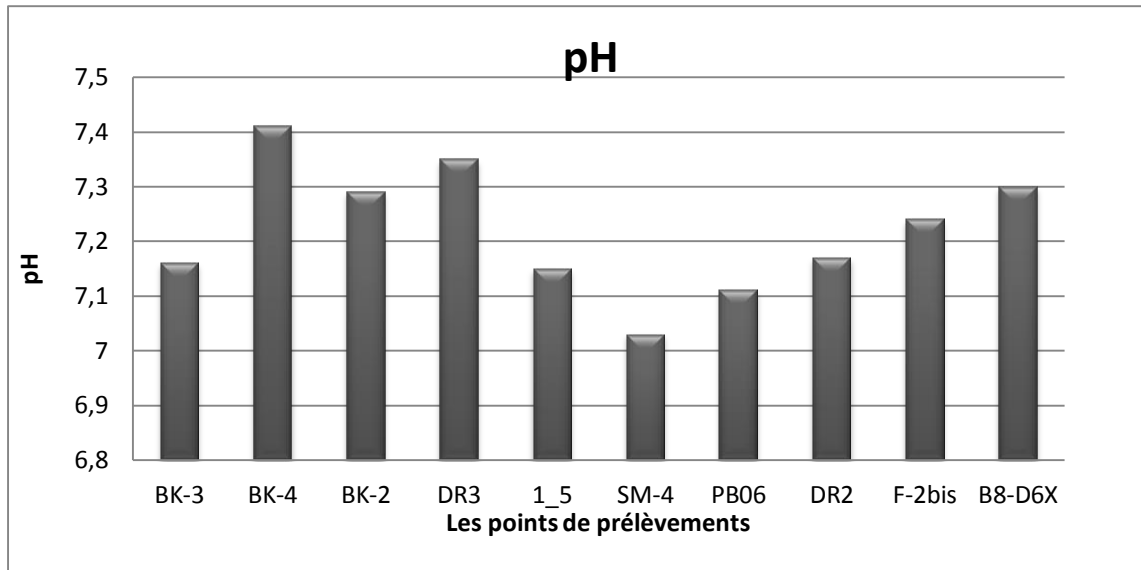


Figure5.1: Variation du pH au niveau des points de prélèvement.

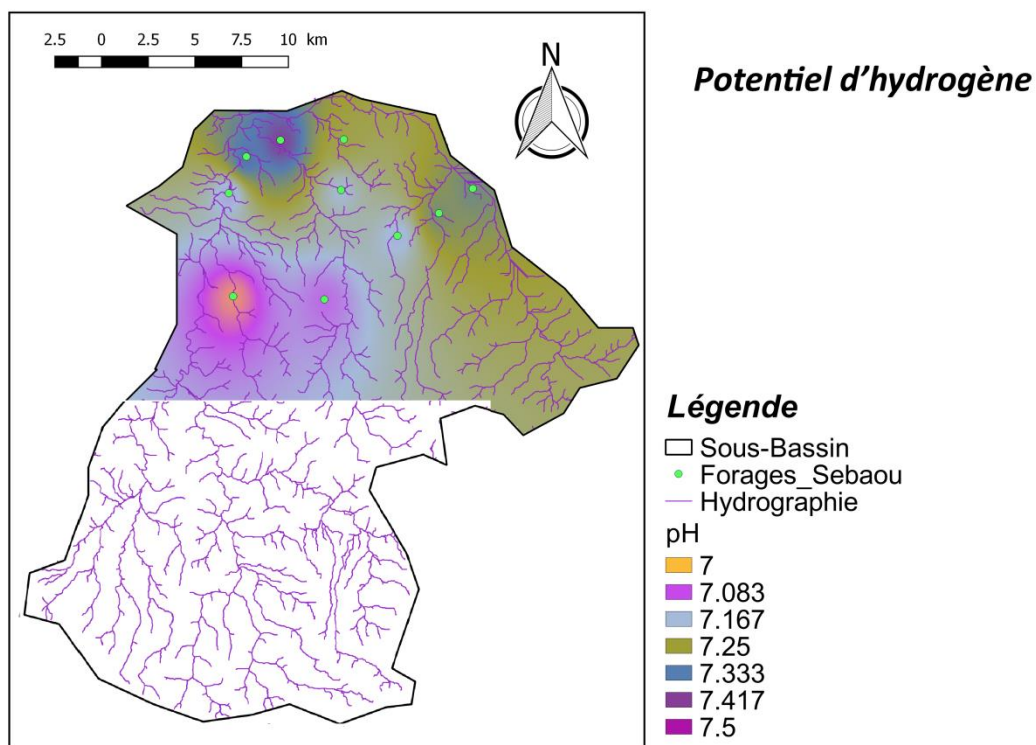


Figure 5.2: Carte de potentiel d'hydrogène pH

Dans l'ensemble des eaux échantillonnées, les pH mesurés sont hétérogènes et se situent autour de la neutralité. Ils varient entre 7,03 et 7,41, ceci répond aux normes de potabilité des eaux selon les normes d'OMS et les normes algériennes (voir le tableau n° 2.3).

L'analyse de la carte du pH au-dessus montre que la valeur la plus faible est observée dans le forage SM-4 et la plus élevés dans le forage BK-4. Cette augmentation serait due à une progression du faciès des eaux qui passe de bicarbonaté calcique au bicarbonaté sodique (Frédéric, 2000).

2.2 Température

Il est important de connaître la température de l'eau car elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du PH.

Tableau 5.2 : Résultats des mesures de température

Points de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Température °C	18,14	17,7	19,2	19,3	19,5	14 ,6	15,6	16	16,1	17,9

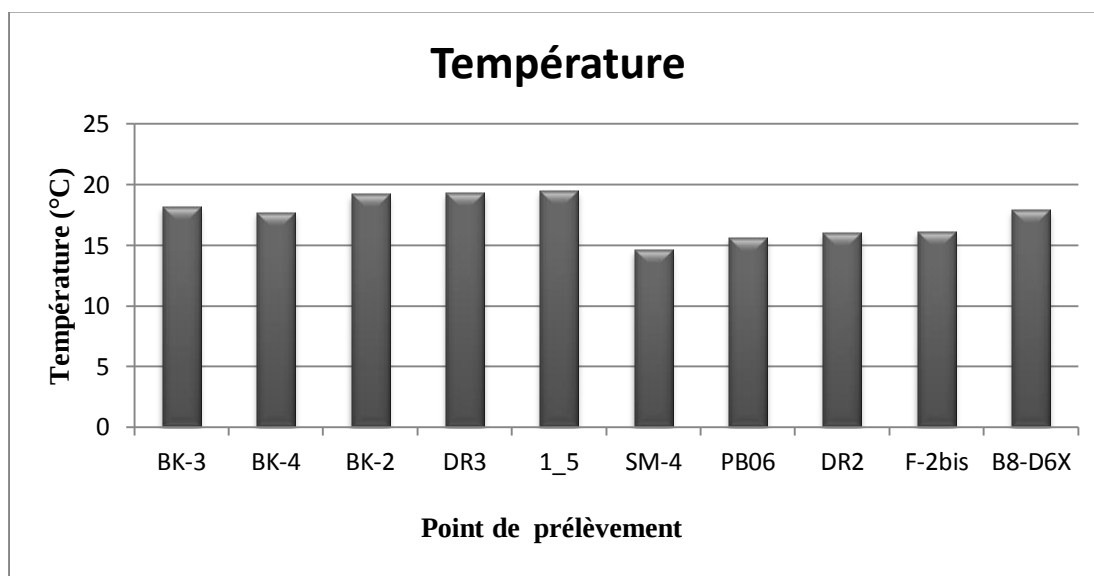


Figure5.3 Variation de température au niveau de la zone d'étude

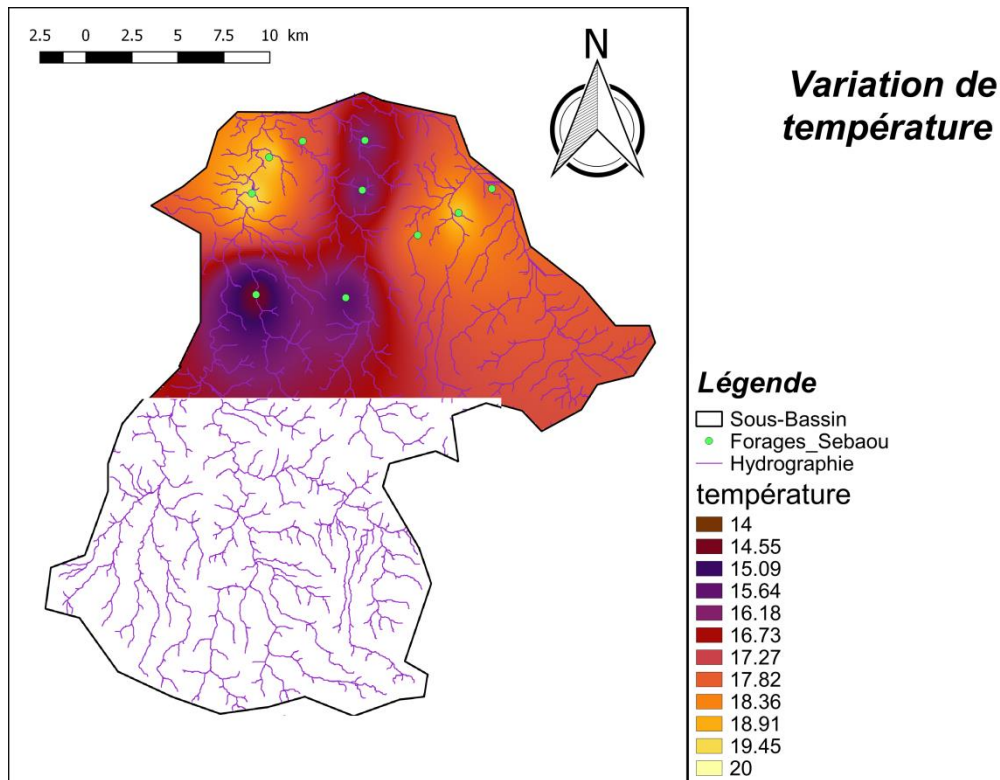


Figure 5.4: Carte de température

Dans la zone d'étude, on remarque que les températures ne présentent pas de grandes variations d'un forage à l'autre et restent toutefois voisines de la température moyenne annuelle de la région soit 17,6 °C. Cette dernière affecte les propriétés physiques et chimiques de l'eau en particulier sa densité et la vitesse des réactions chimiques.

La carte réalisée montre que les valeurs de température obtenue varient de 14,6°C la plus basse à (SM-4), à 19,5 °C la plus élevée à (1_5). Selon la norme algérienne et la norme d'OMS (25°C) ces valeurs sont acceptables.

2.3 Conductivité

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre et les résultats obtenus exprimés en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tableau 5.3: Résultats d'analyses de conductivité

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	1156	887	1208	1351	1392	986	1005	1428	1316	1195

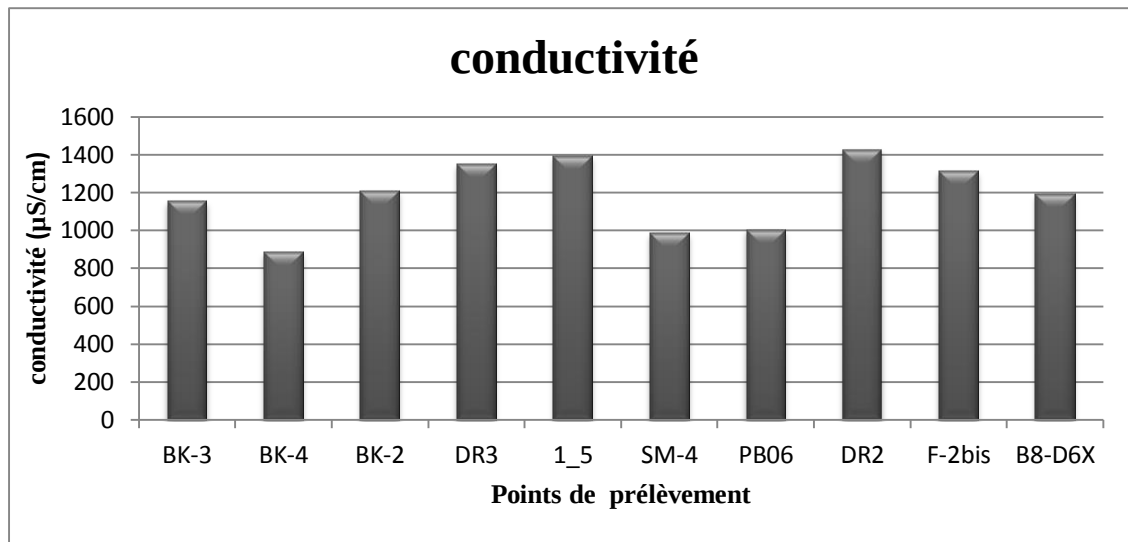


Figure 5.5 Variation de la conductivité au niveau de la zone d'étude

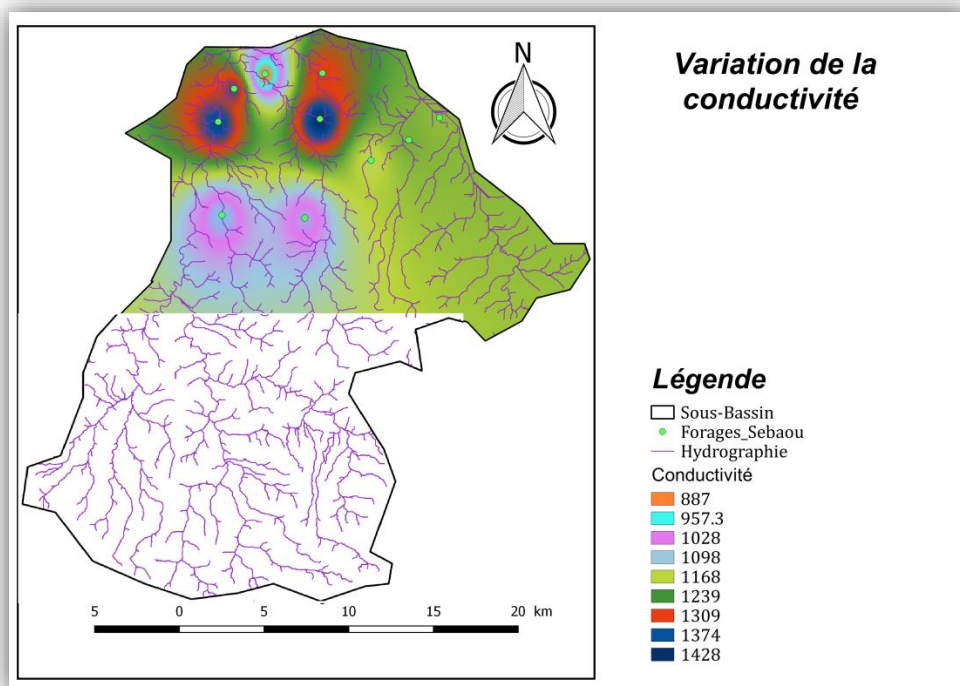


Figure 5.6 : Carte de conductivité

Les conductivités mesurées sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration. Les dix (10) forages analysés sont caractérisés par une conductivité comprise entre 887 à 1428 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (sont très hétérogènes). La valeur la plus faible est mesurée à BK-4 et la plus élevée à DR2 cette augmentation due à une présence impotente des sels dissous dans l'eau.

Toutes les valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Selon le JORA, 2014).

REMARQUE : la conductivité n'a pas une norme OMS.

D'après le tableau de classification des conductivités électriques (voire le tableau n° 2.1) les eaux de ces forages sont à risque de minéralisation moyen à important.

