

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

جامعة مولود معمري

FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉOLOGIQUES



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Filière : Géologie

Option : Hydrogéologie

Par : DJENANE Meriem

Thème :

Evaluation et cartographie de la qualité des eaux souterraines par l'indice
GWQI (GroundwaterQuality Index) et leur aptitude à l'irrigation :

Cas de la nappe de l'Oued El Hachem , wilaya de Tipaza

Soutenu publiquement le 20/09/2023 devant le Jury composé de :

M. MAKHLOUF Ali	M.C.C.A à l'UMMTO	Président
M. DROUCHE Abdelmadjid	M.C.C.B à l'UMMTO	Encadrant
Mme DJEMA Manal	Ingénieur à DREW Boumerdès	Co-encadrant
M. KARDACHE Ramdane	M.C.C.A à l'UMMTO	Examineur

2022/2023

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier avant tout le bon Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage et la force d'élaborer ce travail.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que j'adresse mon sincères remerciements à l'égard de mon promoteur Monsieur Abdelmadjid Drouiche, pour avoir proposé ce thème et d'avoir suivi et dirigé ce travail, qui était d'un apport précieux,

je remercie aussi les membres du jury qui ont accepté d'examiner ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ici mes plus vifs remerciements à Monsieur Yahiaoui A., chef de service à l'ANRH de Koléa ainsi qu'à tout le personnel de l'ANRH de Blida pour toute leur aide et leur précieuse contribution en mettant à ma disposition toutes les informations nécessaires pour la réalisation de ce mémoire.

Je remercie très chaleureusement aussi monsieur SEMAR A., Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie pour tous son aide, ses Conseils et ses orientations.

Je ne peux conclure mes remerciements sans une pensée à l'ensemble de mes enseignants du Département des Sciences Géologiques, qui ont encadré ma formation à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

Enfin, je tiens à saluer toute personne qui, de près ou de loin, agénèreusement contribué à l'élaboration de ce travail.

Merci

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

Avant tout, à ma grand-mère ;

A mes chers parents, pour leur soutien immense qu'ils n'ont cessé de m'apporter ainsi que les conseils qu'ils m'ont prodigués, sans lesquels, j'avoue que je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui.

A Mon promoteur Monsieur DROUICHE Abdelmadjid

A mon Bras droit, LOUNIS pour tout leur soutien moral

A ma petite sœur Manal

A ma meilleure amie d'enfance SAMIRA .ALEMI

A tous mes amies.

A toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

MERJEM DJENANE

Résumé

Ce travail a consacré l'évolution et cartographie des eaux souterraines par l'application de l'indice GWQI pour évaluer la qualité des eaux souterraines et leur aptitude à l'irrigation. La plaine de l'oued El Hachem, situé à l'Ouest de Tipaza, est connue par sa vocation agricole. Les eaux souterraines de la nappe alluviale sont utilisées dans cette activité. Cette plaine renferme un aquifère alluvionnaire profond avec terrasse alluviale et marine. Dans ce travail on a étudié l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours de deux campagnes (Haute Eaux et Basses eaux, 2018). Le suivi de l'indice (GWQI) montre que les eaux souterraines de la plaine de l'Oued El Hachem sont essentiellement de bonne qualité sauf un seul point localisé en aval caractérisé par une qualité médiocre. Selon la valeur moyenne du SAR et Na%, il a été révélé que les eaux souterraines de la plaine de l'Oued El Hachem présentent un faible danger d'alcalinisation et pourraient donc être utilisées pour l'irrigation.

Mot clés : Eaux Souterraines, Aquifère, GWQI, Oued El Hachem, SAR, Na%, Irrigation.

Abstract

This study focused on the evolution and mapping of groundwater by applying the GWQI index to assess the quality of groundwater and their suitability for irrigation. The plain of Oued El Hachem, located in the West of Tipaza, is known for its agricultural vocation. Groundwater from the alluvial aquifer is used in this activity. This plain contains a deep alluvial aquifer with alluvial and marine terraces. In this work we studied the evolution of physicochemical parameters during two campaigns (High Water and Low Water 2018). Monitoring of the index (GWQI) shows that the groundwater of the Oued El Hachem plain is essentially of good quality except for a single point located downstream which is classified as poor quality. According to the average value of SAR and Na%, it was revealed that the groundwater of the Oued El Hachem plain presents a low danger of alkalization and could therefore be used for irrigation.

Keywords: Groundwater, Aquifer, GWQI, Oued El Hachem, SAR, Na%, Irrigation.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	2
1. Introduction	2
2. Cadre géographique de la région	2
3. Découpage administratif.....	4
4. Hydrographie de la région de Tipaza	4
5. Cadre géographique de la plaine de l'Oued El Hachem	4
6. Caractéristiques du bassin versant	5
6.1. Les caractéristiques géométriques.....	5
6.2. Caractéristiques hydrographiques	6
6.3. Caractéristiques hypsométriques.....	6
6.4. Le relief.....	7
6.5. Degré de pente	8
7. Ressources en eaux disponibles à l'échelle de Tipaza	8
7.1. Les ressources conventionnelles	8
7.1.1. Les eaux de surfaces	8
7.1.2. Les eaux souterraines.....	9
7.2. Les ressources en eau non conventionnelles.....	9
7.2.1. Les eaux des stations d'épuration (STEP)	9
7.2.2. Les eaux de dessalement SDEM (Station de Dessalement d'Eau de Mer).....	10
8. Développement socio-économique	10
8.1. Potentiels humains.....	10
8.2. Potentiels agricoles.....	10

8.3. Développement Forestier	10
8.4. Développement touristique	10
8.5. L'industrie	11
9. Conclusion	11
CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE....	12
1. Introduction	12
2. Contexte géologique régional	12
2.1. Domaine de l'Atlas tellien.....	12
2.1.1. Tell méridional	13
2.1.2. Tell septentrional	13
Domaine des hautes plaines ou hauts plateaux	13
2.1.3. Domaine de l'Atlas saharien.....	14
3. Contexte géologique local	14
3.1. Les terrains éruptifs	14
3.2. Les terrains primaires	14
3.3. Les terrains secondaires	14
3.3.1. Le Trias	14
3.3.2. Le Jurassique	15
3.3.3. Le Crétacé	15
3.3.3.1. Le Crétacé inférieur	15
3.3.3.2. Le Crétacé moyen	15
3.3.3.3. Le Crétacé supérieur	15
3.4. Les terrains Tertiaires	15
3.4.1. L'Eocène	15
3.4.2. Le Miocène.....	15
3.4.3. Le Pliocène.....	16
3.4.3.1. Le Plaisancien	16
3.4.3.2. L'Astien.....	16
3.5. Les Terrains quaternaires.....	16
4. Contexte géologique de la plaine de l'Oued El Hachem	17
5. Description lithostratigraphie de la zone d'étude	17
6. Aperçu hydrogéologique	19

6.1. Étude Géophysique.....	20
6.1.1. Coupes géophysiques.....	20
6.1.2. Carte des résistivités apparentes AB 80 m.....	22
6.1.3. Cartes du toit et du mur de la nappe	22
6.1.4 La Géométrie	23
6.2. Piézométrie de la plaine de l'Oued El Hachem	23
7. Conclusion	25
CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE	26
1. Introduction	26
2. Aperçu sur le climat à l'échelle régionale et locale	26
3. Précipitations	26
3.1. Collecte des données	26
3.2. Précipitations mensuelles.....	27
3.3. Précipitations annuelles	28
4. Température.....	29
4.1. Evolution de la température sur la période 1987-2015	29
4.2. Diagramme Ombrothermique (Bagnouls et Gausson)	30
5. Humidité relative	31
6. Vitesse du vent.....	32
7. Bilan hydrologique.....	33
7.1. Evapotranspiration	33
7.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)	33
7.1.2. Evapotranspiration réelle	34
7.1.2.1. Formule de Turc.....	34
7.1.2.2. Formule de Coutagne.....	35
7.1.2.3. Bilan simplifié de Thornthwaite.....	35
7.2. Lamme d'eau ruisselée	37
7.3. Lamme d'eau infiltrée	38
7.4. Estimation du bilan hydrologique	38
8. Conclusion.....	39
CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE	40
1. Introduction	40

2. Inventaire des points d'eaux	40
3. Paramètres physico-chimiques	41
3.1. Potentiel hydrogène (pH).....	41
3.2. La conductivité.....	42
3.3. Résidu Sec.....	42
4. Balance Ionique	43
5. Évolution spatio-temporelle des éléments majeurs.....	45
5.1. Cations	45
➤ Teneur en Calcium (Ca^{2+})	45
➤ Teneur en Magnésium (Mg^{2+})	45
➤ Teneur en Sodium (Na^+).....	45
➤ Teneur en potassium (k^+)	45
5.2. Anions.....	45
➤ Teneur en chlorure (Cl^-).....	45
➤ Teneur en sulfates (so_4^{2-}).....	45
➤ Teneur en Bicarbonate (HCO_3^-)	46
6. Facies Hydrochimiques	54
6.1. Formule de Stabler	54
6.2. Présentation graphique : Diagramme de Piper et Diagramme de Schöeller-Berkaloff	55
6.2.1. Facies hydrochimiques des eaux de juillet 2018	56
6.2.1.1. Diagramme de piper	56
6.2.2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	56
6.2.2. Basses eaux	57
6.2.2.1. Diagramme de Piper	57
6.2.2.2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	58
7. Teneur en Nitrates (NO_3^-).....	58
8. Conclusion	59
CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI.....	60
1. Introduction	60
2. Indice de qualité des eaux souterraines (GWQI)	60

2.1. Définition l'indice GWQI	60
2.2. Méthode de calcul l'indice GWQI.....	60
3. Calcul de l'indices GWQI et évaluation de la qualité des eaux souterraines de l'Oued El Hachem	61
3.1. Indice de qualité de l'eau GWQI	61
3.2. Variation spatiale de la qualité des eaux souterraines selon GQWI	64
4. Aptitude des eaux à l'irrigation	65
4.1. Taux d'adsorption du sodium ou Sodium Adsorption Ratio (SAR)	65
4.2. Pourcentage de sodium (%Na).....	65
4.3. Taux d'Absorption du Sodium (SAR).....	66
5. Conclusion.....	69

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Liste des tableaux

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau 1: Découpage administratif de la Willaya de Tipaza.....	3
Tableau 2 : Bassins versants de la willaya de Tipaza	3
Tableau3 : Caractéristiques géométriques du bassin versant de l'Oued El Hachem (ANRHBlida, 2004)	5
Tableau 4:Présentation des caractéristiques des barrages (Ammari, 2012)	9
Tableau 5:Capacité des retenues collinaires (Ammari, 2012).....	9
Tableau 6:Stations de traitement des eaux usées (Benmeddah, 2018)	9
Tableau 7:Station de Dessalement d'Eau de Mer (Benmeddah, 2018)	10

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau 8 : Mesures des campagnes piézométriques (ANRH, 2018).....	23
--	----

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

Tableau 9 :Caractéristiques des stations pluviométriques adoptées (ANRH, 2015)	26
Tableau 10 : Températures Moyennes Minimales et Maximales Enregistrées Dans La Station De Boukourdane (1987-2015).....	30
Tableau 11. Moyenne mensuelle des températures et précipitations enregistrées à la station de Boukourdane (1987-2015)	31
Tableau 12. Valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative au niveau de la station de Boukourdane (1987-2015).....	32
Tableau 13 : Valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent dans la station de Boukourdane (1987-2015).....	32
Tableau 14 : Valeurs de l'ETPc calculées par la formule Thornthwaite à la station de Boukourdane (1987-2015).....	34
Tableau 15 : Bilan simplifié de Thornthwaite, station de Boukourdane (1987-2015)	36
Tableau 16 : Valeurs de l'ETR obtenues par les trois méthodes	37
Tableau 17 : Tableau récapitulatif des différents termes du bilan hydrologique, station de Boukourdane (1987-2015).....	38

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

Tableau 18 : Inventaire des points d'eaux d'Oued El Hachem	41
Tableau 19 : Teneurs en éléments chimiques majeurs (mg/l) et balance ionique (juillet 2018) (HE)	44
Tableau 20 : Teneurs en éléments chimiques majeurs (mg/l) et balance ionique (octobre 2018) (BE)	44

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

Tableau 21 : qualité des eaux souterraines en fonction des valeurs de l'indice GWQI.....	61
Tableau 22 : Poids relatifs des paramètres physicochimiques Selon les normes de l'OMS	62
Tableau 23: Valeurs du produit de $W_i * Q_i$ pour chaque échantillon, juillet 2018	62
Tableau 24 :Valeurs du produit de $W_i * Q_i$ pour chaque échantillon, octobre 2018.....	63
Tableau 25 : Classes de la qualité des eaux souterraines selon GWQI (juillet et octobre 2018).....	63
Tableau 26 : Évolution des classes d'irrigation selon Wilcox	65
Tableau 27 : Classification des eaux destinées à l'irrigation, selon les valeurs du SAR et de la conductivité électrique (<i>US Salinity Laboratory Staff, 1954, cité par Sandao, 2013</i>).	67
Tableau 28 : La classification de Richards basée sur la conductivité et le SAR	67

Liste des figures

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Figure 1: Localisations de la Wilaya de Tipaza et le sous bassin de la zone d'étude.....2

Figure 2: Carte du chevelu hydrographique de l'Oued El Hachem.....6

Figure 3 : Carte hypsométrique de la vallée de l'Oued El Hachem7

Figure 4: Carte du relief (A) et de pente (B) de l'Oued El Hachem.....8

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Figure 5 : Carte structurale de l'Algérie (Wildi, 1983).....12

Figure 6: Log stratigraphique des formations de la vallée d'ElHachem et ses caractéristiques hydrogéologiques (ANRH Blida, 2004).18

Figure 7: Coupes transversales de l'oued El Hachem (Extrait de la notice explicative de la carte hydrogéologique de la région d'Alger 1/200000) (CGG, 1966)20

Figure 8: Coupes géophysiques et leurs positions (C.G.G.1966).....21

Figure 9: Carte des résistivités apparente AB 80m reconstituée d'après la CGG (1966).....22

Figure 10: Cartes du mur (A) et du toit (B) de la nappe reconstituée d'après la CGG (1966)23

Figure 11 : Carte piézométrique de l'oued El Hachem, juillet 201824

Figure 12 : Carte piézométrique de l'oued El Hachem, octobre 2018.....25

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

Figure 13 : Carte de Situation des Stations Pluviométriques27

Figure 14 : Précipitations Mensuelles au Niveau de la Station Boukourdane et Pont CW7 Hajout (1982-2015)28

Figure 15 : Précipitations Mensuelles au Niveau de la Station d'Attatba et d'Ain Tagourait (1982-2015).....28

Figure 16 : Variation des Précipitations Annuelles au Niveau des Stations Pont cw7 Hajout et Boukourdane (1982-2015)29

Figure 17 : Variation des Précipitations Annuelles au Niveau des Stations d'Attatba Cave et d'Ain Tagourait (1982-2015)29

Figure 18 : Variations Des Températures mensuelles de la Station de Boukourdane (1987-2015)30

Figure 19 : Diagramme Ombrothermique établi pour la plaine d'Oued El-Hachem (1987-2015)31

Figure 20 : Variation de l'humidité relative mensuelle de la station de Boukourdane (1987-2015).....32

Figure 21 : Variation mensuelle de la Vitesse du Vent de la Station de Boukourdane (1987-2015).....33

Figure 22 : Bilan simplifié de Thornthwaite, station de Boukourdane (1987-2015).....37

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

Figure 23 : Répartition des points d'eau de la plaine de l'Oued El Hachem40

Figure 24 : Évolution du pH en juillet 2018 (HE) et octobre 2018 (BE).....41

Figure 25: Évolution de C.E en Juillet 2018 (HE) et Octobre 2018 (BE)42

Figure 26: Évolution du Résidu Sec en Juillet 2018 (HE) et Octobre 2018 (BE).....43

Figure 27 : Carte des Teneurs en calcium des eaux souterraines, hautes eaux 201847

Figure 28: Carte des teneurs en calcium des eaux souterraines, basses eaux 2018.....47

Figure 29 : Carte des teneurs en magnésium des eaux souterraines, hautes eaux 201848

Figure 30 : Carte des teneurs en magnésium des eaux souterraines, basses eaux 201848

Figure 31 : Carte des teneurs en sodium des eaux souterraines, hautes eaux 2018.....49

Figure 32 : Carte des teneurs en sodium des eaux souterraines, basses eaux 2018.....49

Figure 33: Carte des teneurs en potassium des eaux souterraines, hautes eaux 201850

Figure 34 : Carte des teneurs en potassium des eaux souterraines, basses eaux 201850

Figure 35 : Carte des teneurs en chlorure des eaux souterraines, hautes eaux 201851

Figure 36 : Carte des teneurs en chlorure des eaux souterraines, basses eaux 201851

Figure 37 : Carte des teneurs en sulfates des eaux souterraines, hautes eaux 201852

Figure 38 : Carte des teneurs en sulfates des eaux souterraines, basses eaux 201852

Figure 39 : Carte des teneurs en bicarbonate des eaux souterraines, hautes eaux 201853

Figure 40 : Carte des teneurs en bicarbonate des eaux souterraines, basses eaux 201853

Figure 41 : Interface de commande du logiciel DIAGRAMME.54

Figure 42 : Diagramme de Stabler hautes eaux (à gauche) et basses eaux (à droite) 2018. 55

Figure 43 : Diagramme de Piper et diagramme deSchöeller-Berkaloff.....55

Figure 44 : Diagramme de Piper, juillet 201856

Figure 45 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff, juillet 2018.....57

Figure 46 : Diagramme de Piper, octobre 2018.....57

Figure 47 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff, octobre 2018.58

Figure 48: Evolution des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines de l'Oued El Hachem en Juillet (HE) et Octobre (BE) 201859

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

Figure 49 : Variation spatiale de l'indice GWQI des eaux souterraines (juillet 2018).....	64
Figure 50 : Variation spatiale de l'indice GWQI des eaux souterraines (octobre 2018).....	64
Figure 51 : Diagramme Wilcox, juillet 2018	66
Figure 52 : Diagramme Wilcox, octobre 2018.....	66
Figure 53: Classification de pourcentage de sodium selon Richards, juillet 2018.....	68
Figure 54: Classification de pourcentage de sodium selon Richards, octobre 2018.....	69

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydriques.
ONS	: Organisation Nationale des Statistiques.
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé.
CGG	: Centre Géophysique et Géologique.
e %	: Pourcentage d'erreur.
GWQI	: GroundwaterQuality Index.
SAR	: Sodium Adsorption Ratio.
Na%	: Sodium en Pourcentage

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une molécule vitale qui reflète une réalité avérée « sans eau, pas de vie ». C'est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour de nombreuses activités humaines. 70 % de la superficie de la terre est occupée par l'eau avec Seulement 2,2 % de qualité douce, et dont 22 % proviennent des eaux souterraines (Benmeddah, 2018). Ces dernières représentent une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Leurs exploitations présentent des avantages économiques remarquables du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement et parfois même aucun. L'allure de cet avantage relatif requiert cependant que les mesures soient prises pour préserver de façon durable la qualité de cette importante ressource.

La zone d'étude est la plaine alluviale de l'Oued El Hachem du littoral Algérien, située à l'Ouest d'Alger et à quelque kilomètre à l'Est de Cherchell. Elle est connue par sa vocation agricole. Cette activité est assurée par les eaux souterraines. Ces dernières s'écoulent selon deux directions. Le premier suit le sens de l'écoulement l'oued El Hachem (SE-NE) et le deuxième est d'orientation NNE-SSW.

L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de la plaine et étudier leur qualité et aptitude à l'irrigation.

Ce travail est amené à répondre aux préoccupations suivantes :

- 1.1. Comment évoluent les éléments Chimiques majeurs et les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans le temps et dans l'espace ?
- 1.2. Quels est l'état de la qualité des eaux souterraines de la nappe de l'Oued El Hachem ?

Afin de répondre à ces préoccupations, le présent manuscrit est organisé comme suit :

- 1.3. Chapitre 1 : il est consacré à l'étude des contextes géographique et hydrographique de la zone d'étude ;
- 1.4. Chapitre 2 : traite la géologie, l'hydrogéologique de la nappe et ses caractéristiques lithologiques, hydrodynamiques et piézométriques.
- 1.5. Chapitre 3 : il est réservé à l'étude hydroclimatique de la zone d'étude.
- 1.6. Chapitre 4 : il présente l'étude de l'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de l'Oued El Hachem.
- 1.7. Le dernier chapitre est réservé à la détermination de la qualité des eaux souterraines à l'aide de l'indice *Ground Water Quality Index* (GWQI) et les classifications des salinités des Eaux selon Richards et Wilcox.

En fin, nous terminerons par une conclusion générale qui récapitule les caractéristiques essentielles et les résultats obtenus sur la qualité des eaux souterraines dans la région.

Chapitre 1

Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction

La wilaya de Tipaza fait partie de la région nord de l'Algérie fortement urbanisée. Son territoire couvre une superficie d'environ 1707 Km², et se partage entre 10 daïras et 28 communes. Notre zone d'étude, plaine de l'oued El Hachem, fait partie de la daïra de Sidi Amar, commune de Menacer.

Dans ce chapitre, on présentera la zone d'étude. On évoquera ses caractéristiques géographiques et administratives, hydrologiques et hydrographiques ainsi que ses potentialités hydriques et socio-économiques.

2. Cadre géographique de la région

Le bassin de l'oued Hachem est situé dans la wilaya de Tipaza. Cette wilaya est une région côtière, située à 70 km à l'Ouest de la capitale Alger. Elle s'étend sur 120 Km de la commune de Douaouda à l'Est jusqu'à la commune de Damous à l'Ouest.

Elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par la Wilaya de Blida, au Nord-est la Wilaya d'Alger, au Sud par la wilaya d'Aïn-Defla et au Sud-ouest par la Wilaya de Chlef (figure 1).

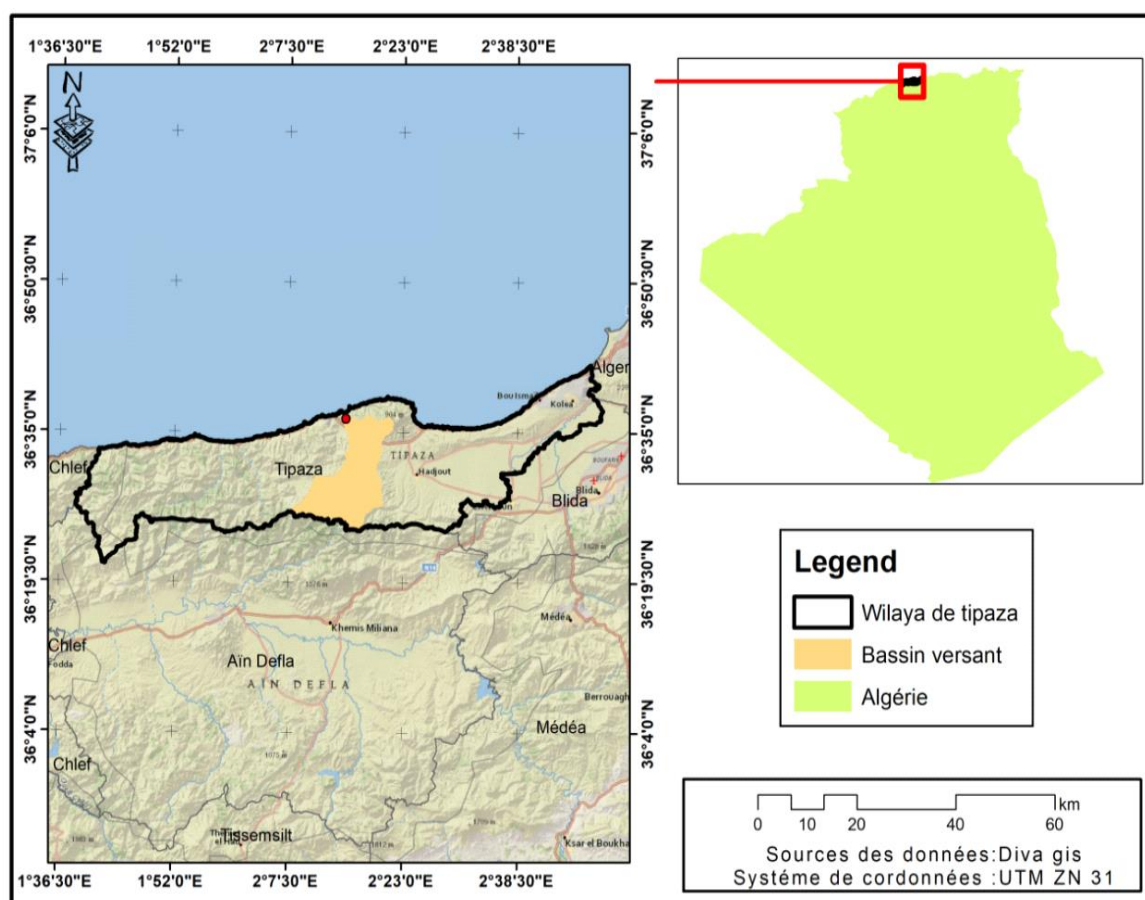


Figure 1: Localisations de la Wilaya de Tipaza et le sous bassin de la zone

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

3. Découpage administratif

La wilaya de Tipaza est composée de 10 Daïras et 28 communes. La superficie totale de Tipaza est de 1707 km² (ONS 2008) (tableau 1)

Tableau 1: Découpage administratif de la Wilaya de Tipaza

Daïras	Superficie (km ²)	Communes
Ahmeur El Ain	178,17	Ahmeur El Ain, Bourkika, Sidi Rached
Damous	239,19	Damous, Larhat, Beni Melleuk
Cherchell	230,64	Cherchell, Sidi Ghiles, HadjretEnnous, Sidi Semiane
Bou Smail	58,39	Bou Ismail, Ain Tagourait, Bou Haroun, Khemisti
Tipasa	66,00	Tipasa
Fouka	24,84	Fouka, Douaouda
Gouraya	322,89	Gouraya, Messelmoune, Aghbal
Hadjout	181,31	Hadjout, Mered
Koléa	137,5	Koléa, Chiba, Attatba
Sidi Amar	268,48	Sidi Amar, Nador, Menaceur

4. Hydrographie de la région de Tipaza

Compte tenu de sa position géographique, la Wilaya de Tipaza dispose d'un réseau hydrographique relativement important qui drainent les bassins versants cités dans le tableau 2.

Tableau 2 : Bassins versants de la wilaya de Tipaza

Code	Bassins versants
02-12	Oued Mazafran
02-10	Oued Djer –Bouroumi
02-04	Sahel
02-03	Oued El Hachem et Oued Nador

5. Cadre géographique de la plaine de l'Oued El Hachem

La vallée de l'Oued El Hachem située dans le sous bassin versant Côtier Cherchell (0203), appartient au bassin versant Côtiers Algérois (02a) selon la nomenclature de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Elle fait partie de l'Atlas tellien. L'Oued El-Hachem se situe au Sud-est de la ville de Cherchell, au pied du versant sud-ouest du massif de Chenoua. Elle est limitée au Sud par Djebel Boumâad, au Nord par la mer méditerranéenne et

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

à l'Est par le massif de Gouraya (Fareh,2006), Elle est comprise entre les Latitudes 36°24'30'' et 36°35'0'' Nord et les Longitudes 2°10' 30'' et 2°21'00'' Est. L'altitude moyenne du bassin versant de l'Oued El Hachem est de 410 m.

6. Caractéristiques du bassin versant

6.1. Les caractéristiques géométriques

La variation des paramètres physiques et géomorphologiques au sein d'un bassin versant influe sur son comportement hydrologique. Un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée. En effet, le temps de concentration des eaux sera plus long dans le cas d'un bassin allongé (Roche, 1963). D'après les calculs des caractéristiques géométriques du bassin versant de l'Oued El Hachem (0203), on relève qu'il occupe une superficie de 230,5 Km² et se délimite par un périmètre de 85 Km. Il présente une forme allongée d'orientation Sud-Nord. Les altitudes extrêmes du bassin versant sont 0 m à l'embouchure et 1417 m sur les bordures Sud-ouest du Djebel Boumâad (Fareh,2006).

La longueur (L), la largeur (I) du rectangle équivalent, l'indice de compacité (Kc), la densité de drainage (Dd), l'indice de pente (IP) sont définis par :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}\left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2}\right]}{1.12} \quad (1)$$

Avec :

L= Longueur du rectangle équivalent (km) , A= Surface (km²) , Kc = Indice de compacité de Gravelius.

$$I = \frac{Kc\sqrt{A}\left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2}\right]}{1.12} \quad (2)$$

Avec:

I = Largeur du rectangle équivalent (km), A= Surface (km²) , Kc = Indice de compacité de Gravelius.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Avec :

Kc = Indice de compacité de Gravelius, A= Surface (km²) , P= Périmètre (km).

$$Dd = \sum \frac{Li}{A} \quad (4)$$

Avec:

Dd = densité de drainage (km/km²), Li = Longueur du cours d'eau (km), A= Surface (km²).

$$IP = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n \left(xi \cdot \sqrt{\frac{d}{xi}} \right) \quad (5)$$

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

IP= Indice de Pente (%), x_i = distance qui sépare deux courbes sur la rectangle (m), d = distance entre deux courbes de niveau successive (m)

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A} \quad (6)$$

Avec: H_{moy} = altitude moyenne du bassin (m), A_i = aire comprise entre deux courbes de niveau (km²), h_i = altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'Oued El-Hachem sont présentées dans le tableau 3.

Tableau3 : Caractéristiques géométriques du bassin versant de l'Oued El Hachem (ANRHBlida, 2004)

Paramètres Géomorphologiques	Valeurs
Altitude maximum (m)	1417
Altitude minimum (m)	0
Altitude de fréquence 50% (m)	420
Altitude moyenne (m)	410
Surface (Km ²)	230,5
Périmètre (Km)	85
Longueur du rectangle équivalent (Km)	36,17
Largeur du rectangle équivalent (Km)	6,38
Longueur du thalweg principal (Km)	34
Indice de compacité (Kc)	1.57
Indice de pente de pente globale (%)	2,43
Densité de drainage (Dd) (Km/Km ²)	3,42
Coefficient de torrentialité (1/ Km ³)	25,48
Longueur de cours d'eau principal (m)	31,69

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

6.2. Caractéristiques hydrographiques

La vallée de l'Oued El Hachem est située dans la région montagneuse du littoral algérois, et appartient au sous bassin versant 0203. Le réseau hydrographique de ce bassin versant a une longueur totale de 34 km, il est particulièrement dense en amont comme le confirme la valeur de la densité de drainage (Dd) évaluée à 3,1 Km/Km² (tableau 3).

L'Oued El Hachem est alimenté par les petits cours d'eau et ruisseaux formés par la résurgence de sources dans la vallée. Le débit de ces sources est variable car elles sont alimentées directement des eaux de pluies. En effet, l'écoulement des petits affluents de l'Oued El Hachem est saisonnier avec un débit variable relatif aux précipitations reçues sur l'impluvium de l'Oued El Hachem.

La rive droite de l'Oued El Hachem est formée de terrains imperméables représentés par des marnes et de flysch. La rive gauche est constituée par des calcaires profondément entaillés par les Oueds Malou et Boummâad recueillant les eaux de ruissellement de Djebel Tabaranade. Ces calcaires peuvent cependant former un réservoir important susceptible d'alimenter les alluvions de la plaine de l'Oued El Hachem et assurant un débit pérenne au seuil de Bordj Ghobrini. Toutefois, la construction du barrage de Boukourdane au centre du bassin versant a modifié les conditions naturelles de ruissèlement, d'infiltration et de la recharge de la nappe rapidement en cas de pluies importantes.

