

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun–Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et Technologie Agro-Alimentaire



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Présenté par :

-M^{lle}: MEDJOUEL Fatima

-M^{lle}: GOUAS Rachida

Thème

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine : dans une zone semi aride: Cas de la région d'Ain Bouchékif.

Soutenu publiquement le 04/07/2019

Jury:

		Grade	
Président :	Mr. BERAYAH Mohamed	MCA	Université de Tiaret
Encadreur :	Mr. MOUCHARA Nabil	MAA	Université de Tiaret
Co-encadreur :	Mr. MEBARKI Kaddour	MCB	Université de Tiaret
Examineur :	Mr. AIDOUNI Amine	MAB	Université de Tiaret

Année universitaire : 2018/2019

Sommaire

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif.**

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....01

CHAPITRE I : présentation et caractéristiques de la zone d'étude.

1. Introduction.....03

2. Situation géographique de la wilaya de Tiaret.....03

2.1. Situation géographique de la zone d'étude.....04

3.Étude Socio- économique.....05

3.1. Agriculture.....05

3.2. Évolution de la population.....06

4. Relief et morphologie.....07

a. Zone montagneuse.....07

b. Haute plaine de Nahr Ouassel.....07

b.1. La vallée en aval.....08

b.2. La rive droite.....08

b.3. La rive gauche.....08

5. Le réseau hydrographique.....09

6. Contexte géologique et stratigraphique.....09

7. Conclusion.....11

CHAPITRE II : Étude hydroclimatique

1. Introduction.....12

2. Analyse des paramètres climatiques.....12

2.1. Pluviométrie.....12

2.1.1. Régime mensuel des précipitations.....12

2.1.2. Régime saisonnier des précipitations.....13

2.1.3. Les variations interannuelles des précipitations.....	14
2.2. Régime thermique.....	16
2.3. Diagramme Ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls.....	17
2.4. Type de climat.....	18
2.4.1. Indices climatiques.....	18
2.4.1.1. Climato gramme D'Emberger.....	18
2.4.1.2. Indice d'aridité de De Martonne.....	19
2.5. Le Bilan hydrique.....	21
2.5.1. Étude de l'évapotranspiration.....	21
a. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	21
b. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	22
2.5.2. Interprétation du bilan hydrique.....	24
2.5.3. Déficit agricole (DA).....	24
2.5.4. L'Excédent (Exc).....	24
2.6. Bilan hydrologique.....	24
2.6.1. Estimation du ruissellement.....	25
2.6.2. Estimation de l'infiltration.....	25
2.7. Conclusion.....	26

CHAPITRE III: Étude hydrogéologique.

1. Introduction.....	28
2. Contexte hydrogéologique.....	28
2.1. Contexte hydrogéologique général.....	28
2.1.1. Aperçu générale sur les aquifères.....	28
a. Région de Tiaret.....	28
a.1. Limites et extension.....	29
a.2. Aperçu géologique.....	29
a.3. Types des aquifères.....	29
a.4. Extension des aquifères.....	29
b. Plateau du Sersou.....	29
b.1. Limites et extension.....	29
b.2. Aperçu géologique.....	30

b.3. Types des aquifères.....	30
b.4. Extension des aquifères.....	30
3. Identification des aquifères de la zone d'étude.....	30
3.1. Interprétation des données de forages de la zone d'étude.....	31
3.1.1. Les forages captant les calcaires du Crétacé.....	31
3.1.2. Les forages captant les grès du Miocène.....	31
3.2. Les nappes de la zone d'étude.....	35
3.2.1. La nappe d'Oued Nahr Ouassel.....	35
a. Limites et extension.....	36
b. Aperçu géologique.....	36
c. Types des aquifères.....	36
3.2.2. La nappe profonde.....	36
4. Conclusion.....	38