2.4 Turbidité

Elle représente l'opacité d'un milieu trouble, elle est causée dans les eaux par la présence de matières en suspension (MES) fine comme les argiles, les limons, les grains de silices et les micro-organismes. Une faible part de turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. (REJSEK, 2002)

Tableau 5.4 : Résultats des mesures de turbidité

Point de prélèvement (forages)	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Turbidité NTU	0,10	0,22	0,17	0,22	0,20	0,25	1,38	0,25	0,09	0,23

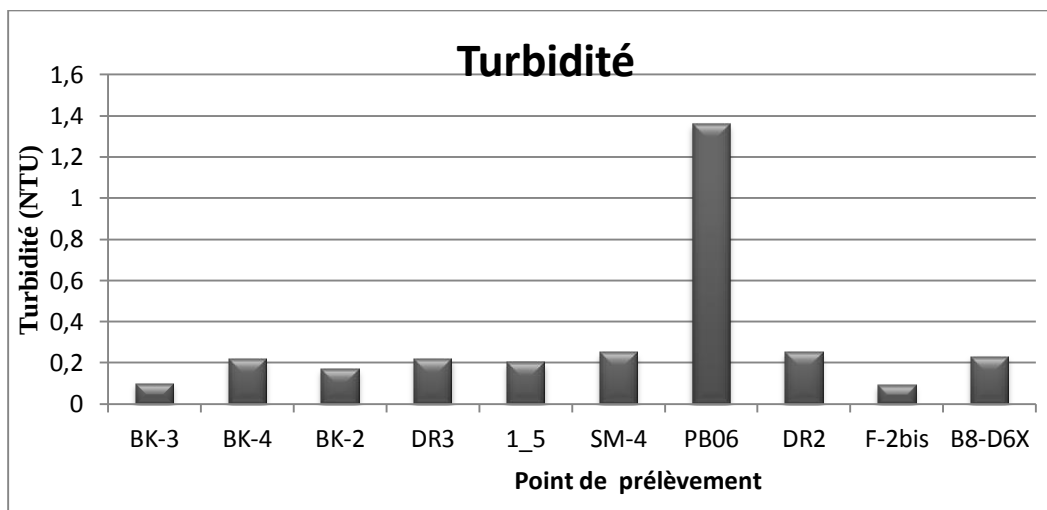


Figure 5.7 : Variation de turbidité au niveau de la zone d'étude

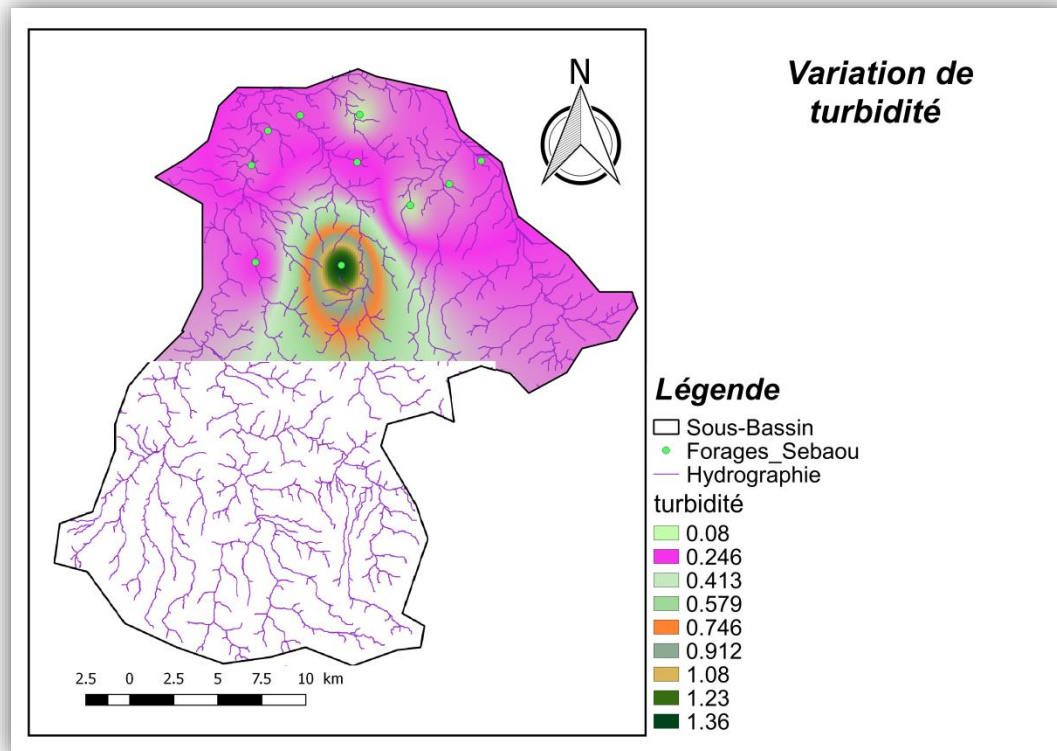


Figure 5.8: Carte de la turbidité

Le suivi de ce paramètre donne des valeurs qui varient entre 0,09 à 1,36 NTU, celui-ci répond à la norme de potabilité des eaux. (Selon le JORA 2014 et l'OMS).

La turbidité la plus élevée est enregistrée au niveau de forage PB06 c'est-à-dire qu'elle s'explique par la légère présence de différents rejets urbains par l'apport des eaux pluviales et la présence des matières en suspension finement divisées due à la nature du terrain traversé.

2.5 Le Titre alcalimétrique (TA) et Titre alcalimétrique complet (TAC)

Ces deux valeurs permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenus dans l'eau.

Tableau 5.5 Résultats des mesures des TA et TAC

Point de prélèvement (forages)	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
TA (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TAC (mg/l)	372	276	372	300	322	318	344	320	296	302

2.5.1 TA :

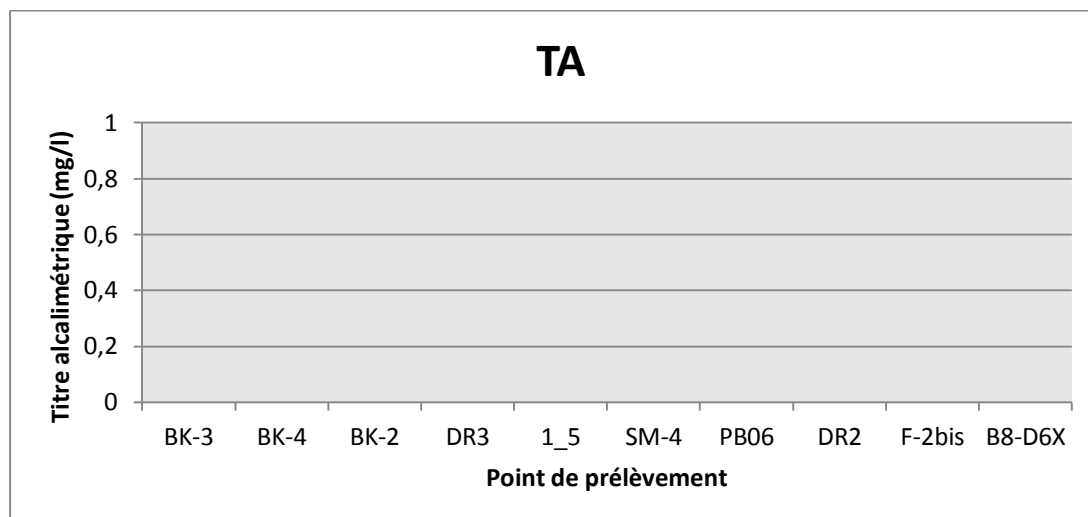


Figure 5.9 :Titre alcalimétrique

Le TA est nul pour toutes les analyses. Il représente la quantité des bases fortes dans l'eau. Le pH des eaux analysées ne dépassant pas 8,3, c'est-à-dire un pH non basique, explique donc que ces dernières ne contiennent pas de bases fortes.

2.5.2 TAC :

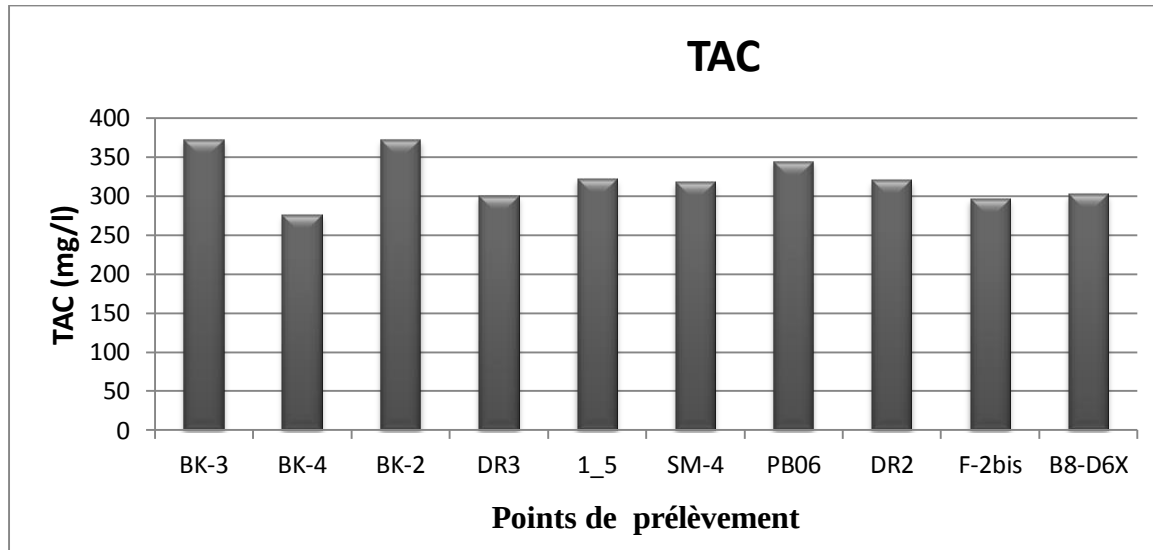


Figure 5.10: Variation deTitre alcalimétrique complet au niveau de la zone d'étude

La valeur maximale à ne pas dépasser pour le TAC est de 500 mg/l de CaCO_3 . Le TAC des résultats obtenus sont dans la gamme de 300 mg/l alors ils sont conformes aux normes algériennes et OMS. (Voir le tableau n°5.5)

2.6 Dureté totale

On distingue deux types de dureté une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates et une dureté non carbonatée produite par les autres sels.

Tableau 5.6 : Résultats des mesures de dureté totale

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Dureté totale (mg/l en CaCO ₃)	480	356	464	392	436	454	408	424	376	362

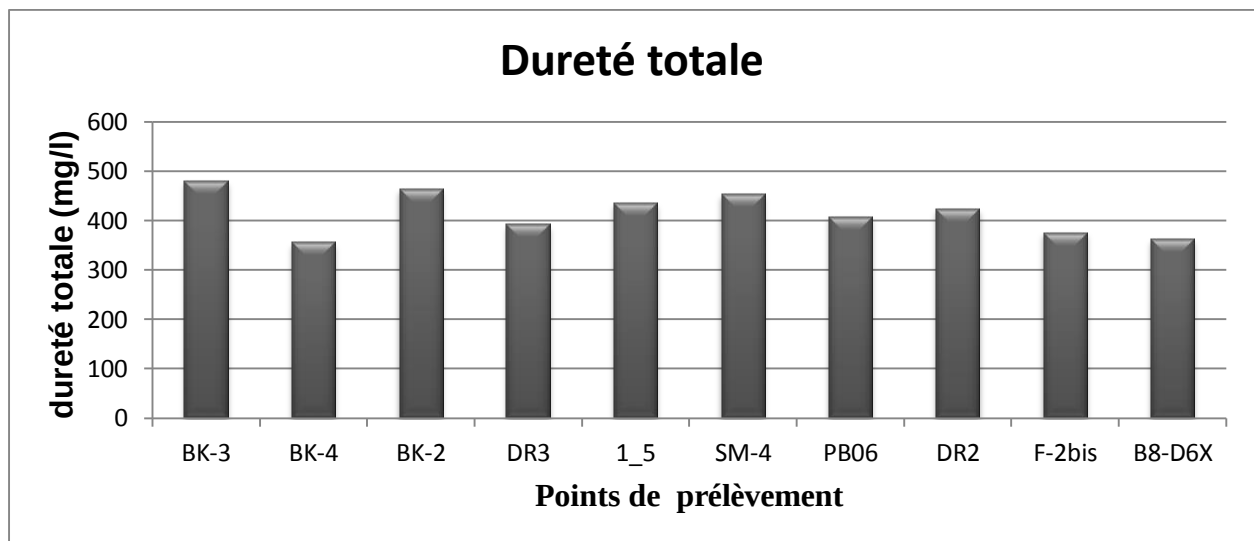


Figure 5.11: Variation de la dureté totale au niveau de la zone d'étude

Pour les eaux étudiées, la dureté totale ne présente pas une grande variation et on voit que les valeurs sont vraiment proche de la norme de potabilité (500mg/l en CaCO₃), c'est à dire la nature lithologique de la formation aquifère et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium et aussi en bicarbonate. (Selon l'OMS et le JORA 2014).

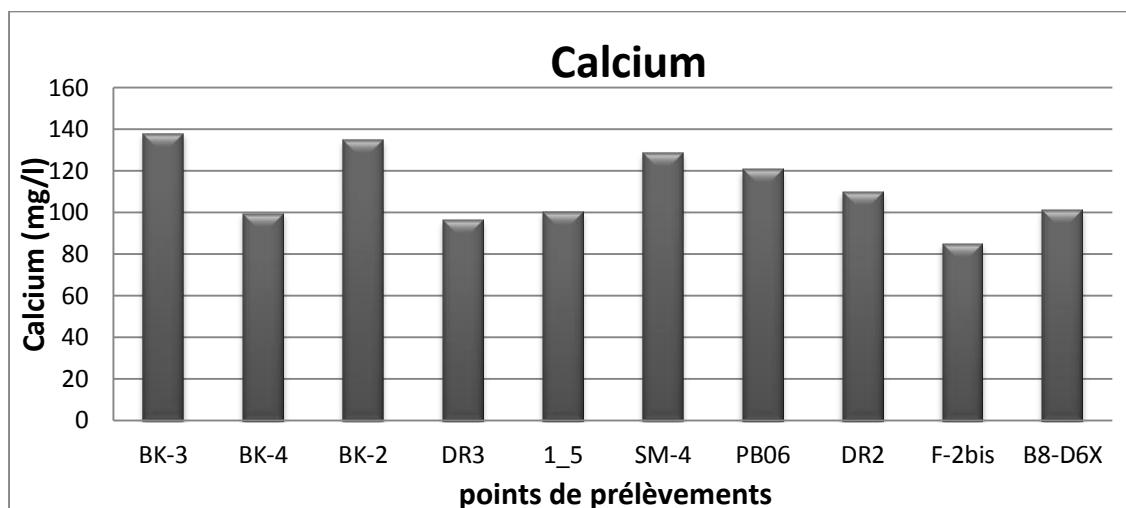
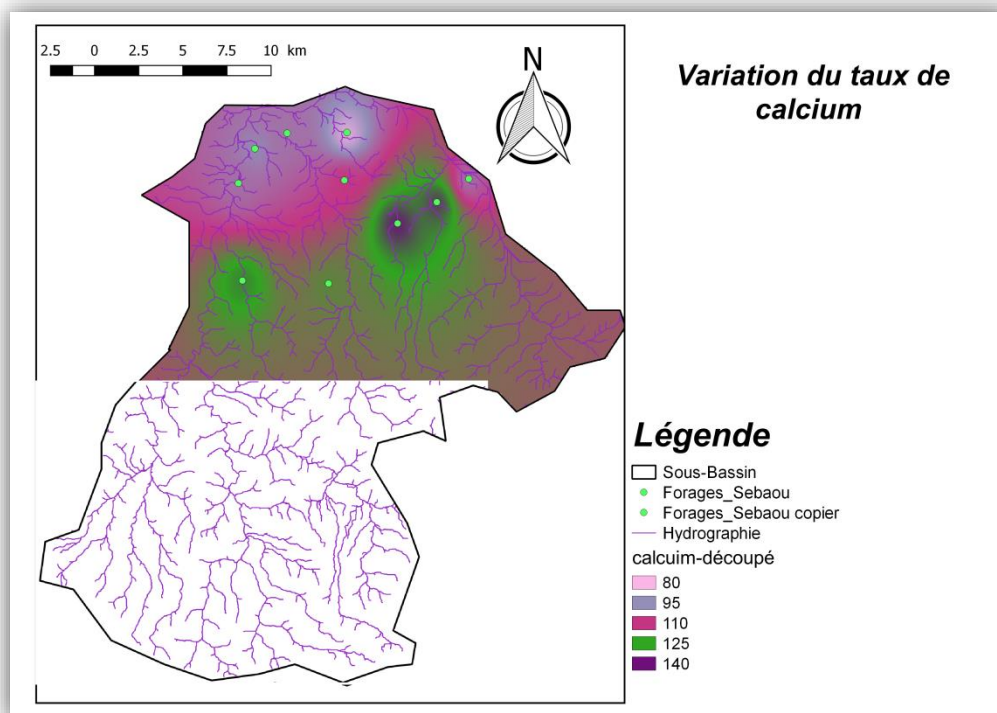
2.7 Calcium Ca^{2+} et Magnésium Mg^{2+}

Le calcium provient de la dissolution des roches carbonatées en amont de la montagne du Djurdjura. Les eaux potables de bonne qualité renferment moins de 100mg/L de calcium. (Rodier 1996)

Le magnésium provient notamment du lessivage des calcaires dolomitiques du Djurdjura. Il est l'un des éléments les plus répandus dans la nature et à partir d'une concentration de 100mg/l, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. (Rodier 1996)

Tableau5.7: les teneurs en calcium des eaux analysé

Point de prélèvement (forage)	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Calcium Ca^{++} (mg/l)	137,88	99,40	134,76	109,82	100,20	128,26	120,4	109,82	84,97	101
Magnésium Mg^{++} (mg/l)	33,06	26,25	31,12	36,95	45,22	32,58	35,49	36,47	39,87	26,74

**Figure5.12:Variation du taux de calcium au niveau de la zone d'étude.****Figure 5.13 : Carte du calcium**

La teneur de cet élément peut excéder 100 mg/L dans les eaux sans avoir un danger sur la santé humaine (Rodier 2009).