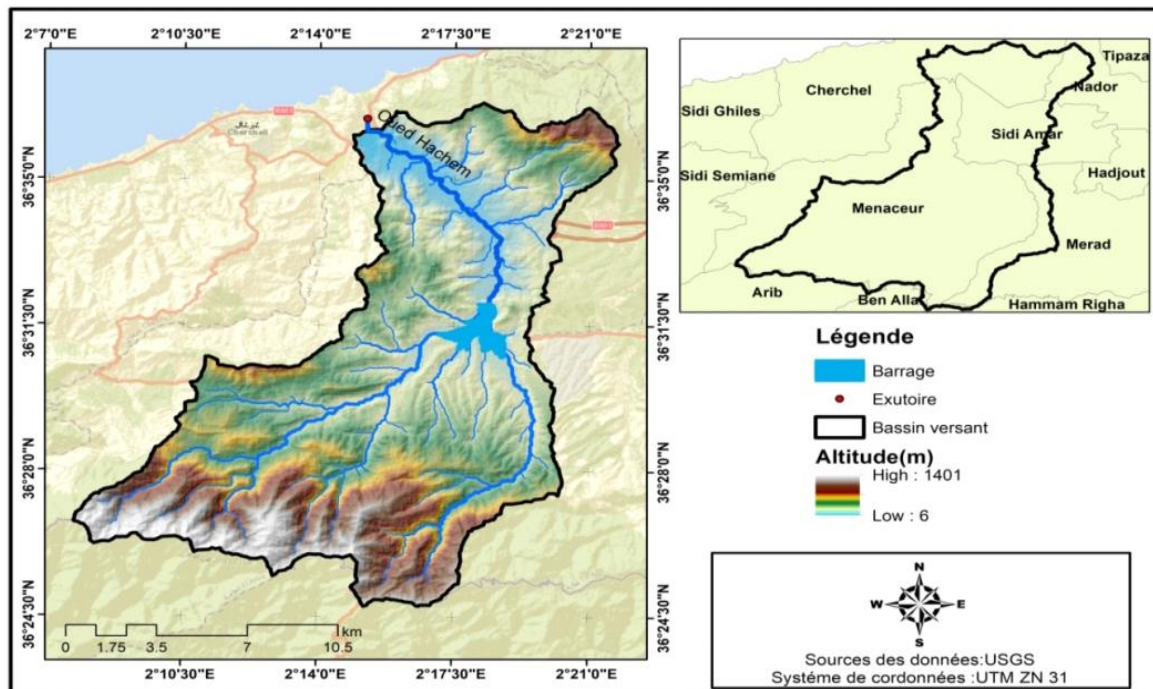


Figure 2: Carte du chevelu hydrographique de l'Oued El Hachem

6.3. Caractéristiques hypsométriques

En observant la carte hypsométrique de l'Oued El-Hachem (Figure 3), nous remarquons que les cours d'eau coulent généralement dans les zones les plus basses de la vallée, où les

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

pententes sont moins abruptes. Les affluents des cours d'eau principaux viennent souvent des hauteurs situées à l'Est et au Sud du bassin.

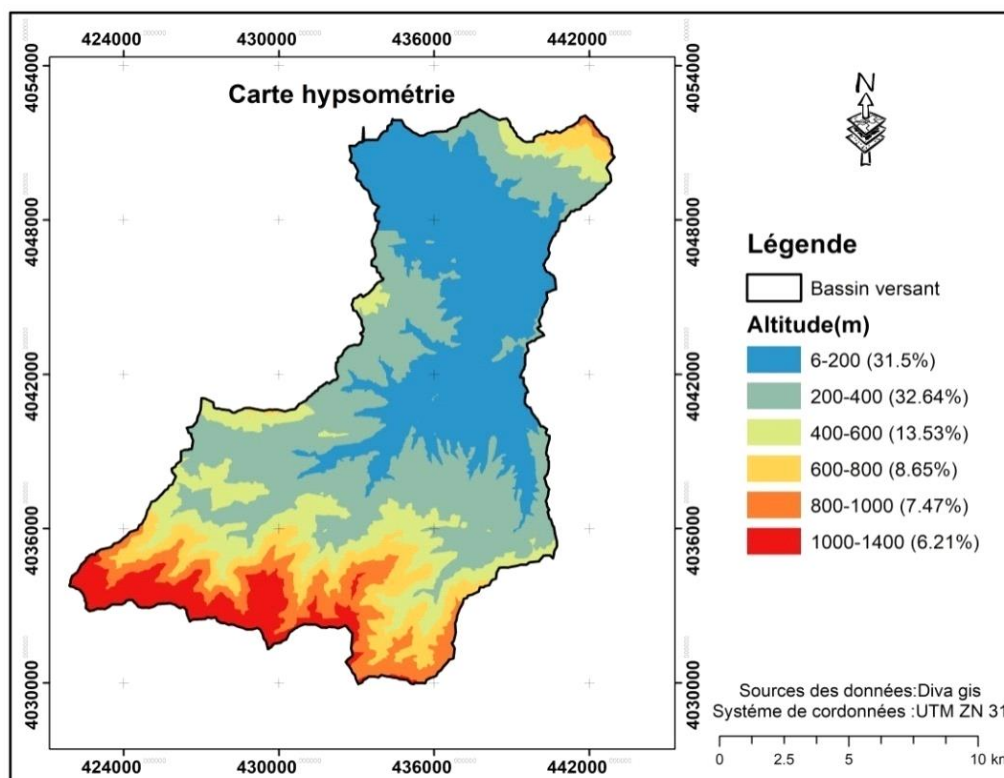


Figure 3 : Carte hypsométrique de la vallée de l'Oued El Hachem

6.4. Le relief

Le relief de la région de Tipaza est caractérisé par des plaines côtières, des montagnes et des collines, avec des altitudes variant de 200 à 600 m au-dessus du niveau de la mer.

Le bassin versant de l'Oued El Hachem se trouve à proximité de la côte méditerranéenne, entourée par les montagnes de l'Atlas Blidéen. Les plaines côtières sont situées au Nord du bassin versant, le long du littoral méditerranéen. Elles sont souvent étroites et sont délimitées par des montagnes escarpées et des falaises. Les plaines côtières sont principalement utilisées pour l'agriculture telles que les agrumes, les oliviers et les céréales.

Les collines se trouvent principalement dans la partie centrale du bassin versant. Elles sont souvent recouvertes de forêts de pins et de chênes verts. Les collines sont utilisées pour la production de bois, de charbon et de résine, ainsi que pour l'élevage de moutons et de chèvres.

Les montagnes sont situées dans la partie sud du bassin versant. Certaines de ces montagnes dépassent les 1000 m d'altitude et sont recouvertes de forêts de chênes-lièges et de pins. Les montagnes sont utilisées pour l'élevage, l'exploitation forestière et le tourisme.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

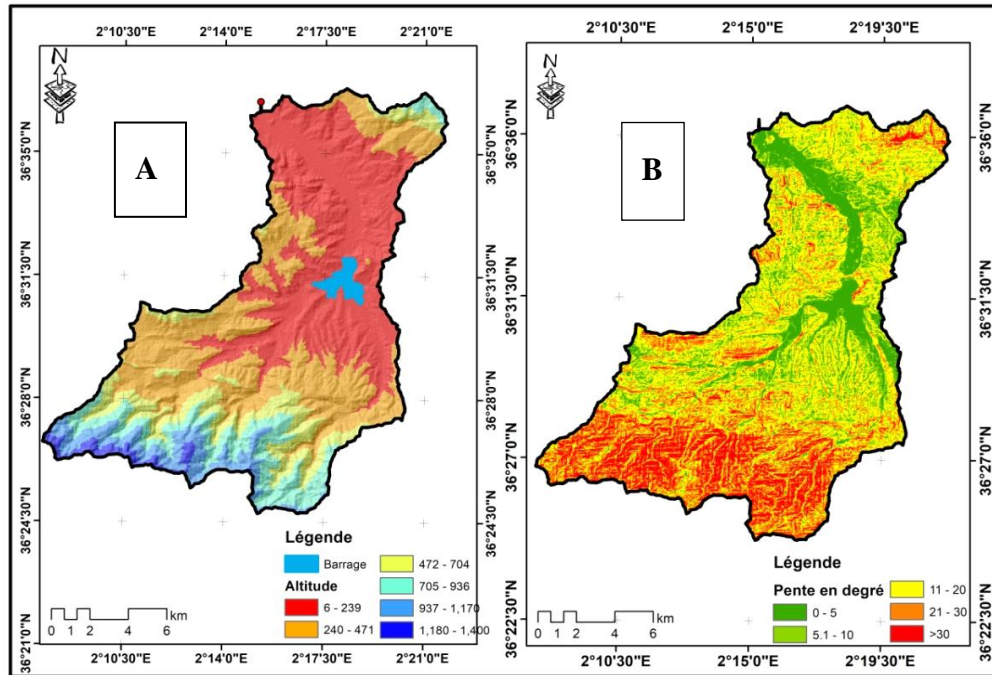


Figure 4: Carte du relief (A) et de pente (B) de l'Oued El Hachem

6.5. Degré de pente

La pente est un facteur de rigueur qui agit directement sur le déclenchement du phénomène de l'érosion, Elle traduit l'inclinaison des reliefs ainsi que leur accentuation.

La carte des pente (Figure 4 B) permet de relever les observations suivantes :

- Pente de 0 % à 3 % : elle est présente dans les plateaux.
- Pente de 3 % à 6 % : ça apparaît aux sommets de collines
- Pente de 6 % à 12,5 % : elle est présente essentiellement dans les ravins.
- Pente de 12,5% à 25% : on la trouve dans les versants, les escarpements, et les vallées encaissées.
- Pente > 25% : ça concerne les versants, et n'est présente que rarement.

7. Ressources en eaux disponibles à l'échelle de Tipaza

7.1. Les ressources conventionnelles

Ces ressources se subdivisent en eaux de surfaces et en eaux souterraines.

7.1.1. Les eaux de surfaces

Cette ressource est exploitée à partir des barrages et des retenues collinaires. On compte, en effet, trois (03) barrages (barrage de Boukourdane, barrage de Boudjebroune et le barrage de KeffEddir) et deux (02) retenues d'eaux collinaires.

Le tableau 4 récapitule les caractéristiques des barrages recensés dans la Wilaya de Tipaza.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau 4:Présentation des caractéristiques des barrages (Ammari, 2012)

Nom de Barrage	Boudjebroune	Boukourdane	KeffEddir
Localisation	Merad	Sidi Amar	Damous
Oued	Sidi Bouyahia	El Hachem	Damous
Capacité initiale	1 Hm ³	97 Hm ³	125 Hm ³
Apport moyen annuel	1,5 Hm ³ /an	21,10 Hm ³ /an	-
Pourcentage régularisé	75m ³	49 Hm ³ /an	60 Hm ³
Année de mise en service	1862	1996	En cours de remplissage

Tableau 5:Capacité des retenues collinaires (Ammari, 2012)

Retenues d'eaux collinaires	Capacité Totale
Attatba	0,120 Hm ³
HadjretEnnous	0,160 Hm ³

7.1.2. Les eaux souterraines

La zone d'étude possède des nappes alluviales des Oueds et des plaines ; ces dernières constituent les principales nappes aquifères de la Wilaya de Tipaza, ainsi que l'Astien qui constituent un réservoir très important des eaux souterraines, auxquelles s'ajoutent aussi les formations géologiques perméables telles que les calcaires de Chenoua.

7.2. Les ressources en eau non conventionnelles

Les ressources en eau non conventionnelles sont constituées par :

- Des eaux de mer dessalées et les eaux saumâtres déminéralisées dans un but d'utilité publique,
- Des eaux usées épurées (STEP) et utilisées dans un but d'utilité publique,
- Des eaux de toutes origines injectées dans les systèmes aquifères par la technique de la recharge artificielle (Journal officiel de la république algérienne n° 60, 4 septembre 2005, page : 4).

7.2.1. Les eaux des stations d'épuration (STEP)

La Wilaya de Tipaza dispose de trois (03) stations d'épurations des eaux usées qui sont les stations d'épuration de Hadjout, de Chenoua et de Koléa (Tableau 6).

Tableau 6:Stations de traitement des eaux usées (Benmeddah, 2018)

Station d'épuration	Capacité (équivalent habitant)	Débit
Koléa	75 000	11 000 m ³ /jour
Chenoua	75 000	11 200 m ³ /jour
Hadjout	70 000	11 000 m ³ /jour

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

7.2.2. Les eaux de dessalement SDEM (Station de Dessalement d'Eau de Mer)

La Wilaya de Tipaza comprend quatre (04) stations de dessalement d'eau de mer qui sont la station de Douaouda, la station de l'Oued Sebt, la station de Fouka et la station de Bousmail. Le tableau 7 présente les caractéristiques de ces SDEM.

Tableau 7: Station de Dessalement d'Eau de Mer (Benmeddah, 2018)

Nom de la station	Débit d'eau potable
Douaouda	5 000 m ³ /jour
Fouka	70 000 m ³ /jour
Oued Sebt	100 000 m ³ /jour
Bousmail	3000 m ³ /jour

8. Développement socio-économique

La zone d'étude recèle de nombreuses potentialités socio-économiques, principalement en matière d'agriculture et industriel, mais aussi humaines et touristique. Chacune de ces potentialités nécessite pour leurs subsistances et leur développement une quantité d'eau considérable.

8.1. Potentiels humains

La population totale de la wilaya est de 630 183 habitants (fin 2012), soit une densité de 369 habitants par km² (ONS, 2009).

8.2. Potentiels agricoles

Le potentiel en sol cultivable de la wilaya de Tipaza est de 72 929 ha, dont 64 772 ha de surface agricole utile (SAU). La superficie irriguée est estimée à 1 215 ha (19 % de la SAU). Les terres sont délimitées en trois grandes zones agro-climatiques. (Benseti. F, 2014).

8.3. Développement Forestier

La Wilaya de Tipaza possède un riche potentiel forestier avec une superficie de 40 375 ha, les forêts et les maquis occupent 23,61 % du territoire de la Wilaya de Tipaza (170 700 ha). Les forêts sont réparties inégalement à travers la Wilaya, environ 27 415 ha, soit 60 % du total sont concentrés à la région ouest (Damous, Cherchell, Gouraya, Sidi Amar) (Siouane .Z, 2018).

8.4. Développement touristique

La wilaya de Tipaza se distingue par sa vocation touristique. Elle dispose d'un potentiel touristique et d'un patrimoine historique important. La côte s'étend sur près de 123 km. La Wilaya enregistre chaque année une affluence considérable qui dépasse les 3 millions de visiteurs durant la saison estivale. (Cherif. M, 2013)

8.5. L'industrie

Le tissu industriel de la Wilaya de Tipaza est composé essentiellement de petites moyennes entreprises (PME). Le type d'activité le plus répandu est celui lié à la production de matériaux de construction, suivi de l'agroalimentaire

9. Conclusion

La vallée de l'Oued El Hachem est située à l'Ouest de Tipaza. Elle s'inscrit dans le sous bassin versant côtier Cherchell (code ANRH : 0203). Il est de forme relativement allongée ($Kc = 1,57$) avec une superficie de 230 Km² et un périmètre de 85 Km et une densité de drainage 3,42 Km/Km² indiquant un réseau développé. Par ailleurs, la pente est relativement faible, particulièrement au niveau de la plaine (2,43 %).

Les caractéristiques hypsométrique et l'hydrographie du bassin de l'Oued El Hachem permettent de comprendre l'importance de cette vallée, qui est caractérisée par la présence de cours d'eau saisonniers qui alimentent l'oued principal. En effet, cela a permis de construire un barrage sur le cours d'eau principal pour stocker l'eau et participer dans le développement de la région par la planification de projets agricoles, pour la gestion des eaux et pour la prévention des risques d'inondations.

Chapitre 2

Géologie et hydrogéologie

De la zone d'étude

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

1. Introduction

La géologie et l'hydrogéologie sont des disciplines scientifiques qui étudient respectivement la composition, la structure, la formation et l'évolution de la terre et l'étude des eaux souterraines (Maréchal J.C. 2004). La géologie de Tipaza est marquée par une succession de formation sédimentaire et volcanique, témoin d'une histoire géologique complexe. En effet, ce chapitre est consacré à la présentation des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude.

2. Contexte géologique régional

L'Algérie est située dans la partie nord du craton africain et peut être subdivisée en trois (03) domaines structuraux (figure 5) qui s'opposent par leurs histoires et leurs structures géologiques. Il s'agit des domaines fortement différenciés au cours des phases tectoniques mésozoïque et cénozoïque. Du Nord au Sud, ce sont :

- Le domaine Tellien (l'Atlas tellien) ;
- Le domaine des hauts plateaux ou les hautes plaines ;
- Le domaine de l'Atlas Saharien.

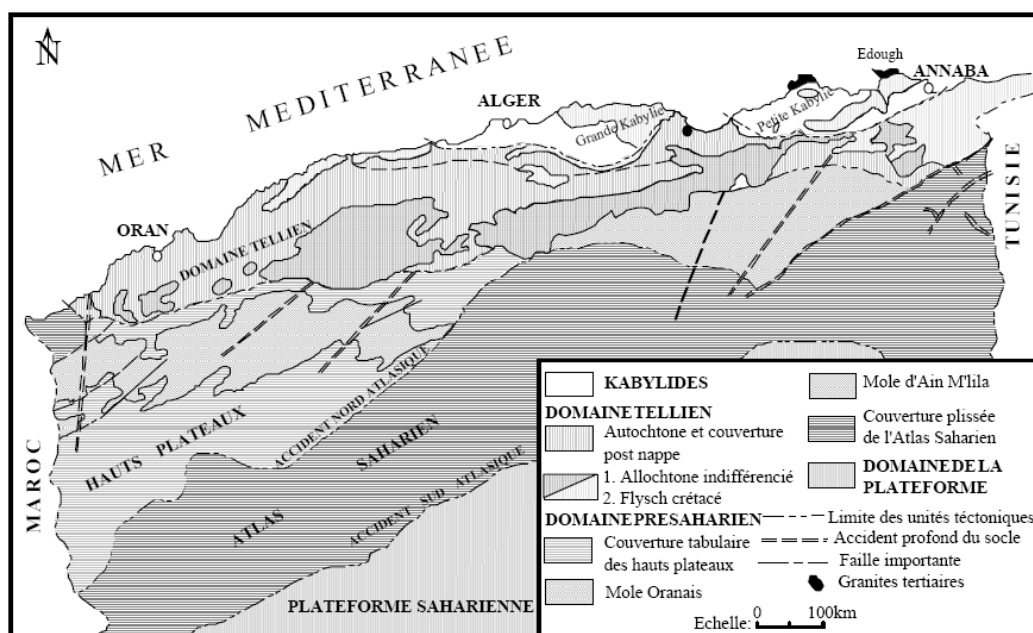


Figure 5 : Carte structurale de l'Algérie (Wildi, 1983)

2.1. Domaine de l'Atlas tellien

Il se compose de deux ensembles :

- Le Tell méridional au Sud, constitué par les chaînes de l'Ouarsenis, des Bibans et des Babors.
- Le Tell septentrional au Nord, comprenant les noyaux kabyles, la chaîne calcaire ou dorsale kabyle et les flysch sud et nord kabyles.

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

De part et d'autre de ces chaînons d'orientation Est-ouest, nous avons des dépressions remplissage néogènes et quaternaires.

2.1.1. Tell méridional

Nous pouvons distinguer plusieurs zones ou unités qui sont souvent de même âge.

- Les unités autochtones ou para-autochtones ;

Ces unités apparaissent en différents endroits de l'Atlas tellien méridional : sur le littoral Oranais, dans les massifs du Chélif, de l'Algérois, de l'Ouarsenis et des Bibans.

Ces unités sont constituées de terrains mésozoïques souvent affectés d'un métamorphisme léger ; leur extension est réduite.

- Les nappes telliennes ou masse allochtones ;

Elles sont formées par une agglomération de nappes appartenant à différentes unités tectoniques.

Les unes constituent les nappes telliennes formées de dépôts marno-calcaires du Crétacé-Miocène, située généralement au-dessus de la précédente.

2.1.2. Tell septentrional

Localisé au Nord de l'Atlas tellien, sa structure est complexe ; il comprend ;

- Les massifs anciens ou massifs kabyles ou encore domaine des massifs primaires

Ils sont essentiellement constitués de terrains cristallophylliens sédimentaires ou volcaniques, d'âge paléozoïque (Anté-Gothlandien : Durand-Delga, 1961). Ces massifs anciens sont bien développés en grande et petite Kabylie. Nous retrouvons leur équivalent à l'Ouest : ce sont les massifs d'Alger, du Chenoua et Cap Ténès.

- La chaîne calcaire ou dorsale kabyle :

Elle est constituée de sédiments mésozoïques à Eocène formés d'empilement d'écaillés liées à l'orogénèse de l'Eocène moyen.

- L'Oligocène kabyle :

Elle est formée d'une molasse débutant à sa base par un conglomérat et se poursuivant par des grès arkosiques que l'on retrouve sur les bordures sud du massif du Chenoua. Ces flysch peuvent se présenter soit sous la dorsale kabyle en contact anormal, soit sur l'Oligocène kabyle en contact anormal ou encore en position comparable à ceux du Tell Méridional.

Domaine des hautes plaines ou hauts plateaux

C'est le domaine présaharien ou encore l'avant pays de la chaîne alpine d'Algérie. Nous pouvons distinguer, de l'Ouest à l'Est, les unités suivantes :

- Le môle Oranais ;
- Les hautes plaines Oranaises ;
- Les hautes plaines Algéroises.
- Les hautes plaines Constantinoises.

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

➤ Le môle d'Ain M'Lila.

La série stratigraphique est plus complète et plus épaisse dans la partie orientale que dans la Partie occidentale, avec de fréquentes variations de faciès à l'intérieur d'un même étage, en Particulier du Sénonien ; ces variations de faciès sont liées à l'existence d'une instabilité du Soubassement sous-marin, créant des hauts fonds où se déposent des formations récifales. La Limite entre les hautes plaines et l'Atlas saharien est marquée par une série de fractures correspondant à l'accident Nord Atlasique.

2.1.3. Domaine de l'Atlas saharien

Ce domaine est composé par des sédiments mésozoïques qui ont été plissés durant les phases orogéniques tertiaires. Ce sont de grands plis d'orientation WSW-ENE. Entre les hauts plateaux et la plateforme saharienne, l'existence d'un sillon subsidiant a permis la naissance de l'Atlas saharien. Les sédiments qui se sont accumulés durant le Mésozoïque et le Cénozoïque ont formé les puissantes séries néritiques et continentales. Du point de vue structure, ce sont des plis anticlinaux étroits et très allongés de type coffrés. La limite méridionale de l'Atlas saharien est marquée par une série d'accidents souples ou cassants constituant la flexure sud-Atlasique. Au-delà de cette flexure sud-Atlasique, c'est le domaine de la plateforme saharienne, comprenant le Sahara occidental et le Sahara oriental.

3. Contexte géologique local

Affectée par les mouvements orogéniques alpins et hercyniens, l'Algérie du Nord présente une importante complexité géologique, cependant elle a été l'objet de plusieurs études géologiques (Bouillin, 1986).

3.1. Les terrains éruptifs

Ils n'apparaissent qu'en épaissements de faible superficie en bordure du littoral. Ils sont représentés par des Granites, Granodiorites au Sud de Hadjret Ennous et des Syénites près de Cherchell, des liparites quartzifères et feldspathiques et dacites sur le flanc sud du Chenoua. Les affleurements sont plus importants sur la bordure du bassin synclinal miocène de Menacer où la roche est surtout constituée d'angitendésites, où prospère la forêt de chêne-liège.

Toutes ces roches éruptives fournissent des sols non calcaires, siliceux très caillouteux et superficiels à vocation strictement forestière.

3.2. Les terrains primaires

Ils ne sont présents que sur la moitié du Nord du Mont du Chenoua. Le Dévonien y est représenté par une série de schistes noirs, micro brèches et grès et le Permien par des Conglomérats à éléments siliceux, grès variés et argiles rouges.

3.3. Les terrains secondaires

3.3.1. Le Trias

Il est formé par des épaissements isolés assez nombreux dans la partie est du Zaccar et dans le mont de Chenoua. Il est formé de calcaires jaunâtres, d'argiles rouges ou bariolées et de dolomie.

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

3.3.2. Le Jurassique

Il est formé de calcaire dur comportant quelque fois silex et constitue les lignes de crêtes, les pics et les falaises abrupts. On rencontre cette formation sur le versant est du Chenoua dépourvu de sols et de couverture végétale.

3.3.3. Le Crétacé

Très largement dominant dans le périmètre d'étude, il se décompose en trois étages distincts.

3.3.3.1. Le Crétacé inférieur

Il constitue les massifs centraux et les lignes de crêtes du Zaccar (Djebel Boumâad). Il est composé de schistes, de grès, de quartzites et de calcaires.

L'Albien, formé d'argiles brunes gréseuses et de grès quartzite, se rencontre surtout dans la forêt de Tizi Franco et de Bou Harb.

Cette formation apparaît également au Sud de Menacer où le chêne-liège prolifère sur des grès.

3.3.3.2. Le Crétacé moyen

Il est représenté par le Cénomaniens et le Turonien observé dans le versant nord et sur Djebel Nador. Le Cénomaniens dominant est caractérisé par une alternance de marne argileuses ou de marno-calcaires tendres et roches calcaires dures.

L'érosion a créé un relief accusé par enlèvement des marnes qui forment les bas-fonds et les vallées. Les calcaires durs forment les crêtes rocheuses. Ces formations donnent rarement naissance à des sols cultivables. C'est un substrat géologique à vocation essentiellement forestière.

3.3.3.3. Le Crétacé supérieur

Il est représenté par le Sénonien et le Daniens. Il est formé par des marnes schisteuses présentant des lentilles de calcaires. Les marnes Cénomaniennes donnent naissance à des sols agricoles du moins dans les zones à topographie favorable ; sur les fortes pentes, elles sont couvertes de forêts de pins.

Ces formations géologiques sont à vocation agricole lorsque la topographie et l'épaisseur du sol sont favorables et à vocation forestière sur les hauts piémonts.

3.4. Les terrains Tertiaires

3.4.1. L'Eocène

Il apparaît sous forme de petits affleurements très dispersés au Sud-est du massif du Chenoua. Il est formé de marnes, de grès, de calcaires et de calcaire gréseux de l'Eocène inférieur.

3.4.2. Le Miocène

On le retrouve principalement dans la plaine de l'oued Messelmoune et de Sidi Ghiles. Il est représenté par plusieurs assises à la base des grès grossiers. Lorsqu'elle affleure, cette

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

assise donne des pentes rocheuses souvent ravinées. Des couches argilo-gréseuses viennent s'étagerau-dessus, puis des marnes parfois gréseuses du Burdigalien. Seules les argiles rouges donnent des terres agricoles. Les grès et poudingues sont recouverts par des broussailles.

3.4.3. Le Pliocène

Il occupe essentiellement la plaine de la Mitidja ouest où il affleure largement. Il forme un affleurement de couches gréseuses jaunes qui se plongent par des sables à l'Ouest. Par ailleurs, les couches pliocènes sont constituées par les molasses astiennes du Sahel à l'Est de Sid Amar.

Le Pliocène affleure aussi au Sud de Cherchell sous forme de molasse très grossière.

À l'Est du bassin de Menacer, les éventails des cônes de déjection d'âge Pliocène supérieur, sont découpés par des petites vallées ;

3.4.3.1. Le Plaisancien

Il est composé principalement d'une série épaisse et uniforme de marnes grises et blanches qui présentent localement des bancs gréseux faiblement glauconieux à la base, avec des intercalations de lentilles gréseuses vers le sommet.

3.4.3.2. L'Astien

Il est bien développé sur les bordures de la plaine littorale et limité à sa base par un niveau à glauconie souvent fossilifère et surmonté d'une molasse astienne. Le niveau à glauconie, presque toujours présent dans le Sahel d'Alger, a une épaisseur qui varie de 10 cm à 10 m.

Au-dessus du niveau à glauconie, on rencontre à la base de l'Astien les marnes gréseuses fossilifères d'une quinzaine de mètres d'épaisseurs, ensuite des bancs gréseux où apparaissent des lits de conglomérats à petits galets provenant de l'Atlas, Ces bancs sont accompagnés d'intercalations de grès coquillers à ciment calcaire. Vers le haut de la série, on trouve des grès sableux et calcaires coquillers d'une quarantaine de mètres d'épaisseurs.

3.5. Les Terrains quaternaires

Les formations quaternaires, généralement meubles, donnent des sols alluviaux profonds à vocation agricole par excellence, elles couvrent les plaines littorales, et les terrasses alluviales des principaux oueds (Nador, Mazafran, El-Hachem, Messelmoune et Damous).

Les plaines littorales sont formées par les alluvions actuelles des plages, les dunes actuelles et anciennes (dunes consolidées), des alluvions anciennes ou récentes donnant généralement des sols sableux convenant parfaitement aux cultures maraichères.

Les terres des terrasses alluviales des oueds sont de texture variable selon les endroits, selon leur âge et selon leurs positions géomorphologiques. Ces terrasses sont le plus souvent formées d'excellentes terres agricoles localement noyées dans des cônes de déjection et des dépôts torrentiels,

Ces formations sont visibles au Nord et au Centre de la plaine et pourraient se placer soit à la fin du cycle pliocène (Astien supérieur), soit dans le Quaternaire ancien (Calabrien). Ces dépôts marins d'une trentaine de mètres d'épaisseurs reposent en discordance sur l'Astien

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

grès-calcaire et sont formés de sable mêlé de galets, de conglomérats et de microconglomérats à ciment calcaire. Ils sont parfois surmontés par des dépôts alluvionnaires d'âge probablement villafranchien. Ce dernier est connu sous le nom de formations de marnes d'El Harrach. C'est une séquence relativement uniforme d'argiles jaunâtres ou grise par endroits avec quelques cailloutis et lentilles de graviers. Son épaisseur varie entre 2 et 6 mètres.

4. Contexte géologique de la plaine de l'Oued El Hachem

Le contexte géologique de la zone d'étude présente une grande complexité, du fait de la présence de plusieurs zones stratigraphiques et tectoniques différenciées à la suite des plissements nummulitiques, du Nord au sud, on rencontre :

- La terminaison de la zone des massifs de Kabylie représentées par le Chenoua constitué au Nord par des roches métamorphiques, de schistes, de poudingues et de grès primaires, surmontés par les grès rouges et les cargneules du Permo-trias. Cette zone est limitée au Sud par les calcaires liasiques et des couches éocènes transgressives sur le Lias.
- La zone des Flysch albo-aptien sépare la région des massifs avec le payé crétacé, elle borde la côte sur la feuille de Cherchell et Gouraya.
- Le payé crétacé
- Le Néogène transgressive sur les zones nummulitiques, conservé dans les parties déprimées (synclinale néogènes bordant la mer, prolongement du Sahel d'Alger sur la bordure Ouest de la feuille de Cherchell).
- Les terrasses de 15 à 20 m.
- Les alluvions récentes dans les vallées larges à fonds plats.

5. Description lithostratigraphie de la zone d'étude

La lithostratigraphie du bassin versant de l'Oued El Hachem fait apparaître les formations primaires, telles que les roches cristallophylliennes, elles sont constituées par des grès micacés, des marnes et des poudingues, elles sont attribuées au Permien par Ficher (1968) (figure 2). Parmi les Formations secondaires, le trias est représenté par des brèches dolomitiques et gypseuses, ce complexe triasique présente deux faciès différents, cargneules, dolomies jaunes formant un ensemble de faible épaisseur dans le Chenoua et les gypses, cargneules, dolomies moins fétides, argiles arrisées et brèche mylonitique gypseuse avec des roches exogènes (figure 6). Dans le bassin de Menacer, le Trias est formé de gypse, de marnes bariolées et de fragments de roches éruptives. Les jurassiques (J) sont présentés par des calcaires massifs du Lias qui couronnent le Chenoua. Ils présentent dans leur partie supérieure quelques gros bancs bien stratifiés et à leur base des brèches plus au moins dolomitiques.