CHAPITRE IV : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines

1. Introduction.....	39
2. Concept de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.....	39
2.1. Notion de vulnérabilité à la pollution.....	39
2.1.1. Les critères de vulnérabilité.....	40
2.1.1.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque.....	40
2.1.1.1.1. Critères relatifs au sol.....	40
2.1.1.1.2. Critères relatifs à la zone non saturée.....	40
2.1.1.1.3. Critères relatifs à la zone saturée.....	40
2.1.1.2. Critères de vulnérabilité spécifique.....	41
2.1.1.2.1. Capacités dispersives et épuratoires des sols.....	41
2.1.1.2.2. Qualité du réseau hydrographique.....	41
2.1.1.2.3. Typologie de l'occupation du sol.....	41
3. Cartographie de vulnérabilité.....	42
3.1. Objet de cartographie.....	42
3.2. Classification des méthodes.....	42
3.2.1. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité.....	42
3.2.1.1. Méthode DRASTIC.....	43

3.2.1.2. Méthode AVI.....	43
3.2.1.3. Méthode SINTACS.....	43
3.2.1.4. Méthode COP.....	43
3.2.1.5. Méthode CALOD.....	43
3.2.1.6. Méthode GOD.....	44
3.2.1.7. Méthode SI.....	44
3.3. Description des paramètres de la méthode SI et réalisation des cartes.....	47
3.3.1. Le paramètre « Profondeur de la nappe (D) ».....	47
3.3.2. Le paramètre « Recharge nette (R) ».....	48
3.3.3. Le Paramètre « Lithologie de l'aquifère (A) ».....	50
3.3.4. Le Paramètre « Topographie (T) ».....	51
3.3.5. Le paramètre « Occupation du sol (OS) ».....	52
3.3.6. Indice de vulnérabilité.....	53
3.4. Conclusion.....	55
Conclusion générale.....	56
Recommandations.....	57
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr Mouchara Nabil, ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Nous remercions aussi notre Co-encadreur Mr Mebarki Kaddour pour son aide et ses précieux conseils.

Nous remercions également Mr Zerarka Abdelkader et tous Les enseignants de notre département.

Et aussi à l'ensemble du jury pour avoir examiné notre travail nous souhaitons aussi remercier Mr Benzghouda Mustapha, Mr Ararria Nesreddine, Mr Mordí Khalifa, Mme Ismahane, pour leur précieuse à notre égard.

Enfin, A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERCI.



Dédicace

*Tout d'abord, je suis fidèlement reconnaissant À Allah que Cette recherche a été menée avec succès.
Je dédie ce travail :*

À mon cher père et mon ami, ma source de confiance et de bonheur, je demande à Allah de le garder la couronne au dessus de ma tête, je t'aime ma lumière de vie!

À ma chère mère, ma sœur et mon amie qui me soutiens et me conseille dans toutes les décisions dans la vie, source de tendresse, de sincérité et de loyauté, je demande à Allah de la garder la couronne au dessus de ma tête, je t'aime ma vie!

À mon frère Mohamed,

À mes sœurs Manel, Naïma Syrine,

À mes chères Rachida, Naïma, Hayet, Fatima, Rahma, Houda, Soumia, Nada, Hanane, Amel.

À tous mes amies et collègues,

À Toute la famille Medjouel, Belkassa, Baya, Kabess, Rabass, Sehlí, Khalíl, Rakeb, Merabet, Sahouane, Moulay, Cherif.

À tous les étudiants de la promotion master 2 hydrogéologie 2018 /2019

À tous ceux qui, m'ont donné la force de continuer.....

Medjouel Fatima





Dédicace

Tout d'abord, je suis fidèlement reconnaissant À Allah que Cette recherche a été menée avec succès.

Je dédie ce travail de recherche :

À l'esprit de mon cher père qui m'a toujours motivé dans mes études. J'espère, du monde où il se trouve actuellement apprécier cet humble geste comme un signe de gratitude de sa fille, qui prie toujours pour lui et ne l'oubliera jamais. !

À Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. !

À mes frères Khaled, Djamel, Bachir Naçeur et El hadj.