La carte ci-dessus et la présentation graphique montrent que la valeur du calcium la plus faible avec un minimum de 84,97 est observée au forage F-2bistandisqueLa valeur la plus élevée avec un maximum de 137,88 mg/l est observée au niveau du forage BK-3.

Cet élément important est dû au petit dépôt de calcaire au fond du forage et son charriage par les lâchées.

Apparemment les concentrations sont inférieures aux normes OMS et à la norme algérienne de potabilité des eaux fixée à 200 mg/l.

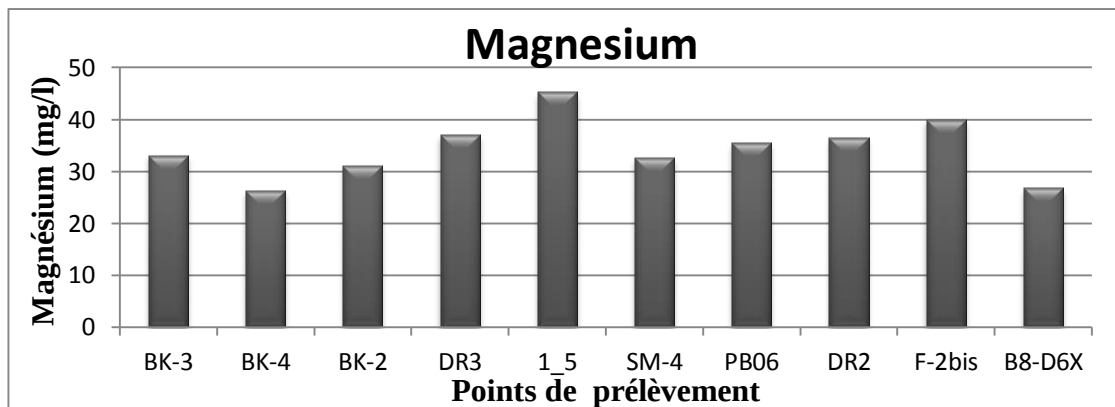


Figure 5.14: Variation du taux de magnésium au niveau de la zone d'étude.

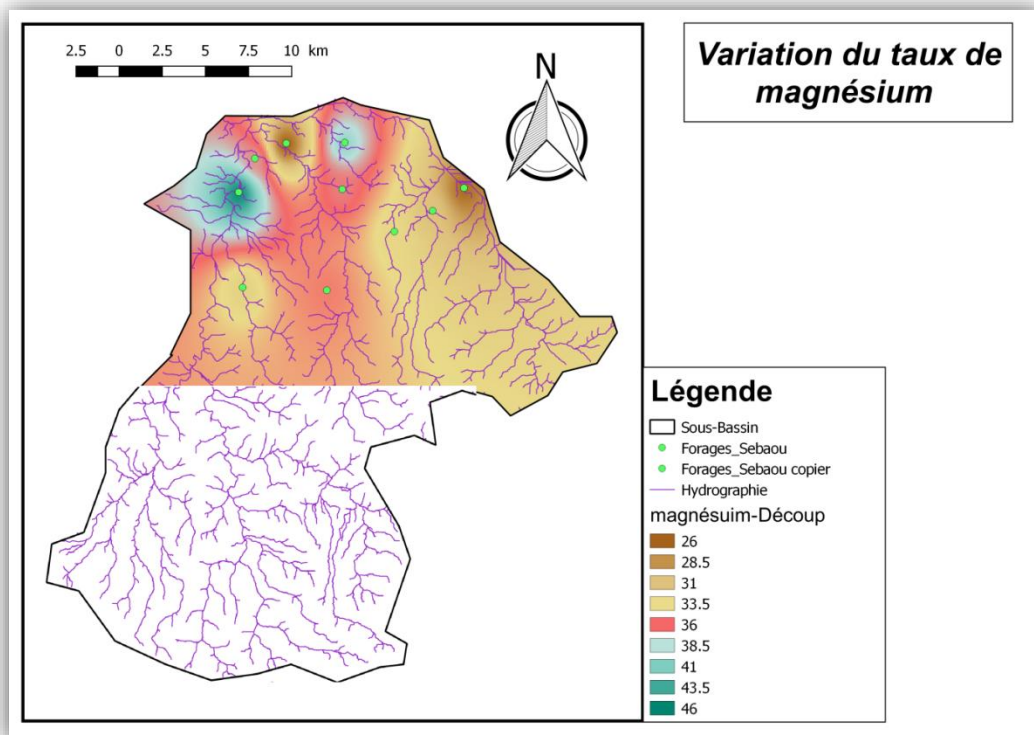


Figure 5.15 : Carte de magnésium

La carte ci-dessus et présentation graphique montrent que les concentrations de magnésium dans les forages étudiés varient entre 26,25 à 45,22 mg/l, ces teneurs dues à l'action des eaux sur les calcaires dolomitiques du Djurdjura libèrent les cations Mg^{2+} qui sont véhiculés jusqu'au terrain où se trouvent les forages. Ces concentrations sont inférieures à la norme d'OMS qui est à l'ordre de 100 mg/l alors on peut dire que ces eaux sont acceptables pour la consommation humaine.

Remarque: selon les normes algériennes le magnésium n'a pas de norme précise

2.8 Sodium Na^+

Le Sodium est beaucoup plus abondant que le Potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables

Tableau 5.8: les teneurs en Sodium des eaux analysées

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Sodium Na^+ (mg/l)	75	60	90	140	140	36	34	110	105	105

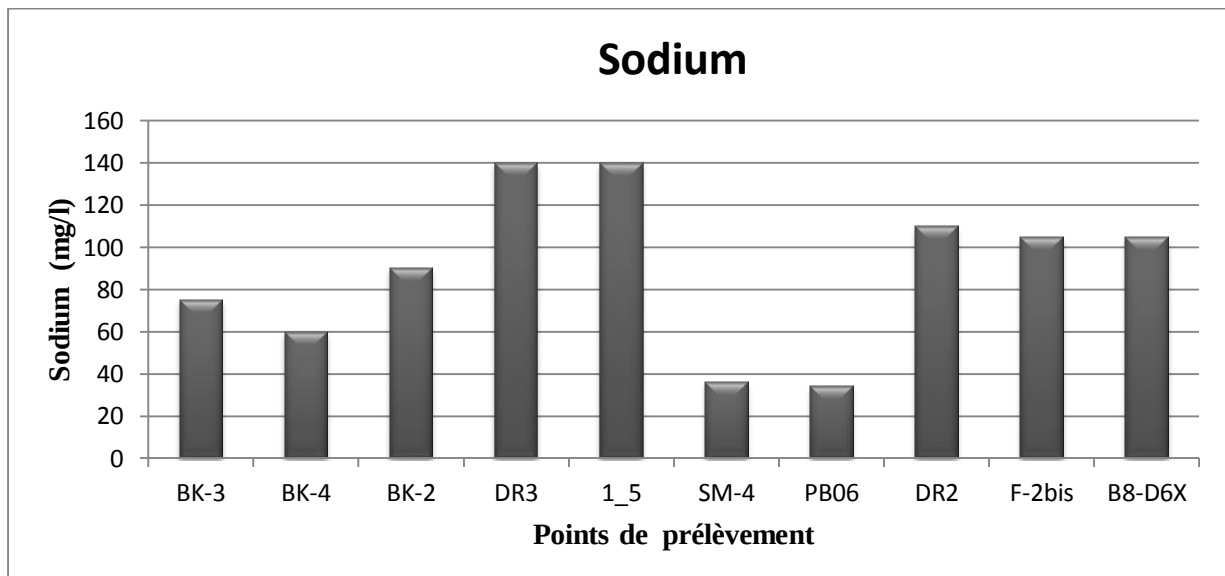


Figure 5.16: Variation du taux de sodium au niveau de la zone d'étude

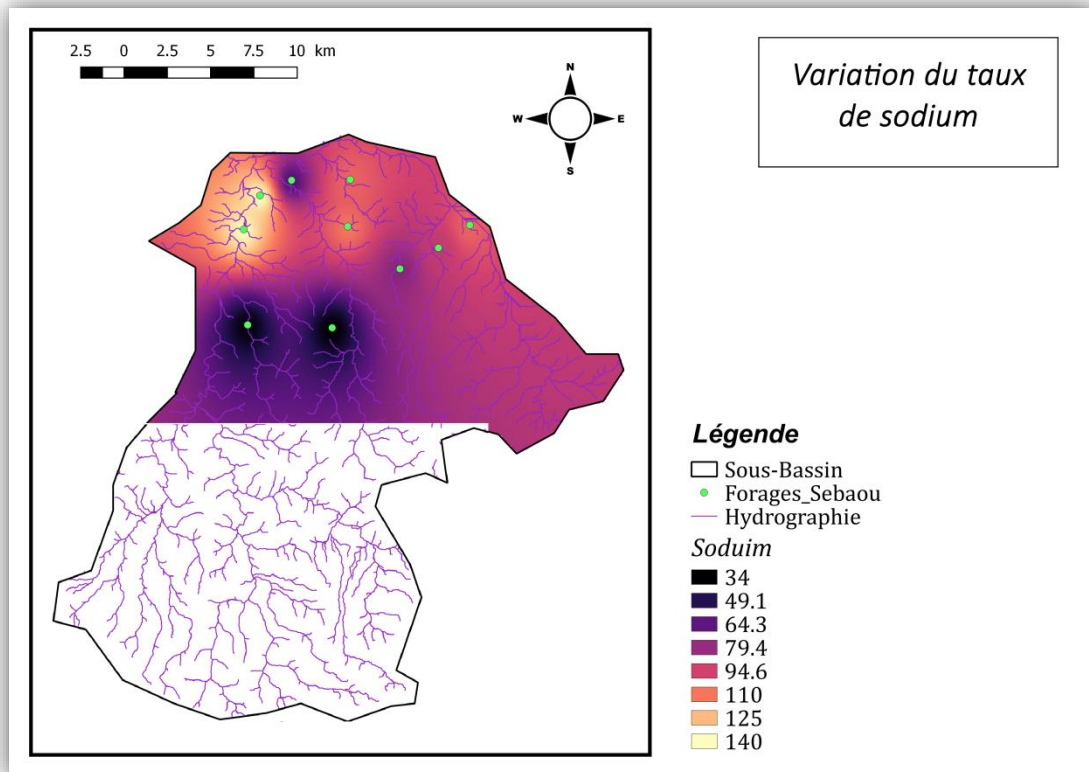


Figure 5.17 : Carte de sodium

Les concentrations de sodium dans les eaux de cette nappe varient de 34 mg/l (SM-4) à 140 mg/l (DR3 et 1_5) la présence de cet élément due à la venue d'eaux salées dans la nappe et à quelque usage industriel. Ces concentrations ne dépassent pas la norme de potabilité qui est à l'ordre de 200mg/l. (selon le JORA et l'OMS).

2.9 Potassium K^+

Les teneurs enregistrées, pendant la période d'observation, pour tous les échantillons des forages de la région d'étude, sont regroupés sur la figure ci-dessous

Tableau 5.9: Teneurs en potassium des eaux analysées

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Potassium K^+ (mg/l)	06	07	08	05	05	04	05	05	06	06

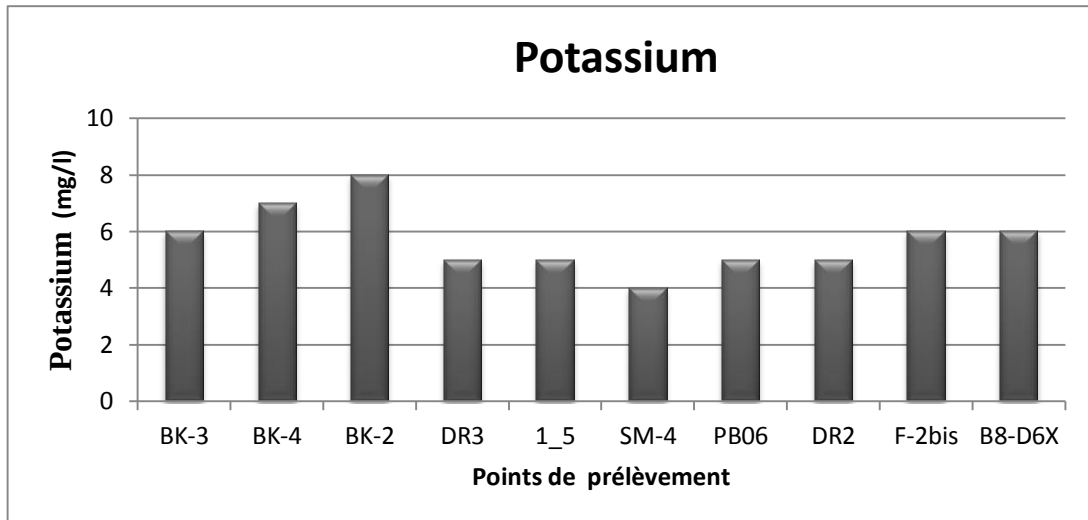


Figure 5.18: Variation du taux de potassium au niveau de la zone d'étude

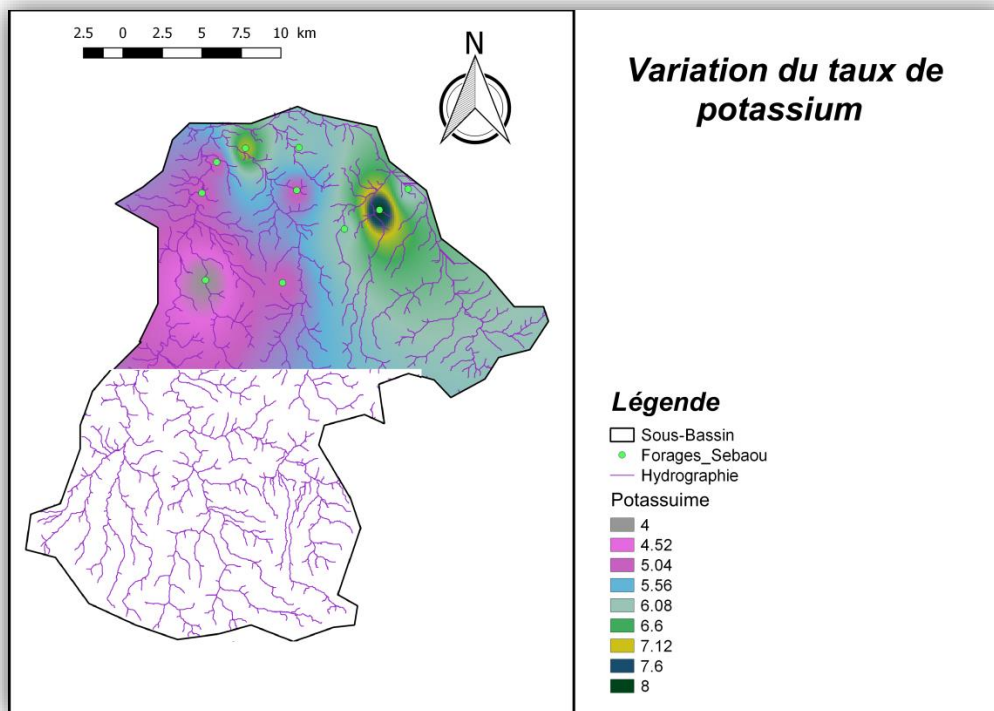


Figure 5.19 : Carte de potassium

Les concentrations en potassium dans la région d'étude provient de l'altération des formations argileuses des alluvions quaternaires, elles sont variées entre 4 mg/l et 8 mg/l. Ces concentrations sont conformes à la norme de potabilité des eaux OMS et même à la norme algérienne qui est à l'ordre de 12 mg/l.