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Ere	Système	Etage et sous etage	Log lithostratigraphique	Lithologie	Caractéristique hydrogéologique
Quaternaire	Quaternaire	Quaternaire (q,m,qm)		plage actuelle Terrasses marines Terrasses Alluviales	permeable
		Pliocène	pliocène-sup (villafranchien) pa		cailloutis cone de jction	perméables
Cénozoïque	Pliocène		pliocène-inf (pa);(pb)		marnes sableuses molasses sable ;grés ;argiles sableuses et molasses	impermeables à perméables
		Miocène	vindobonien		couches à lignites marnes grises	impermeables
	burdigalien			marnes poudingues et calcaires grés marnes poudingues rouges	impermeables à perméables
	Oligocènes	Oligocènes		gres mecaes marnes à plantes	impermeables à perméables
	Eocènes	Luteriens		poudings rouges calcaires bechiques	permeables
	Mésozoïque	Crétacé-sup	Sénoniens c c		marnes et calcaires calescbistes et brèches marnes micro-brèches et poudingues lentilles de calcaires	impermeables
Crétacé-moyen			Cénomaniens C		calcaires marnes schisteuses noires	impermeables
		Albien		quartzites a inter lits de marnes calcaires et schistes schistes et quartzites	impermeables à peu perméables
		Aptien		calcaires marnes et calcaires en banc	impermeables
		Barrémien		schistes et calcaires avec lames de quartzites	perméables à peu perméables
Crétacé-inf		Néocomien		schistes siliceux et banc de quartzites	peu perméables
Jurassique		Lias I		calcaires à gros bancs brèches dolomitiques calcaires compactes	permeables en grand
Trias		Trias		brèches dolomitiques et gypseuses calcaires compactes	perméables en grand
Paleozoïque	Primaire			schistes avec quartzites	peu perméables
		Permien		grés micacés marnes et poudingues rouges	perméables à impermeables

Figure 6: Log stratigraphique des formations de la vallée d'ElHachem et ses caractéristiques hydrogéologiques (ANRH Blida, 2004).

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Dans la partie inférieure on rencontre des calcaires compacts et des calcaires en petits bancs n'offrant qu'un petit affleurement dans la région de Cherchell d'âge Lias supérieur.

Dans le bassin de Menacer, le lias affleure dans le massif du Zaccar formé par des Lambeaux de calcaires.

Le crétacé (C) débute dans le bassin de Menacer par le néocomien, représenté par des schistes durs très siliceux avec quelques bancs de quartzites, atteignant 1000 m d'épaisseur dans le massif de Boumâad, le barrémien, représenté par des schistes et des calcaires avec quelques lames de quartzites et l'aptien, présentant deux niveaux ;

- La partie inférieure avec des marnes et calcaires en bancs
- La partie supérieure avec des calcaires.

Au niveau de la région de Cherchell, le Crétacé débute par : albien, vraconien, cénomanien, sénonien.

Parmi les formations tertiaires, on trouve dans la région d'étude, l'éocène, l'oligocène, le miocène et le pliocène (inférieur et supérieur). On trouve les formations quaternaires, représentées par des faciès marins et alluviaux déposés au fond des vallées larges à fond plats et de plusieurs terrasses souvent de petites dimensions.

6. Aperçu hydrogéologique

Le cours d'eau d'Oued ElHachem est formé par des dépôts alluvionnaires, à l'extrême Ouest de la plaine de la Mitidja en lessivant les sédiments carbonatés aux alentours.

L'aquifère s'étale sur une superficie de 13,1 km². Il est libre entre Bouaroua et Sidi Amar et captive au Nord (figure 7).

Les alluvions de cet aquifère sont formées de la base au sommet par :

- Les argiles rouges ;
- Les galets et graviers de 5 à 20 m constituent le réservoir aquifère ;
- L'argile et le sable, avec intercalation de quelques lits de graviers.

Le substratum est formé en majorité par des marnes du Crétacé, et de calcaire éocène de perméabilité qui varie entre 6.10^{-4} à $1,2.10^{-2}$ m/s (Chapman, 1996).

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

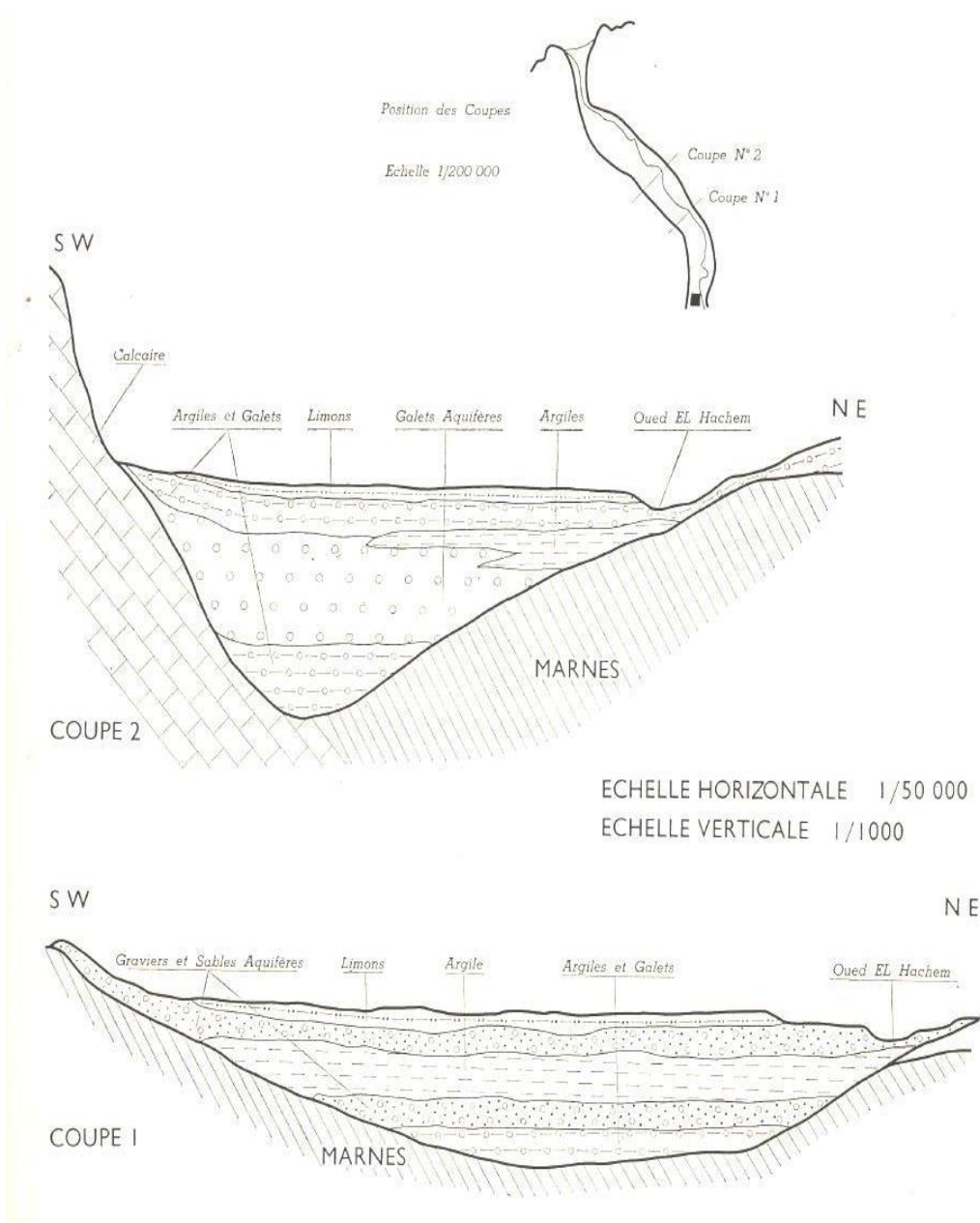


Figure 7: Coupes transversales de l'oued El Hachem (Extrait de la notice explicative de la carte hydrogéologique de la région d'Alger 1/200000) (CGG, 1966)

6.1. Étude Géophysique

L'étude géophysique de la C.G.G. de 1966 réalisée dans la vallée de l'oued El Hachem dans le but de déterminer l'épaisseur et la nature du recouvrement alluvial et d'apporter des indications sur la nature du substratum (Figure 8).

6.1.1. Coupes géophysiques

- **Coupe 1** : La coupe géophysique réalisée dans la partie amont de la nappe de l'oued El Hachem, qui comporte le sondage étalon SE 41, montre les niveaux suivants :
 - Un substratum pliocène d'une résistivité de 10 à 25 Ohm.m, et d'une vitesse sismique de 2300 à 2600 m/s;

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

- Un niveau de résistivité de 50 à 100 Ohm.m et des vitesses sismiques de 1200 à 1800 m/s, indiquant un milieu aquifère ;
- Un niveau supérieur de faible épaisseur.

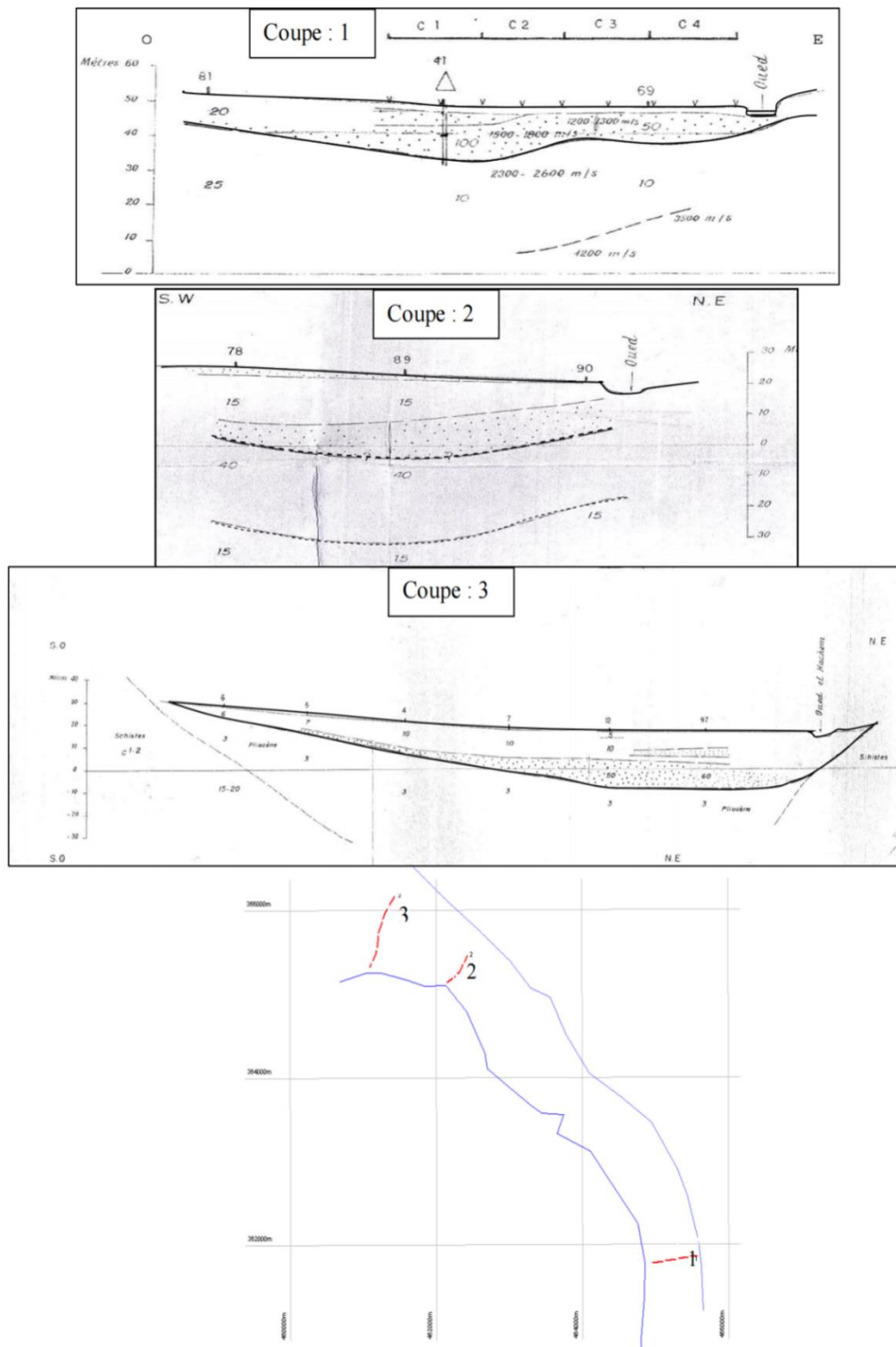


Figure 8: Coupes géophysiques et leurs positions (C.G.G.1966)

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

- **Coupe 2** : La coupe géophysique réalisée dans la partie avale de la nappe de l'oued El Hachem, montre que la limite inférieure est confuse, où les alluvions présentent des valeurs de résistivité élevées suivies de terrain résistant avec 40 Ohm.m attribuable au Pliocène supérieur.
- **Coupe 3** : L'examen de la coupe géophysique réalisée dans la partie aval de la nappe de l'oued El Hachem, montre les niveaux suivants :
 - Un substratum pliocène d'une résistivité de 3 Ohm.m ;
 - Un niveau grossier de résistivité de 50 à 60 Ohm.m et de 3 à 14 m d'épaisseur, représente le réservoir aquifère ;
 - Un niveau supérieur de résistivité qui varie de 5 à 10 Ohm.m indiquant un matériel plus fin d'une épaisseur de 17 m, avec des passages grossiers vers le centre de la plaine.

6.1.2. Carte des résistivités apparentes AB 80 m

La carte des résistivités apparentes montre un axe résistant au centre de la vallée avec des valeurs de 30 à 50 Ohm.m (figure 9)

Les valeurs les plus élevées sont situées au centre et en amont de la plaine qui coïncide avec la partie libre et plus perméable de la nappe.

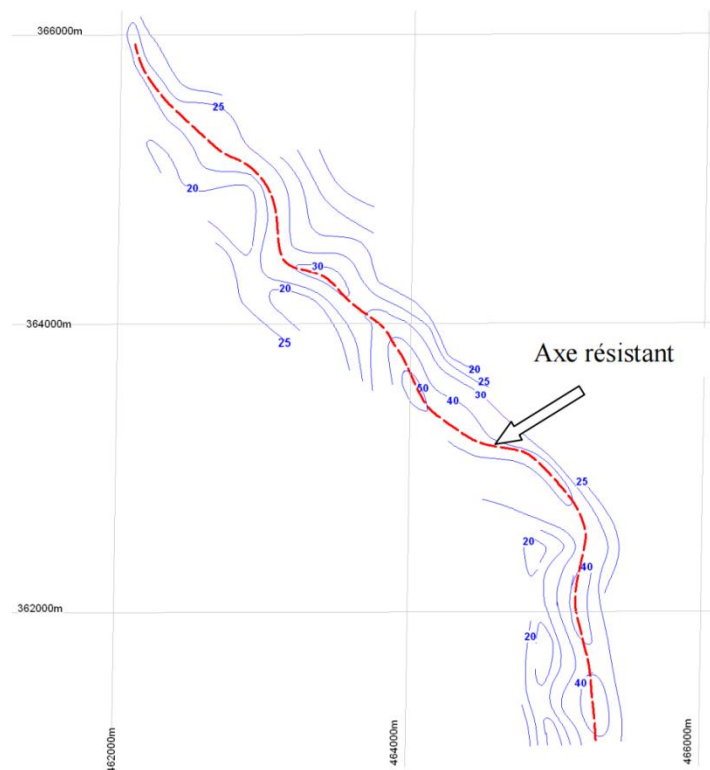


Figure 9: Carte des résistivités apparente AB 80m reconstituée d'après la CGG (1966)

6.1.3. Cartes du toit et du mur de la nappe

Les cartes, constituées à partir des données de la CGG (1966), permettent de déterminer la géométrie et l'extension de l'aquifère alluvial (Figure 10).

- La carte du mur montre des cotes qui varient entre de -3 à 51m ;

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

➤ La carte du toit montre des cotes qui varient de 19 à 64m.

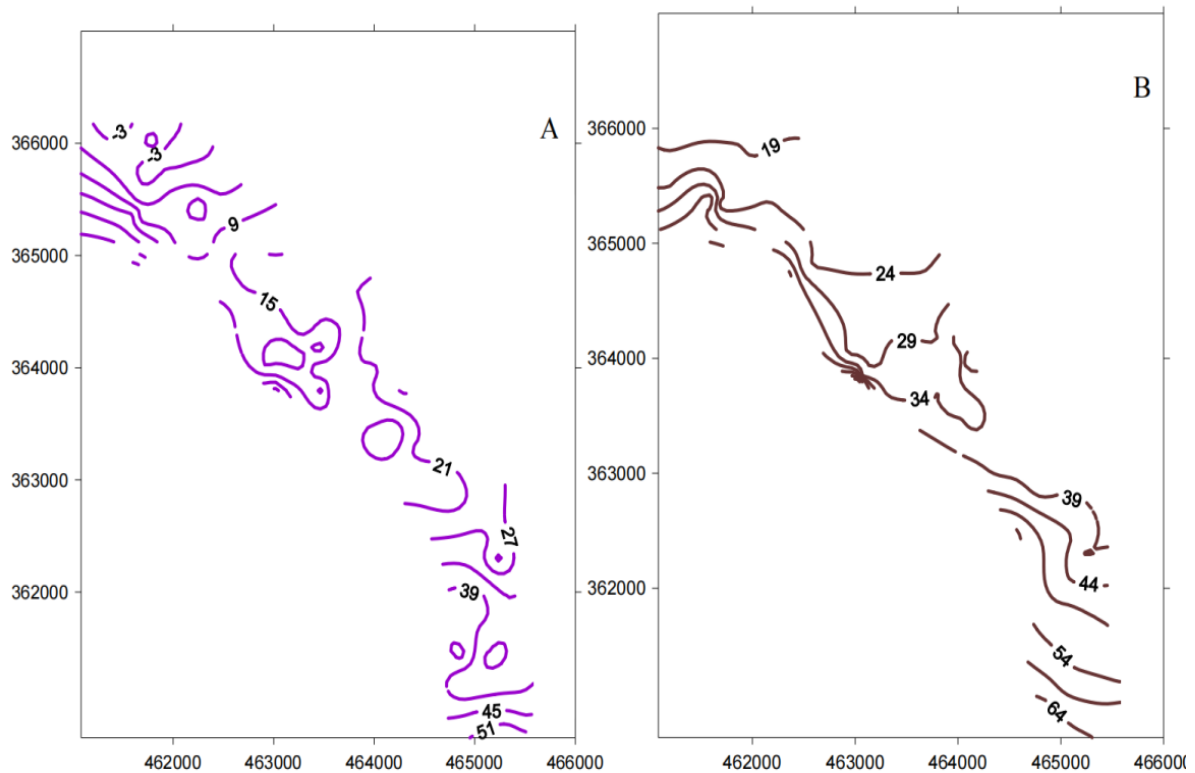


Figure 10: Cartes du mur (A) et du toit (B) de la nappe reconstituée d'après la CGG (1966)

6.1.4 La Géométrie

À partir de la comparaison des deux cartes (figure 10) on constate que l'épaisseur du réservoir varie entre 22m au Nord-ouest et 13m au Sud-est, aussi la couche aquifère présente un pendage relativement faible vers le Nord-ouest. Cette géométrie permet à l'eau souterraine de s'écouler dans une direction séminaire à l'écoulement des eaux superficielles dans oued El Hachem.

6.2. Piézométrie de la plaine de l'Oued El Hachem

Tableau 1 : Mesures des campagnes piézométriques (ANRH, 2018)

Points d'eau	X	Y	Z/RR(m)	NS/RR HE	NS/RR BE	NP HE	NP BE
P01	464,25	363,465	23,307	3,05	6,75	20,257	16,557
P02	463,787	364,319	18,142	5,03	7	13,112	11,142
P03	464,649	362,575	32,128	5,24	8,04	26,888	24,088
P04	465,294	362,751	31,598	3,66	6	27,938	25,598
P05	465,523	361,694	39,481	3,46	6,32	36,021	33,161
P06	464,814	363,281	25,625	2,4	6,65	23,225	18,975
P07	461,031	365,467	16,311	1,05	1,1	15,261	15,211
P08	463,191	363,8	18,501	3,26	6,8	15,241	11,701
F01	462,205	365,541	14,567	1,15	3,64	13,417	10,927

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Avec:

Z/RR: Altitude par rapport à la référence rouge (point de mesure) ;

NS/RR: Niveau statique par rapport à la référence rouge, exprimé en mètre ;

NP: Niveau Piézométrique en mètre ;

HE : Hautes eaux ;

BE : Basses eaux.

Les cartes piézométriques des deux périodes (Haute eaux et Basses eaux) mettent en évidence l'existence d'une ligne de partage des eaux au centre de la plaine. Ceci signifie que les eaux souterraines coulent dans deux sens opposés pour former deux bassins hydrogéologiques. La ligne de partage se déplace légèrement vers l'amont de la vallée en période de basses eaux. En effet, l'écoulement souterrain se fait vers Nord-ouest en aval et vers le Sud-est en amont du bassin, l'autre direction se fait vers NNE-SSW qui alimente la nappe de la partie Ouest en provenance du massif carbonaté de Gouraya.

Dans la partie sud de la zone d'étude, les isopièzes dessinent une forme concentrique indiquant une dépression piézométrique due au pompage dans les ouvrages hydrauliques de cette zone.

Par ailleurs, la relation hydraulique entre la nappe et l'oued El Hachem varie d'un endroit à l'autre. Dans le bassin nord, c'est la nappe qui alimente l'oued.

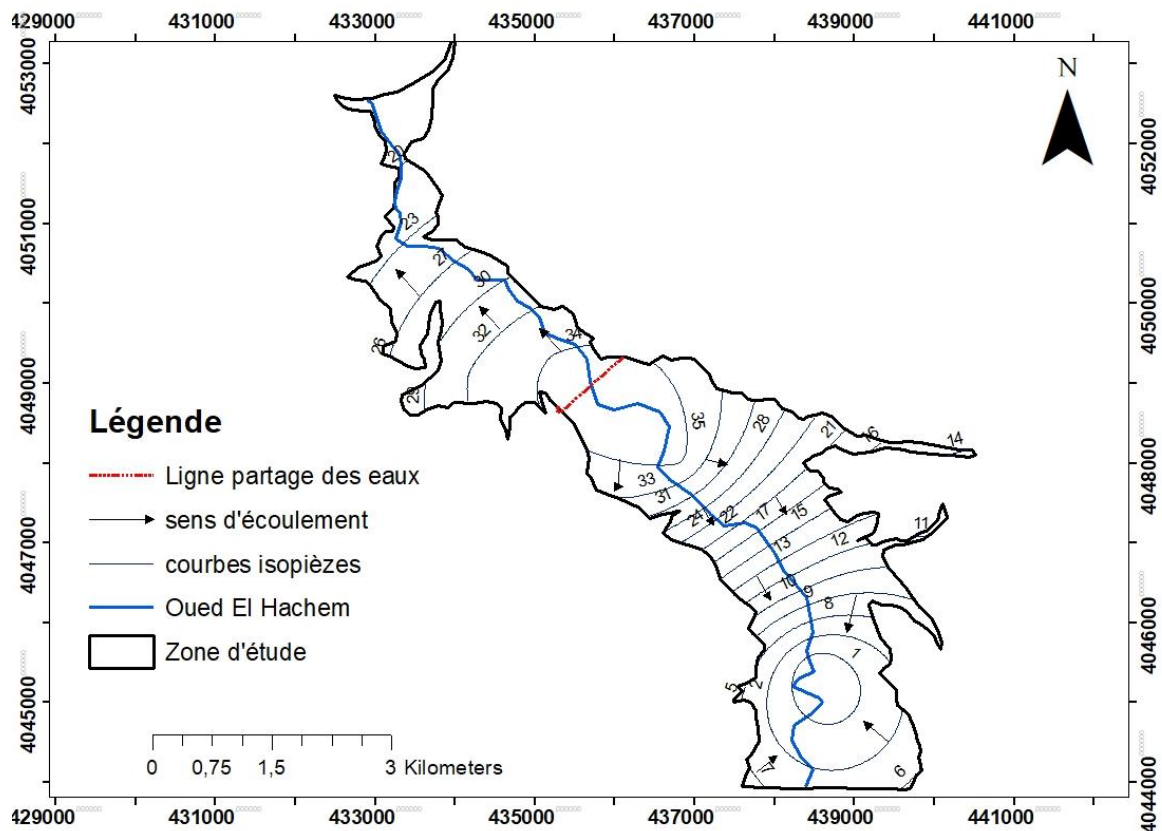


Figure 11 : Carte piézométrique de l'oued El Hachem, juillet 2018 (hautes eaux)

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

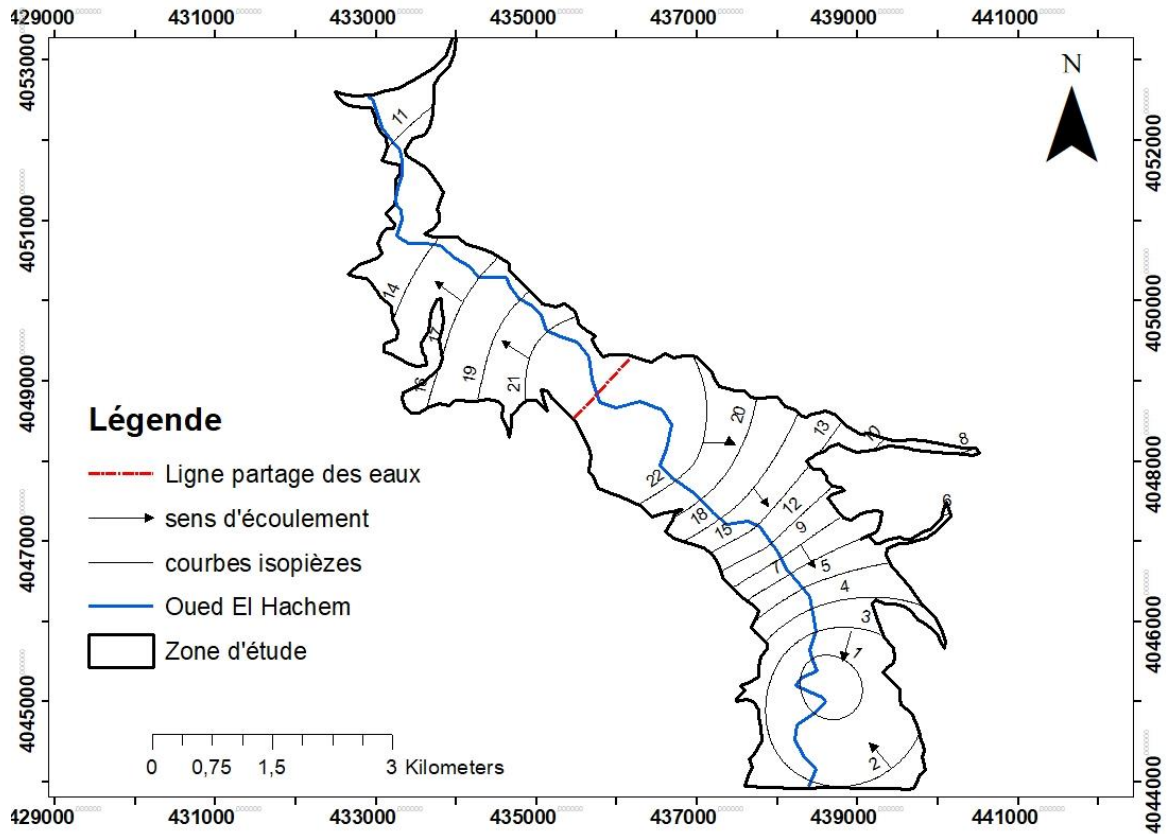


Figure 12 : Carte piézométrique de l'oued El Hachem, octobre 2018 (basse eaux)

7. Conclusion

La région de Tipaza est située dans le domaine alpin caractérisé par une géologie complexe avec affleurement des massifs anciens formés de schistes noirs, micro brèches, grès, conglomérats à éléments siliceux, massif secondaire représenté par des calcaires jaunâtres, argile rouge et dolomie, massif tertiaires qui est formé de marnes, grès, calcaires et les terrains quaternaires, en générale, meuble qui donnent des alluvions, sols sableux.

La zone étudiée appartient au Tell septentrional, terrain quaternaire. Il fait partie d'un aquifère captif au Nord et libre au Sud-est.

La nappe alluvionnaire est formée de la base au sommet par les argiles rouges, argile et gravier qui constituent le réservoir aquifère, de l'argile et de sable avec intercalation de quelques lits de gravier.

Les altitudes du mur et du toit de la nappe varient respectivement entre de -3 à 51m, et +19 à 64m, avec une résistivité au centre de la vallée de 30 à 50 Ohm.m.

La piézométrie de la nappe de l'Oued El Hachem met en évidence l'existence de deux sens d'écoulements. En aval, le sens d'écoulement se fait vers NW, cependant, les eaux souterraines s'écoulent vers le SE dans la partie amont de la zone d'étude.

Chapitre 3

Hydroclimatologie d'étude

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

1. Introduction

L'Hydroclimatologie est une discipline scientifique qui étudie l'interaction entre le climat et le cycle de l'eau dans l'environnement. Elle examine comment les facteurs climatiques influencent l'écoulement en surface et l'infiltration au sous-sol dans les bassins hydrographiques, les régimes de précipitations et l'hydrologie souterraine (Calver A., 2009).

L'étude des caractéristiques climatiques permet de quantifier les paramètres telles que la lame d'eau écoulée, l'infiltration et l'évapotranspiration, en se basant sur les précipitations et la température. Dans ce chapitre, nous essaierons, à partir des données disponibles, de faire ressortir les caractéristiques générales du climat de notre zone d'étude, ses variations spatiales et aussi ses irrégularités temporelles à partir de quatre stations pluviométriques (Attatba Cave, Hadjout, Ain Tagourait et Boukourdane) qui sont retenues dans notre étude, avec une période d'observation allant de 1982 à 2015.

2. Aperçu sur le climat à l'échelle régionale et locale

Du point de vue climatique, l'Algérie est subdivisée du Nord au Sud (Cote, 1998 *in* Djenba, 2015) en cinq zones bioclimatiques en relation avec le relief et les précipitations :

- Le domaine humide : il n'est limité pratiquement qu'à la côte surtout à l'Est algérien,
- Le domaine subhumide : il remonte parfois jusqu'à la côte à l'exception du centre,
- Le semi-aride : il remonte dans les bassins intérieurs du Tell (Mila, Guelma) et il est particulièrement développé dans les Hautes Plaines qui le prolongent plus loin vers le Sud,
- Le domaine subaride : il se limite au flanc sud de l'Atlas saharien,
- Le domaine aride : il occupe pratiquement tout le Sahara

De sa position méditerranéenne, la Wilaya de Tipaza bénéficie d'un climat méditerranéen du domaine subhumide caractérisé par un hiver doux et un été chaud et sec.