À mes sœurs Rabhia, Nor El Houda, Aicha Fatiha, Mokhtarria et toutes mes chères sœurs...

À tous mes amies et collègues

À tous les étudiants de la promotion Master 2 hydrogéologie 2018 /2019

À tous ceux qui, m'ont donné la force de continuer.....



Gouas Rachida

Liste des tableaux

	pages
Tab. 01 : Répartition de la superficie agricole utile des 03 communes : Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine (DSAW. Tiaret, 2018).....	5
Tab. 02 : Évolution de la population des 03 communes : Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine (DREW. Tiaret, 2019).....	6
Tab. 03 : Caractéristiques de la station météorologique d'Ain Bouchékif (Tiaret)...	12
Tab. 04 : Précipitation moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	12
Tab. 05 : Régime saisonnier des précipitations de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	13
Tab. 06 : Précipitations interannuelles (mm) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	14
Tab. 07 : Coefficients pluviométriques de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	15
Tab. 08 : Moyennes des températures mensuelles (°C) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	17
Tab. 09 : Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et le type de bioclimat correspondant (in Chaib A. et Soudani M., 2015).....	20
Tab. 10 : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite à la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	23
Tab. 11 : Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	25
Tab. 12 : Présentation des unités hydrogéologiques (Région de Tiaret).....	28
Tab. 13 : Présentation des unités hydrogéologiques (Plateau du Sersou).....	29
Tab. 14 : Synthèse des données relatives aux forages de la zone d'étude (DREW.Tiaret, 2015).....	31
Tab. 15 : Log hydrogéologique de la zone d'étude (Gouas R. & Medjouel F., 2019).....	35
Tab. 16 : Présentation des unités hydrogéologiques (Oued Nahr Ouassel).....	35
Tab. 17 : Principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes.....	45
Tab. 18 : Poids attribués aux paramètres de la méthode SI.....	46

Tab. 19 :	Indice SI et degré de vulnérabilité (Jourda. et al., 2007).....	46
Tab. 20 :	Indices des paramètres calculés selon la méthode SI (DREW.Tiaret, 2019).....	47
Tab. 21 :	Cotes attribuées à la profondeur de la nappe (D) (Aller. et al., 1987).....	48
Tab. 22 :	Cotes attribuées au paramètre recharge nette (R) (Aller. et al., 1987).....	49
Tab. 23 :	Cotes attribuées au paramètre lithologie de l'aquifère (A).....	50
Tab. 24 :	Cotes attribuées à la pente (T) (Aller. et al., 1987).....	52
Tab. 25 :	Pourcentage des classes de la vulnérabilité SI dans la région d'étude.....	54

Liste des figures

	pages
Fig. 01 : Situation géographique de la wilaya de Tiaret.....	03
Fig. 02 : Localisation géographique de la zone d'étude.....	04
Fig. 03 : Évolution de la population des 03 communes Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine.....	06
Fig. 04 : Carte de répartition de la population par communes de la wilaya de Tiaret.....	07
Fig. 05 : Carte altimétrique de la zone d'étude.....	08
Fig. 06 : Carte de réseau hydrographique de la wilaya de Tiaret.....	09
Fig. 07 : Extrait de la carte géologique de la zone d'étude (E : 1/200000) (ANRH, 2008).....	10
Fig. 08 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	13
Fig. 09 : Variations saisonnières des précipitations de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	14
Fig. 10 : Variations interannuelles et coefficients pluviométriques des précipitations de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	16
Fig. 11 : Variations des températures moyennes mensuelles (°C) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	17
Fig. 12 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	18
Fig. 13 : Position de la zone d'étude dans le climatogramme d'Emberger.....	19
Fig. 14 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	20
Fig. 15 : Bilan hydrique de Thornthwaite de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	24
Schéma récapitulatif des paramètres du bilan hydrique de Thornthwaite	
Fig. 16 : la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).....	27
Fig. 17 : Image satellitaire Google Earth montrant la répartition des points d'eau dans la zone d'étude (Date de prise d'image 15/06/2019).....	32
Fig. 18 : Carte de répartition des forages d'eau dans la zone d'étude.....	33