2.10 Chlorure Cl^-

Le chlorure est présent à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de la dissolution des dépôts de sel.

Le chlorure est présent à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation Desroches sédimentaires et des sols.

Tableau 5.10: les teneurs en chlorure des eaux analysé

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Chlorure Cl^- (mg/l)	52,47	49,63	55,31	214,85	204,21	45,38	51,76	175,85	172,3	133,3

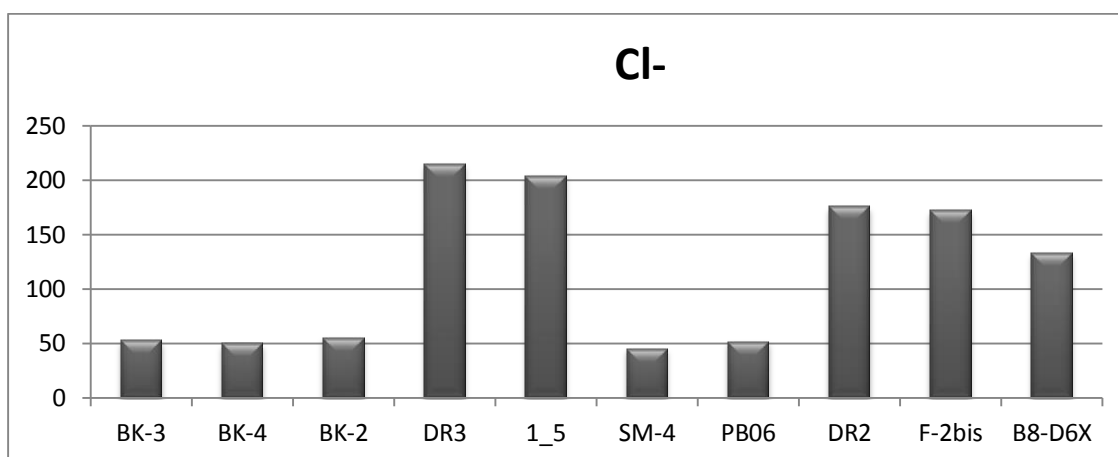


Figure 5.20 : Variation du taux de chlorure au niveau de la zone d'étude

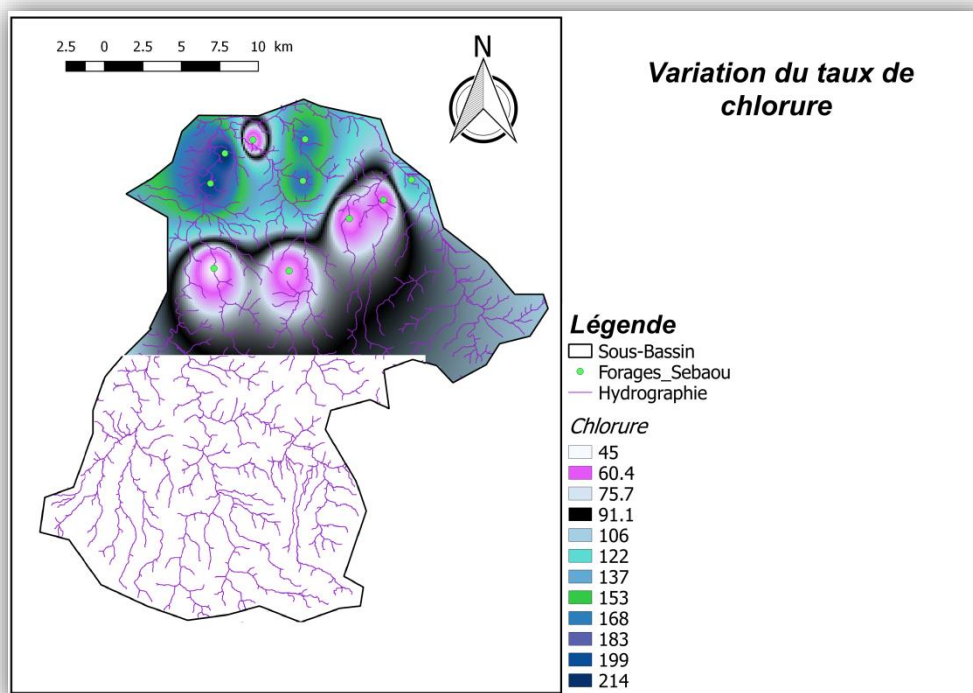


Figure 5.21 : Carte de chlorure

Les concentrations du chlorure dans les eaux étudiées variaient entre 45,38mg/l (SM-4) et 214,85 mg /l (DR 3)cette présence due à la dissolution des dépôts de sel et la composition chimique de terrain traversé, qui est en contact avec les sources en eau souterraine. Tous les points d'échantillonnage ont des concentrations inférieures à la limite dictée par la norme du « JORA » et même par la norme d'OMS (250 mg/l)ce qui est acceptableà la consommation humaine.

2.11 Sulfate So_4^{2-}

Naturellement présents dans les eaux, en concentration très variable (importante aucontact de terrains gypseux ou proches de mines de fer), ils sont parfois le témoin d'unepollution industrielle (textile, papeterie...) (Queneau et Hubert, 2009).

Figure 5.11 : Teneures en sulfate des eaux analysées

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Sulfate So_4^{2-} (mg/l)	138	104	200	116	120	116	118	122	118	106

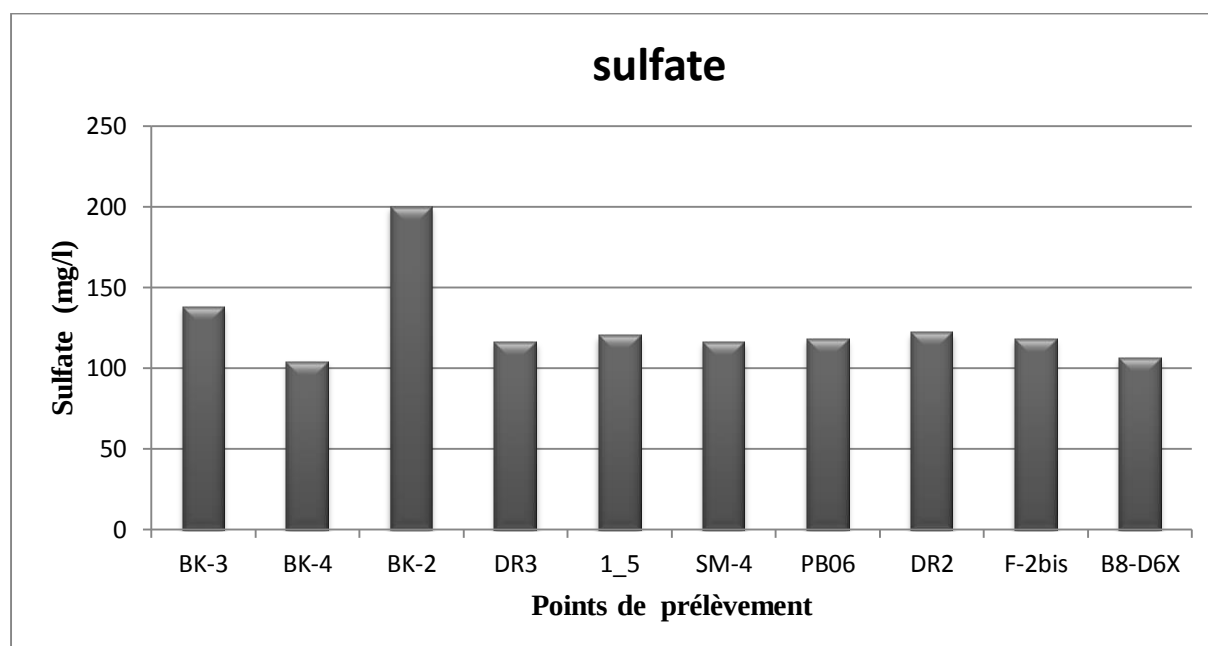


Figure 5.22 : Variation du taux de Sulfate au niveau de la zone d'étude

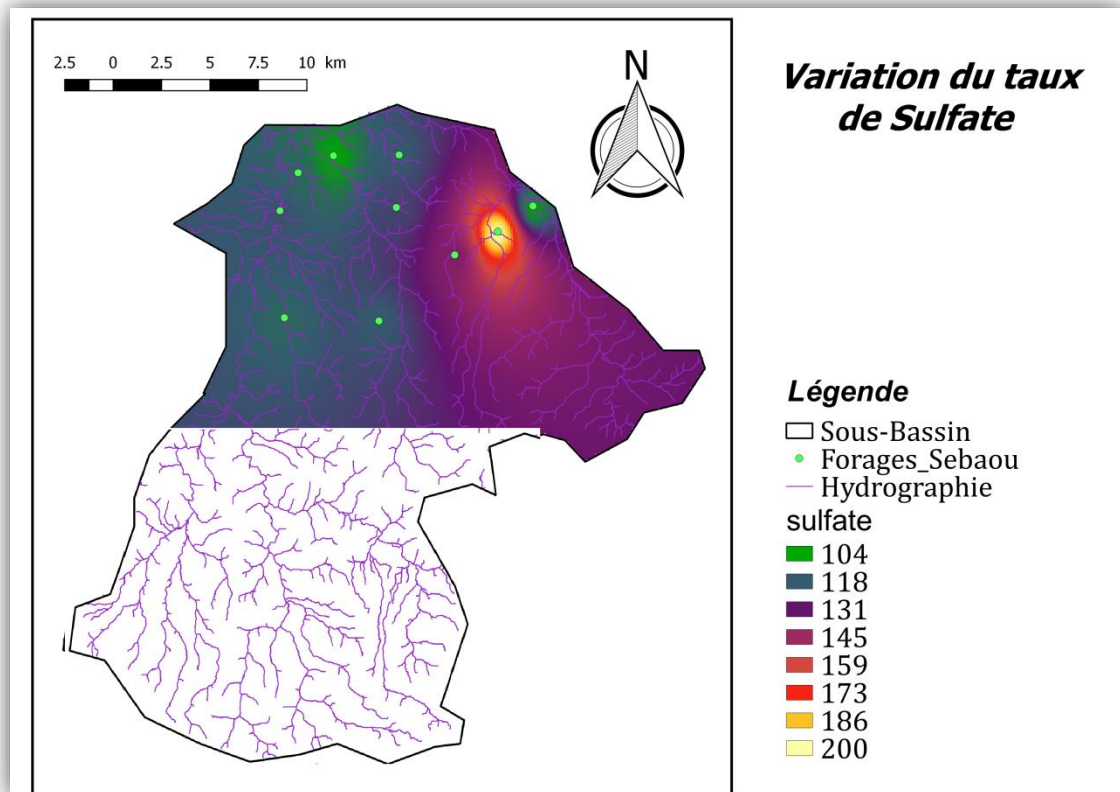


Figure 5.23 : Carte de Sulfate

D'après la carte et présentation graphique les valeurs des sulfates dans les eaux étudiées sont pas très variables, elles oscillaient entre 104(BK-4) à 200 mg /l (BK-2) et sont d'une manière générale acceptable pour la consommation humaine puisqu'ils n'accèdent pas la norme algérienne fixé à 400 mg/l et celle de l'OMS fixée à 250 mg/L.

2.12 Bicarbonate HCO_3^-

Le bicarbonate dans l'eau provient de la dissolution du gaz carbonique dans les sources naturelles. Les teneurs enregistrées, pendant la période d'observation, pour tous les échantillons Des forages de la région d'étude sont regroupés sur le Tableau suivant :

Tableau 5.12 : les teneurs en bicarbonate des eaux analysé

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Bicarbonate HCO_3^- (mg/l)	453,84	336,72	427	392	436	454	408	424	376	362

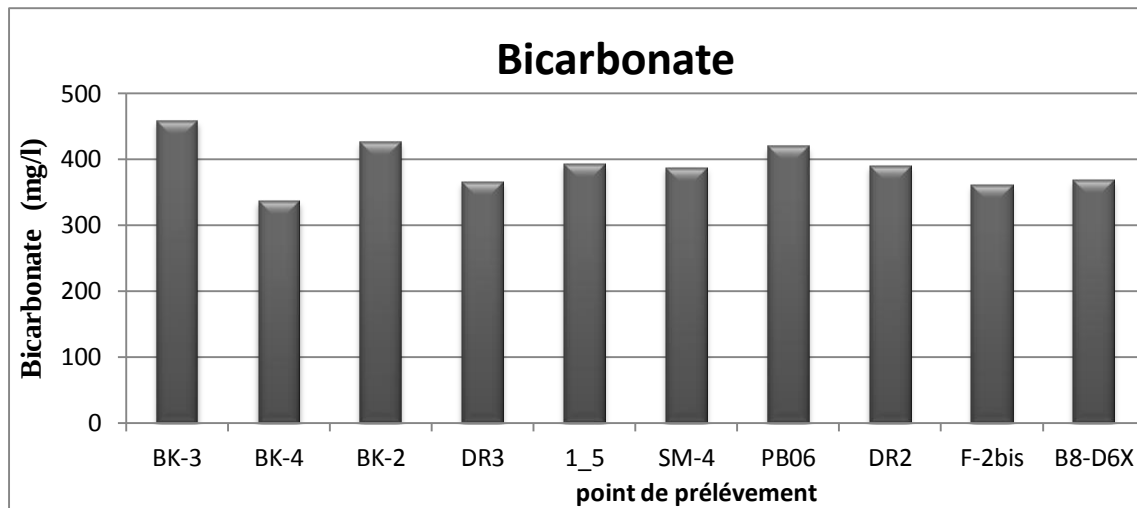


Figure 5.24: Variation du bicarbonate au niveau de la zone d'étude

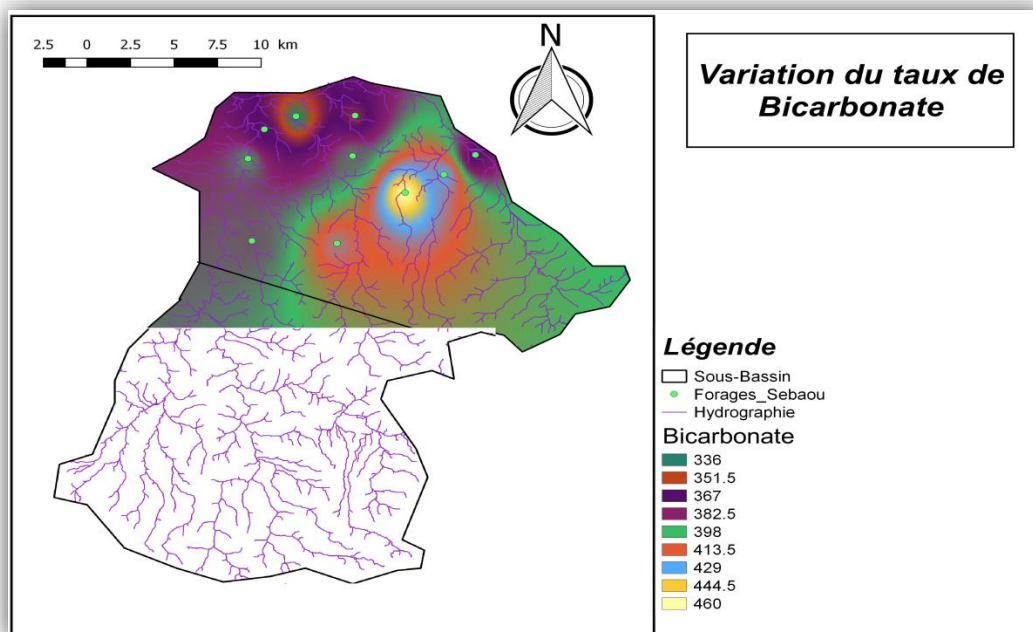


Figure 5.25 : Carte de Bicarbonate

Les teneurs en bicarbonate sont variables pour l'ensemble des échantillons des 10 forages. Leurs concentrations sont relativement fortes car le faciès bicarbonate est le plus dominant dans cette nappe alluviale. La valeur maximale est observée au forage BK-3 de 453,84 mg/l, cette valeur due à la dissolution des roches carbonatées, et la valeur minimale est observée au niveau du forage BK-4 de 336,72 mg/l.