3. Précipitations

3.1. Collecte des données

Pour mieux caractériser le régime climatique de notre zone d'étude, un réseau de surveillance a été mis en service. Ce dernier est composé de quatre stations pluviométriques et une station climatique réparties d'une façon plus ou moins homogène sur l'ensemble du bassin versant (figure 13), sur une période de 34 ans (1982-2015). Ces stations sont représentées dans la figure 1 et leurs caractéristiques sont récapitulées dans le tableau 8. Tableau 8 :Caractéristiques des stations pluviométriques adoptées (ANRH, 2015)

Station	Code	X (m)	Y (m)	Z (m)	Période
Pont CW7 Hadjout	020325	475 850	358 850	59	1982-2015
Ain Tagourait	020403	492 050	366 850	60	1982-2015
Attatba Cave	021022	495 450	363 150	60	1982-2015
Boukourdane	020329	464 300	359 900	110	1982-2015

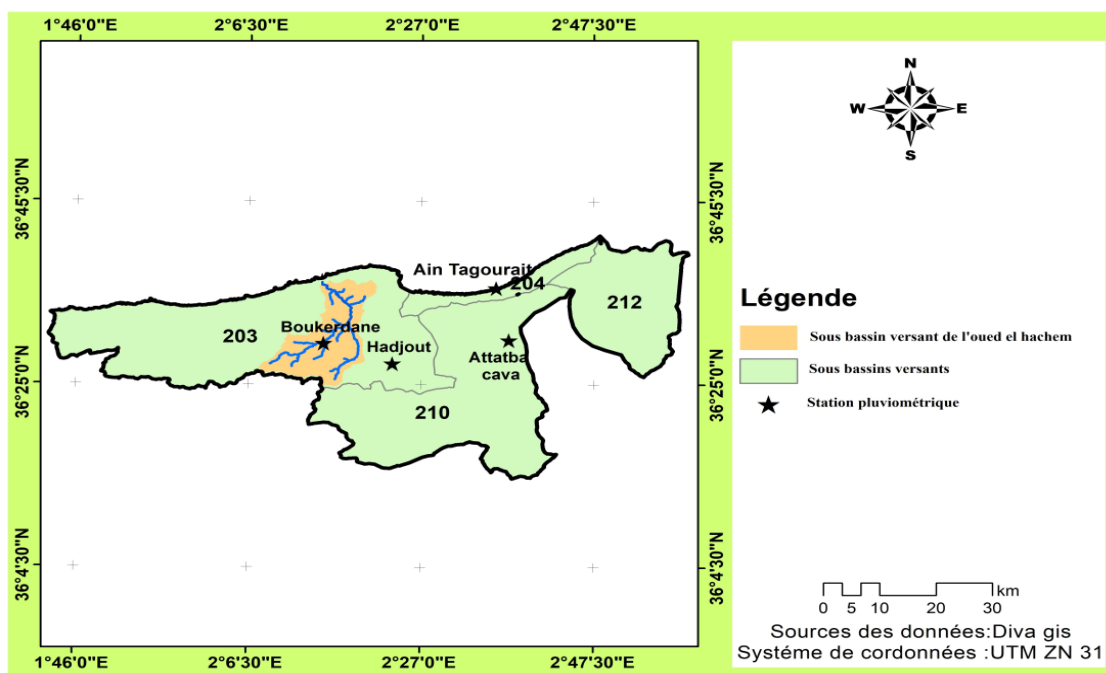


Figure 13 : Carte de Situation des Stations Pluviométriques

3.2. Précipitations mensuelles

Pour évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi les histogrammes relatifs à chaque station, en rassemblant les stations d'Attatba Cave et la station d'Ain Tagourait pour la région Est, la station de Hadjout et la station de Boukourdane pour la région Ouest. Les données exploitées sont présentées en annexe 1.

À partir des histogrammes (Figures 14 et 15), la variation des précipitations mensuelles sur le plan temporel est caractérisée par le même comportement dans toutes les stations de notre zone d'étude. La répartition des précipitations mensuelles est irrégulière d'un mois à l'autre dans l'ensemble des stations de Boukourdane, Attatba cave, pont cw 7 Hajout et d'Ain Tagourait.

À l'échelle mensuelle, on remarque que dans la plupart des stations dans notre zone d'étude, le mois le plus pluvieux est le mois de novembre. on a enregistré 72,9 mm à la station de pont cw7, 87,39 mm à la station d'Attatba Cave et 82,37 mm à la station d'Ain Tagourait, cependant, à la station de Boukourdane le maximum de pluies a été enregistré au mois de décembre (92,44 mm). Par ailleurs, le mois le plus sec est celui de juillet à la station de Attatba Cave et d'Ain Tagourait et est celui de d'août avec une valeur minimale de 0,99 mm, enregistrée à la station de Pont cw7 Hajout.

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

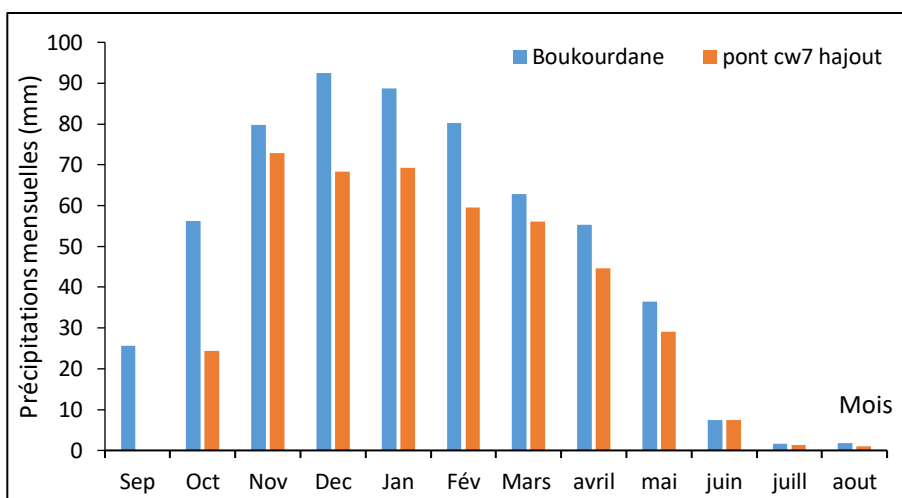


Figure 14 : Précipitations Mensuelles au Niveau de la Station Boukourdane et Pont CW7 Hajout (1982-2015)

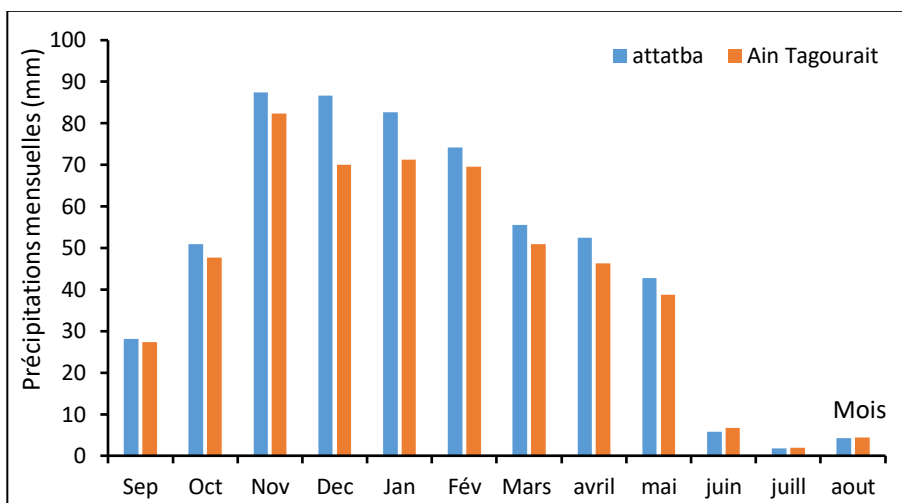


Figure 15 : Précipitations Mensuelles au Niveau de la Station d'Attatba et d'Ain Tagourait (1982-2015)

3.3. Précipitations annuelles

Les diagrammes montrés dans les figures 4 et 5 illustrent la distribution des précipitations annuelles aux différentes stations adoptées sur la période 1982-2015. Les données sont présentées en annexe 2.

Les stations de Boukourdane et de Hadjout (Figure 16), montrent une période pluvieuse qui s'étale de 1984 à 1991 avec un maximum de 891.3 mm enregistré dans la station de pontcw7 Hajout en 1984, et une autre période pluvieuse entre 2006 et 2011 avec une pluviométrie maximale de 784,4 mm dans la station de Boukourdane en 2011. Les stations d'Ain Tagourait et Attatba Cave qui caractérisent la région orientale de la Wilaya de Tipaza (Figure 17) révèlent deux (02) périodes pluvieuses, dont la première est enregistrée entre 1982 et 1989 avec un maximum de 873,8 mm dans la station d'Attatba Cave enregistré en 1984 et la deuxième période s'étale de 2007 à 2014 avec un maximum de 824.7 mm enregistré en 2011 au niveau de la station de Attatba cave.

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

Les moyennes annuelles des précipitations les plus élevées ont été enregistré à Boukourdane (588,65mm) et d'Attatba cave (571,18 mm), par contre la station d'Ain Tagourait (502,03mm) et de Hadjout pont cw7 (501,59 mm)

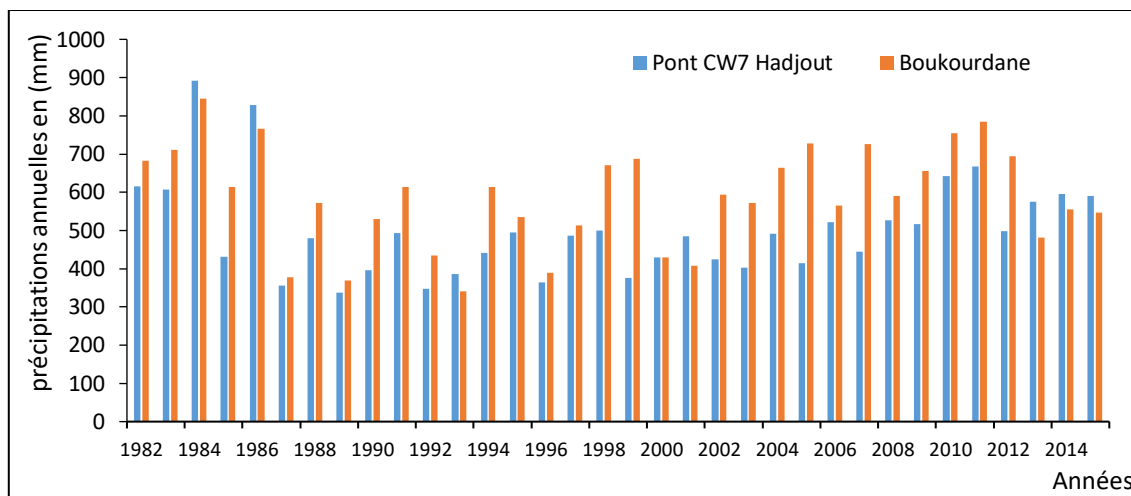


Figure 16 : Variation des Précipitations Annuelles au Niveau des Stations Pont cw7 Hajout et Boukourdane (1982-2015)

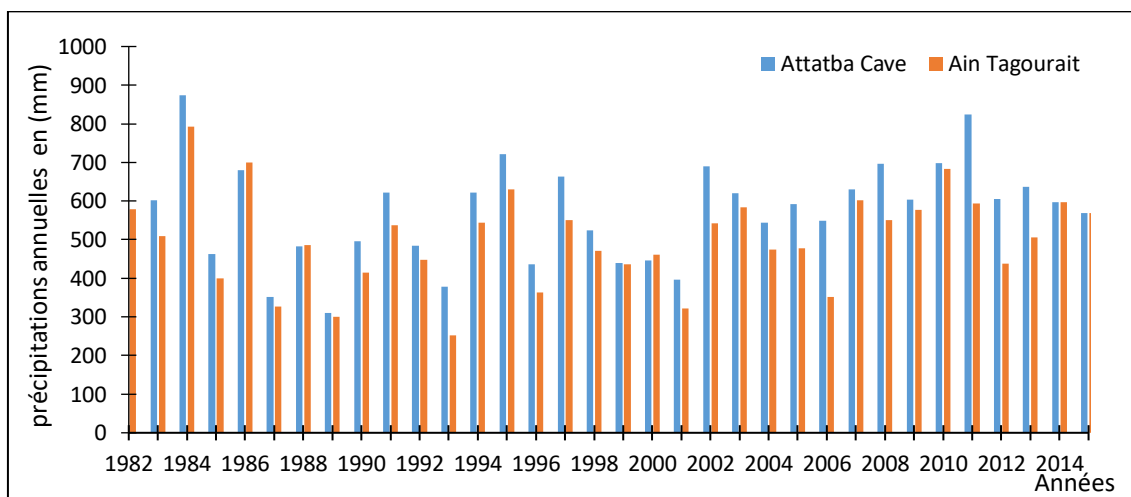


Figure 17 : Variation des Précipitations Annuelles au Niveau des Stations d'Attatba Cave et d'Ain Tagourait (1982-2015)

4. Température

La température est un facteur très important qui régit les paramètres climatiques. Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé des données de la station de Boukourdane. En effet, ce sont les seules données de températures disponibles dans la zone d'étude.

4.1. Evolution de la température sur la période 1987-2015

A défaut de série de température mesurée dans la zone d'étude, nous avons adopté, dans la présente étude, les données de la station de Boukourdane qui se situe dans la périphérie de la plaine de l'Oued El Hachem.

La base de données mise à notre disposition par les services de l'ANRH, est présentée dans le tableau 9.

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

Tableau 9 : Températures Moyennes Minimales et Maximales Enregistrées Dans La Station De Boukourdane (1987-2015)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout
T. Moy. Min (°C)	16,39	12,33	9,38	7,26	5,62	5,87	7,95	9,66	12,84	17,5	19,84	19,63
T. Moy. Max(°C)	30,94	28,63	22,47	18,37	17,96	18,33	20,61	22,41	26,3	29,66	33,45	33,42
T. Moy (°C)	23,1	19,82	15,71	12,62	11,12	11,78	13,64	15,46	18,8	22,32	26,26	26,49

T. Moy. Min (°C) : Température Moyenne minimale ; T. Moy. Max (°C) : Température Moyenne maximale ; T. Moy. (°C) : Moyenne de la Température Moyenne.

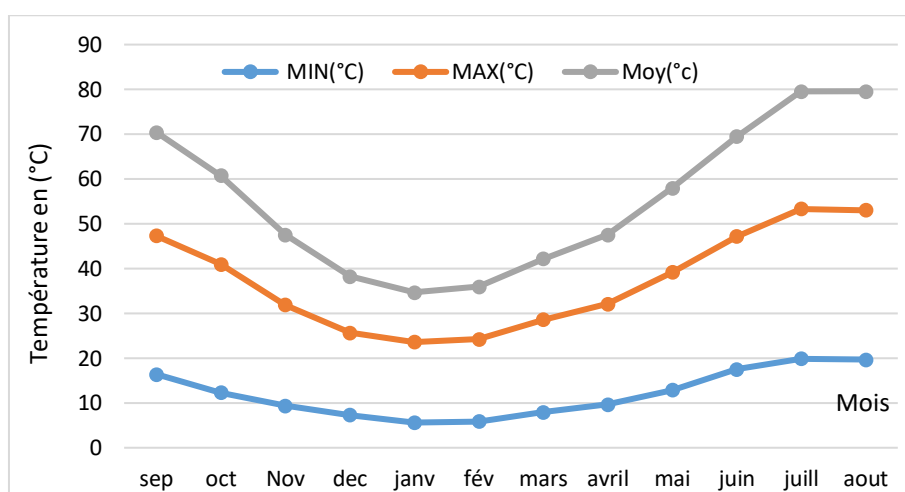


Figure 18 : Variations Des Températures mensuelles de la Station de Boukourdane (1987-2015)

La température moyenne annuelle au cours de la période 1987-2015 est de 18,09°C. L'année hydrologique est subdivisée en deux périodes :

- Une période froide qui s'étale des températures minimales du mois de janvier 5,62°C, jusqu'au mois de mai 12,84°C avec une température moyenne la plus basse 12,02°C
- Une période chaude débute au mois juillet 33,45°C et termine au mois de septembre 30,94°C. La température moyenne la plus élevée est de 25,21 °C.

4.2. Diagramme Ombrothermique (Bagnouls et Gausson)

On l'appelle aussi climatogramme il est représentée graphiquement par la combinaison de deux facteurs, la température (C°) et la précipitation (mm). Les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations selon la définition de Gausson (1958).

Notons que durant une saison humide le total pluviométrique est égal ou supérieur au double de la température ($P \geq 2T^\circ$) et durant une saison sèche les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température ($P \leq 2T$).

Dans le cas de la plaine de l'Oued El Hachem, on s'est appuyé sur les observations effectuées à la station de Boukourdane entre 1987 et 2015. Les valeurs de la température moyenne mensuelle et des précipitations sont données dans le tableau 3 :

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

Tableau 10. Moyenne mensuelle des températures et précipitations enregistrées à la station de Boukourdane (1987-2015)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	25,7	56,2	80	92,4	88,7	80,21	62,89	55,33	36,5	7,44	1,64	1,84
T Moy (°C)	23,1	19,8	16	12,6	11,12	11,78	13,64	15,46	18,8	22,32	26,26	26,49

Le diagramme ombrothermique (Figure 19), montre deux saisons bien distinctes :

- Une saison sèche qui s'étale de mois de mi mai jusqu'au mois de septembre. Elle est marquée par une forte évaporation provoquée par des températures élevées,
- Une saison humide plus longue, qui s'étend du mois d'octobre jusqu'au mois de mai, caractérisée par une précipitation importante qui atteint un maximum au mois de décembre avec 92,44 mm.

La détermination de ces périodes est d'une grande importance pour l'hydrologie par rapport à l'estimation des besoins en eau, particulièrement en agriculture.

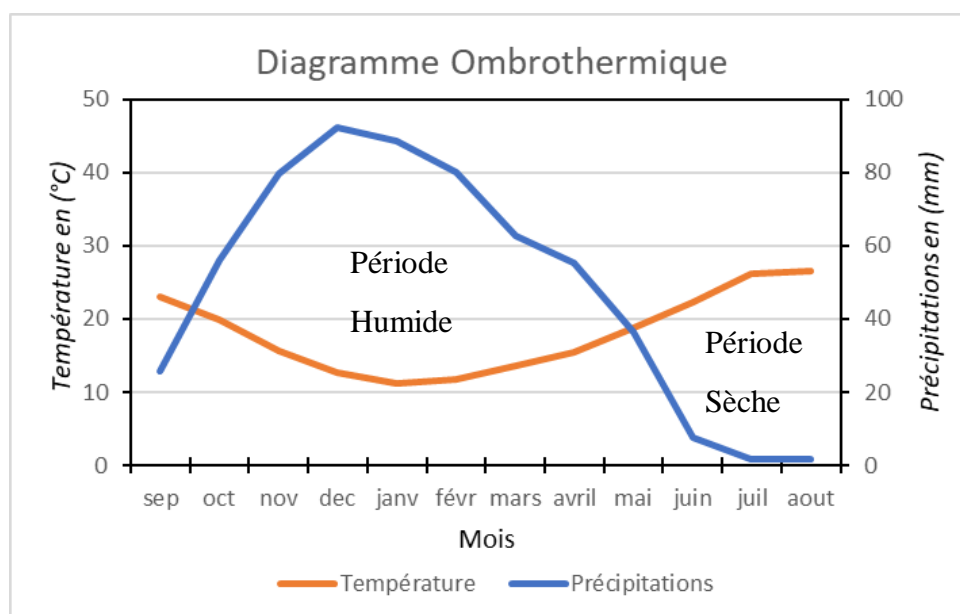


Figure 19 : Diagramme Ombrothermique établi pour la plaine d'Oued El-Hachem (1987-2015)

5. Humidité relative

L'humidité relative de l'air ou degré hygrométrique montre l'état de l'atmosphère en expliquant s'il est plus ou moins proche de la condensation. Elle correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température. Elle est exprimée en %.

Les mesures de l'humidité relative enregistrées dans la zone d'étude portent sur la période 1987-2015 et sont récapitulées dans le tableau 11

Tableau 11. Valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative au niveau de la station de Boukourdane (1987-2015)

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout
Humidité (%)	77	75	73	74	75	72	74	73	74	75	78	80

La figure 20 montre que la valeur de l'humidité relative la plus élevée est enregistrée au mois d'août (80 %) et la valeur minimale est observée en hiver, au mois de février (72 %). Il est à signaler aussi que l'humidité relative dans cette région augmente le matin et le soir de la journée par rapport à midi du jour.

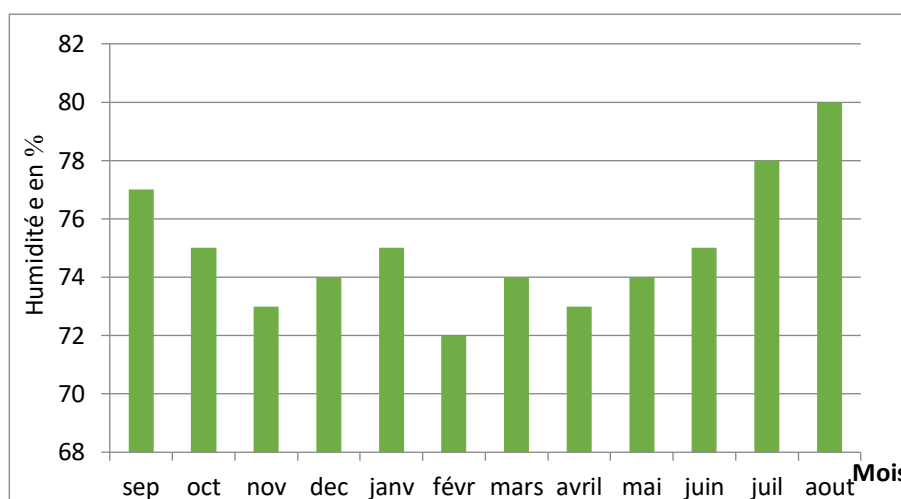


Figure 20 : Variation de l'humidité relative mensuelle de la station de Boukourdane (1987-2015).

6. Vitesse du vent

Elle représente l'un des facteurs les plus déterminants du régime de précipitation, de l'évaporation et par conséquent du climat. il convient de connaître la répartition mensuelle de la vitesse des vents, leur direction et leur fréquence. Le tableau 12 donne la vitesse du vent mesurée à la station de Boukourdane au cours de la période 1987 - 2015

Tableau 12 : Valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent dans la station de Boukourdane (1987-2015)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout
Vitesse (km/h)	4,25	4,31	4,41	4,31	4,8	6,71	4,59	4,35	4,38	4,67	5,39	4,38

Dans notre zone d'étude, les vents dominants sont ceux qui soufflent du Nord-est et de l'Ouest avec des vitesses moyennes mensuelles variant entre 4,25 km/h au mois de septembre à une vitesse moyenne maximale de 6,71 km/h au mois de février. Par ailleurs, la vitesse moyenne est de 4,7 km/h, selon la Figure 21 .

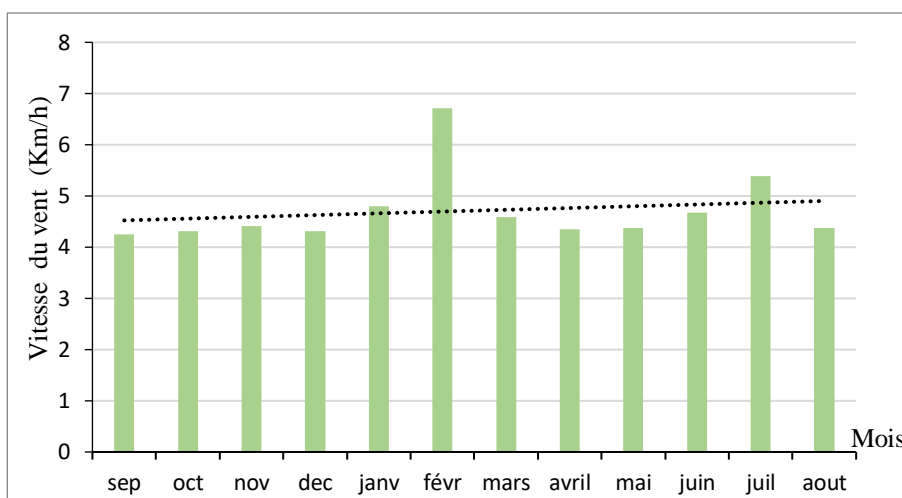


Figure 21 : Variation mensuelle de la Vitesse du Vent de la Station de Boukourdane (1987-2015)

7. Bilan hydrologique

L'étude du bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des volumes d'eau entre les différents composants du cycle de l'eau dans un bassin versant (écoulement, infiltration et évaporation), sur une période d'observation, suffisamment longue. La formule classique du bilan hydrologique s'écrit comme suit: $P = ETR + R + I \pm \Delta S$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm),

R : Ruissellement moyen annuel en (mm),

I : Infiltration moyenne annuelle en (mm),

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm),

ΔS : Variation de la réserve

7.1. Evapotranspiration

C'est un paramètre important pour le calcul du bilan hydrologique. Cependant, il reste difficile à évaluer car il englobe divers phénomènes tels que l'évaporation direct (par retour dans l'atmosphère à partir des réservoirs de surface et des réservoirs souterrains) et la transpiration des plantes. Les facteurs déterminant de l'évapotranspiration sont essentiellement : la température, l'humidité de l'air, le rayonnement solaire, le vent et la pression atmosphérique.

Le terme évapotranspiration englobe deux notions : l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

7.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. La détermination de

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

l'ETP se fait en utilisant une méthode simple, qui ne fait intervenir que la température. C'est la formule de Thornthwaite qui s'exprime par l'expression suivante :

$$ETP_c = 1,6 \left(\frac{10T}{I} \right)^a k \quad (1)$$

Avec :

ETP_c = Evapotranspiration potentielle corrigée en (mm),

T = Température moyenne du mois en (°C),

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$$

I = indicethermique annuel : $I = \sum_i^{12} i$

i = indice thermique mensuel : $i = (T/5)^{1,514}$

K = Coefficient de correction dépendant de la latitude de la station hydroclimatique.

Les valeurs obtenues par l'application de cette formule sont récapitulées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Valeurs de l'ETP_c calculées par la formule Thornthwaite à la station de Boukourdane (1987-2015)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
P(mm)	25,7	56,2	79,8	92,4	88,7	80,2	62,9	55,3	36,5	7,4	1,6	1,8	588,6
T °C	23,1	19,8	15,7	12,6	11,1	11,8	13,6	15,5	18,8	22,3	26,3	26,5	18,1
I	4,29	7,86	5,49	3,86	3,39	3,70	4,56	5,51	7,42	9,56	12,24	12,48	86,9
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,86	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP _c (mm)	106,5	74,9	42,6	27,4	22,3	24,6	39,0	52,8	84,4	118,1	163,8	155,8	912,2

ETPC = Evapotranspiration potentielle corrigée obtenues par la formule de Thornthwaite.

L'application de la formule de Thornthwaite a permis d'estimer l'ETP annuelle à 912,2mm.

7.1.2. Evapotranspiration réelle

Ce terme correspond aux volumes des eaux effectivement évaporées à partir des surfaces d'eau libre et des eaux souterraines et transpirées par les plantes pour une surface donnée et une période définie. Son estimation est donnée également par l'utilisation de formules empiriques, telle que : la formule de Turc, la formule de Coutagne ou encore par la méthode du bilan simplifié de Thornthwaite.

7.1.2.1. Formule de Turc

L'ETR peut être calculée par la formule de Turc qui s'exprime comme suit :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L_2}}} \quad (2)$$

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

L : Pouvoir évaporant. C'est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$$

T : Température moyenne annuelle en (C°).

En prenant la température moyenne annuelle enregistrée à la station de Boukourdane,

T = 18,1 °C et **P** = 588,6mm, l'application numérique donne :

L = 1048,99, donc ; ETR annuelle selon Turc est égale à 534,1mm.

7.1.2.2. Formule de Coutagne

Cette formule qui s'exprime par cette relation : $ETR = P - \lambda t^2$. Une condition pour qu'elle soit applicable est exigée. Elle est de la forme suivante :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \text{ et } \lambda = \frac{1}{0,8+0,145t}$$

t : La température moyenne annuelle exprimée en °C.

L'application de ces expressions par la prise de la précipitation moyenne de 588,65 mm et la température de 18,1 °C, mesurées à la station de Boukourdane a abouti aux résultats suivants :

$$0,428 < 0,5886 < 1,71$$

On constate que la condition de l'application de la formule de Coutagne est vérifiée et que l'ETR annuelle est de 493mm.

7.1.2.3. Bilan simplifié de Thornthwaite

Cette méthode consiste à calculer tout d'abord pour chaque mois une **ETP** que l'on peut assimiler au pouvoir évaporant de l'atmosphère sur le bassin considéré à partir de la station de Boukourdane. On estime que le sol est saturé, lorsque sa réserve facilement utilisable (**RFU**) atteint une valeur de 100 mm (il est souvent pris entre 50 mm et 200 mm). Le mois de Septembre a été pris comme référence de départ, il correspond à la période où la réserve en eau du sol est épuisée. On distingue trois cas :

- 1^{er} cas : Si **P** ≥ **ETP** ; on pose **ETR** = **ETP** et l'excédent des précipitations sur ETR est emmagasiné dans l'humidité du sol et donc il augmente les réserves jusqu'à ce que ce dernier soit saturé et le reste s'écoule,
- 2^{ème} cas : Si **P** < **ETP** ; ETR mobilise alors l'ensemble des réserves du sol jusqu'à ce qu'elle devienne égale à l'ETP.
 - Si $P + RFU \leq ETP$, $ETR = P + RFU$.
 - Si $P + RFU > ETP$, $ETR = ETP$.

3^{ème} cas : Si **P** = **ETR**, une fois la réserve d'humidité du sol épuisée, l'ETR devient égale aux précipitations, on obtient alors un déficit du bilan (Thornthwaite 1948).

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

L'estimation des réserves utiles est basée sur la structure du terrain et le couvert végétal. Le bilan hydrologique est effectué par rapport au sol, des apports d'eau (pluie, remontées capillaires à partir de la nappe...), et des pertes d'eau (évapotranspiration, ruissellement, infiltration...). Il exprime la différence entre les apports et les pertes d'eau dans le sol qui est égale à la variation de la réserve d'eau.

Le tableau 7 présente le bilan hydrologique moyen établi par la méthode de Thornthwaite, au niveau de la station du Barrage Boukourdane (1987-2015)

Tableau 14 : Bilan simplifié de Thornthwaite, station de Boukourdane (1987-2015)

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
P	25,7	56,2	79,8	92,4	88,7	80,2	62,9	55,3	36,5	7,4	1,6	1,8	588,5
ETPc	106,5	74,9	42,6	27,4	22,3	24,6	39,0	52,8	84,4	118,1	163,8	155,8	912,2
P-ETPc	-80,8	-18,7	37,2	65,0	66,4	55,6	23,9	2,5	-47,9	-110,7	-162,2	-154,0	
ETR	25,7	56,2	42,6	27,4	22,3	24,6	39	52,8	84,4	59,5	1,64	1,8	437,9
RFU	0	0	37,2	100	100	100	100	100	52,2	0	0	0	
ES	0	0	0	2,2	66,4	55,6	23,9	2,5	0	0	0	0	150,6
DA	80,8	18,7	0	0	0	0	0	0	0	58,6	162,2	154	474,3

L'analyse du tableau 7 du bilan hydrologique, nous permet de constater que l'ETP est élevé au mois de mai jusqu'à mois de septembre, avec une valeur maximale de 163,8 mm enregistrée au mois de juillet. À partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU. Cette dernière, atteint, son maximum entre les mois de décembre à avril .Ou-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU à partir du mois de juin , traduisant un épuisement du stock.

Le graphique du bilan hydrologique (méthode de Thornthwaite) qui illustre les résultats du tableau 7 pour la station de Boukourdane permet de souligner les observations suivantes :

- On remarque que si la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y aura un surplus d'eau donnant naissance à un ruissellement. Quand la RFU commence à diminuer, il y a un épuisement du stock au point où la RFU = 0. Il y aura alors un déficit agricole au début du mois de mai jusqu'à la fin du mois de novembre .
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) dans la région d'étude atteint son maximum au mois de juillet avec 163,8 mm et avec un minimum de 22,3 mm au mois de janvier.