Fig. 19 :	Coupe schématique de corrélation des forages de la zone d'étude (D'après Gouas R. & Medjouel F., 2019).....	34
Fig. 20 :	Carte hydrogéologique des bassins de la wilaya de Tiaret (ANRH, 2011 modifié, 2019).....	37
Fig. 21 :	L'organigramme de la cartographie de la vulnérabilité à partir de la Méthode SI.....	46
Fig. 22 :	Carte de profondeur (D) de la nappe de la zone d'étude.....	48
Fig. 23 :	Carte de la recharge nette (R) de la région d'Ain Bouchékif.....	49
Fig. 24 :	Carte de la lithologie du milieu aquifère(A) de la région d'Ain Bouchékif.....	51
Fig. 25 :	Carte de la topographie (T) de la zone d'étude classée selon SI.....	52
Fig. 26 :	Carte d'occupation du sol de la zone d'étude classée selon la méthode SI.....	53
Fig. 27 :	Carte de vulnérabilité de la zone d'étude classée selon la méthode SI.....	54

Liste des abréviations

DRE : Direction des Ressources en Eau.

DSA : Direction des Services Agricoles.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydraulique – Tiaret.

ONM : Office National de la Météorologie – Station d’Ain Bouchékif (Tiaret).

RGPH : Recensement Général de la Population et de l’Habitat.

UTM : La Projection Universelle Transverse de Mercator.

ITGC : Institut Techniques des Grandes Cultures.

P : Précipitation.

T : Température.

°C : Degré Celsius.

ZNS : La zone non saturée

T : Transmissivité.

K : Perméabilité.

S : Coefficient d’emménagement.

i : Gradient hydraulique.

SI: Indice de susceptibilité

Introduction générale

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif.**

Introduction générale :

Les eaux souterraines constituent le réservoir le plus important d'eau douce au niveau mondial, représentant plus de 97% des ressources en eau douce de la planète (en excluant les glaciers et les calottes glaciaires). Les 3% restants sont composés principalement d'eau de surface (lacs, rivières, zones humides) et d'humidité des sols **(D'après Quevauviller P., 2010)**.

Le climat influe également directement sur les ressources en eaux souterraines, particulièrement dans les régimes climatiques semi-arides à arides, où l'approvisionnement en eau des populations pose un véritable problème de développement. Dans ces zones caractérisées par un déficit hydrologique, les plans d'eau superficielles ou de sub – surface (nappe phréatique font souvent l'objet d'intenses reprises évaporatoires.

Comme les eaux souterraines s'écoulent lentement sous la surface (en fonction des caractéristiques géologiques du sous-sol). L'impact d'activités anthropiques peut avoir des effets durant des périodes de temps très longues. Une pollution qui s'est produite plusieurs dizaines d'années auparavant qu'elle soit d'origine agricole, industrielle ou liées à d'autres activités humaines peut ainsi menacer la qualité des nappes phréatiques aujourd'hui et, dans certains cas, entraînera leur détérioration au cours de plusieurs générations **(D'après Quevauviller P., 2010)**.

Sur la base de tout ce qui précède, notre problème fondamental est de savoir quelles études peuvent déterminer les facteurs affectant la qualité de l'eau souterraine.

Cette étude s'intéresse à la vulnérabilité et au risque de pollution des nappes du système aquifère d'Ain Bouchékif ou l'on constate une dégradation progressive de la qualité des eaux souterraines surtout celles des nappes phréatiques.

Donc dans notre travail on va faire une discussion descriptive sur l'influence des conditions climatiques et hydrogéologiques sur les aquifères dans le but de proposer une cartographie de la vulnérabilité et du risque de la pollution de cette réservoir d'eau souterraine.

A fin d'aboutir aux objectifs de cette étude nous préconisons l'approche méthodologique suivante :

Le premier chapitre : Il a été abordé la présentation et caractéristique de la zone d'étude ainsi que la situation et localisation géographique, et la géologie et aussi le réseau hydrographique et les activités économique.