Pour l'eau de consommation, on considère que l'alcalinité n'est pas un facteur de qualité déterminant ; c'est pour ça, il n'existe pas de norme régissant ce paramètre (Rodier, 1996). Même pour les normes algériennes de potabilité, il n'existe pas de valeur concernant les bicarbonates.

2.13 Ammonium NH_4^+

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique, il provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates

Tableau 5.13 : Teneurs en ammonium des eaux analysé

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Ammonium NH_4^+ (mg/l)	00	0,21	0,37	00	00	00	00	00	00	00

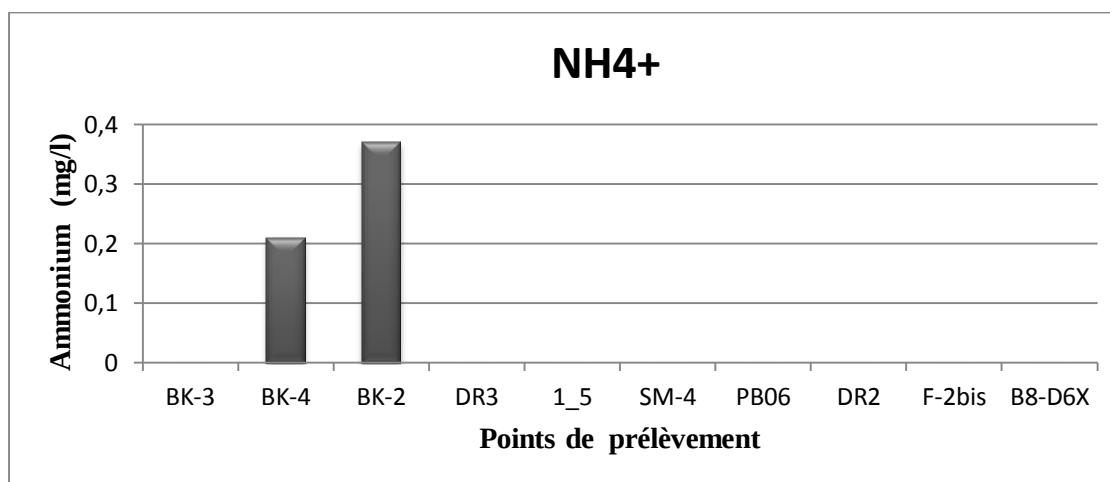


Figure 5.26 : Variation d'ammonium au niveau de la zone d'étude

Les eaux de ces forages enregistrent une valeur nulle d'ammonium sauf pour le BK-4 et le BK-2.

La concentration de l'ammonium dans les zones étudiées variait entre 0 et 0,37mg/L. toutes les valeurs respectent la limite prescrite par la norme d'OMS et la norme algérienne (0,5 mg/L).

Toutefois, on peut croire que les concentrations qui ne sont pas nulles sont dues à la présence des déchets agricoles et/ou domestiques sur certains sites et donc un apport minimes des matières azotées dans la nappe

2.14 Nitrate NO_3^-

Naturellement les nitrates pénètrent dans les eaux souterraines par le déversent dans les cours d'eau et ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais.

Tableau 5.14 : Teneurs en nitrate des eaux analysées

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Nitrate NO_3^- (mg/l)	4,86	3,98	1,32	8,41	8,85	8,73	2,21	11	4,42	7,52

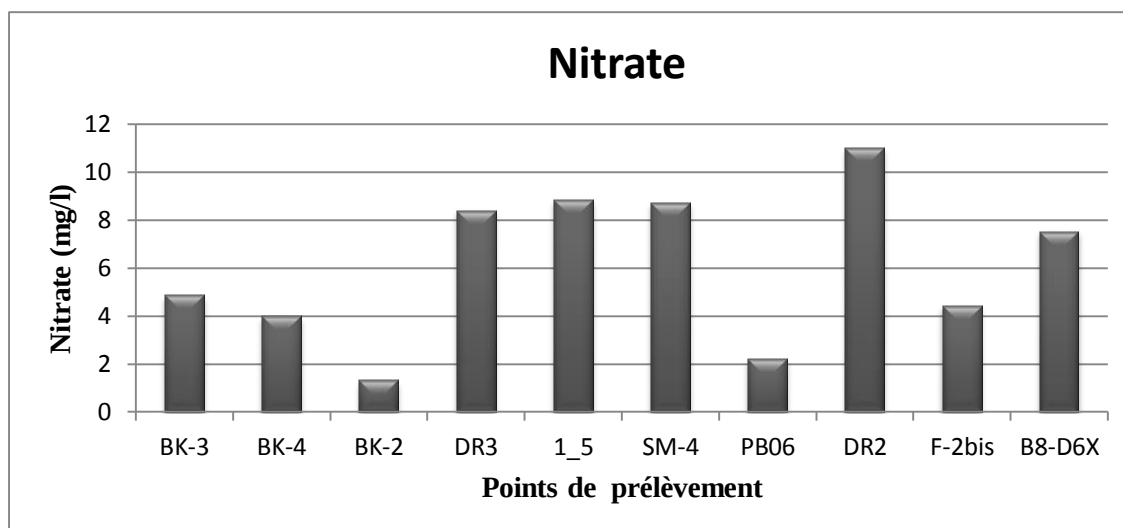


Tableau 5.27 : Variation des nitrates au niveau de la zone d'étude

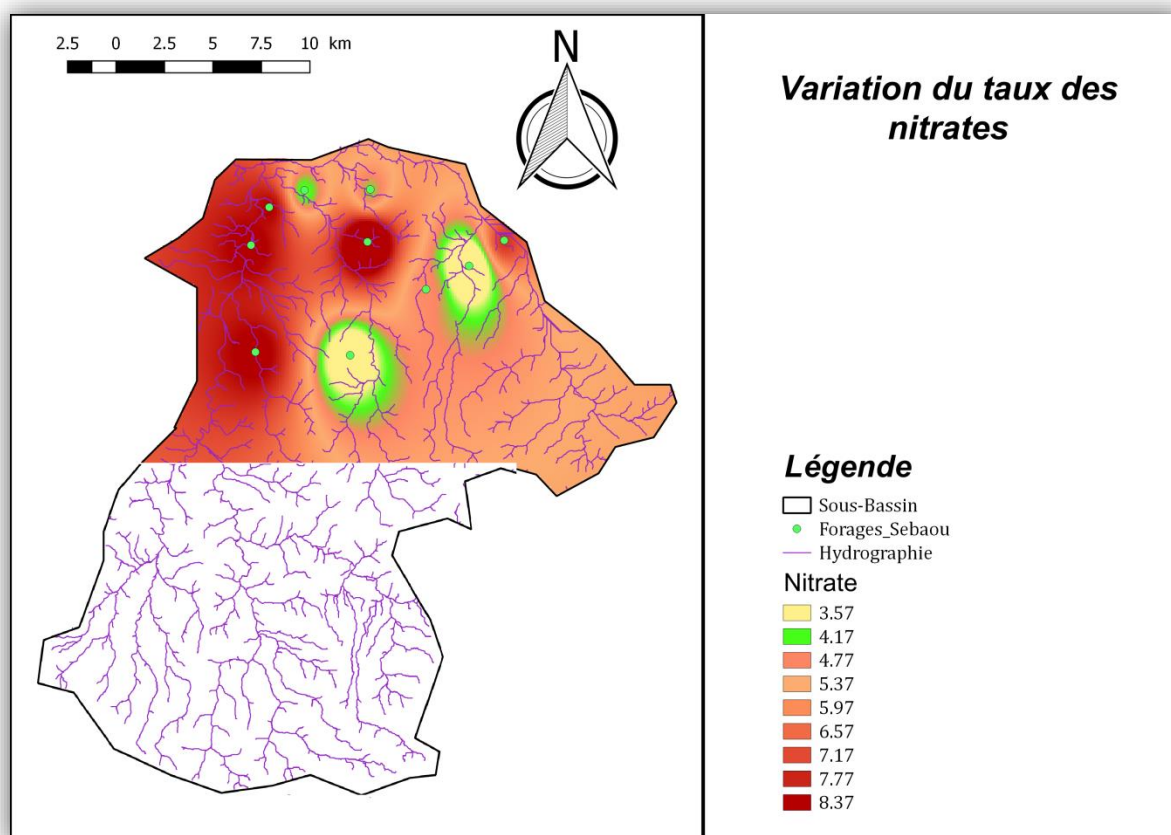


Figure 5.28 : la carte de nitrates

La teneur en nitrate dans les forages échantillonnés oscille entre 3,98 mg/l (BK-4) et 11 mg/l (DR2) cette présence indique l'effet d'épandage des engrais au niveau des terres agricoles. Ces concentrations sont d'une manière générale acceptable pour la consommation humaine puisqu'ils n'accèdent pas la norme OMS et la norme algérienne fixée à 50 mg/L.

2.15 Nitrite NO_2^-

La norme algérienne précise 0.20 mg/l de nitrites comme valeur maximale admissible pour les eaux de consommation (JORA, 2011) et l'OMS la précise de 3mg/l.

Tableau 5.15: Teneurs en nitrite des eaux analysées

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Nitrite NO_2^-	00	0,02	0,04	00	00	00	00	00	00	00

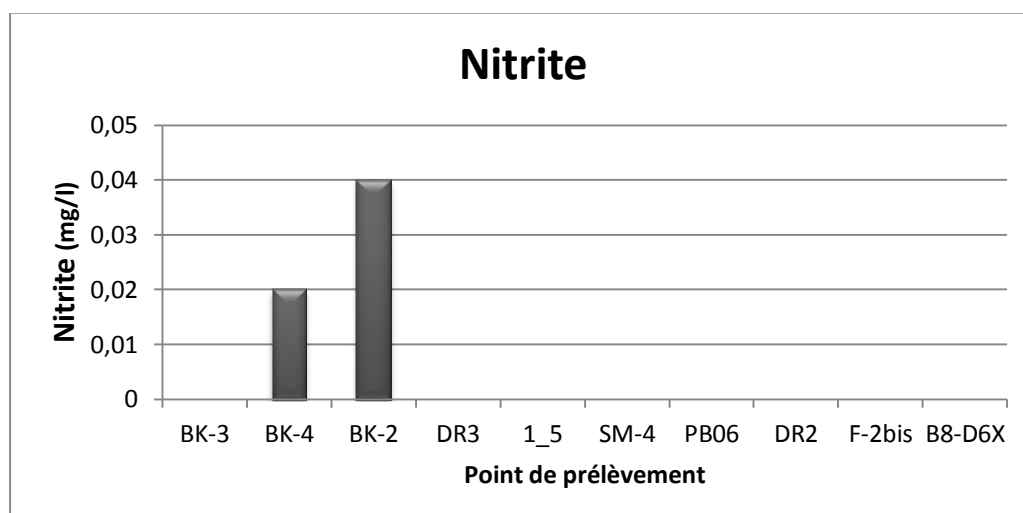


Figure 5.29: Variation des nitrites au niveau de la zone d'étude

Les résultats du suivi de la qualité physico-chimiques des eaux souterraines distribuées au niveau de la zone d'étude (moyen Sébaou) montrent que les teneurs en nitrites sont vraiment basses dans les forages (BK-4 et BK-2), d'ailleurs, c'est le forage BK-2 qui affiche la valeur maximale (0,04 mg/l) par ailleurs elles sont nulles dans les autres forages.

Tous les échantillons analysés affichent une concentration inférieure à la concentration limite (0,2mg/L) dictée par la norme algérienne (JORA, 2014) et la norme d'OMS (3 mg/l).

2.16 Phosphate PO_4^{-3}

Les phosphates sont les principaux responsables des phénomènes d'eutrophisation.

Tableau 5.16: Teneurs en phosphate des eaux analysées

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Phosphate PO_4^{-3} (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

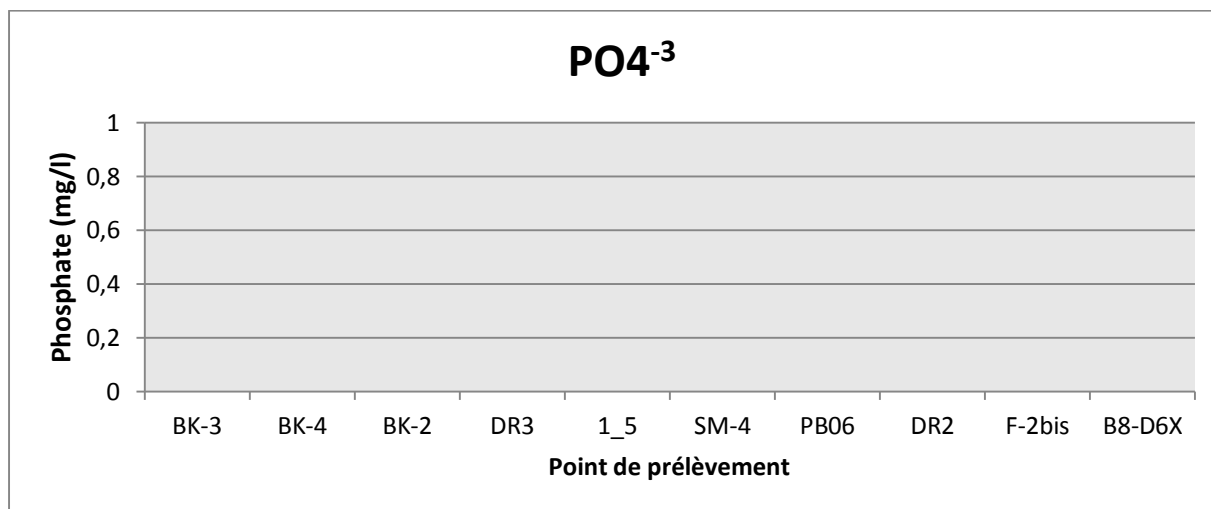


Figure 5.30: Les phosphates au niveau de la zone d'étude

Toutes les eaux des forages analysées, ont des valeurs nulles concernant les phosphates ce qui est conforme à la norme OMS.