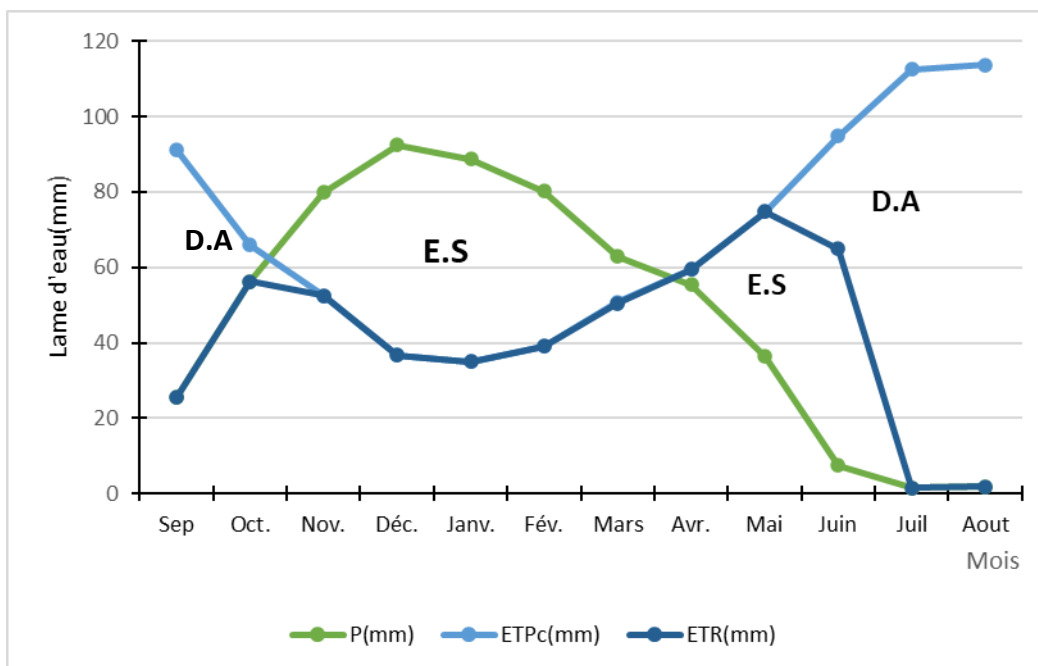


Figure 22 : Bilan simplifié de Thornthwaite, station de Boukourdane (1987-2015)

Nous constatons d’après le tableau ci-dessus que les valeurs de l’ETR obtenues par les méthodes de Thornthwaite, Turc et Coutagnene sont pas proches. La valeur de l’ETR retenue pour l’établissement du bilan hydrologique est la moyenne entre les résultats obtenus par les formules de Coutagne et Thornthwaite (465,4 mm). la valeur obtenues par la formule de Turc est très élevée et a été éloignée.

Tableau 15 : Valeurs de l'ETR obtenues par les trois méthodes

Méthode	Thornthwaite	Turc	Coutagne
ETR (mm)	437,9	534.1	493

7.2. Lame d’eau ruisselée

Le ruissellement de surface est le volume d’eau, qui au cours d’une période de précipitation échappe à l’infiltration et l’évapotranspiration.

Cette lame d’eau ruisselée sera calculée par la formule de **Tixerion–Berkaloff** qui s’écrit comme suit :

$$R = P^3/3(ETP_c^2) \quad \text{si : } P < 600 \text{ mm}$$

Avec :

R : Ruissellement annuel (mm),

P : Précipitation moyenne annuelle (mm),

ETPc: Evapotranspiration potentielle annuelle corrigée(mm).

La formule de Tixerion–Berkaloff modifiée par Romantchookest la suivante :

CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE D'ETUDE

$$R = P^3/3 \quad \text{si : } P > 600 \text{ mm}$$

Avec :

R : Ruissellement annuel (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

Comme on a dans la station de Boukourdane une précipitation de 588,6 mm ($P < 600$ mm), on applique la première formule, qui donne un ruissellement de 81,7mm.

7.3. Lame d'eau infiltrée

De la même manière que le ruissellement, nous avons essayé d'estimer l'infiltration en sachant que ce paramètre est très difficile à déterminer quand on ne dispose pas de mesures directes (par exemple : mesure à l'aide d'un lysimètre).

L'infiltration a été déterminée en tirant sa valeur de l'équation du bilan hydrologique :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta S$$

Pour une période d'observation assez longue, la variation de la réserve est négligeable (ΔS), l'équation du bilan hydrologique s'écrit comme suit :

$$P = ETR + R + I \quad \text{d'où} \quad I = P - (ETR + R)$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ; $P=588,6\text{mm}$

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne (mm) ; $ETR=465,4\text{mm}$

R : Lame d'eau ruisselle (mm) ; $R=81,7 \text{ mm}$

I : Lame d'eau infiltrée (mm).

L'application numérique donne $I = 588,65 - (465,4 + 81,7) = 41\text{mm}$

7.4. Estimation du bilan hydrologique

Le calcul du bilan hydrologique basé sur la série des données de la station de Boukourdane, nous a permis de tirer des informations sur les composantes de ce bilan (précipitations, infiltration, évapotranspiration réelle et le ruissellement).

Tableau 16 : Tableau récapitulatif des différents termes du bilan hydrologique, station de Boukourdane (1987-2015)

	Précipitations	ETR	Ruissellement	Infiltration
Terme en mm	588,6	465.4	81.7	41
Terme en %	100	79,1	13,9	7

Il est à noter que ces valeurs ne présentent pas réellement l'infiltration dans toute la zone d'étude, car on n'a pas tenu compte des infiltrations par excès d'irrigation et aussi la possibilité d'alimentation de la nappe par l'Oued (relation Oued-Nappe).

8. Conclusion

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18,09 °C avec un maximum au mois d'août égal à 26,49 °C et un minimum au mois de janvier égal à 11,12 °C.

L'année pluviométrique la plus arrosée correspond à 1984 avec un apport de 844,1 mm pour la station de Boukourdane, et un apport de 873,8 mm pour la station d'Attatba Cave (Est de la wilaya de Tipaza).

Au niveau de la station de Hadjout et Boukourdane, l'année la plus sèche correspond à 1989 avec un apport de 336,7 mm pour la station de Hadjout et l'apport de 340,6 mm à la station de Boukourdane en 1993.

L'humidité relative moyenne annuelle est égale à 75 % avec des moyennes mensuelles variant entre 78 % en été (juillet) et 72 % en hiver (février).

La vitesse moyenne annuelle du vent est égale 4,7 Km/h à la station de Boukourdane. Cette dernière montre que la direction préférentielle du vent est Nord-est et Ouest.

L'établissement du bilan hydrologique de la zone d'étude a révélé que plus de 79,1 % retourne à l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration à partir des surfaces d'eau libres, du couvert végétal et du sol. Ce qui reste des précipitations tombées dans la zone d'étude s'écoule en surface dans le réseau hydrographique avec 7 % d'infiltration dans la nappe .

Chapitre 4

Caractérisation hydrochimique

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

1. Introduction

Le chimisme naturel des eaux dépend essentiellement des formations géologiques traversées pendant le temps de séjour. Le chimisme est principalement régi par les équilibres calco-carboniques (Ca^{2+} , HCO_3^-) auxquels viennent s'ajoute des éléments en provenance de L'environnement alluvial (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^-) et des éléments d'origine biologique (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+). L'intérêt principal de ce chapitre de l'étude est de mieux caractériser l'hydrochimie des eaux souterraines de l'Oued El Hachem , et de suivre les variations de ses caractéristiques dans l'espace et dans le temps.

2. Inventaire des points d'eaux

Les analyses hydrochimiques ont été effectués par ANRH KOLEA (2018) pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle des eaux souterraines de la nappe de l'oued El Hachem de deux campagnes hautes eaux (juillet 2018) et basses eaux (octobre 2018),

Il importe de noter que le réseau d'échantillonnage correspond à 08 puits et un forage (tableau 17, figure 23) utilisé essentiellement à des fins agricoles par les citoyens locaux. Ces points d'eau constituent les réseaux de surveillance de la nappe de l'Oued El Hachem depuis plusieurs décennies.

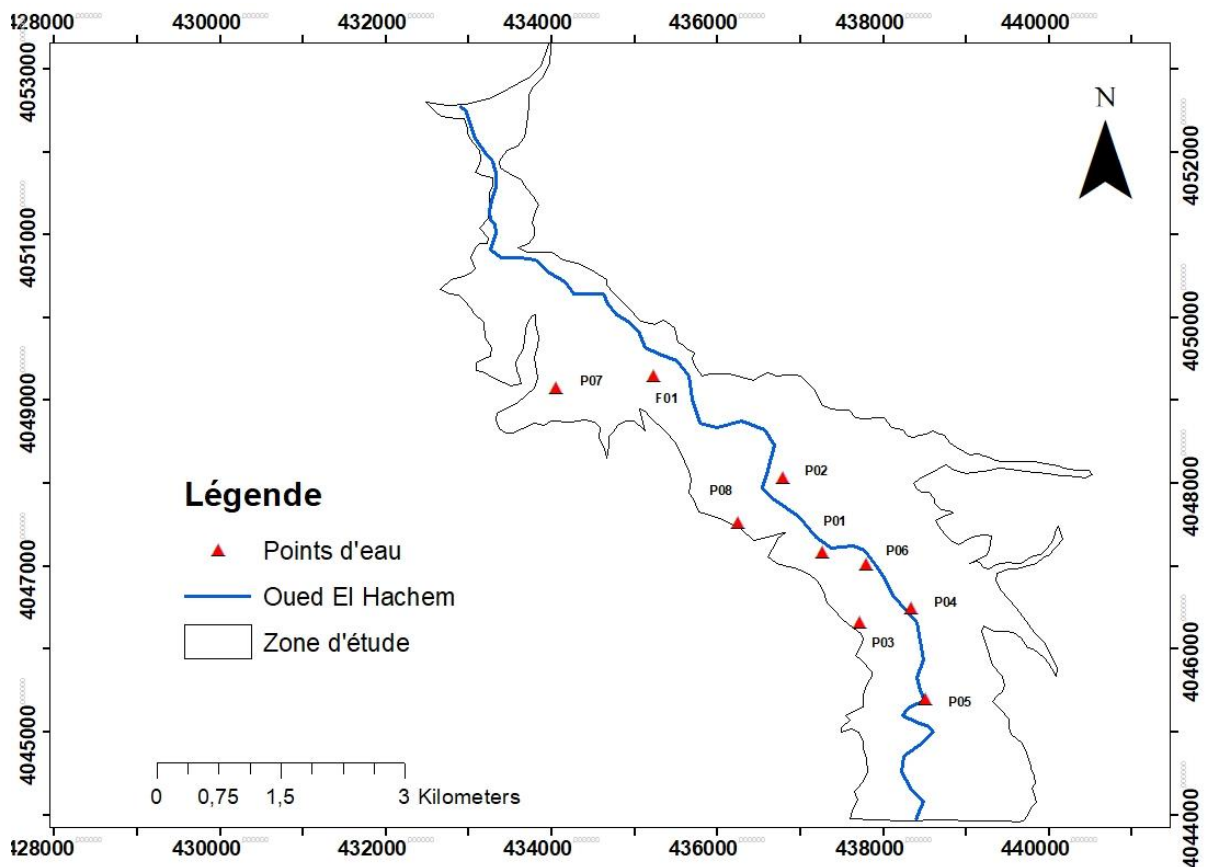


Figure 23 : Répartition des points d'eau de la plaine de l'Oued El Hachem

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

Tableau 17 : Inventaire des points d'eaux d'Oued El Hachem

Code ANRH	Nom	Code	Nature	X (m)	Y (m)	Z (m)
W039-002	P2 Bouhandir Hamid	P01	Puits	464 250	363 450	23,307
W039-004	P4 Lasahi Ahmed	P02	Puits	463 775	364 350	18,142
W039-005	P5 Tikarouchin	P03	Puits	464 700	362 600	32,128
W039-006	P6 ChorfiMouloud	P04	Puits	465 325	362 775	31,59
W039-007	P7 Benslimane Belaid	P05	Puits	465 500	361 675	39,481
W039-008	P8 BensalahNasredine	P06	Puits	464 775	363 300	25,625
W039-010	P10 EAC Boumaza	P07	Puits	461 025	365 425	16,311
W039-013	P13 EAC N° 2 Bouyahia	P08	Puits	463 225	363 800	18,501
W039-018	F3 Lamia	F01	Forage	462 200	365 575	14,567

3. Paramètres physico-chimiques

Pour la détermination de l'état qualitatif des eaux de la nappe de l'Oued El-Hachem, on a utilisé les résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur les prélèvements réalisés lors de la campagne piézométrique du mois de juillet et d'octobre 2018 par le service de l'ANRH de Koléa.

3.1. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre chimique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité sur une échelle de 0 (très acide) à 14 (très alcalin). Les mesures du pH montrent que tous les puits et les forages se trouvent dans l'intervalle de la norme d'OMS 2006 ($6.5 \leq \text{pH} \leq 8,5$).

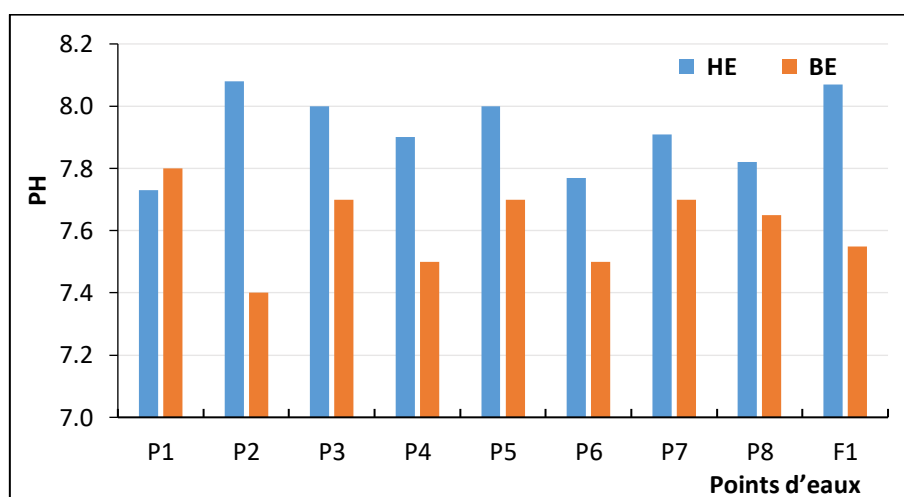


Figure 24 : Évolution du pH en juillet 2018 (HE) et octobre 2018 (BE)

Pendant la période des hautes eaux (juillet 2018), le pH varie entre 7,7 et 8,08 alors qu'en basses eaux (octobre 2018), les valeurs s'échelonnent entre 7,4 et 7,8. Ceci indique que les

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

valeurs varient peu et demeurent représentatives des eaux souterraines. On constate que ces eaux présentent un pH neutre à légèrement basique.

3.2. La conductivité

La conductivité électrique (C.E) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle est directement liée à la teneur en minéraux dissous ionisés. Elle augmente avec la température. Elle est l'inverse de la résistivité (σ).

La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (ms/m) ou microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

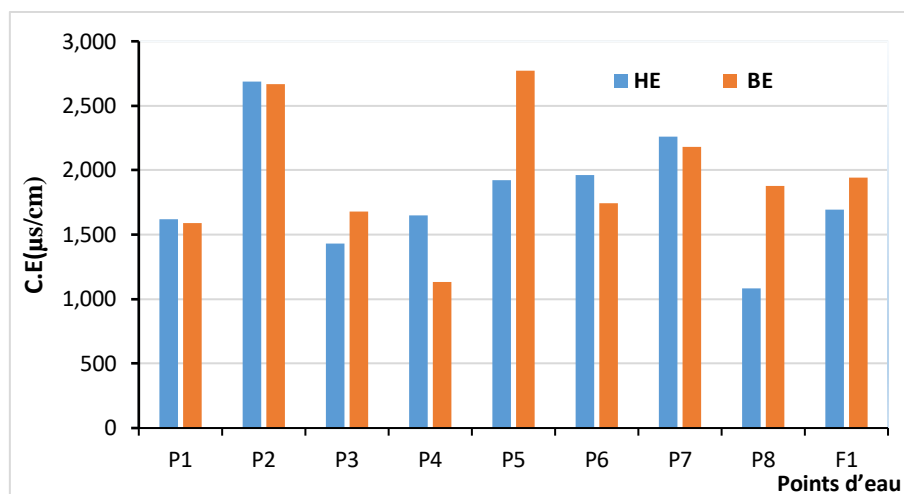


Figure 25: Évolution de C.E en Juillet 2018 (HE) et Octobre 2018 (BE)

Les valeurs de la conductivité électrique montrent une présence des sels dissous dans l'eau. La valeur de C.E varie entre 1082 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enregistrée comme valeur minimale au point P08, et 2689 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enregistrée comme valeur maximale au point P02 en juillet 2018.

En octobre 2018, les valeurs des C.E montrent une mesure minimale de 1133 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P04) et 2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comme valeur maximale au P05.

Les valeurs de la conductivité électrique aux P02 (HE et BE) et P05 (BE) dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux Algérienne (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). C'est probablement dû à l'influence des fertilisants utilisés en agriculture, les pesticides ou l'accumulation des sels après l'évaporation ou encore par lessivage de l'encaissant par les eaux de précipitation lors de l'infiltration et durant le temps de séjour des eaux souterraines dans l'aquifère.

3.3. Résidu Sec

Il correspond à la totalité des sels résiduels dans l'eau après évaporation à 105 °C. Les résidus secs (R.S) sont conditionnés par la structure hydrogéologique des terrains. Selon la réglementation algérienne, la norme de potabilité exige des valeurs comprises entre 500 et 1500 mg/l.

En juillet 2018, la valeur 674 mg/l est enregistré comme une valeur minimale au P08, et 1823 mg/l comme une valeur maximale au P02. Une forte concentration de 2045 mg/l est

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

mesurée au P05 et une faible concentration 821 mg/l en octobre 2018 au P04, c'est probablement dû à la forte minéralisation des eaux, qui est la conséquence du contact eau/roche ou la contamination anthropique par certains éléments polluants.

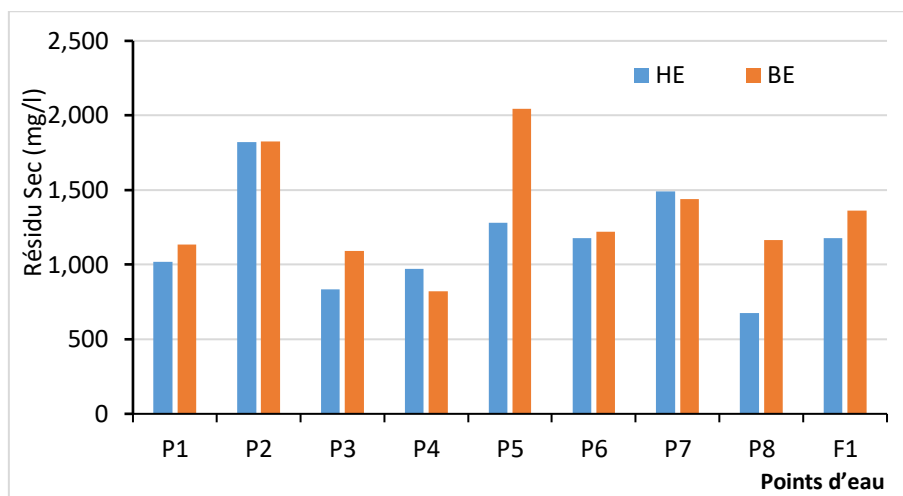


Figure 26: Évolution du Résidu Sec en Juillet 2018 (HE) et Octobre 2018 (BE)

4. Balance Ionique

La balance ionique représente la différence entre les anions et les cations, autrement dit, l'équilibre anions-cations qui égal naturellement zéro c-à-d que les anions et les cations sont égaux en termes de quantité.

Le calcul de la balance ionique (e%), permet de déduire la fiabilité des analyses selon la formule suivante :

$$BI = \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{\sum r} \times 100 \quad (1)$$

Avec :

$\sum r$ = La somme des cations et des anions (unités en méq/l).

$\sum r^+$ = La somme des cations (unités en méq/l)

$\sum r^-$ = La somme des anions (unités en méq/l).

Le pourcentage d'erreur de la balance ionique recommandé pour valider des analyses hydrochimiques est de 5 %. Pour des raisons purement académiques, comme dans le cas du présent travail, il est toléré de dépasser légèrement cette valeur. La balance ionique calculée pour la campagne de juillet 2018 (tableau 18) et la campagne d'octobre 2018 (tableau 19) révèle des pourcentages d'erreur acceptable pour valider les résultats des analyses effectuées sur les échantillons prélevés lors de ces deux campagnes.

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

Tableau 18 : Teneurs en éléments chimiques majeurs (mg/l) et balance ionique (juillet 2018) (HE)

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	e%
OMS (2006)	250	150	200	12	250	200	250	
P01	178	55	89	2	116	225	488	4,37
P02	387	16	193	1	360	257	564	8,10
P03	130	52	113	1,4	164	189	290	8,50
P04	153	77	106	2	172	222	442	4,20
P05	235	37	151	3	258	275	412	4,15
P06	204	65	136	3	214	222	549	4,71
P07	187	97	178	1	292	252	549	5,68
P08	148	29	59	3	81	144	366	4,86
F01	148	81	102	1	205	209	412	5,00

Tableau 19 : Teneurs en éléments chimiques majeurs (mg/l) et balance ionique (octobre 2018) (BE)

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	e%
OMS (2006)	250	150	200	12	250	200	250	
P01	171	65	79	0.8	140	263	397	4,47
P02	186	112	178	2.5	325	261	488	1,86
P03	124	98	89	0.5	132	336	320	6,67
P04	117	23	60	0.6	99	158	244	1,51
P05	210	130	180	2.5	188	585	397	2,18
P06	140	79	129	2	207	268	519	4,71
P07	198	63	192	0.7	330	362	519	4,68
P08	206	89	87	1.4	125	352	503	5,96
F01	183	89	132	2	196	301	488	5,77

5. Évolution spatio-temporelle des éléments majeurs

5.1. Cations

➤ Teneur en Calcium (Ca^{2+})

Les concentrations oscillent entre 130 et 387 mg/l en hautes eaux , et 117 à 210 mg/l en basses eaux .Les résultats obtenus dépassent la norme de potabilité dans le point P02 période des hautes eaux. Cette forte concentration proviennent de la dissolution des formations carbonatées, de gypse, de calcaire, et des dépôts évaporitiques. En basses eaux la concentration en ions de calcium de tous les points d'eau sont dans la norme de l'OMS (250 mg/l).

➤ Teneur en Magnésium (Mg^{2+})

Ce paramètre oscille entre 16 et 97 mg/l dans les hautes eaux de la plaine de l'oued el Hachem , et entre 23 et 130mg/l en période des basses eaux . On constate que la concentration en ions de magnésium de tous les points d'eau est dans la norme d'OMS (150mg/l).

➤ Teneur en Sodium (Na^+)

Les teneurs des sodiums s'échelonnent entre 59 et 192 mg/l en hautes eaux et 60 à 192 mg/l en période des basses eaux .Les faibles concentrations se localisent au Nord-est de la nappe où les eaux souterraines sont au début de leur cheminement dans l'aquifère, c'est-à-dire ne sont pas encore trop minéralisées. Les argiles, qui se trouvent dans la nappe, peuvent donner du sodium par échange de base en fixant un ion Ca^{2+} contre la libération de deux ions Na^+ .

➤ Teneur en potassium (k^+)

Les concentrations de ce paramètre varient entre 1 et 3 mg/l en période des hautes eaux et entre 0,5 et 2 mg/l en basses eaux .Ces valeurs obtenues ne dépassent pas les normes de potabilités selon OMS (2006).

5.2. Anions

➤ Teneur en chlorure (Cl^-)

Les teneurs en chlorures varient entre 81 et 360 mg/l en hautes eaux et 99 à 330 mg/l en basses eaux .La valeur minimale est enregistrée en P08 (81mg/l) en juillet 2018. Cependant, les points P07 (292 mg/l) et P02 (360 mg/l) sont marqués par les valeurs la plus importantes en hautes et basses eaux. Le taux des chlorures est très élevé à cause de la présence d'une probable pollution proche de ces ouvrages ou de l'effet du biseau salé.

➤ Teneur en sulfates (SO_4^{2-})

En hautes eaux de la plaine de l'oued El Hachem, les valeurs oscillent entre 144 et 275 mg/l dont 75% des puits dépassent les normes de l'OMS (200 mg/L). En basses eaux les concentrations varient entre 158 et 585 mg/l , une forte concentration enregistrée à 87,5 %. Elles sont dues au lessivage des dépôts évaporitiques ou dissolution de gypse.

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

➤ Teneur en Bicarbonate (HCO_3^-)

La concentration des bicarbonates en juillet 2018 varient entre 290 et 564 mg/l , dont 100 % des points d'eau dépassent la norme de potabilité de l'OMS (250 mg/l) pour le mois d'octobre, les teneurs oscillent entre 244 et 519 mg/l, avec une moyenne de 419,37 mg/l. La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique, produisant l'acide carbonique qui attaque la calcite.

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

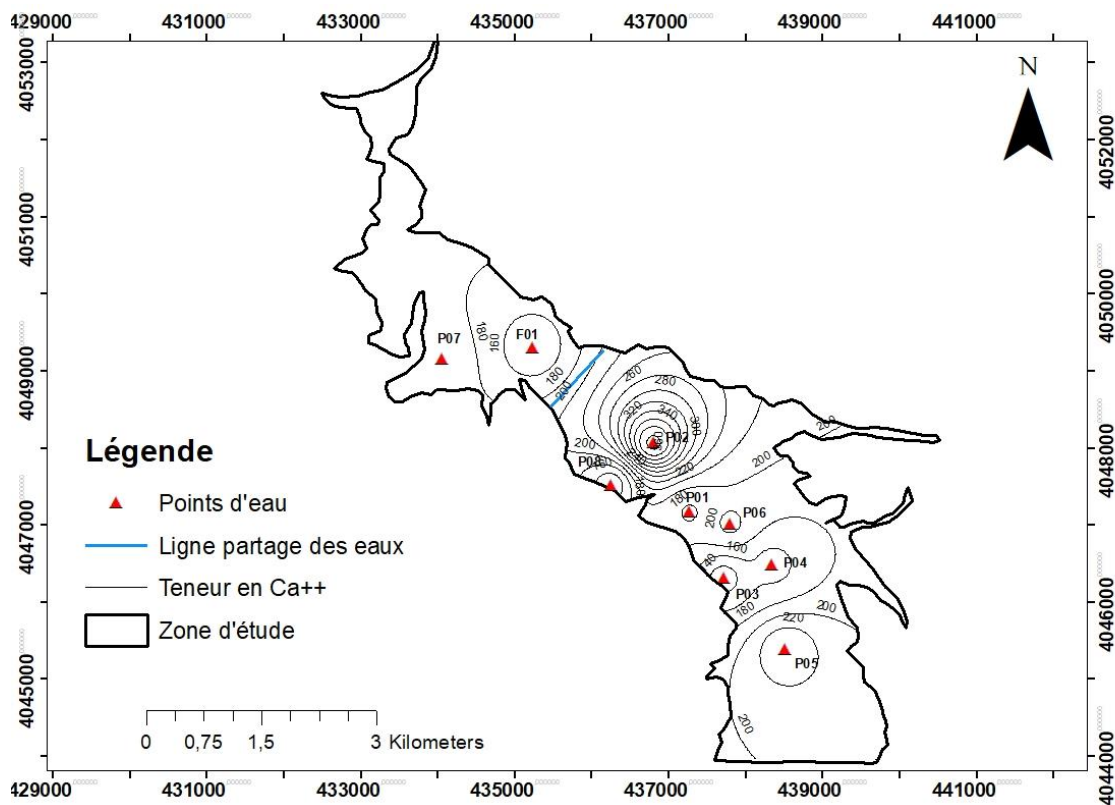


Figure 27 : Carte des Teneurs en calcium des eaux souterraines, hautes eaux 2018

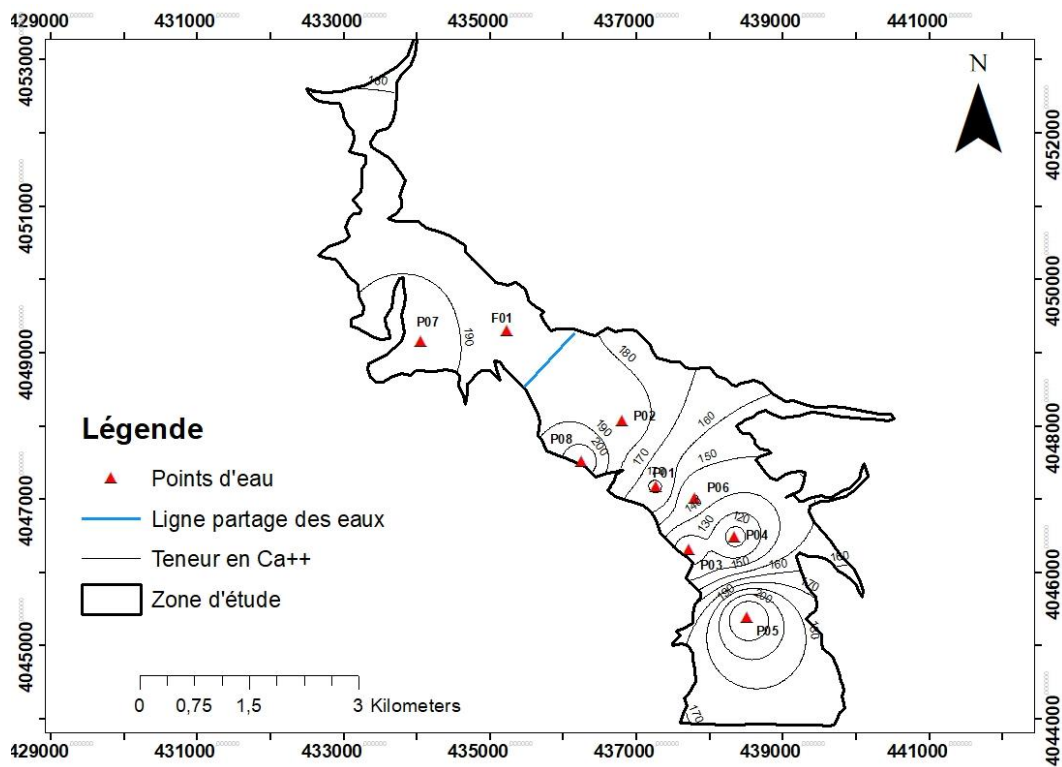


Figure28 : Carte des teneurs en calcium des eaux souterraines, basses eaux 2018

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

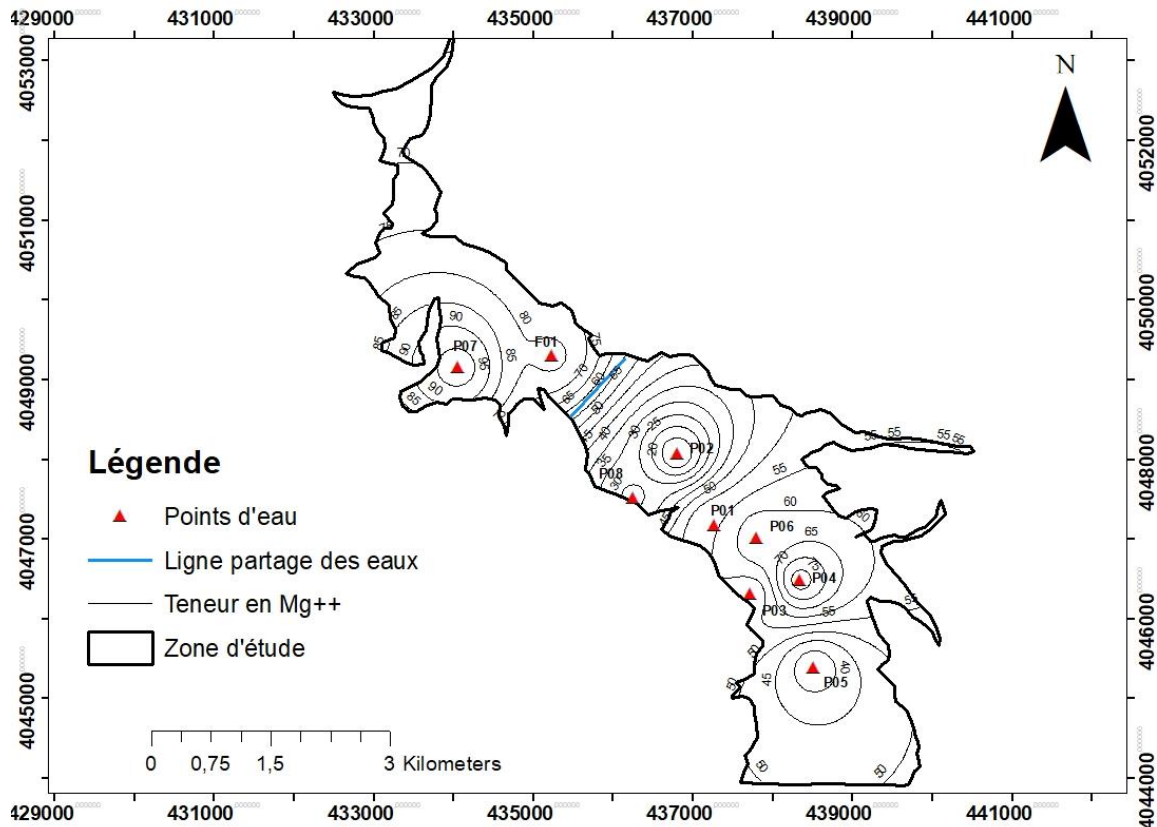


Figure 29 : Carte des teneurs en magnésium des eaux souterraines, hautes eaux 2018