Le second chapitre : Il a été étudié les différents paramètres climatologiques (type de climat, étude des précipitations, températures et bilan hydrique).

Le troisième chapitre : Consacré à l'étude hydrogéologique de la zone d'Ain Bouchékif (corrélation et superficie des aquifères).

Le quatrième chapitre : Présente une cartographie de la vulnérabilité proposer selon les résultats de l'application de la méthode SI.

On termine le travail par une conclusion générale et quelques recommandations.

Chapitre I : **Présentation et caractéristiques** **de la zone d'étude**

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif.**

1. Introduction :

La géographie et la géologie sont la base de toute étude de terrain, surtout pour l'étude hydrogéologique. Elle délimite le secteur étudié et détermine la distribution des facteurs physico-géographiques ainsi que les formations géologiques caractérisant la région d'étude.

2. Situation géographique de la wilaya de Tiaret :

L'Algérie est divisée classiquement, de la méditerranée au Sahara, en quatre unités géographiques et structurales plus ou moins parallèles, qui sont du Nord au Sud : Le domaine Tello-rifain, les hauts plateaux, l'Atlas saharien et le Sahara.

De part sa situation dans les hauts plateaux, la région d'étude touche une identité géographique bien particulière, c'est une région à vocation agricole. La wilaya de Tiaret est située à l'Ouest de l'Algérie, elle est limitée au Nord, par les wilayas de Tissemsilt et de Relizane ; Au Sud, par les wilayas de Laghouat et d'El Bayadh; à l'Ouest, par les wilayas de Mascara et de Saïda; à l'Est, par la wilaya de Djelfa.

La wilaya de Tiaret Située à l'Ouest du pays, fait partie des hauts plateaux occidental (Fig. 01), elle s'étend sur une superficie de 20 050,05Km².