2.17 Fer Fe^{2+}

La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau ferrugineuse nécessite un traitement spécifique.

Tableau 5.17: Variation du taux de fer des eaux analysées

Point de prélèvement	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	1_5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Fer Fe^{2+} (mg/l)	0,02	0,01	0,03	0,05	0,05	0,03	0,07	0,06	0,06	0,04

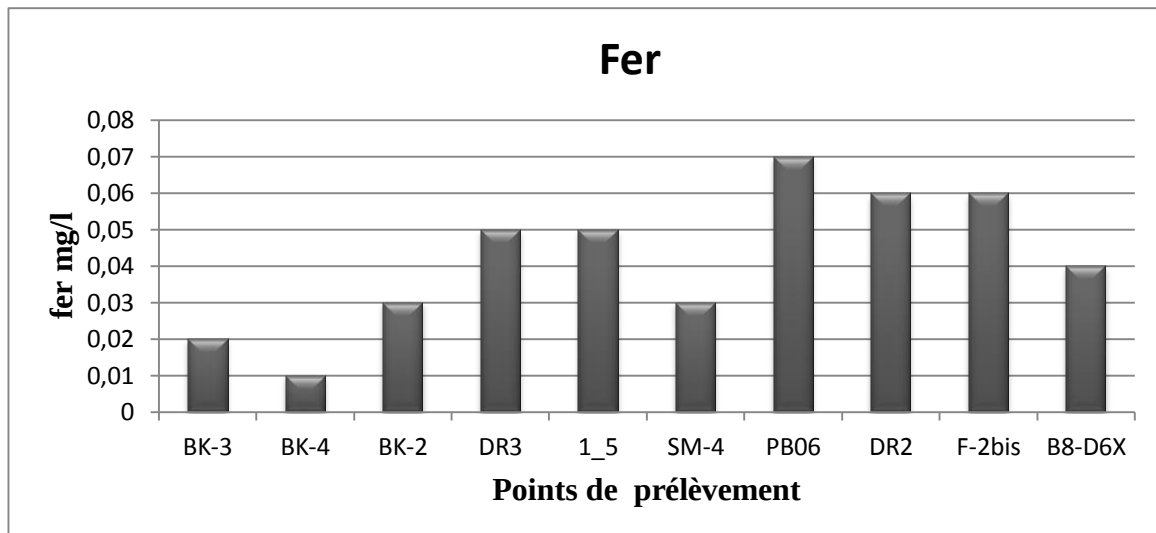


Figure 5.31 : Le taux du fer au niveau de la zone d'étude

La présence du fer dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques.

La teneur du fer dans ces échantillons respecte la limite prescrite par la norme algérienne et la norme d'OMS (0,3 mg/l). On remarque que la valeur maximale est celle de PB06, due à l'oxydation des conduites de ce forage. Ces eaux sont naturellement riches en fer, puisque le sol de cette zone est riche en fer.

3 Facies chimique pour les paramètres physico-chimiques des forages

3.1 Classification de Piper

La répartition des eaux des forages dans le diagramme de piper permet d'identifier la position relative des anions et des cations contenus dans ces eaux respectivement sur le triangle anionique et le triangle cationique. La figure suivante présente le diagramme de piper, campagne mars 2019, pour les échantillons des eaux des forages.

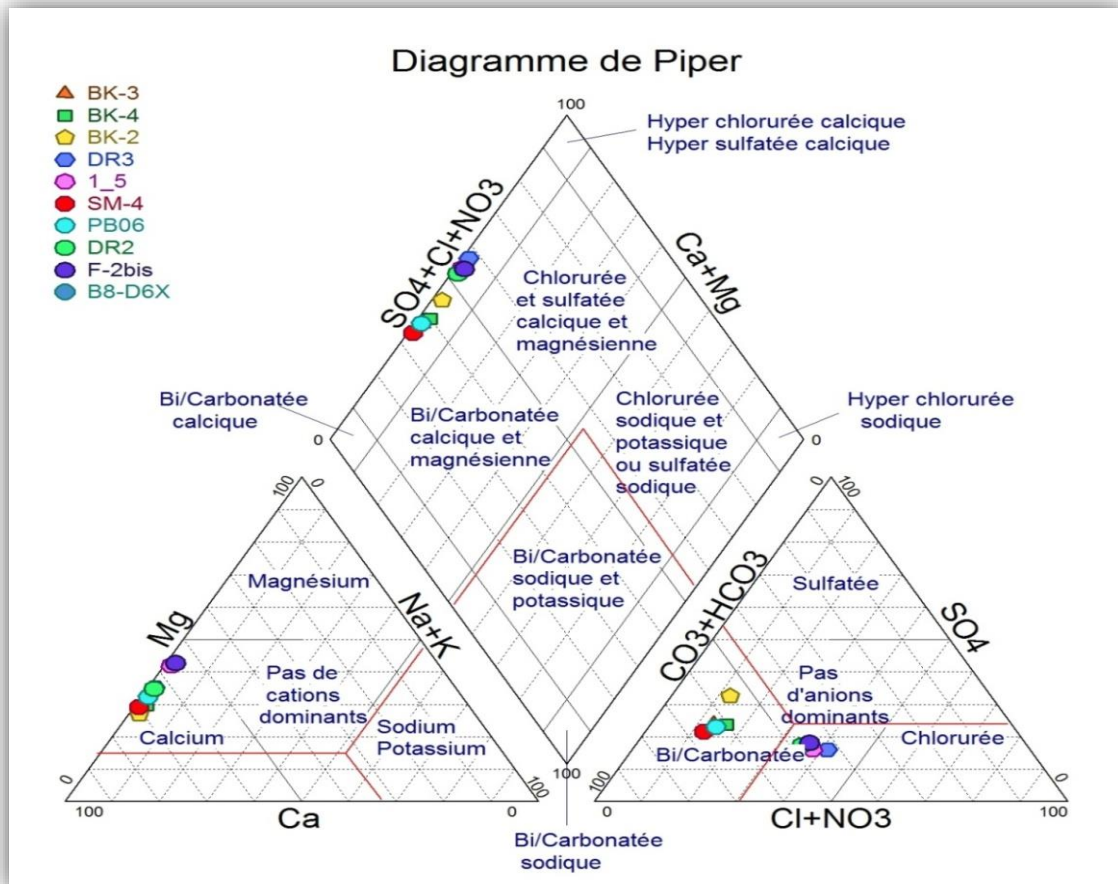


Figure 5.32 : Représentation des analyses chimiques anion et des cations sur le diagramme de Piper

La représentation des eaux de moyen Sébaou sur le diagramme triangulaire de PIPER montre le rassemblement de la quasi-totalité des anions dans le pôle bicarbonatée (BK-3, BK-4, BK-2, DR3, 1_5, SM-4, PB06) et le pôle chlorurée (DR2, F-2bis, B8-D6X), alors que les cations montrent une dominance magnésienne et calcique pour tous les points. Le diagramme global fait ressortir les faciès suivants: Bicarbonate calcique et magnésienne, chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

3.2 Classification de Schoëller-Berkaloff

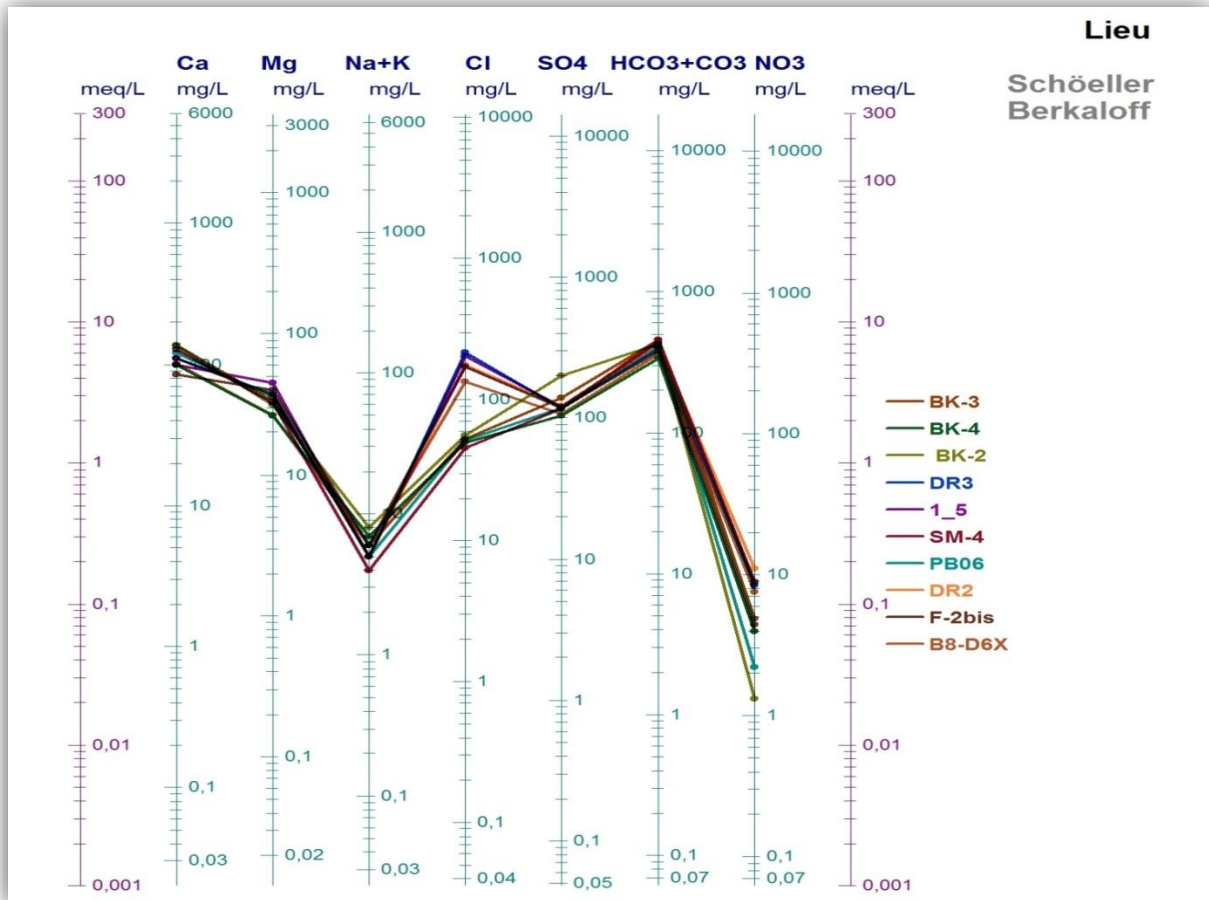


Figure 5.33: Représentation des analyses chimiques des cations et des anions sur le diagramme de Schoëller-Berkaloff

Les résultats présentés dans ce diagramme confirment les faciès trouvés dans le diagramme de piper. Pour la famille chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, la lithologie de l'aquifère est plus fine, la circulation de l'eau est difficile et le temps de contact eau-roche augmente d'où l'augmentation de la salinité et l'influence des argiles devient plus marquée. Ces résultats traduisent le phénomène de concentration par dissolution.

4 L'étude de la vulnérabilité des eaux de la nappe du moyen Sébaou à la pollution

Afin d'apprécier la vulnérabilité des eaux à la pollution, on calcule un indice dit de contamination.

Les indicateurs de pollution regroupent les cations (K^+ ; Na^+) et les anions (SO_4 , NO_3 , Cl^-). Un indice de pollution, calculé à partir des concentrations de ces ions,

Permet de classer l'eau analysée sur une échelle à 5 niveaux de pollution. Les classes ont été établies à partir des modifications induites par les polluants.

Tableau 5.18 : Classement en vue de la détermination de l'indice de contamination

Classe Ions	1	2	3	4	5
NO₃-	< 13	3-18	18-23	23-30	> 30
SO₄-	< 25	25-50	50-100	100-120	>120
Cl-	< 120	120-240	240-400	400-600	> 600
Na⁺, K⁺	< 80	80-160	80-160	200-300	> 300

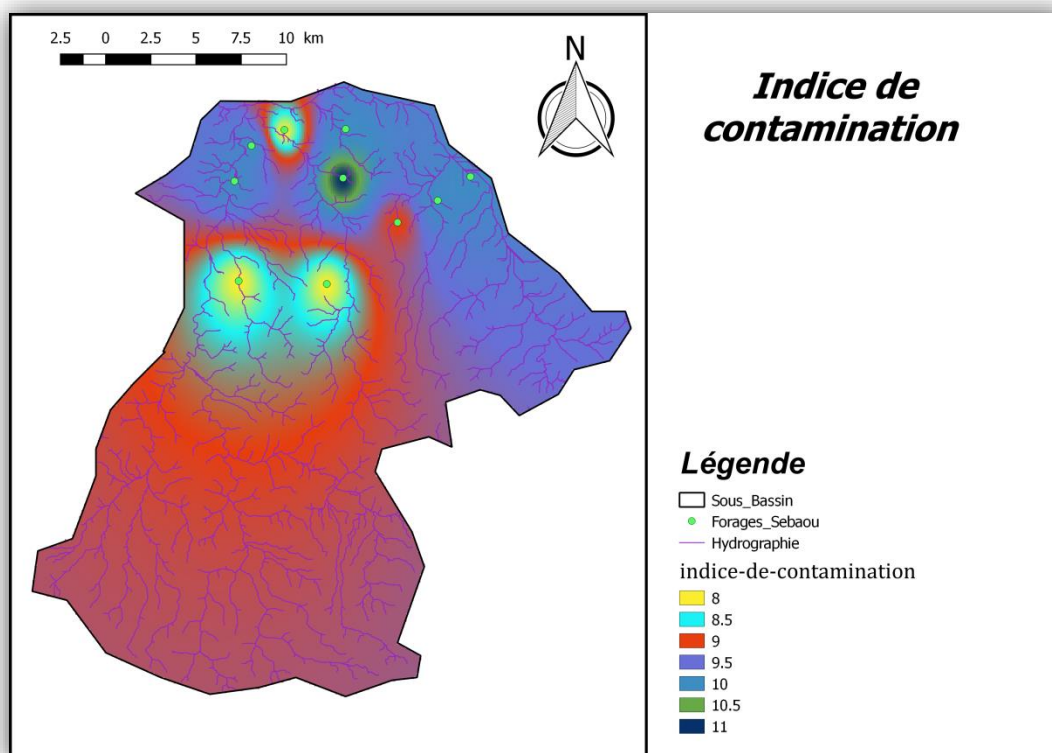
L'indice le plus élevé correspond à une pollution de très forte vulnérabilité à la pollution. Ce dernier correspond à la somme des numéros de classe déterminé en fonction de la teneur des nitrates, des sulfates, des chlorures, du sodium et dupotassium montrés au tableau ci-dessous.

- ✓ Si IC < 12 l'eau est faiblement sensible à la pollution
- ✓ Si 13 < IC < 15 l'eau est moyennement sensible à la pollution
- ✓ Si IC > 15 l'eau est fortement sensible à la pollution

Les indices de contamination et la vulnérabilité à la pollution des dix forages étudiés sont regroupés dans le tableau et la carte ci-dessous :

Tableau 5.19: Évolution d'IC dans la zone d'étude

<i>forages</i>	<i>IC</i>	<i>Vulnérabilité à la pollution</i>
BK-3	9	faiblement sensible
BK-4	8	faiblement sensible
BK-2bis	10	faiblement sensible
DR3	10	faiblement sensible
1_5	10	faiblement sensible
SM-4	8	faiblement sensible
PB06	8	faiblement sensible
DR2	11	faiblement sensible
F-2bis	10	faiblement sensible
B8-D6X	10	faiblement sensible

**Figure5.34 :Carte d'indice de contamination**

L'évaluation des indices de contamination montre que les eaux de moyen Sébaou sont faiblement sensibles à la pollution, les valeurs de ces derniers varient entre 8 et 11.