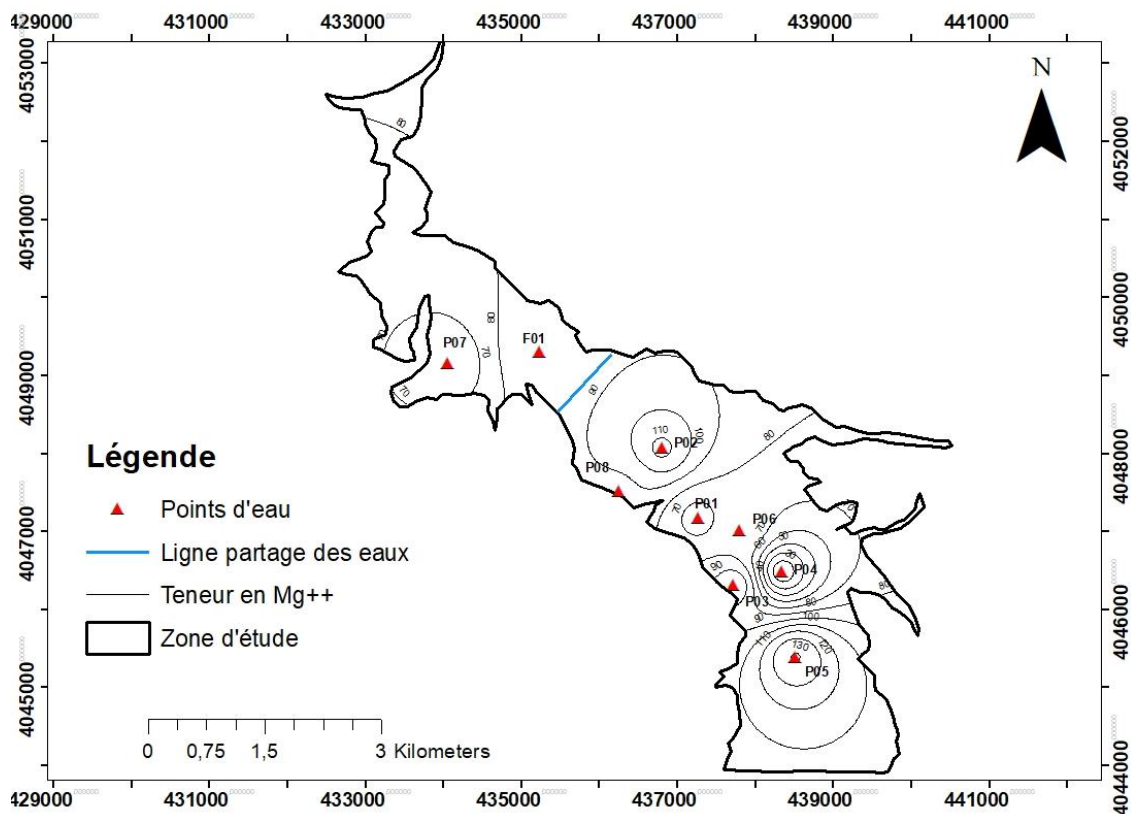


Figure 30 : Carte des teneurs en magnésium des eaux souterraines, basses eaux 2018

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

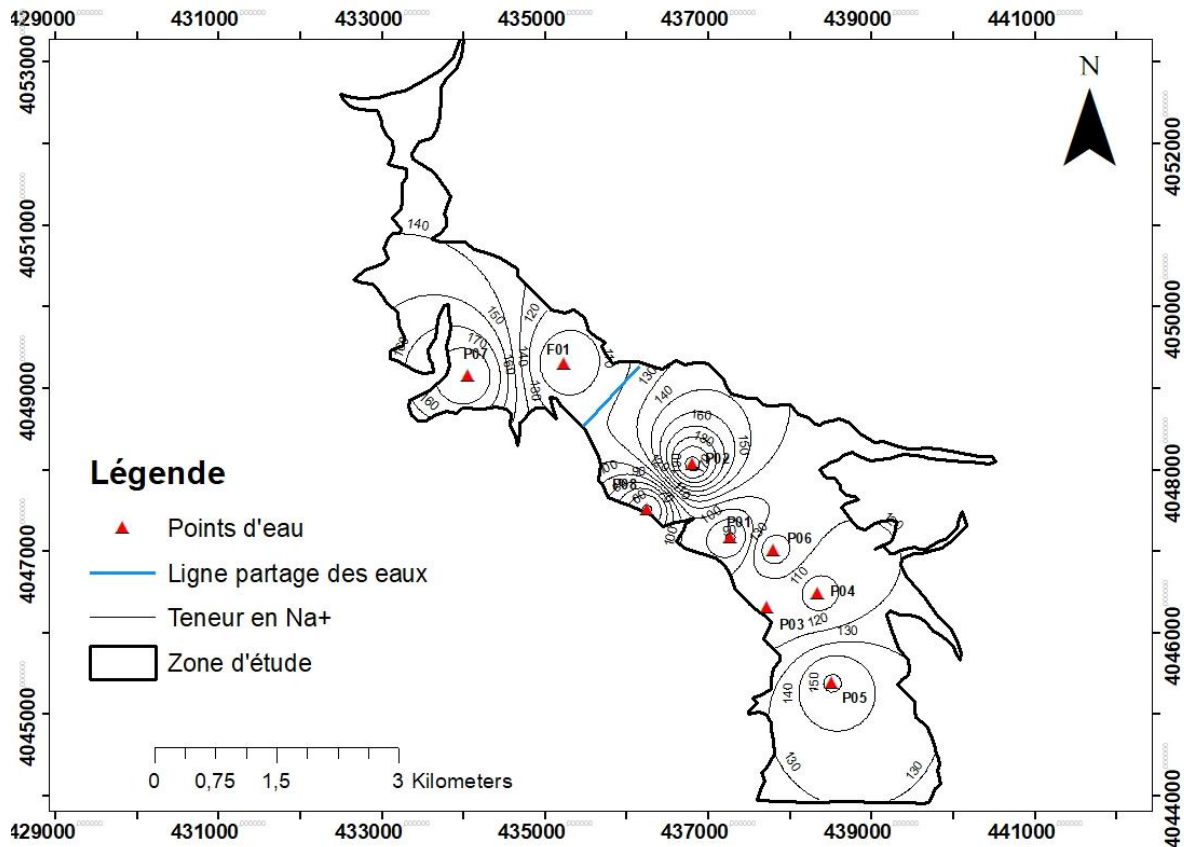


Figure 31 : Carte des teneurs en sodium des eaux souterraines, hautes eaux 2018

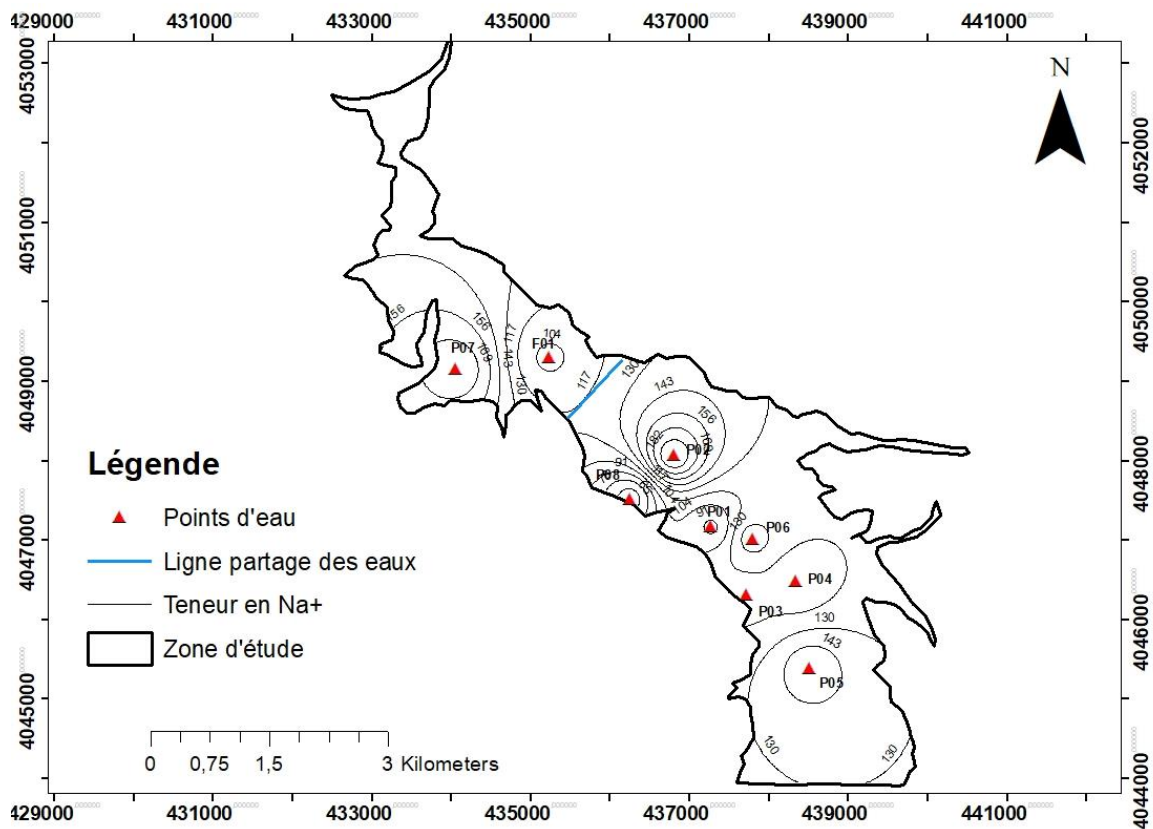


Figure 32 : Carte des teneurs en sodium des eaux souterraines, basses eaux 2018

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

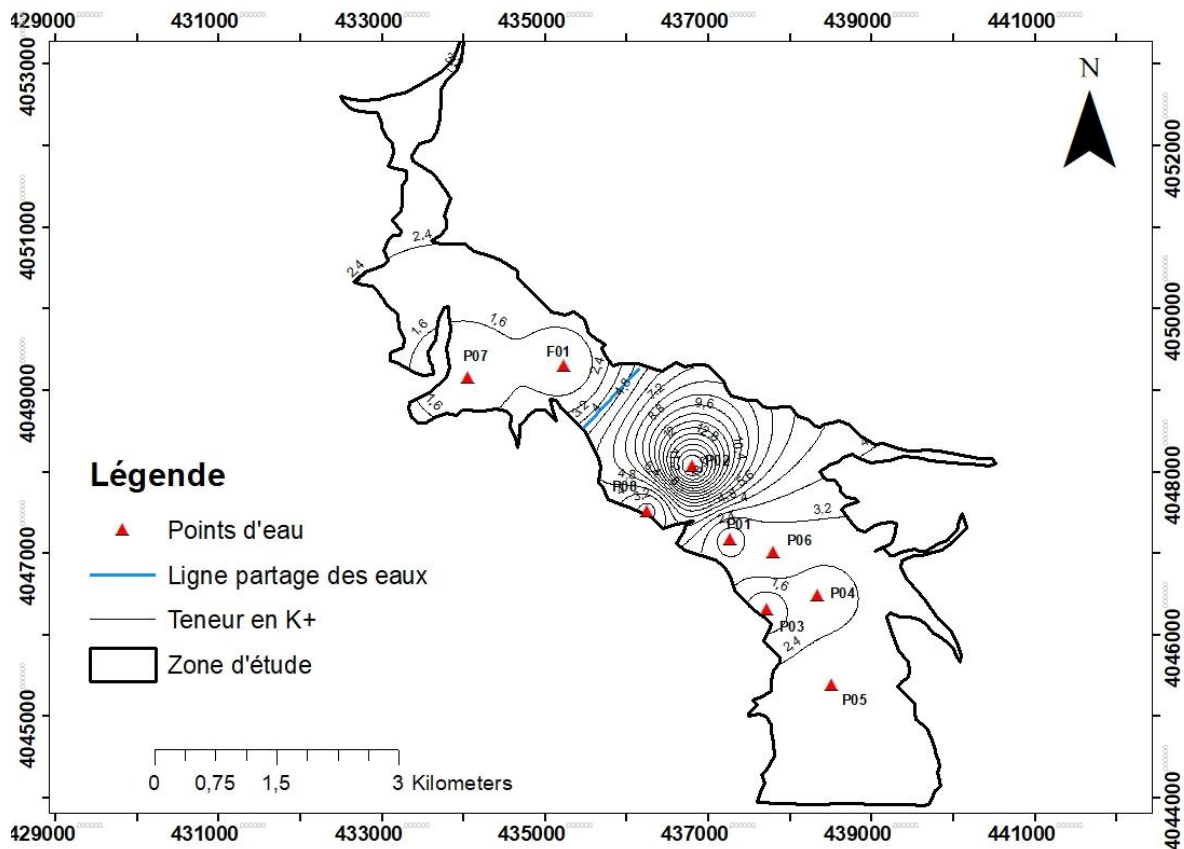


Figure 33: Carte des teneurs en potassium des eaux souterraines, hautes eaux 2018

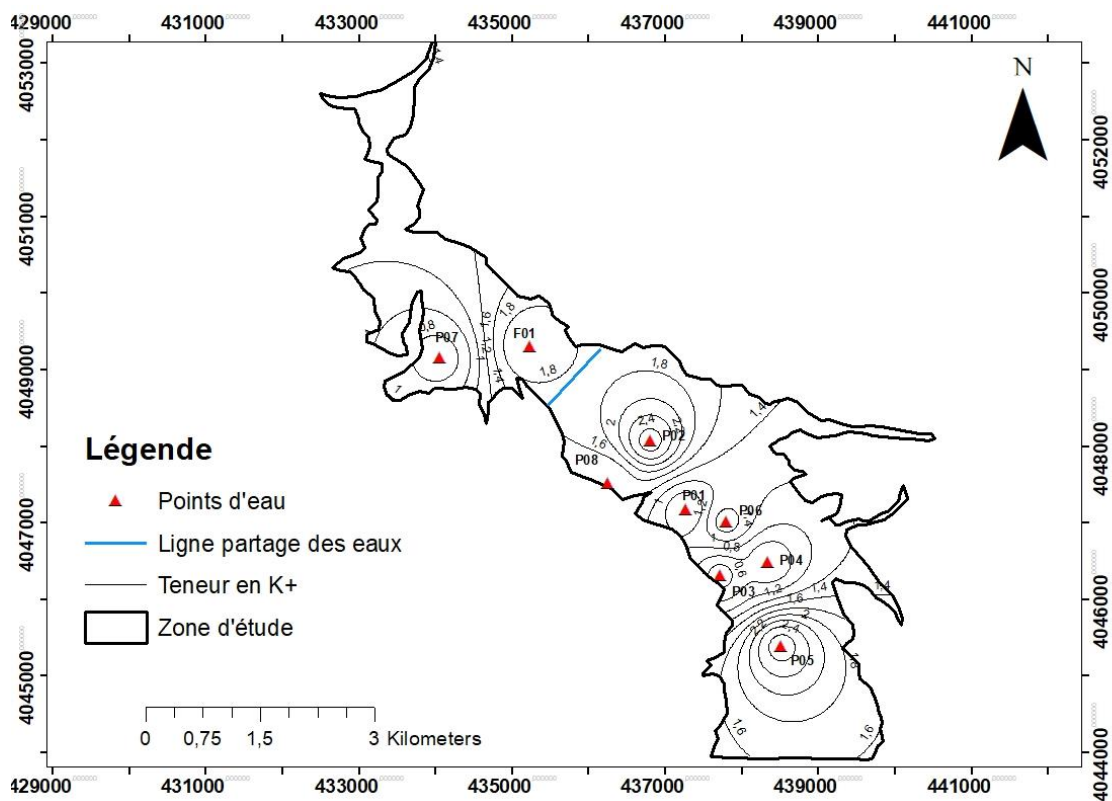


Figure 34 : Carte des teneurs en potassium des eaux souterraines, basses eaux 2018

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

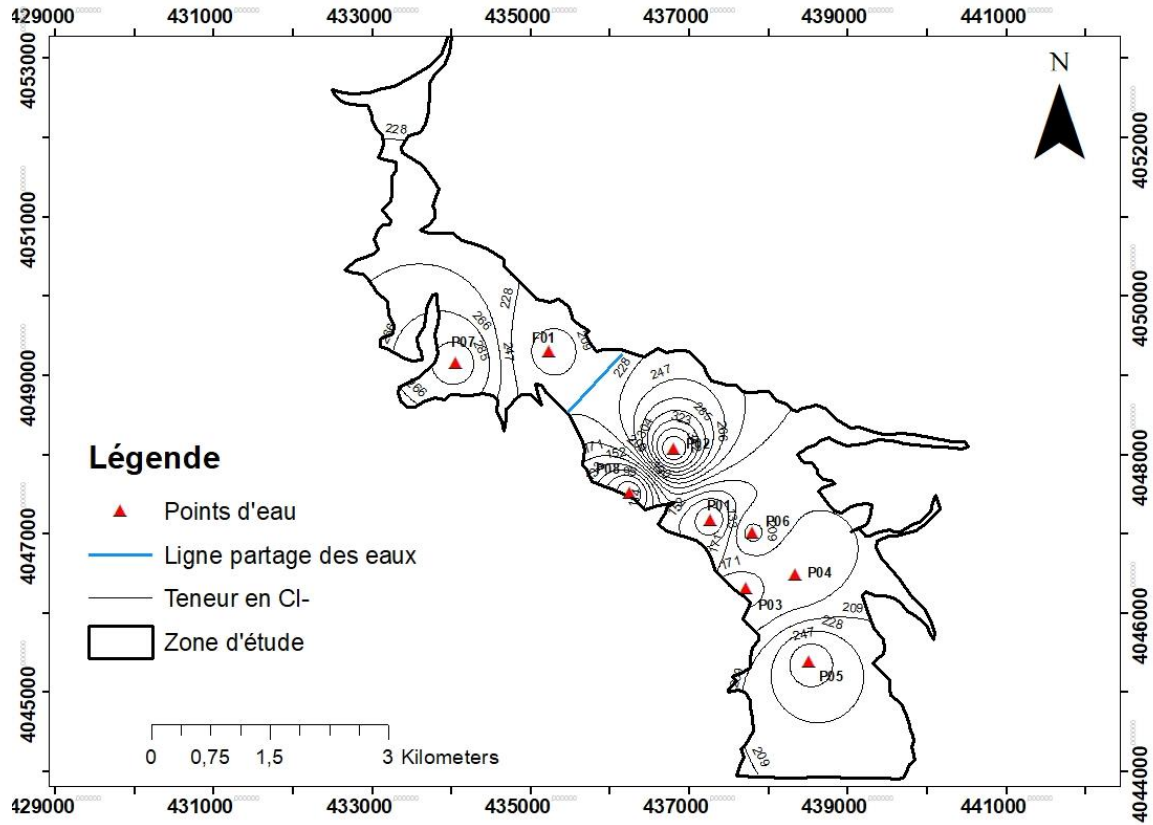


Figure 35 : Carte des teneurs en chlorure des eaux souterraines, hautes eaux 2018

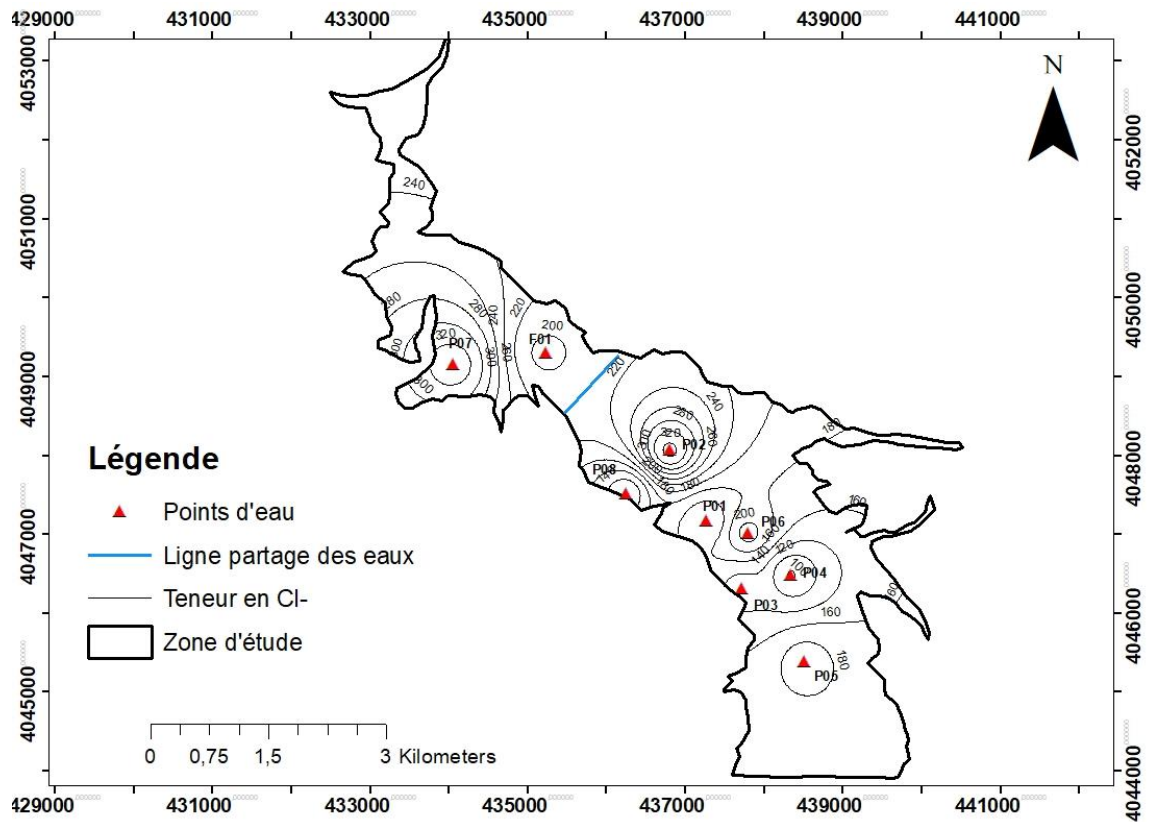


Figure 36 : Carte des teneurs en chlorure des eaux souterraines, basses eaux 2018

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

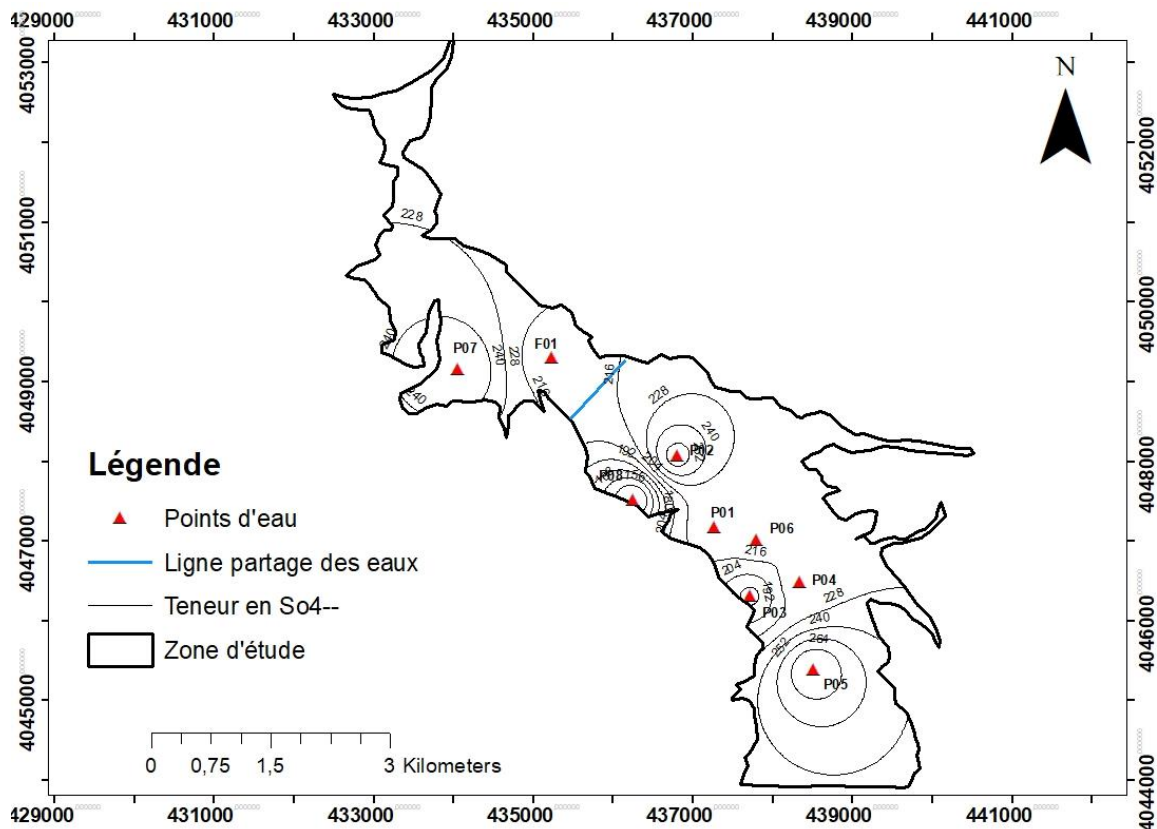


Figure 37 : Carte des teneurs en sulfates des eaux souterraines, hautes eaux 2018

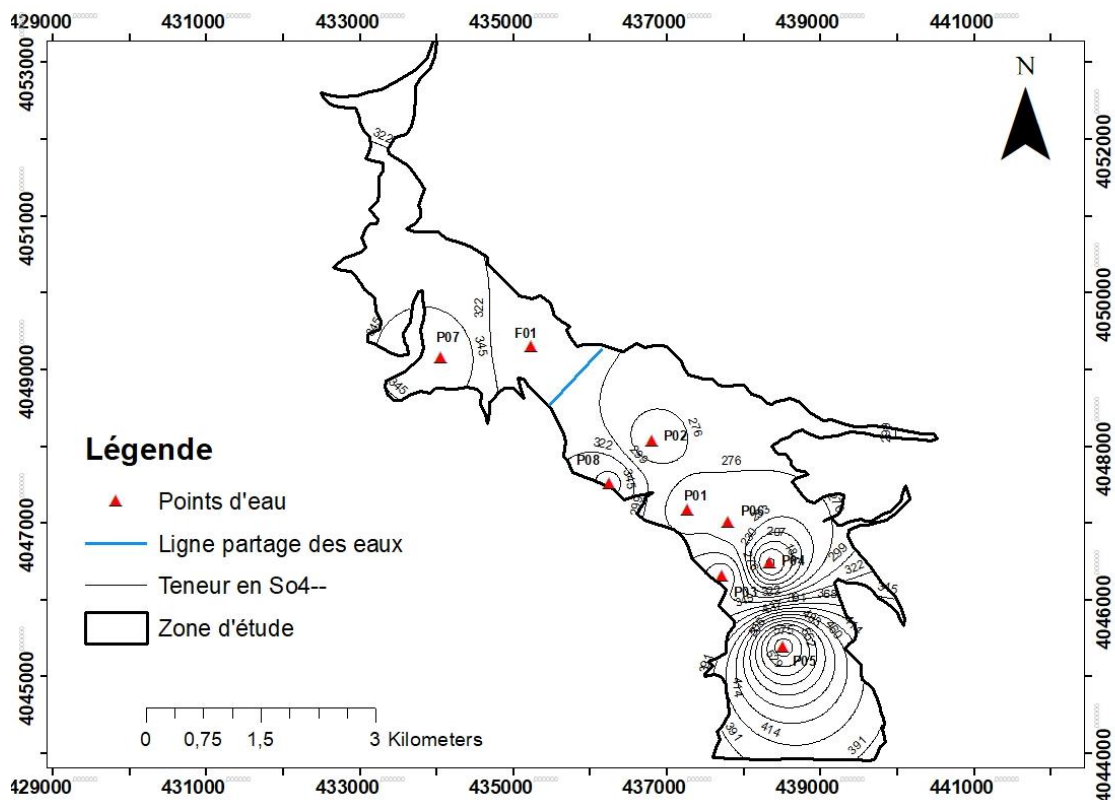


Figure 38 : Carte des teneurs en sulfates des eaux souterraines, basses eaux 2018