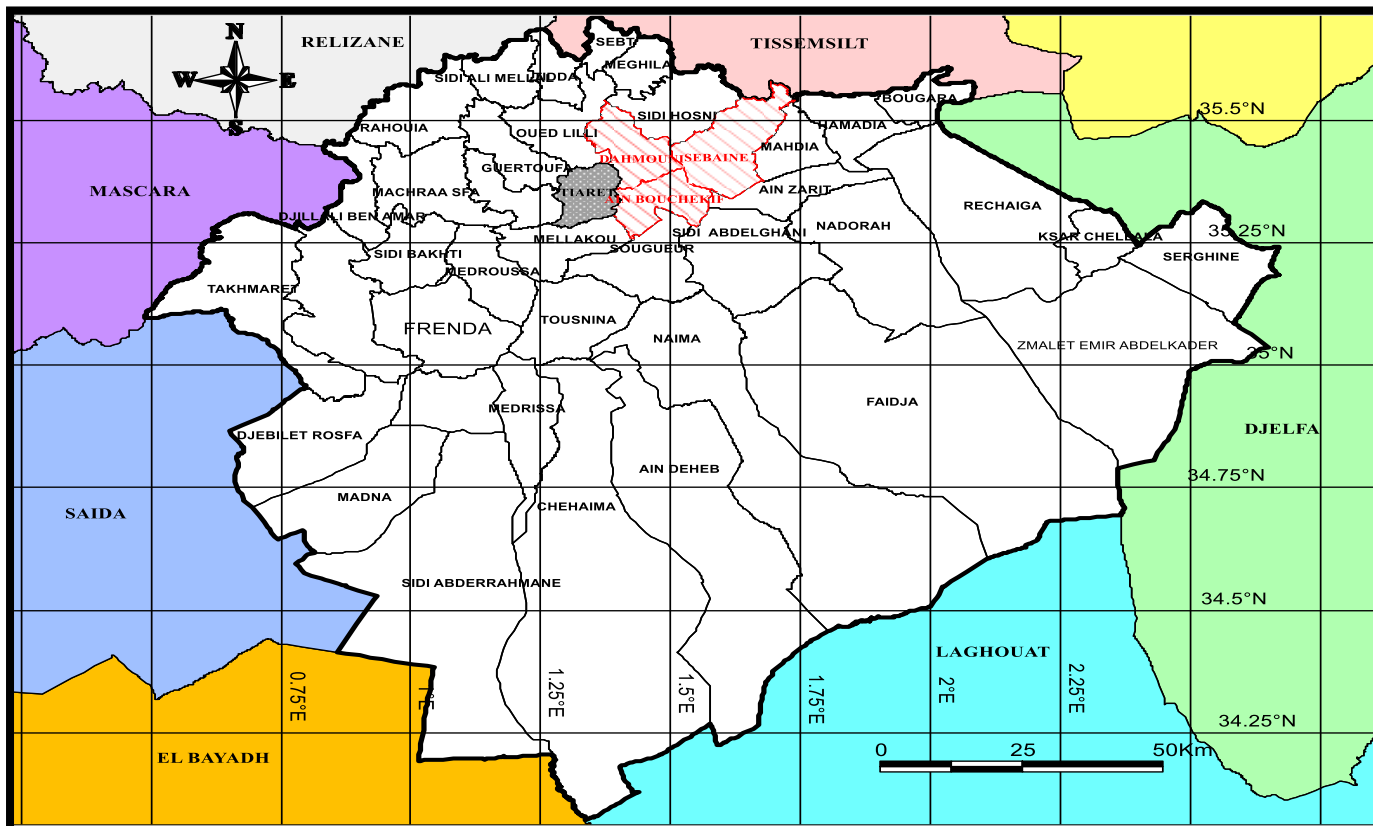


Fig. 01 : Situation géographique de la wilaya de Tiaret.

2.1. Situation géographique de la zone d'étude :

La zone d'étude du présent travail est répartie géographiquement sur trois communes qui sont : Ain Bouchékif, Sebaine et Dahmouni.

La commune d'Ain Bouchékif située à l'Ouest et au Sud-Ouest de la ville de Tiaret. Elle est localisée dans la région Nord-Ouest de l'Algérie à une altitude moyenne 964 m et minimale 941 m et maximale 990 m. Avec une superficie de 151.43 Km².

Administrativement, elle est bordée au Nord et Nord-Ouest, par la commune de Dahmouni, au Nord et Nord-Est, par la commune de Sebaine, au Sud, la commune de Sougueur, à l'Ouest la ville de Tiaret, et à l'Est par les communes d'Ain Zarit et Sidi Abdelghani.

La commune de Dahmouni, située dans le Nord-Est de ville de Tiaret. Cette commune s'étend sur une superficie de 164,3 km². Elle est limitée au Nord-Ouest et à l'Ouest, par la commune Oued Lili et Tidda; au Nord- Est, par la communes de Sidi Hosni; à l'Est, par la commune de Sebaine ; au Sud, par la commune d'Ain Bouchékif; et au Sud-Ouest, par la commune de Tiaret.

La Commune de Sebaine fait partie du haut plateau céréalière du Nord- Ouest du plateau du Sersou. Elle limité au Nord par les piémonts de l'Ouarsenis, c'est une zone de jonction entre le piémont marneux et le plateau du Sersou (in Mohamed Oussaid S. et Abbou M., 2013), avec une superficie de 268.7 Km. Elle est limitée au Nord, par la wilaya de Tissemsilt ; au Nord-Ouest, par la commune de Sidi Hosni ; à l'Ouest et au Sud-Ouest les communes de Dahmouni et Ain Bouchékif ; au Sud, par la commune d'Ain Zarit et à l'Est, la commune de Mahdia (Fig. 02).