5 Conclusion

L'objectif de ce chapitre était d'étudier les caractéristiques physico – chimiques relatives à la qualité des eaux souterraines pour l'AEP de la ville de Tizi-Ouzou.

Tous Les ions testés, pendant notre période de prélèvement sont en dessous des normes algériennes et de l'OMS.

A la fin de ce chapitre on conclut que les eaux souterraines du moyen Sébaou sont faiblement vulnérables à la pollution ce qui confirme leur bonne qualité, et on remarque une dominance des anions chlorures et bicarbonates, et les cations calcium et magnésium. Selon la classification de Piper et de Schoeller-Berkaloff

Conclusion générale

L'objectif de notre travail était d'étudier les caractéristiques physico – chimiques et la vulnérabilité à la pollution relatives à la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation dans la wilaya de Tizi-Ouzou (moyen Sébaou).

La première partie de cette étude a donc consisté en une synthèse bibliographique, concernant un aperçu général sur les eaux souterraines destinées à la consommation en eau potable et à leurs vulnérabilités ensuite on a donné un aperçu général sur la nappe du moyen Sébaou.

La seconde partie de ce travail a été consacrée à la présentation et à l'exploitation des méthodes et des résultats d'essais expérimentaux qu'on a réalisés dans le cadre de cette étude.

L'étude effectuée a montré que la qualité des eaux des forages analysés est influencée par la composition chimique du sol et par des facteurs climatiques (les précipitations, la température). L'analyse réalisée a démontré qu'on période hivernal, l'eau souterraine de moyen Sébaou présente une bonne qualité.

Le calcul de l'indice de contamination (IC) relatif à chaque point d'eau a montré que les eaux souterraines de cette nappe (moyen Sébaou) sont faiblement vulnérables à la pollution.

La présentation des cations et des anions sur les diagrammes de piper et de Schoëller-Berkaloff ont ressorti les faciès Bicarbonate calcique et magnésienne, chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

Selon les normes des paramètres physico-chimiques on peut conclure que les eaux des forages analysés sont conformes à la norme d'OMS et la norme algérienne.

Ce modeste travail m'a donné l'occasion de me faire une idée de la vie professionnelle de connaître ce que c'est le travail en groupe. Le laboratoire m'a permis de développer mes capacités personnelles en hydrochimie des eaux et l'interprétation des résultats m'a permis d'apprendre la manipulation correcte des logiciels **Q-GIS** et **Diagramme** et de transformer les connaissances théoriques en compétences pratiques.

Annexes

Annexe 01 : Tableau 1 : les résultats d'analyses (Source : laboratoire ADE)

Les points de prélèvements (forages)	BK-3	BK-4	BK-2	DR3	DR5	SM-4	PB06	DR2	F-2bis	B8-D6X
Date de prélèvement	04/03	04/03	04/03	06/03	06/03	19/03	20/03	20/03	20/03	27/03
Heur de prélèvement	09h15	9h35	11h10	9h50	11h30	10h50	9h30	11h10	11h40	14h00
Paramètres physico-chimique										
pH	7,16	7,41	7,29	7,35	7,15	7,03	7,11	7,17	7,24	7,30
Conductivité (µS/cm)	1156	887	1208	1351	1392	986	1005	1428	1316	1195
Température (°C)	18,14	17,7	19,2	19,3	19,5	14,6	15,6	16	16,1	17,9
Turbidité (NTU)	0,10	0,22	0,17	0,22	0,20	0,25	1,38	0,25	0,09	0,23
Paramètres chimique (minéralisation globale)										
Calcium Ca^{++} (mg/l)	137,8 8	99,40	134,76	109,82	100,20	128,26	120,4	109,82	84,97	101
Magnesium Mg^{++} (mg/l)	33,06	26,25	31,12	36,95	45,22	32,58	35,49	36,47	39,87	26,74
Sodium Na^+ (mg/l)	75	60	90	140	140	36	34	110	105	105
Potassium K^+ (mg/l)	06	07	08	05	05	04	05	05	06	06
Chlorure Cl^- (mg/l)	52,47	49,63	55,31	214,85	204,21	45,38	51,76	175,85	172,3	133,3
Sulfate So_4^{2-} (mg/l)	138	104	200	116	120	116	118	122	118	106
Bicarbonate HCo^{3-} (mg/l)	453,8 4	336,72	427	392	436	454	408	424	376	362
Dureté TH (mg/CaCO ₃)	480	356	464	392	436	454	408	424	376	362
Paramètres de pollution (mg/l)										
Ammonium NH_4^+	00	0,21	0,37	00	00	00	00	00	00	00
Nitrate No_3^-	4,86	3,98	1,32	8,41	8,85	8,73	2,21	11	4,42	7,52
Nitrite No_2^-	00	0,02	0,04	00	00	00	00	00	00	00
Phosphate Po_4^{-3}	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Phosphore	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Paramètres indésirable (mg/l)										
Fer Fe^{2+}	0,02	0,01	0,03	0,05	0,05	0,03	0,07	0,06	0,06	0,04

Annexes

Annexes2 :

La figure représente un schéma simplifié de la pollution des eaux

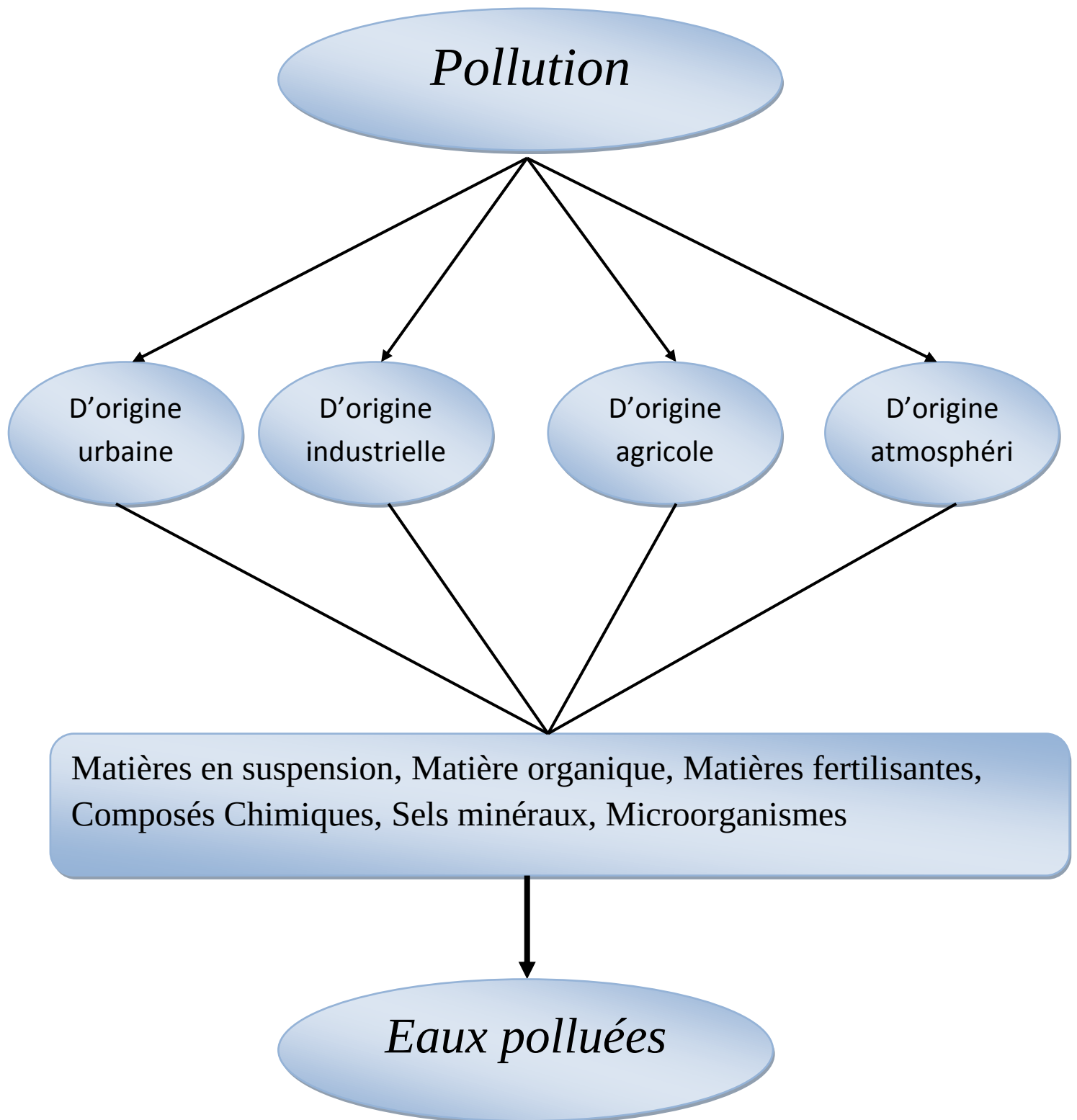
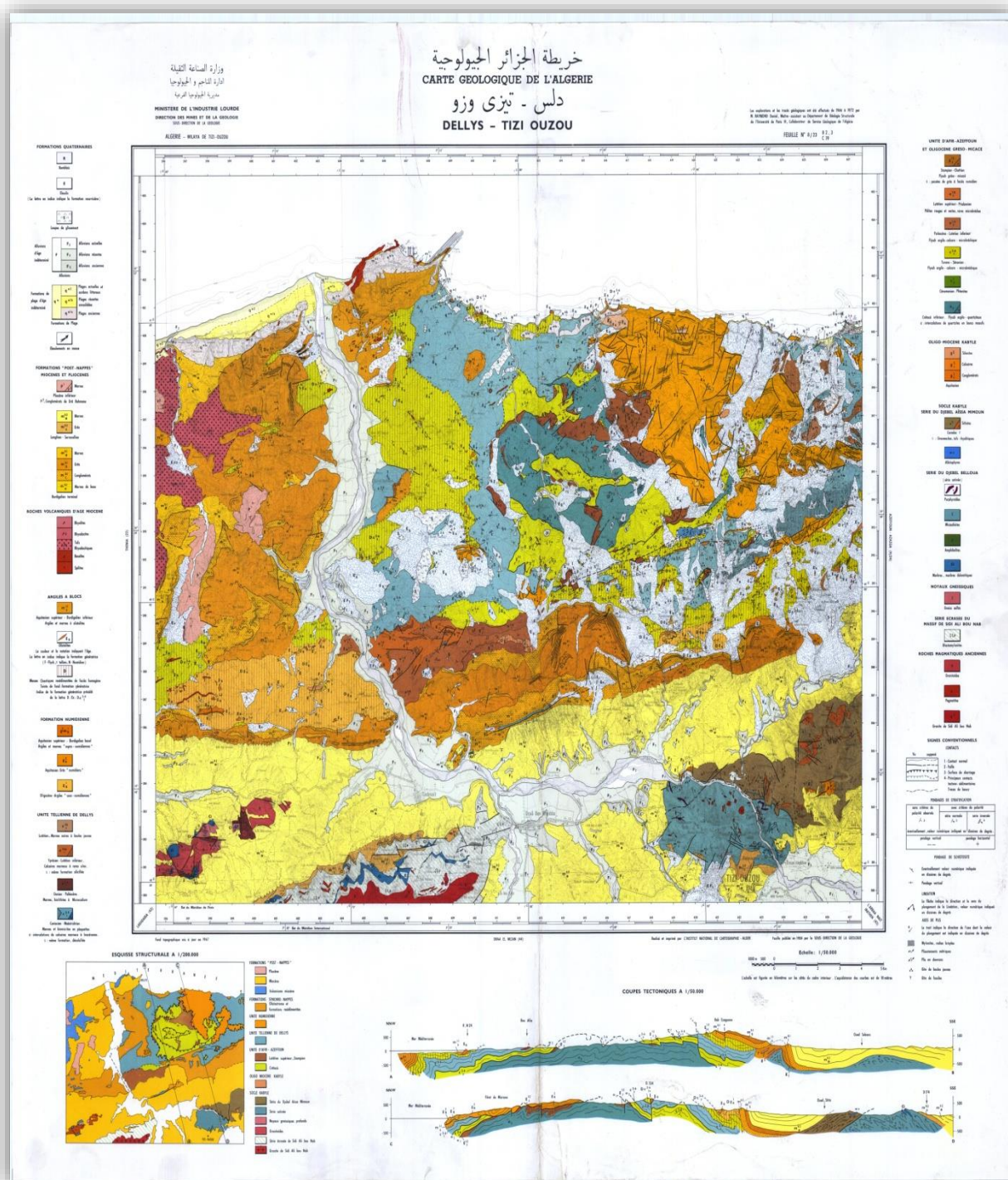


Figure : Schéma simplifiée de la pollution des eaux



Annexes

Annexes 4:

Carte des unités morpho structurales (M. BOUADJELA2013)

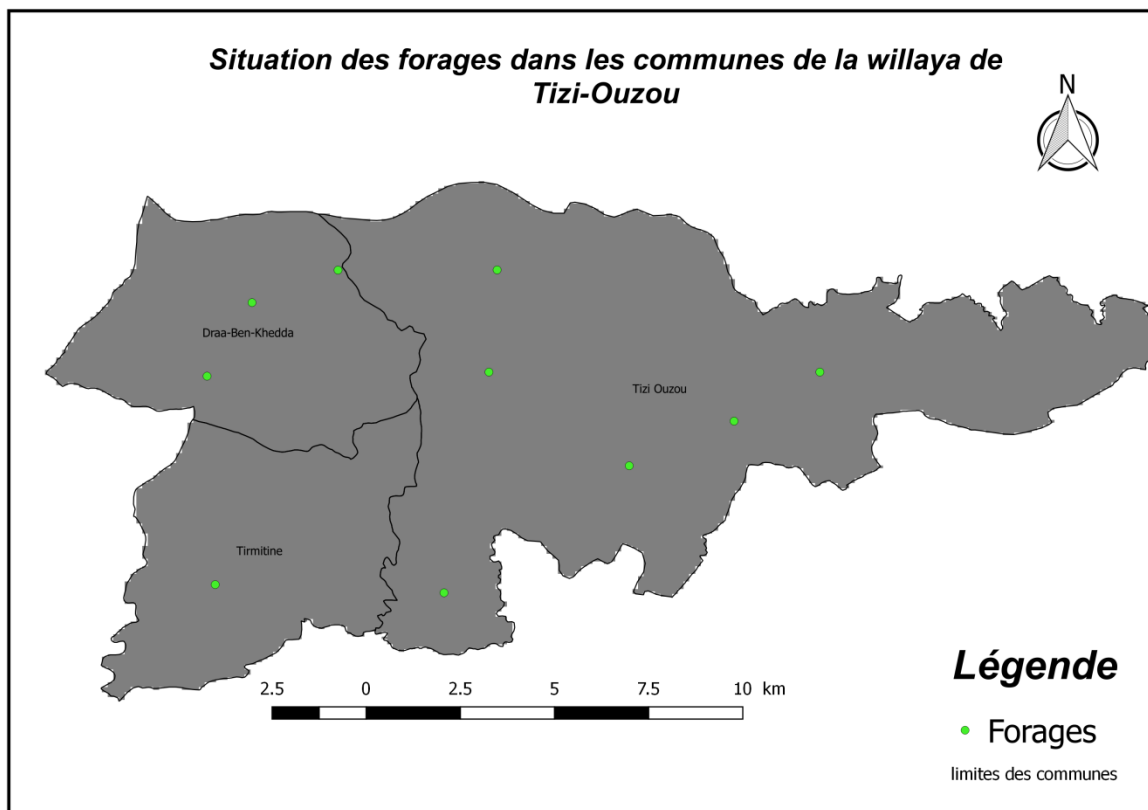


Annexes

Annexe 5 : Tableau des quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité