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

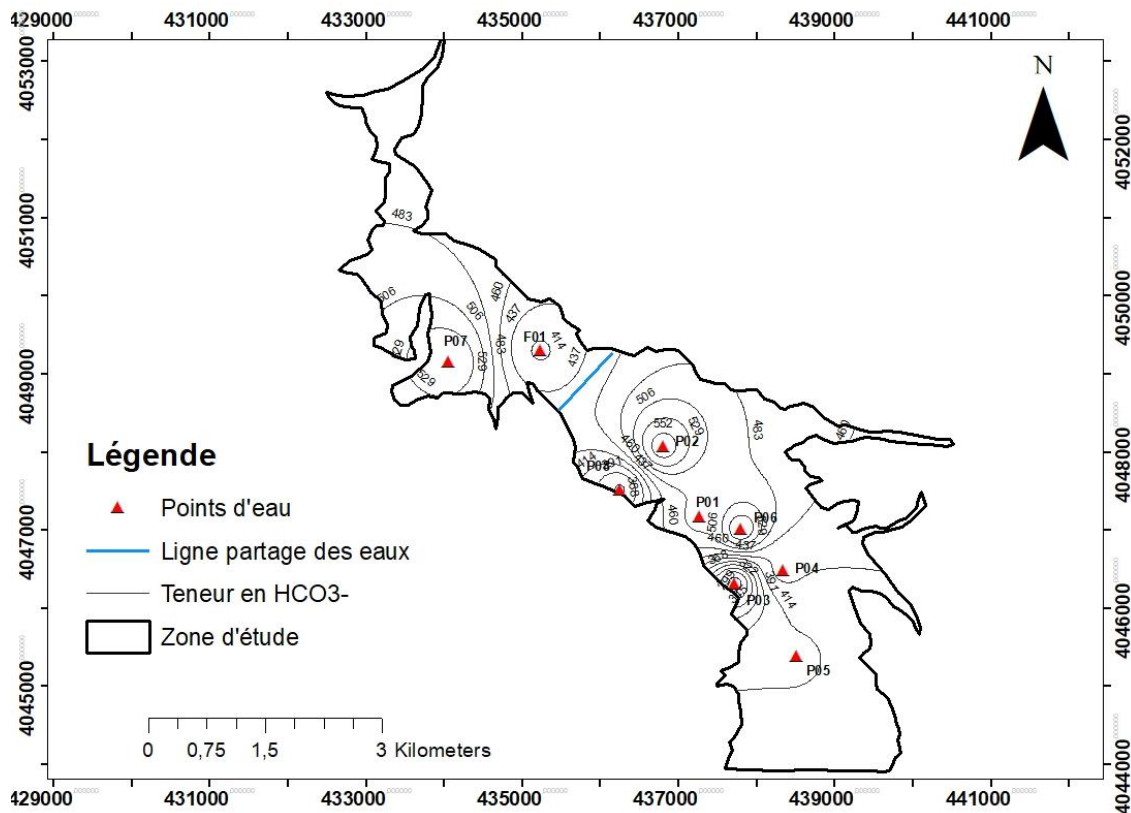


Figure 39 : Carte des teneurs en bicarbonate des eaux souterraines, hautes eaux 2018

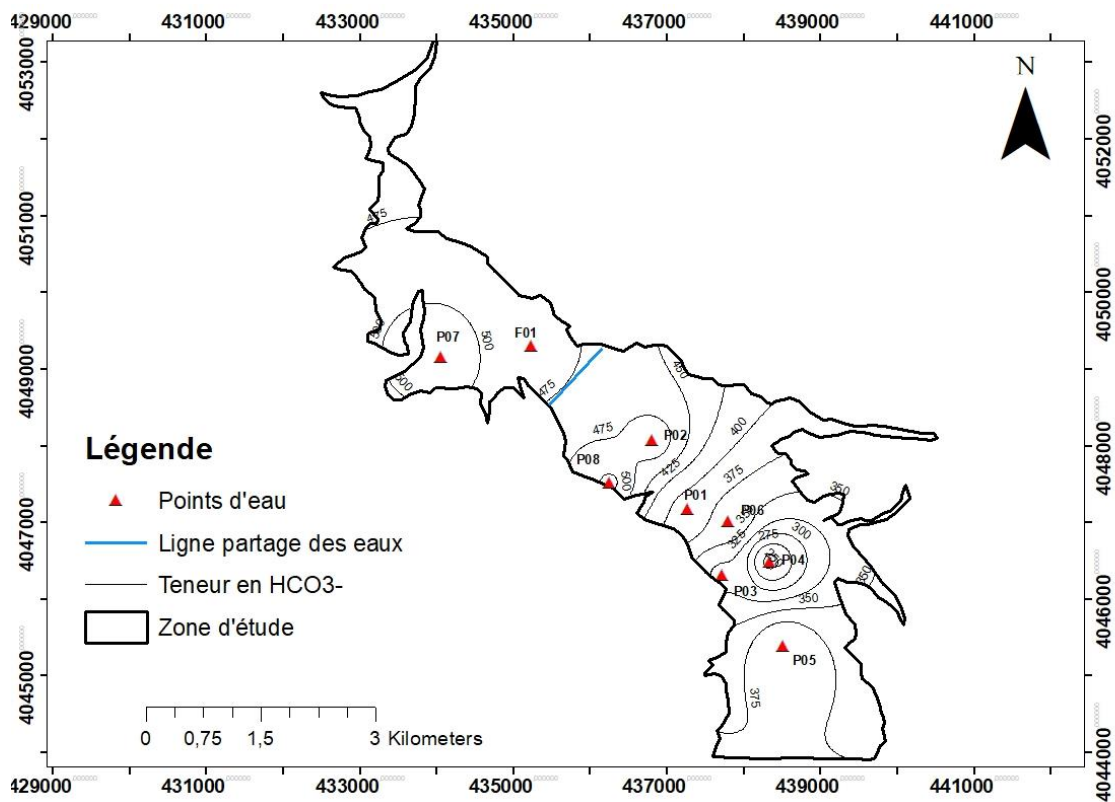


Figure 40 : Carte des teneurs en bicarbonate des eaux souterraines, basses eaux 2018

6. Facies Hydrochimiques

Dans le but d'identifier les faciès hydrochimiques et avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil indispensable. Pour atteindre cet objectif, nous avons eu recours à la classification de Stabler, au diagramme de Piper et celui de Schöeller-Berkaloff. La détermination des faciès a été effectuée à l'aide du logiciel « Diagrammes » (figure 41), conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon).

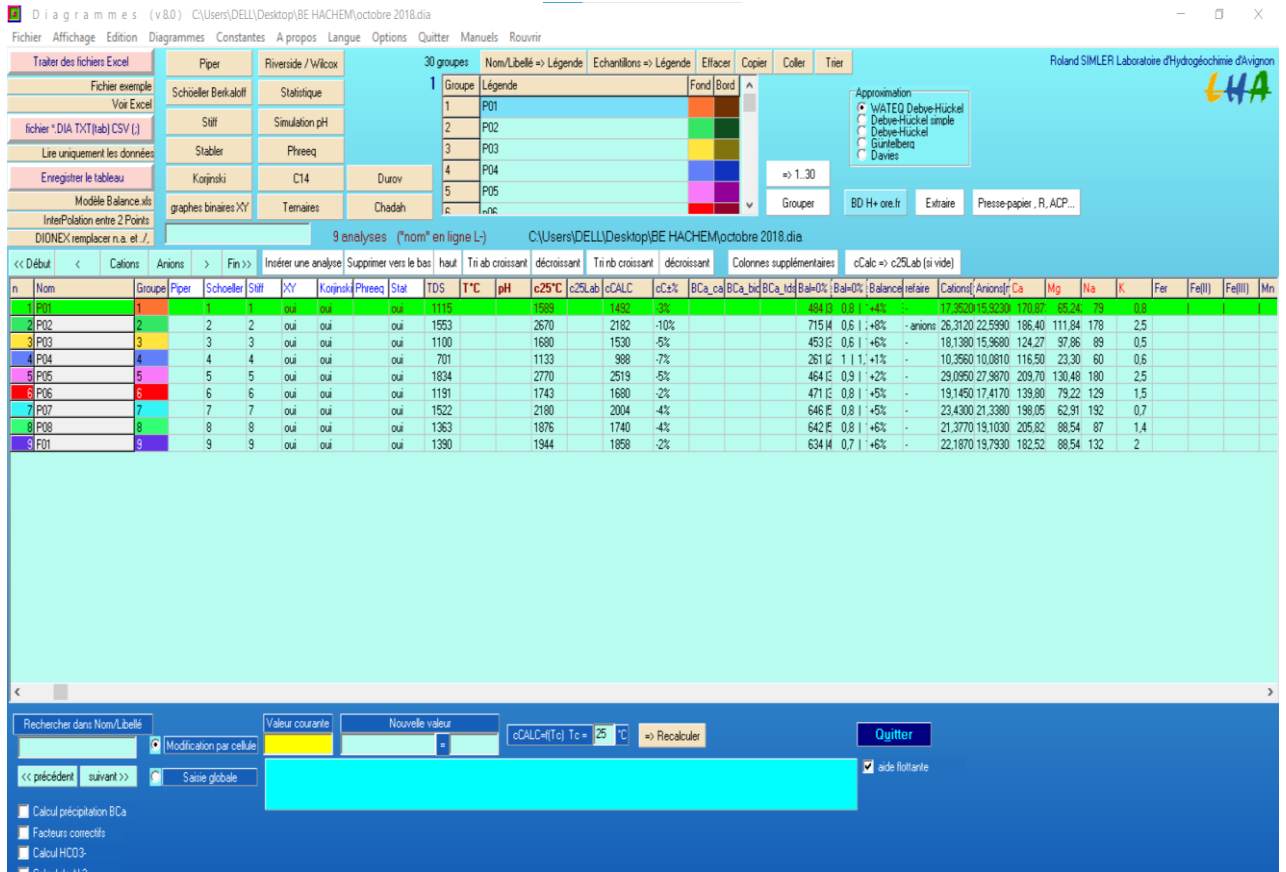


Figure 41 : Interface de commande du logiciel DIAGRAMME.

6.1. Formule de Stabler

En période de hautes eaux comme en période de basses eaux, les cations présentent une concentration décroissante dans l'ordre suivant : $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$. Le potassium a toujours la concentration la plus faible. Pour ce qui concerne les anions, les bicarbonates sont largement les ions dominants, et ils représentent plus de 87 % de la charge anionique dissoute. Ils sont élevés au niveau de tous les points d'eau, avec une concentration qui dépasse 550 mg/l. Les concentrations des anions se présentent dans l'ordre suivant : $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ (figure 42)

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

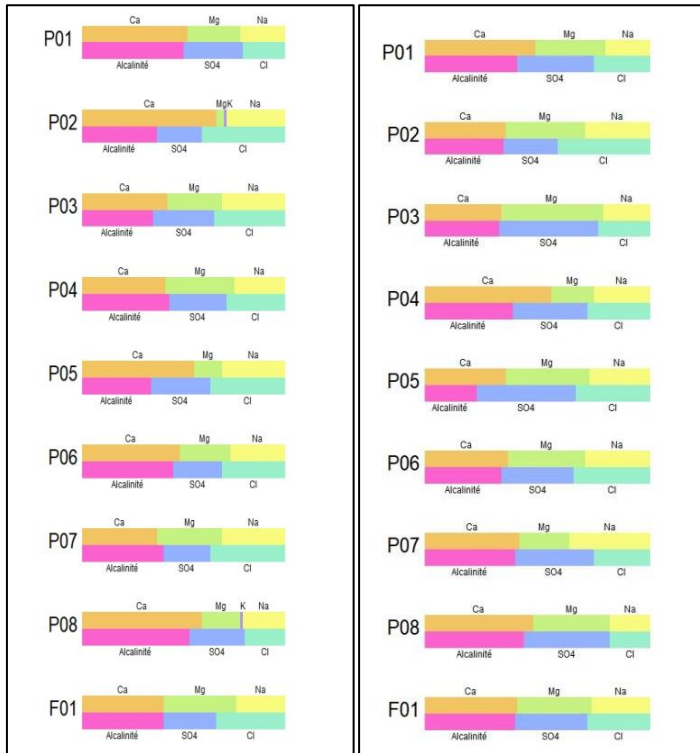


Figure 42 : Diagramme de Stabler hautes eaux (à gauche) et basses eaux (à droite) 2018.

6.2. Présentation graphique : Diagramme de Piper et Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

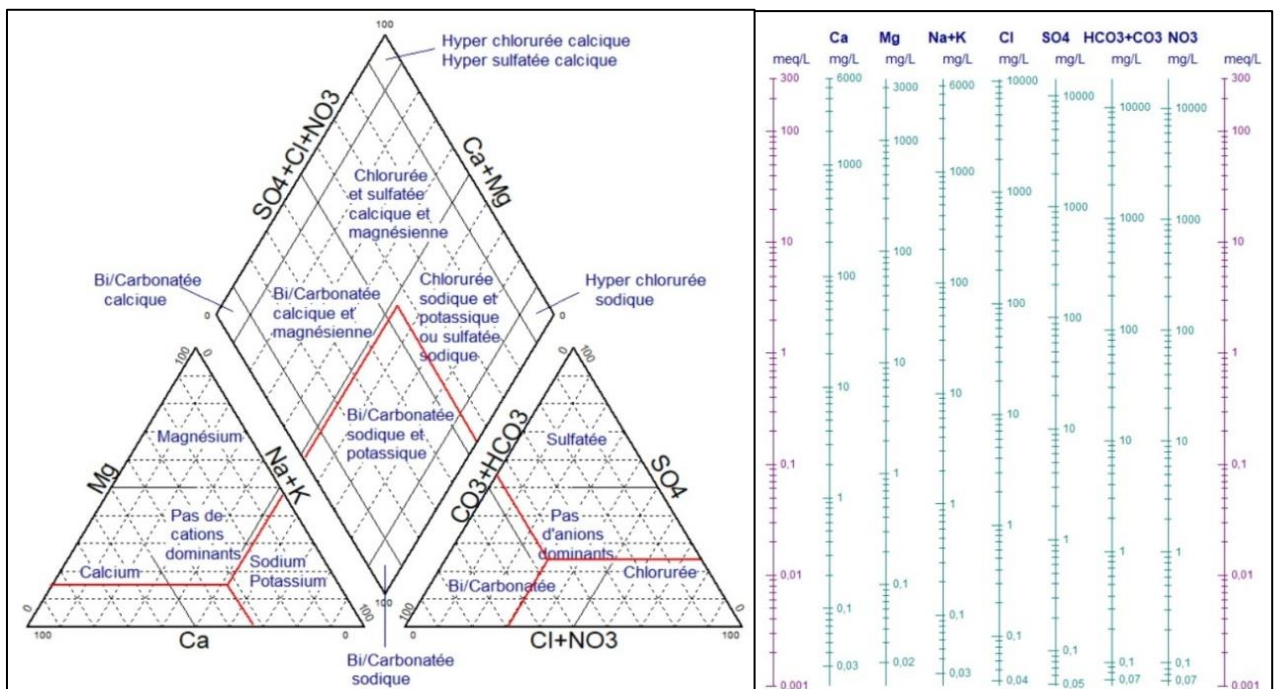


Figure 43 : Diagramme de Piper et diagramme de Schöeller-Berkaloff

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff (Figure 43) permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eau analysés. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée (ligne figurative). La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Les piques de cette ligne dans les anions et les cations définissent le faciès chimique de l'échantillon analysé.

6.2.1. Facies hydrochimiques des eaux de juillet 2018

6.2.1.1. Diagramme de piper

La figure 22 montre que l'ensemble du nuage des points ne présente pas de dominance anionique ou cationique, cependant, nous notons que le faciès chlorurés et sulfaté calciques et magnésien est prédominant. Seulement deux échantillons sur 9 présentent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien relatifs aux points P01 et P08 situés au centre de la vallée.

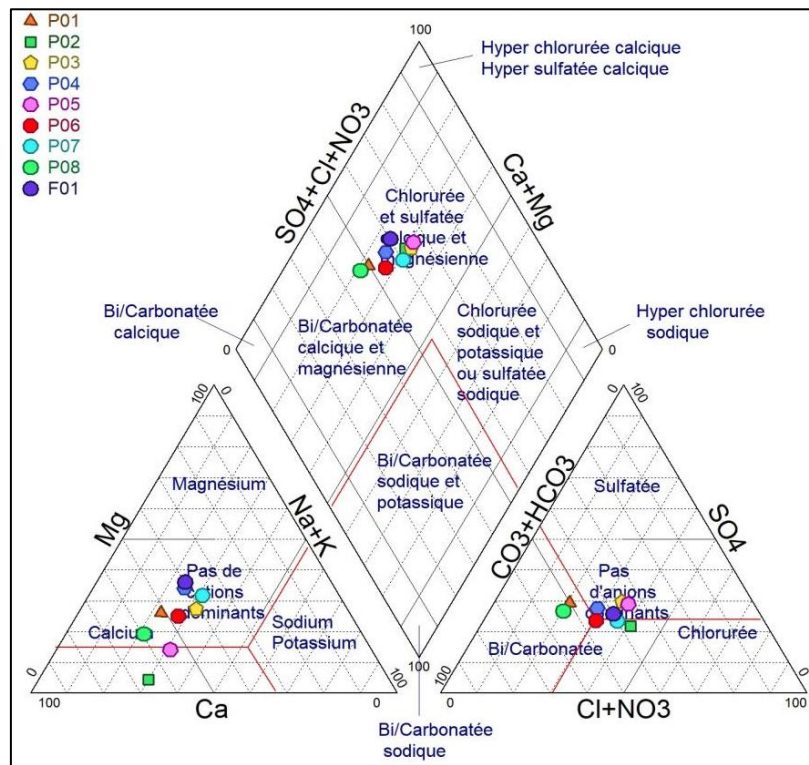


Figure44 : Diagramme de Piper, juillet 2018

6.2.2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Les fortes concentrations de HCO_3^- , SO_4^{2-} et Ca^{2+} attribuent un faciès dominants aux eaux souterraines de l'Oued El Hachem (faciès bicarbonatées sulfatée calcique). Au centre de la plaine, le faciès bicarbonatées chloruré calciques est relevé au niveau des points P07 et P02.

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

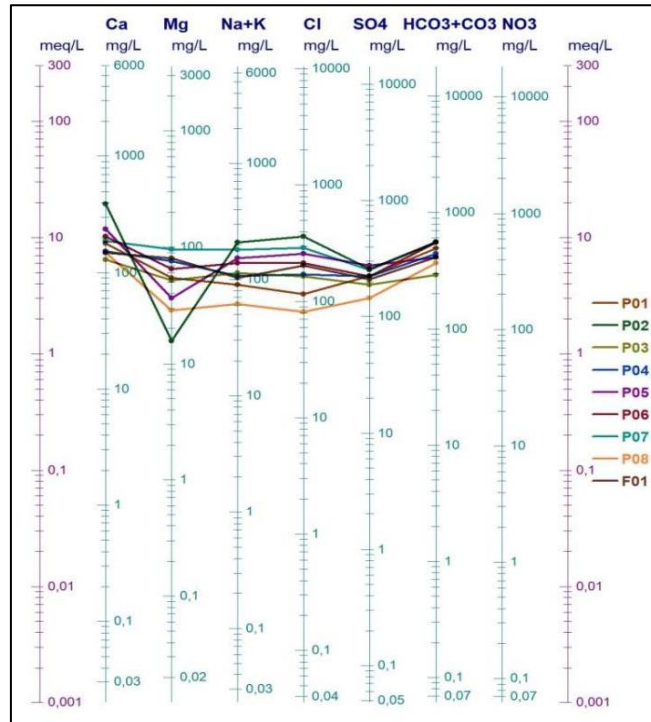


Figure 45 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff, juillet 2018

6.2.2. Basses eaux

6.2.2.1. Diagramme de Piper

L'ensemble du nuage des points montre dans la figure 24 qu'aucune prédominance anionique ou cationique n'a été relevé. Par ailleurs, on constate que les eaux souterraines de l'Oued El Hachem se caractérisent par un faciès chloruré et sulfaté calciques et magnésien.

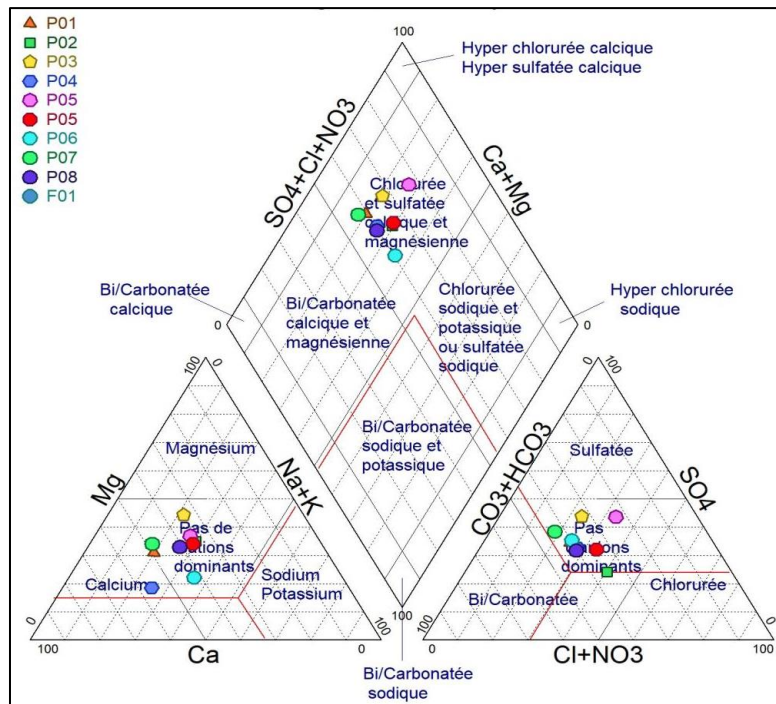


Figure 46 : Diagramme de Piper, octobre 2018.

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

6.2.2.2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Les fortes concentrations de HCO_3^- , SO_4^{2-} et Ca^{2+} ont donné un faciès bicarbonaté sulfaté calcique prédominant, suivi d'un faciès sulfatés calcique moins dominants en aval de la plaine (P03 et P05), le faciès sulfaté calcique est dû à la présence de gypse dans certains endroits du réservoir.

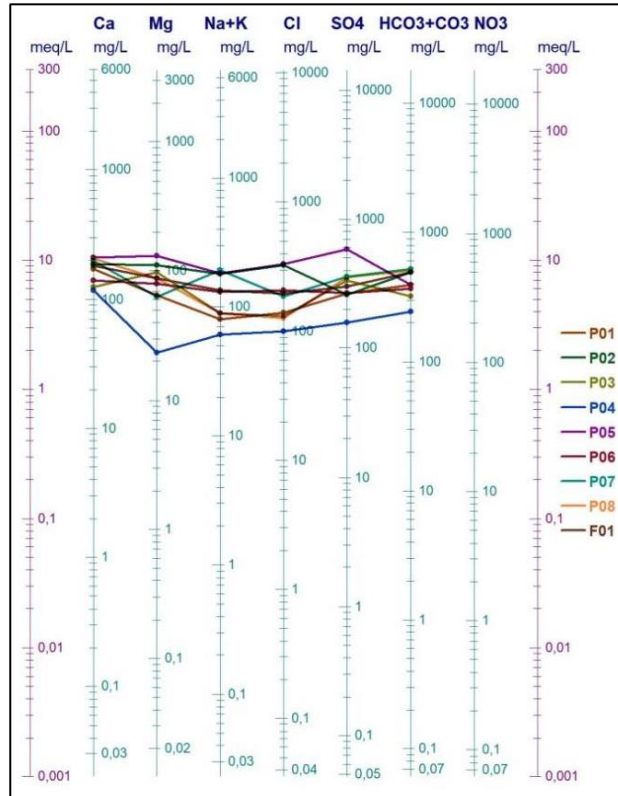


Figure 47 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff, octobre 2018.

7. Teneur en Nitrates (NO_3^-)

En général, la présence des nitrates (NO_3^-) dans les eaux souterraines est d'origine anthropique. Les nitrates proviennent de la dissolution des engrais riches en nitrates et de l'infiltration des eaux usées. En effet, la présence des nitrates dans l'eau souterraine indique une pollution.

Pour les eaux souterraines de l'Oued El Hachem, les fortes teneurs en nitrates sont enregistrées en hautes eaux aux points d'eau P02 (122mg/l) et P03 (69mg/l) (figure 26). En basses eaux la concentration oscillent entre 24 mg/l et 85 mg/l (figure 26). Par ailleurs, la norme de potabilité de l'OMS (50 mg/l) est dépassée au niveau du P02 (85 mg/l) et P03 (61 mg/l).

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE

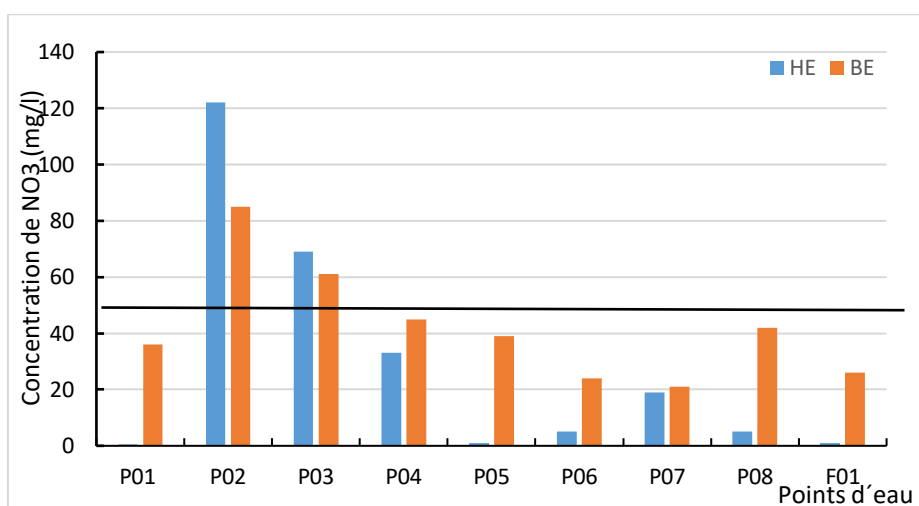


Figure48 : Evolution des teneurs en nitrate dans les eaux souterraines de l'Oued El Hachem en Juillet (HE) et Octobre (BE) 2018

8. Conclusion

L'étude des paramètres physico-chimiques et des concentrations en sels dissous des eaux souterraines de la plaine de l'Oued El Hachem a abouti aux résultats résumés dans les points essentiels suivants :

- Les mesures du pH montrent que tous les puits et le forage échantillonnés sont dans la norme de potabilité OMS ($6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$).
- Plus de 07 points échantillonnés ne présentent pas de problème de potabilité par rapport à la conductivité électrique en période des hautes et des basses eaux 2018.
- La comparaison des résultats d'analyse physico-chimiques entre les deux périodes hautes eaux et basses eaux 2018 révèle une nette augmentation des différents paramètres physico chimiques tels que Ca^{2+} , SO_4^{2-} et HCO_3^- . Cela est due à la nature lithologique de la nappe et les échanges qui se font entre le réservoir et les eaux souterraines. Par ailleurs, les fortes valeurs de chlorures sont mesurées au centre de la vallée au P02 et P07. Cela est probablement dû à l'effet d'une éventuelle intrusion marine dans le continent.
- Les teneurs en Nitrates dépassent la norme de potabilité (50 mg/l) dans deux points d'eau échantillonnés : P02 au centre de la vallée et P03 en aval de la plaine. L'origine de cette pollution probablementest agricole.

Chapitre 5

Qualité Des Eaux Souterraines :

Application de l'indice GWQI

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

1. Introduction

L'eau souterraine est l'une des ressources les plus importantes dans la plaine de l'oued El Hachem. Cette plaine est connue par sa vocation agricole. Le but de ce chapitre est de déterminer et évaluer la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude à l'aide de l'indice de qualité des eaux souterraines (GWQI), afin d'identifier les endroits avec la meilleure qualité pour l'approvisionnement en eau à l'irrigation dans la zone d'étude.

A cet effet, 09 échantillons d'eau souterraine ont été prélevés en juillet et octobre 2018, et analysés chimiquement pour différents éléments qui déterminent la qualité de l'eau. Ces éléments sont : le calcium, le sodium, le magnésium, le chlorure, le potassium, le bicarbonate, le nitrate, le sulfate, la conductivité électrique et le pH.

2. Indice de qualité des eaux souterraines (GWQI)

2.1. Définition l'indice GWQI

C'est une technique essentielle pour déterminer la qualité des eaux souterraines et son aptitude à la consommation. Le GWQI est défini comme une technique d'évaluation, qui fournit l'influence composite de différents paramètres de qualité de l'eau, sur la qualité globale de l'eau destinée à la consommation humaine. L'indice de qualité de l'eau (GWQI) a été calculé pour évaluer l'influence des phénomènes naturels et des activités anthropiques sur la base de plusieurs paramètres chimiques des eaux souterraines.

The Grounds Water Quality Index (GWQI) a été très utilisé pour déterminer la qualité des eaux souterraines le GWQI est un outil très utile pour communiquer des informations sur la qualité globale de l'eau. La qualité de l'eau est très variable selon le type et la quantité de sels qui y sont dissous. Ces sels proviennent principalement de sources naturelles.

2.2. Méthode de calcul l'indice GWQI

Trois étapes sont suivies pour calculer le GWQI. Dans un premier temps, chaque paramètre s'est vu attribuer un poids (w_i) en fonction de son importance par rapport à la qualité globale de l'eau destinée à la consommation, un poids maximum de 5 a été attribué au paramètre nitrate en raison de son importance dans l'évaluation de la qualité de l'eau. Dans la deuxième étape, le poids relatif est calculé à partir de l'équation suivante :

$$Wi = wi / \sum_{i=1}^n wi \quad (1)$$

W_i : poids relatif.

w_i : poids de chaque paramètre.

Dans la troisième étape, une échelle de notation (score) de la qualité (Q_i) pour chaque paramètre est attribuée en divisant sa concentration par sa concentration standard respective fixée par la norme de l'OMS de 2011 relative à la qualité de l'eau de consommation humaine.

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) * 100 \quad (2)$$

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

Q_i : La notation est basée sur la concentration du paramètre.

C_i : La concentration de chaque paramètre chimique dans l'échantillon d'eau en mg/l.

S_i : La norme d'eau potable de l'OMS pour chaque paramètre chimique en mg/l

$$S_{Ii} = W_i * Q_i \quad (3)$$

S_{Ii} : la multiplication de produit de W_i et de Q_i pour chaque échantillon

Q_i : La notation est basée sur la concentration du paramètre.

W_i : Le poids relatif.

Le GWQI est obtenu par la somme des produits de S_{Ii} qui donne l'indice de qualité de l'eau :

$$GWQI = \sum_{i=1}^n S_{Ii} \quad (4)$$

GWQI : Le Ground Water Quality Index;

S_{Ii} : la valeur de produit de W_i et de Q_i pour chaque échantillon ;

n : Nombre de paramètre.

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau GWQI. (Tableau 20).

Tableau 20 : qualité des eaux souterraines en fonction des valeurs de l'indice GWQI

Class indice	Type d'eau
< 50	Excellent
50 à 100	Bonne
100 à 200	Médiocre
200 à 300	Très Médiocre
300 <	Non potable

3. Calcul de l'indices GWQI et évaluation de la qualité des eaux souterraines de l'Oued El Hachem

3.1. Indice de qualité de l'eau GWQI

La qualité globale des eaux des forages de la plaine de l'oued El Hachem a été évaluée par la méthode basée sur l'indice GWQI. Ensuite on détermine le poids relatif (W_i) de chaque paramètre physico-chimique et leurs concentrations (C_i), puis on été calculé en premier lieu en utilisant les valeurs moyennes de la norme standard de l'OMS (2011) (S_i) des paramètres physico-chimiques étudiés

En effet, 9 paramètres importants dans l'étude de la qualité des eaux souterraines : pH, CE, Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- et SO_4^- ont été pris en compte dans le calcul de l'indice GWQI. Les valeurs calculées de W_i sont données dans le tableau 2

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

Tableau 21 : Poids relatifs des paramètres physicochimiques Selon les normes de l'OMS

Paramètres	Si (Norme OMS (mg/l))	Poids (wi)	Poids relatif(Wi)
Ph	6,5 à 9,5	4	0,13
Ca ⁺⁺	100	2	0,06
Mg ⁺	50	1	0,03
Na ⁺	150	2	0,06
Cl ⁻	250	3	0,10
SO ₄ ⁻	250	4	0,13
NO ₃ ⁻	50	5	0,16
K ⁺	12	2	0,06
HCO ₃ ⁻	250	3	0,10
C.E (µs/cm)	2500	4	0,13
		Σ= 30	

Tableau 22: Valeurs du produit de $W_i * Q_i$ pour chaque échantillon, juillet 2018

Qi*Si	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	F1
pH	12	13	13	13	13	13	13	13	13
Ca ⁺⁺	11	11	8	9	14	12	11	9	9
Mg ⁺⁺	3	3	3	5	2	4	6	2	5
Na ⁺	4	4	4	4	6	5	7	2	4
Cl ⁻	5	5	7	7	10	9	12	3	8
SO ₄ ⁻	12	12	10	11	14	11	13	7	11
K ⁺	1	1	0,5	1	1,5	1,5	0,5	1,5	0,5
HCO ₃ ⁻	19	19	12	18	16	22	22	15	16
C.E	8	8	8	9	10	10	12	6	9
ΣSli	75	76	65	77	88	88	96	58	76

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

Tableau 23 : Valeurs du produit de $W_i * Q_i$ pour chaque échantillon, octobre 2018

Qi*Si	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	F1
Ph	10	11	7	7	13	8	12	12	11
Ca ⁺⁺	4	7	6	1	8	5	4	5	5
Mg ⁺⁺	3	7	4	2	7	5	8	3	5
Na ⁺	0	1	0	0	1	1	0	1	1
Cl ⁻	6	6	5	4	13	8	8	5	8
SO ₄ ⁻	14	14	17	8	30	14	19	19	16
K ⁺	8	20	13	10	16	15	21	10	20
HCO ₃ ⁻	13	14	9	6	14	9	11	10	10
C.E	16	12,0	12,5	12,2	12,5	12,2	12,5	12,4	12,3
ΣSi	74	91	74	51	115	77	95	78	88

Après les calculs de l'indice global GWQI pour les deux périodes de juillet 2018 et octobre 2018 en utilisant les résultats d'analyses physico-chimiques et les valeurs standards de l'OMS des eaux potables (2011), la classe de qualité des eaux est déterminée pour les 09 échantillons (tableau 24). En effet, la classe de qualité bonne ($50 < GWQI \leq 100$) a été identifiée au niveau de tous les points d'eaux de l'Oued El Hachem à l'exception du P05 qui s'est caractérisé par une qualité médiocre.