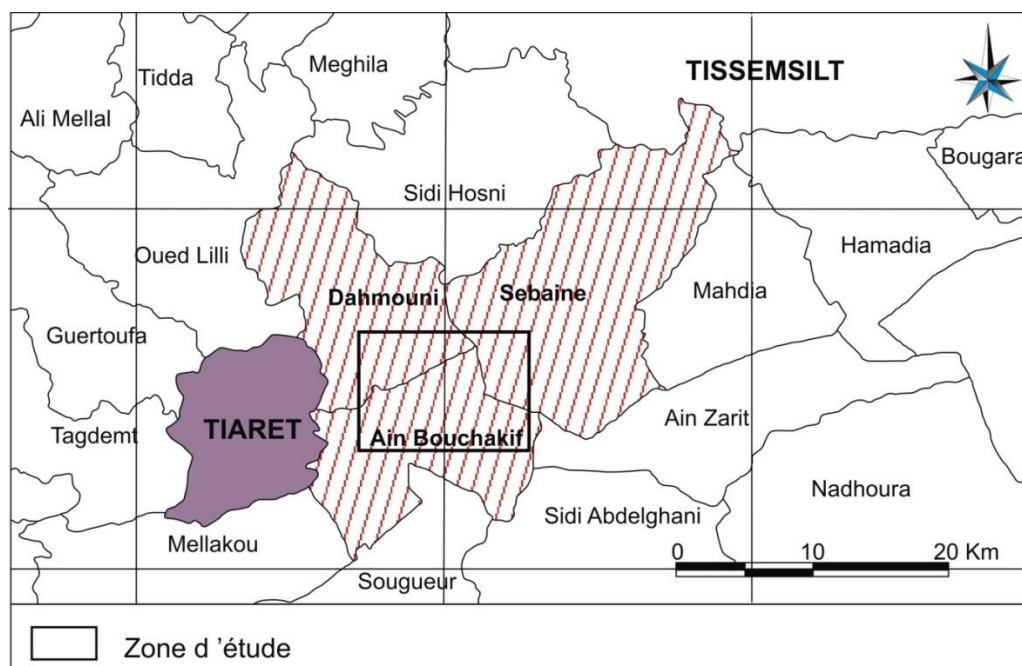


Fig. 02 : Localisation géographique de la zone d'étude.

3. Étude socio- économique :

3.1. Agriculture :

Les systèmes de culture restent entièrement dépendants de la pluviométrie : généralement les terrains agricoles sont irrigués par les barrages, les retenues collinaires, les forages ou les puits. L'agriculture est fortement cultivée dans la zone d'étude, où le nombre de terres agricoles est estimé à 51156 hectares divisé comme suite sur le tableau 01 :

Tab. 01 : Répartition de la superficie agricole utile des 03 communes : Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine (DSAW. Tiaret, 2018).

Commune	Spéculation	Superficie (ha)	Production
Ain Bouchékif	Céréales	6747	103505
	Légumes secs	215	1505
	Maraichage	334	131991
	Arboriculture	76	1350
	Oléiculture	10,5	210
Dahmouni	Céréales	6534,5	115321
	Légumes secs	131,5	1590
	Maraichage	107	43440
	Arboriculture	73	1667
	Oléiculture	60	480
Sebaine	Céréales	12650	277350
	Légumes secs	305	1800
	Maraichage	228	910280
	Arboriculture	191	5119
	Oléiculture	50	700

D'après le tableau 01 : on remarque que la superficie agricole utile divisé par type de produit agricole où les céréales occupent la plus grande superficie de 30146.5 ha, tandis que légumes secs occupent 735.5 ha et le maraichage 708 ha et 645.5 ha divisé entre les arboricultures et les oléicultures et la partie qui reste occupe par des autres productions comme les fourrages et viticultures...Etc.

De nombreux produits chimiques, pesticides et résidus animaux sont utilisés pour améliorer la Qualité des produits agricoles, par exemple Utiliser 10 qx/ha de produits chimiques pour le blé et (15-18qx/ha) pour la culture Maraichage et (15 qx/ha) pour l'arboriculture.

Les engrais chimiques sont utilisés par trois étapes :

- 1) Engrais de fond : avant de semer.