La Conductivité $\mu\text{s} / \text{cm}$	Appréciation
Conductivité $< 100 \mu\text{s} / \text{cm}$	Minéralisations très faibles
$100 \mu\text{s} / \text{cm} < \text{Conductivité} < 200 \mu\text{s} / \text{cm}$	Minéralisation faible
$200 \mu\text{s} / \text{cm} < \text{Conductivité} < 333 \mu\text{s} / \text{cm}$	Minéralisation moyenne
$333 \mu\text{s} / \text{cm} < \text{Conductivité} < 666 \mu\text{s} / \text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
$666 \mu\text{s} / \text{cm} < \text{Conductivité} < 1000 \mu\text{s} / \text{cm}$	Minéralisation importante
Conductivité $> 1000 \mu\text{s} / \text{cm}$	Minéralisation élevée

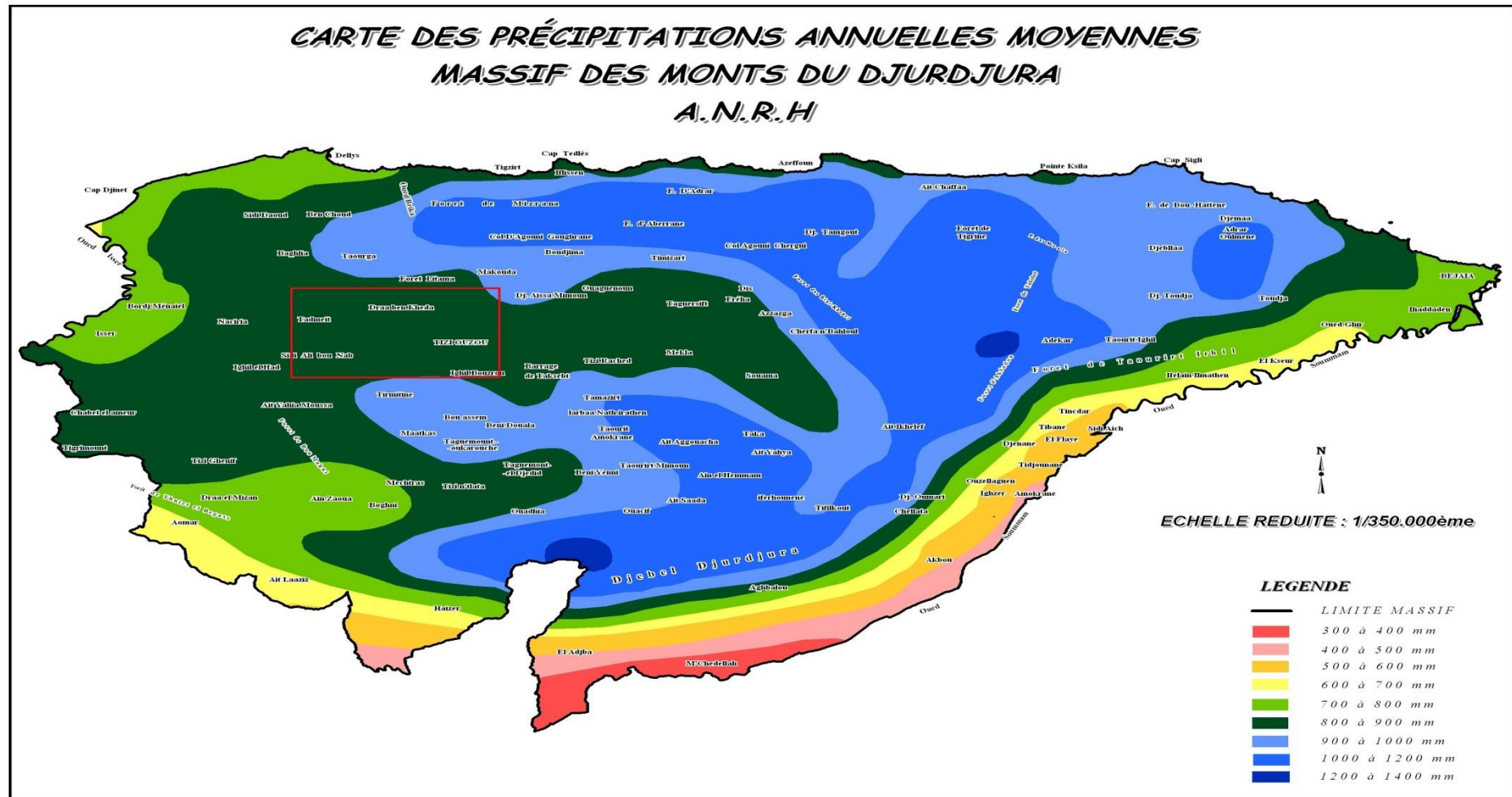
Annexe 6 : Situation de forages par limite administratif



Annexes

Annexes

Annexe7: Carte des précipitations annuelles moyennes massif des montagnes du Djurdjura (ANRH, T.O)



Annexes

Annexe 8 :

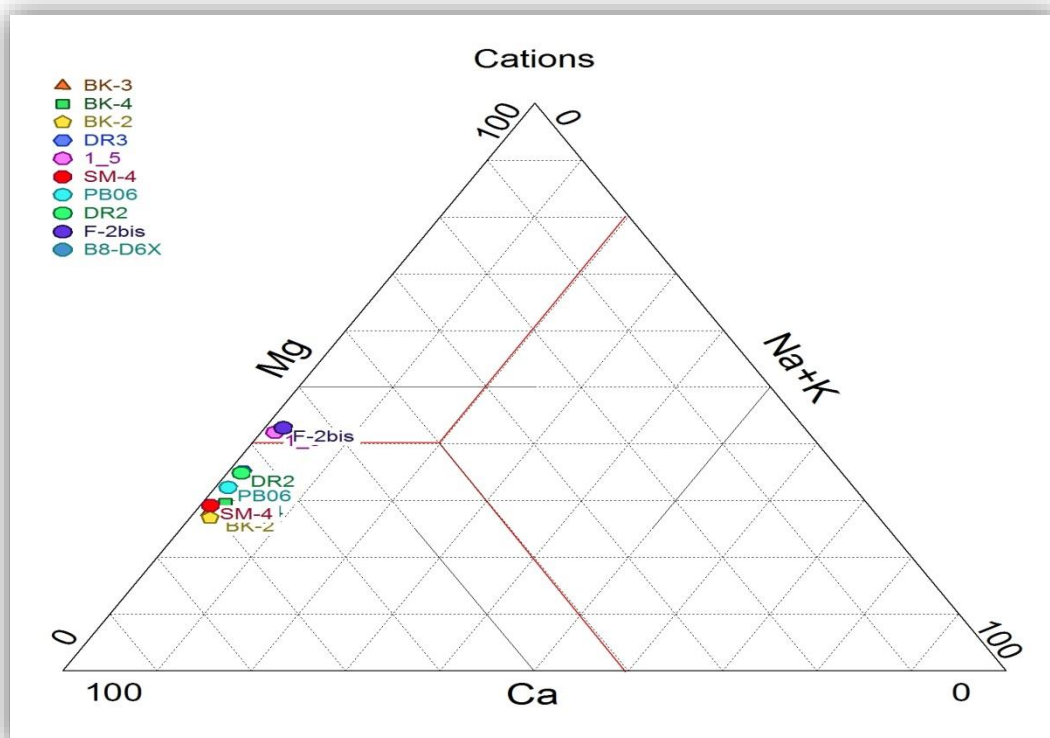


Figure : Présentation des cations sur le diagramme de piper

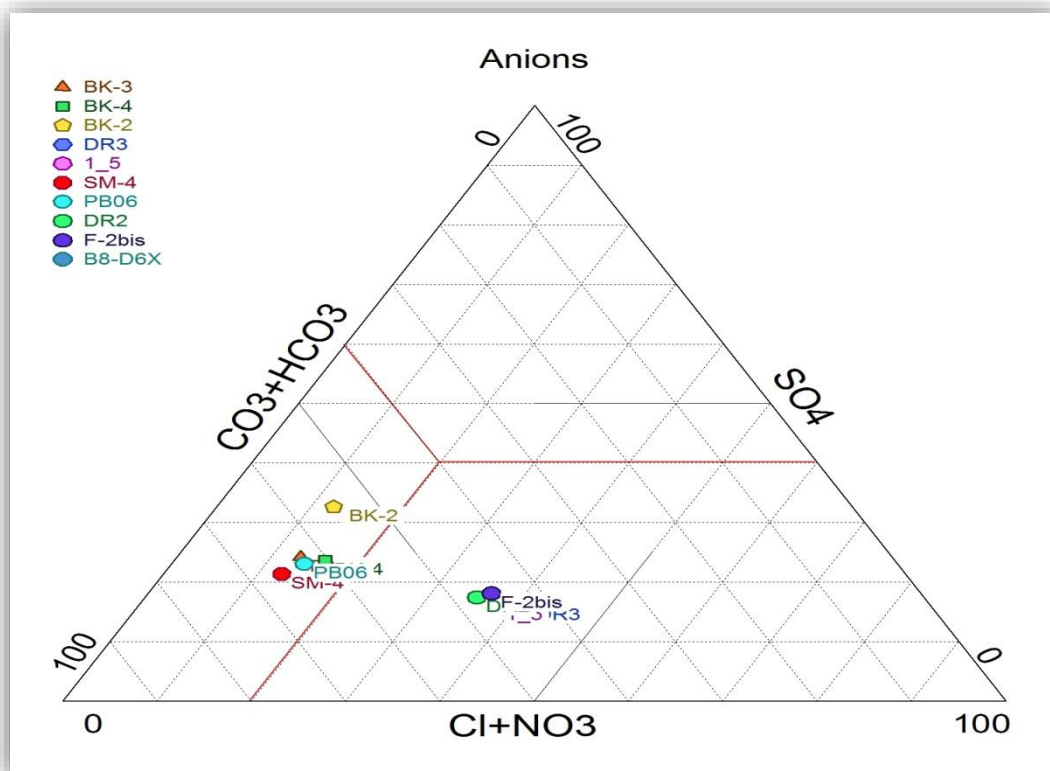


Figure: Présentation des anions sur le diagramme de piper

Références Bibliographique

1. DEGREMONT : Mémento technique de l'eau 1989.
2. DRASTIC Index and vulnerability class (Aller et al, 1987)
3. *FAGNAN, Nathalie (1998)*. Cartographie hydrogéologique régionale et vulnérabilité des aquifères de la MRC de Portneuf. Mémoire. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Maîtrise en sciences de la terre, 298 P.
4. Valérie Murat ,2000 MURAT, V., 2000 : Etude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères à la pollution : Application aux aquifères granulaires du PIEMONT LAURENTIEN.191 p, Université du Québec, INRS-Géoressources (Québec).
5. LAMARI C, MOKHTARI L, OUKACINE N université de Tizi Ouzou institut de biologie, CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INFLUENCE DES EAUX DE SURFACE SUR LES EAUX SOUTERRAINES (MOYEN SEBAOU) , (1993/ 1994).
6. SANDRE : Dictionnaire des données ; Mesure de la qualité, Mesure de la qualité des eaux souterraines, 2011
7. RODIER. J, BAZIN .C, BROUTIN. J.P, CHAMBON. P, CHAMPSAUR. H, RODI .L L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer ; 8ème édition. Paris: DUNOD ;1384 p, 1996.
8. CHAPMAN D., KIMSTACH V. (CHAPMAN D). Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon,
9. JOEL. G : La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, Paris, Novembre (2003). PECK.H. D ;Sulphur requirements and metabolism of microorganisms, 1970.
10. Direction des ressources en eau, Tizi-Ouzou (D.R.E., Tizi-Ouzou) ,2017 -2018 : Données pluviométriques de la station Tizi-Ouzou
11. BOUGUETTIT, K et BENHAMIDA,N. Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (Cas de la nappe du Continental Intercalaire)

12. Bernard Dussart, *Limnologie, l'étude des eaux continentales*, Paris, Gauthier-Villars, 1966
13. Bilel Zerouali, Mohamed Mesbah, Mohamed Chettih, Zaki Abda, Mohammed Djemai Analyse et cartographie des tendances pluviométriques dans le bassin versant de l'oued Sébaou (Nord-Centre de l'Algérie),2015.
14. Nassima MOUHOUS et Arezki OULD AMARA carte pluviométrique de l'Algérie du nord.
15. AZI Dalila, AFIRI Nadia, Evaluation de la qualité biologique des eaux superficielles et leurs influences sur les eaux souterraines (cas oued aissi et moyen Sébaou),2005
16. M.BOUADJELARELEVES PIEZOMETRIQUES DANS LA VALLEE DU SEBAOU (Basses Eaux 2012/Hautes eaux 2013)
17. Y. CHADRINE, Etude hydrogéologique de la nappe de l'oued Sébaou. Juin/ 1973
18. MERZOUGUI Fatma,APPROCHE METHODOLOGIQUE GOD DE L'ETUDE DEVULNERABILITE D'UNE NAPPE D'EAU SOUTERRAINE (CAS DE LA NAPPE ALLUVIALE DU SEBAOU) 2017
19. S. bencheikh, M., M. Goudjile, la pollution minérale et organique des eaux souterraines de laCuvette de Ouargla, Sud-est Algérien, diplôme de Master, université de kasdi merbahOuargla 2011
20. MYRAND Diane. M. Sc, GUIDE TECHNIQUE ; CAPTAGE D'EAU SOUTERRAINE POUR DES RÉSIDENCES ISOLÉES, 2008
21. OMS. (1972), Normes internationales applicables à l'eau de boisson, Genève.
22. Queneau, P et Hubert, J. (2009),Place des eaux minérales dans l'alimentation, Rapport de l'académie national de médecine, Société française de l'hydrologie et climatologie médicale France, pp 175-220
23. Djemmal S. (2009),l'Effet de la sebkha sur la qualité des eaux Souterraines dans la partie sud-est de Sétif Cas du Guidjal, Thèse de Magister en Géologie, Université de Constantine, Algérie.

Résumé

Le présent travail est consacré à l'étude de la potabilité des eaux de la nappe du moyen Sébaou ainsi que sa vulnérabilité à la pollution à travers un ensemble d'analyses physico-chimiques qu'on a effectué sur dix forages durant le mois de mars 2019 et le calcul de l'indice de contamination.

A travers les résultantes obtenues, on remarque que tous les paramètres analysés sont conformes aux normes de potabilités algériennes et de l'OMS.

Il ressort de cette étude que l'eau souterraine de cette nappe (moyen Sébaou) est une eau Bicarbonate calcique et magnésienne qui est d'une bonne qualité avec une faible vulnérabilité à la pollution

Mots clé : Eaux souterraines, forages, paramètres physico-chimiques, pollution, moyen Sébaou

Abstract

The present work is devoted to study the portability of the waters of the waters in the Sebaou average water table as well as its vulnerability to pollution through a set of analyzes physico-chemical analyzes that we carried out the month of March 2019 and the calculation

Through the resulting results, we note that all parameters analyzed comply with the standards of Algerian portability and the WHO.

This study shows that the groundwater of this water table (Sébaou average) is calcium and magnesium bicarbonate water, which is of good quality with a low vulnerability to pollution.

Keywords: grounds water, physico-chemical parameters, Sébaou average

ملخص

هذا العمل هو دراسة صلاحية الشرب من المياه الجوفية في طبقة السباو والأوسط وحساسيتها للتلوث من خلال مجموعة من التحليل الفيزيائية الكيميائية التي أجبرناها على عشرة آبار ارتوازية خلال شهر مارس 2019 وبحساب مؤشر التلوث.

من خلال النتائج المتحصل عليها نلاحظ أن كل الخصائص المعايير تطابق معايير صلاحية شرب المياه الجزائرية ومعايير منظمة الصحة العالمية.

ينتج من هذه أن المياه الجوفية لهذه المنطقة (سباو الأوسط) هي مياه تحوي البيكربونات، الكالسيوم والمغنيزيوم والتي تعتبر من نوعية جيدة مع حساسية ضعيفة للتلوث.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية - الآبار الارتوازية - الخصائص الفيزيائية الكيميائية - التلوث - السباو الأوسط