Tableau 24 : Classes de la qualité des eaux souterraines selon GWQI (juillet et octobre 2018)

Période juillet 2018			Période octobre 2018		
Points d'eau	GWQI	Classes	Points d'eau	GWQI	Classes
Puits 01	75	Bonne	Puits 01	74	Bonne
Puits 02	75	Bonne	Puits 02	91	Bonne
Puits 03	65	Bonne	Puits 03	74	Bonne
Puits 04	76	Bonne	Puits 04	51	Bonne
Puits 05	88	Bonne	Puits 05	115	Médiocre
Puits 06	88	Bonne	Puits 06	77	Bonne
Puits 07	96	Bonne	Puits 07	95	Bonne
Puits 08	58	Bonne	Puits 08	78	Bonne
Forage 01	76	Bonne	Forage 01	88	Bonne

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

3.2. Variation spatiale de la qualité des eaux souterraines selon GQWI

Les figure 49 et 50 montre l'évolution spatiale de l'indice GWQI en période de hautes et de basses eaux. On constate que la qualité s'améliore en se rapprochant des limites nord et sud de la zone d'étude. C'est également le sens d'écoulement des eaux souterraines.

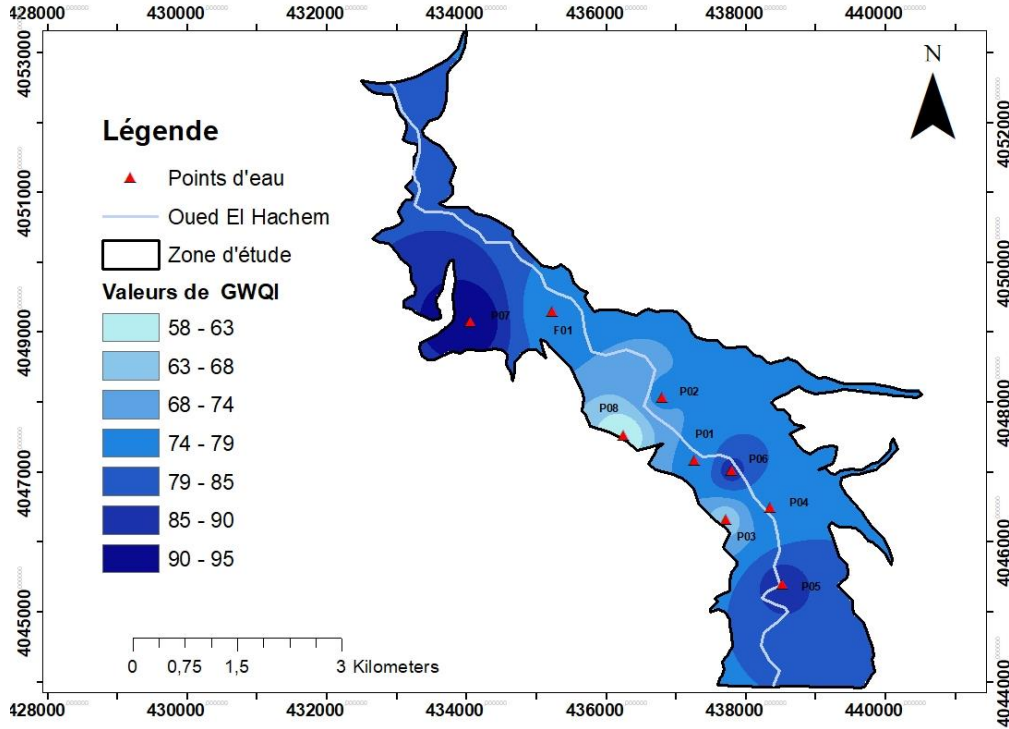


Figure 49 : Variation spatiale de l'indice GWQI des eaux souterraines (juillet 2018)

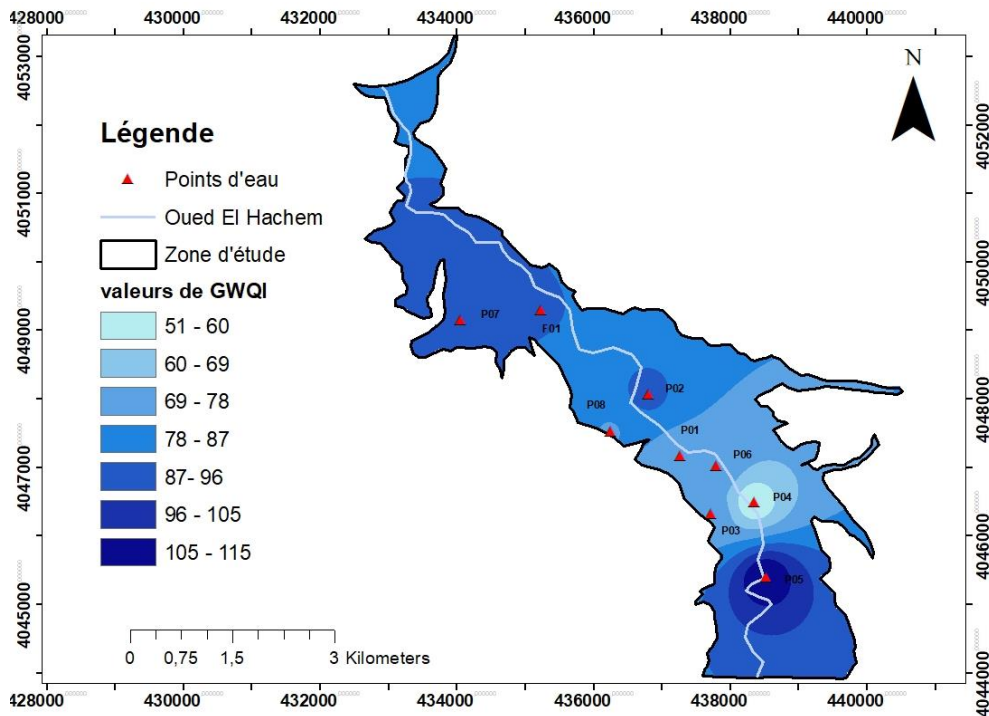


Figure50 : Variation spatiale de l'indice GWQI des eaux souterraines (octobre 2018)

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

4. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures, que dans l'extension des surfaces irriguées. Pour les régions tempérées, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation ; alors que dans les zones arides et semi-arides, où cette ressource est rare ou inexistante, il est fait appel aux eaux souterraines.

Comme la zone d'étude est une vaste zone à vocation agricole, l'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire. En effet, l'estimation de quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole pour les deux campagnes saisonnières a été établie.

4.1. Taux d'adsorption du sodium ou Sodium Adsorption Ratio (SAR)

Le sodium d'adsorption ratio ou le risque du sodium, pour l'eau d'irrigation est un paramètre important, qui permet d'apprécier la qualité d'une eau destinée à l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins fiables parmi lesquels :

- Le pourcentage en sodium (% Na) ;
- Sodium adsorption ratio (S.A.R).

4.2. Pourcentage de sodium (%Na)

Le diagramme de Wilcox, est élaboré à partir des valeurs de la conductivité électrique ou TDS en abscisse et celles du sodium en % dans les eaux, donné par l'équation suivante :

$$Na \% = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Na^+ + Mg^{2+} + K^+} * 100 \quad (1)$$

Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et K⁺ : concentrations de sodium, calcium et magnésium et potassium en méq/l.

Le diagramme de Wilcox permet une classification des eaux destinées à l'irrigation. Ainsi, on distingue cinq classes selon la qualité de l'eau à l'aide du diagramme de Wilcox (1948), qui sont : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

La classification de Wilcox, montrent que les eaux sont aptes à l'irrigation pour les deux périodes juillet et octobre 2018 car elles correspondent aux classes bonnes et médiocre (tableau 25, figure 51 et 52).

Tableau 25 : Évolution des classes d'irrigation selon Wilcox

Qualité	Juillet 2018	Octobre 2018
Excellente	/	/
Bonne	P01, P03, P04, P05, P06, P08, F01	P01, P03, P04, P06, P08, F01
Médiocre	P02, P07	P02, P05, P07
Très Médiocre	/	/

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

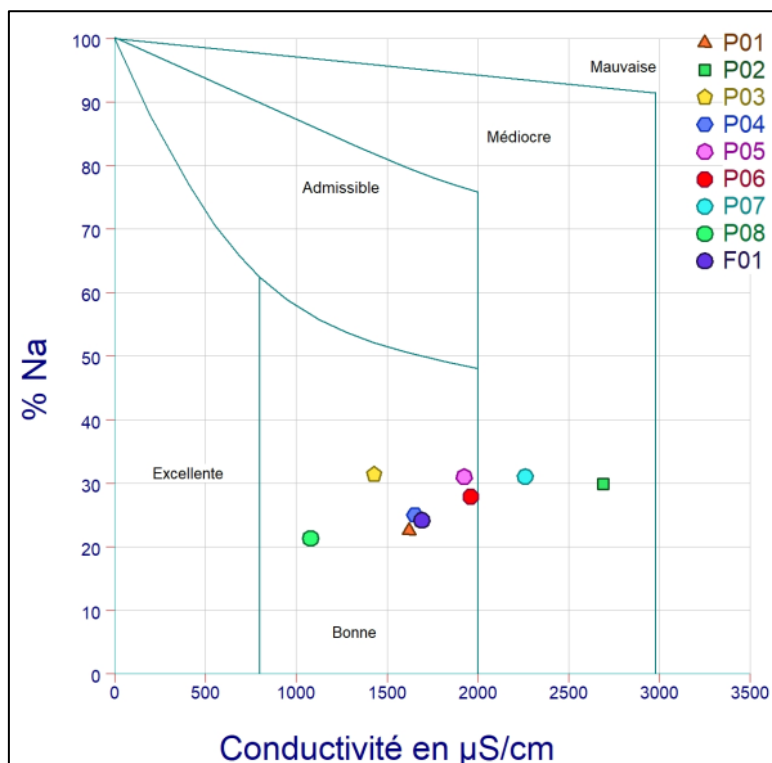


Figure 51 : Diagramme Wilcox, juillet 2018

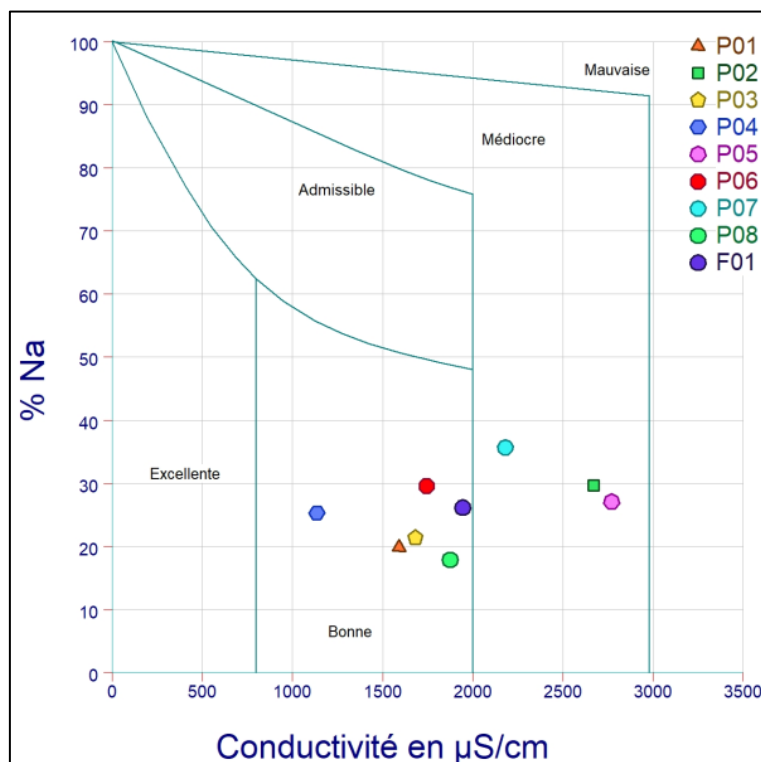


Figure 52 : Diagramme Wilcox, octobre 2018

4.3. Taux d'Absorption du Sodium (SAR)

L'indice SAR permet d'évaluer les risques liés au sodium dans les eaux d'irrigation. Les valeurs du SAR et celles de la conductivité électrique de l'eau en permettent de déterminer les

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

différentes classes (Tableau 27) et (Tableau 28). Une eau présentant un indice SAR supérieur à 10, peut-être à mesure de produire une accumulation de sodium dans le sol. Le sodium agit directement au niveau de la floculation des sols argileux. Cette accumulation entraîne une diminution de la macroporosité et donc du taux d'infiltration de l'eau dans le sol.

Tableau 26 : Classification des eaux destinées à l'irrigation, selon les valeurs du SAR et de la conductivité électrique (*US Salinity Laboratory Staff, 1954, cité par Sandao, 2013*).

Classe	S.A.R	Aptitude des eaux à l'irrigation
S1	]0, 10]	Eau à faible risque de salinisation, convient à tous les sols
S2	]10, 18]	Eau à risque moyen de salinisation, ne peut être utilisée que pour les plantes tolérantes à la salinité et pour les sols aérés (texture grossière) et perméables
S3	]18, 26]	Eau à fort risque d'alcalinisation, peut être utilisée que pour les plantes très tolérantes à la salinité et pour les sols bien drainés et mieux avec ajout de la matière organique
S4	]26, +∞]	Eau à très fort risque d'alcalinisation, non utilisable pour l'irrigation
Classe	Valeur de C.E (μS/cm)	Aptitude des eaux à l'irrigation
C1	]0, 250]	Conductivité faible, eau sans risque de salinisation
C2	]250, 750]	Conductivité moyenne, eau utilisable pour des plantes ayant une tolérance en sel
C3	]750, 2250]	Conductivité élevée, eau à risque élevé de salinisation, ne peut être utilisée que pour les plantes très tolérantes à la salinité et pour les sols bien drainés
C4	]2250, +∞]	Conductivité très élevée, eau non indiquée pour l'irrigation

Tableau 27 : La classification de Richards basée sur la conductivité et le SAR

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes aux sels sur sols
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur sol bien drainés et lessivés
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant pas généralement à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : Sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

L'indice S.A.R est obtenu selon par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{(Ca^{2+}+Mg^{2+})}}{2}} \quad (2)$$

Avec :

SAR : indice de risque du sodium

Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} : concentrations de sodium, calcium et magnésium en méq/L.

Après avoir reporté tous les points d'eau des différentes campagnes sur le diagramme de Richards (figures 53 et 54) en fonction de la conductivité électrique et la valeur du S.A.R, nous avons déterminé deux classes :

- La classe " C3-S1 " : elle renferme des eaux de qualité admissibles prédominante pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainé, Elles représentent la majorité des points d'eau en juillet 2018 et octobre 2018 (P01, P02, P04, P06, P08, F01)
- La classe " C4-S1" qui renferme des eaux de qualité médiocres pour l'irrigation, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur sol bien drainés et lessivés. Ce sont les points d'eau P02 et P05 échantillonnés en octobre 2018 et le point d'eau P02 échantillonnés en juillet 2018.

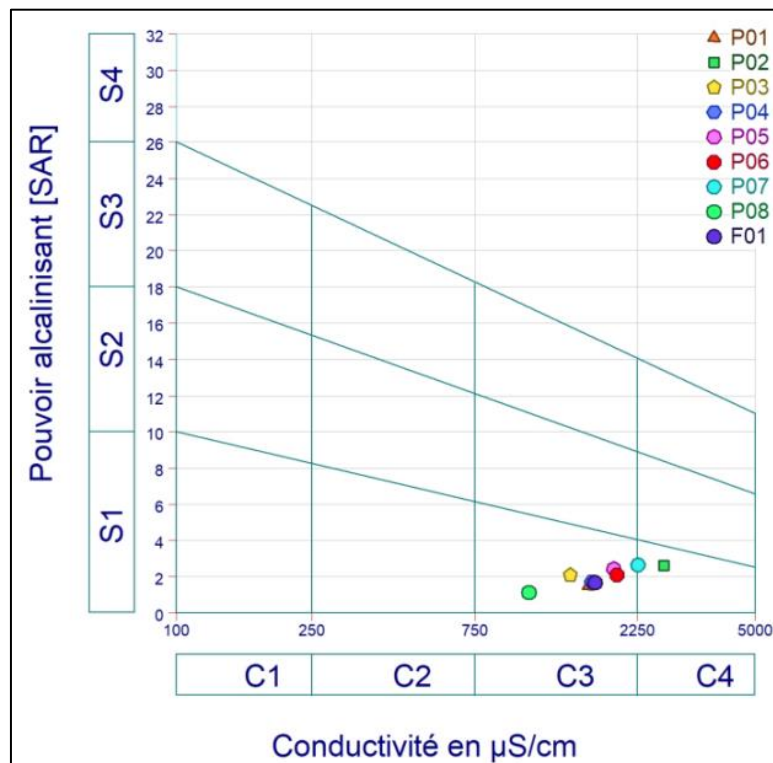


Figure 53 : Classification de pourcentage de sodium selon Richards, juillet 2018

CHAPITRE 5 : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES : APPLICATION DE L'INDICE GWQI

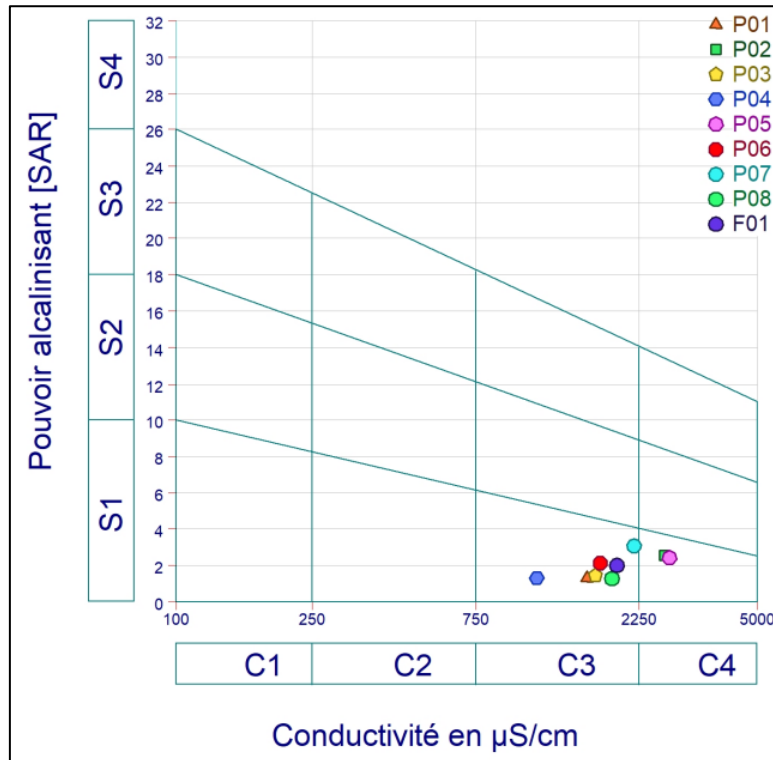


Figure 54 : Classification de pourcentage de sodium selon Richards, octobre 2018

5. Conclusion

L'indice (GWQI) déterminé dans cette étude montre que les eaux souterraines de la plaine de l'Oued El Hachem sont essentiellement de bonne qualité sauf le point P05 (de qualité médiocre).

Le SAR et le Na% ont des distributions spatiales semblables. Selon la valeur moyenne du SAR (qui reste inférieure à 5 méq/l), les eaux souterraines présentent un faible danger d'alcalinisation et pourraient donc être utilisées en irrigation.

La classification de Richards et celle de Wilcox ont révélé la prédominance de la qualité bonne des eaux destinées à l'irrigation.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

L'objet du présent travail la plaine alluviale de l'Oued El Hachem du littoral algérien, située à l'Ouest d'Alger et à quelque kilomètre à l'Est de Cherchell. Sur le plan hydrologique, la zone d'étude appartient au bassin versant Côtiers Algérois (02A) et s'inscrit dans le sous bassin versant qui prend le code (0203) dans l'inventaire de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Il couvre plus de 218,53 Km². Il est d'une forme allongée, orienté selon une direction Sud-Nord, avec une longueur de 39,371 km et une largeur moyenne de 5,55 km.

La région de Tipaza est située dans le domaine alpin caractérisé par une géologie complexe avec affleurement des massifs anciens. Le secteur étudié appartient plus particulièrement au tell septentrional, comprenant un terrain quaternaire formé d'un terrain meuble et sol alluvionnaire profond avec terrasses alluviale et marines

La Nappe de l'oued El Hachem est une nappe captive au Nord et libre au Sud-est. L'étude géophysique a révélé des valeurs de résistivité qui oscillent entre 30 à 50 Ohm.m au centre de la vallée. L'écoulement de la nappe suit deux directions à partir d'une ligne de partage des eaux souterraine située au centre de la zone d'étude et l'autre direction se fait vers NNE-SSW qui alimente la nappe de la partiel'Ouest en provenance du massif carbonaté de Gouraya

L'analyse des données climatiques a permis d'attribuer à la zone d'étude un climat tempéré Méditerranéen semi-aride caractérisé par un hiver humide doux et pluvieux allant du mois d'octobre au mois d'avril et un été chaud et sec allant du mois de mai au mois de septembre, avec une précipitation moyenne annuelle de 588,6 mm sur la période d'observation 1982- 2015) et une température moyenne annuelle de l'air de 18,1 °C sur la période (1978-2015). Selon le bilan hydrologique établi, on a constaté que seulement 7,57 % de la pluie moyenne s'infiltré pour alimenter la nappe de l'Oued El Hachem. Ce qui reste des précipitations tombées dans la zone d'étude est partagé entre l'évapotranspiration réelle (78,40 %) et le ruissellement (14,03 %).

Dans l'étude hydrochimique, la comparaison des résultats d'analyse physico-chimiques entre les deux périodes hautes eaux et basses eaux de l'année 2018, a révélé une nette augmentation des différents paramètres tels que Ca²⁺, SO₄²⁻ et HCO₃⁻. Cette augmentation est due à la lithologie du réservoir et les échanges entre l'eau et l'encaissant. Par ailleurs, les fortes valeurs des chlorures sont mesurées au centre de la vallée de l'oued El Hachem.

Sur le plan potabilité des eaux souterraines de la plaine de l'oued El Hachem, environ 78 % des points d'eaux ont une teneur de nitrate en dessous la norme de l'OMS (50 mg/l). Les points d'eau qui présentant des concentrations supérieures à la norme se localisent au centre et en aval de la zone d'étude. L'origine de cette pollution est probablement l'agriculture car la région est connue par sa vocation agricole.

La **détermination des faciès chimiques est liée à l'évolution des éléments chimiques (HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ et Ca²⁺)**, qui caractérisent les formations géologiques principales de la plaine. L'étude des faciès hydrochimiques a montré la prédominance des ions gypsifères

CONCLUSION GENERALE

(Ca^{2+} , SO_4^{2-}) et des ions carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) quimis en évidence le phénomène d'échange de base entre les eaux de la nappe.

L'application Indice GWQI a révélé une bonne qualité des eaux souterraines de la zone d'étude pour les deux périodes saisonnières à l'exception d'un seul point échantillonné en aval de la plaine qui est de qualité médiocre.

La valeur moyenne du SAR des eaux souterraines a permis de constater que les eaux souterraines de l'oued El Hachem présentent un faible danger d'alcalinisation et pourraient donc être utilisées pour irrigation.

La classification de Richards et celle de Wilcox ont prouvé encore la prédominance de la qualité bonne des eaux destinées à l'irrigation

Pour préserver la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude, il est recommandé de :

- Effectuer des analyses hydrochimiques et des mesures physico-chimiques de manière périodique ;
- Sensibiliser les agriculteurs pour diminuer et maîtriser l'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDULRAZZAK I. (2004): Utilisation des systèmes d'information géographique dans le domaine de l'hydraulique agricole, cas du périmètre de l'oued el Hachem wilaya de Tipaza. École nationale polytechniques, ingénieur d'état en Génie Hydraulique.
- ANRH (1966): Etude hydrogéologique par prospection électro-sismique dans la plaine alluviale de l'Oued El Hachem (région de Cherchell). master 2 Hydrogéologie.
- BELAAZE Z. (2018): Hydrochimie et qualité dans eaux mises en bouteilles et commercialisée sur le marché, université Blida , master 2 hydraulique.
- BELJAI D. (1996); Evolution tectonique de la zone ouest algéroise (Ténès-Chenoua). Approche stratigraphique et structurale. Thèse de doctorat USTHB, Alger.
- BEN ALI S. (2021): Évolution des Concentrations des Sédiments en Suspension et des Débits Liquides dans le Bassin Versant Semi-Aride. Cas de L'Oued EL Hachem (Tipaza), Université Ziane Achour – Djelfa
- BENMEDDAH K. (2018) : Etablissement de carte de ressources en eaux souterraines de la wilaya de Tipaza. Mémoire de fin d'étude, USTHB.
- BOUCHALA J. (2019): Fluctuation du niveau piézométrique du système aquifère de la plaine de l'Oued Nador (Tipaza) dans un contexte de changement climatique, master II, hydrogéologie. UMMTO
- CHAPMAN D. (1996): Water Quality assessments a guide to the use of Biota, sediments and water. In environmental monitoring
- CORNAS S. (2002). Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines. Société suisse d'hydrogéologie. 80 pages.
- DURAND DELGA. (1961). Esquisse structurale de l'Algérie en 1961. Lexique stratigraphique international.
- DURAND-DELGA (1961): la recherche géologique française en algérie du nord après 1962
- DURAND-DELGA (1969): Caractérisation géologique et géotechnique du secteur d'El-Gheriena. Nord du village de Texenna-Jijel, en milieu souterrain, plaine de la Mitidja et de la baie d'Alger. Thèse de Doctorat, USTHB, Alger.
- GLANGEAUD L. (1932): Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger – Détail-Ermes.
- KARRICHE R. (2019): Evolution de la Qualité Hydrochimique des eaux Souterraines du Système Aquifère de la Nappe de l'Oued Nador (Tipaza, Algérie), master II, hydrogéologie UMMTO.

- KHOUALDI S. (2012):Etude du réseau d'adduction d'AEP des 17 communes de Tipaza, Université Larbi Ben M'hidi– Oum El Bouaghi .
- KHOULI M. (2001): Contribution à l'étude hydrogéologique à la plaine alluviale d'oued El Hachem (région Cherchell), approche hydrodynamique et hydrochimie. Thèse Magister hydraulique,
- N.K. Dhakad, Deepak Shind and Preeti Choudhary (2008):Water quality index of ground water (gwqi) of jhabua town, m.p. (India).
- SAOUDI A. (2021):Dégradation spécifique de bassin versant semi-aride cas de l'oued El-Hachem.
- SHINDE D. et NINGWAL UDAY S. (2013):Quality Index for Ground Water (GWQI) of Dhar town, MP, India. International Research Journal of Environment Sciences Water.
- TOUBAL A. C. (1988):Approche géophysique des problèmes hydrodynamique et d'invasion marine
- YAHIAOUI A. (2018):hydrogéologie et approche à la modélisation de la nappe alluviale de l'oued el Hachem (Tipaza)
- ZINE .H,DJEOUADI N. et MESSAI A. (2022):Détermination de la qualité des eaux souterraines de la vallée d'El-Oued (SE, Algérien), utilisation de l'indice de qualité des eaux souterraines (GWQI) et l'indice de (IPO), master II, Hydraulique El-Oued.

Annexes

Annexe 1 : Précipitations totales annuelles des stations étudiées

Année	Attatba Cave	Pont CW7 Hadjout	Ain Tagourait	Boukerdane
1982	574,5	614,9	579,4	682,4
1983	601,9	606,9	509,9	710,9
1984	873,8	891,3	792,0	844,1
1985	463,1	430,8	399,7	613,4
1986	679,2	828,1	699,4	766,2
1987	352,4	356,6	326,5	377,1
1988	482,5	479,6	485,1	571,3
1989	310,6	336,7	300,4	369,7
1990	496,2	395,2	414,6	529,6
1991	622,5	493,9	536,5	614,3
1992	483,8	346,7	448,6	434,3
1993	377,7	386,5	252,9	340,6
1994	621,9	441,3	543,6	613,4
1995	720,5	494,5	630,4	534,9
1996	435,8	364,5	363,2	388,7
1997	663,2	486,5	551,1	513,8
1998	524,4	499,9	471,7	671,0
1999	439,3	376,1	436,3	687,9
2000	445,9	429,8	461,1	430,3
2001	396,9	484,5	322,4	408,3
2002	690,1	423,9	542,2	593,5
2003	619,5	402,2	584,4	572,2
2004	543,7	492,3	475,1	663,6
2005	591,4	413,9	478,0	727,8
2006	548,4	521,8	351,2	565,8
2007	630,9	443,8	601,5	726,2
2008	696,6	526,5	550,1	591,0
2009	603,4	516,1	577,6	655,7
2010	697,4	642,9	682,9	754,6
2011	824,7	667,6	593,4	784,4
2012	605,2	497,9	437,4	693,5
2013	637,4	575,0	505,2	482,2
2014	597,1	595,3	597,1	554,7
2015	568,2	590,7	568,2	546,8
Moy	571,18	501,59	502,03	588,65

Annexe 2 : Hydrochimie des points d'eau d'échantillonné

Echant	Juillet 2018				Octobre 2018			
	Nitrate	pH	CE μ /cm	Résidu Sec	Nitrate	pH	CE μ /cm	Résidu Sec
P01	0,5	7,7	1.620	1.020	36,0	7,8	1.589	1.136
P02	122	8,1	2.689	1.823	85,0	7,4	2.670	1.825
P03	69	8,0	1.431	836	61,0	7,7	1.680	1.090
P04	33	7,9	1.650	970	45,0	7,5	1.133	821
P05	1	8,0	1.925	1.282	39,0	7,7	2.770	2.045
P06	5	7,8	1.962	1.177	24,0	7,5	1.743	1.220
P07	19	7,9	2.258	1.491	21,0	7,7	2.180	1.441
P08	5	7,8	1.082	674	42,0	7,7	1.876	1.166
F01	1	8,1	1.692	1.179	26,0	7,6	1.944	1.362