- 2) Opération de désherbage.
- 3) Engrais de couverture : après de semer (DSAW. Tiaret, 2018).

Ces derniers se sont des facteurs majeurs de la pollution des eaux souterraines.

3.2. Évolution de la population :

Les trois communes ont connu une croissance démographique importante par rapport aux années précédentes malgré ses superficies limitées, elles atteignent actuellement plus de 53512 habitants selon le tableau suivant :

Tab. 02: Évolution de la population des 03 communes : Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine (DREW Tiaret, 2019).

Année Commune	1987	1998	2008	2018	Horizon 2025	Horizon 2050
Ain Bouchékif	9175	12386	15022	17990	20622	33585
Dahmouni	13021	17392	20379	23744	25758	34452
Sebaine	9168	10042	10758	11778	12584	15939

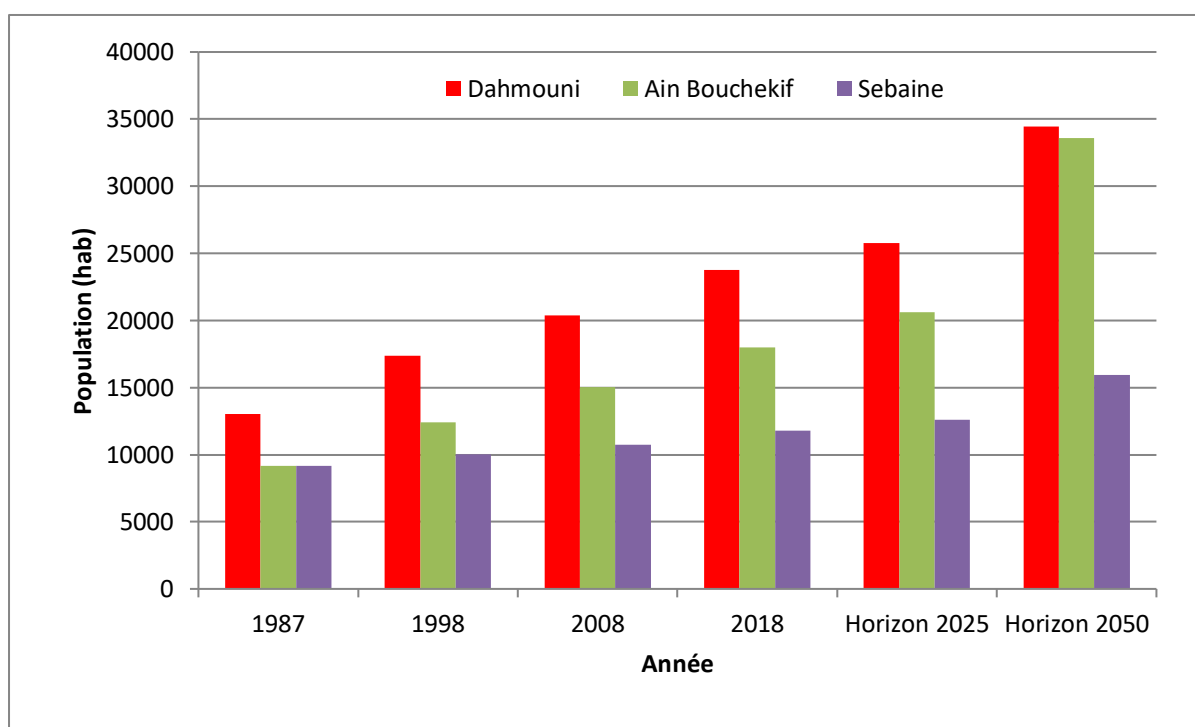


Fig. 03 : Évolution de la population des 03 communes : Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine.

D'après le tableau 02 et l'histogramme nous montre que l'évolution de la population des 03 communes : Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine connaissent une croissance démographique marquée allant de (0.94 à 1.97%), et aussi nous observons la croissance démographique des deux communes (Ain Bouchékif et Dahmouni) plus importante par rapport à la commune de Sebaine.

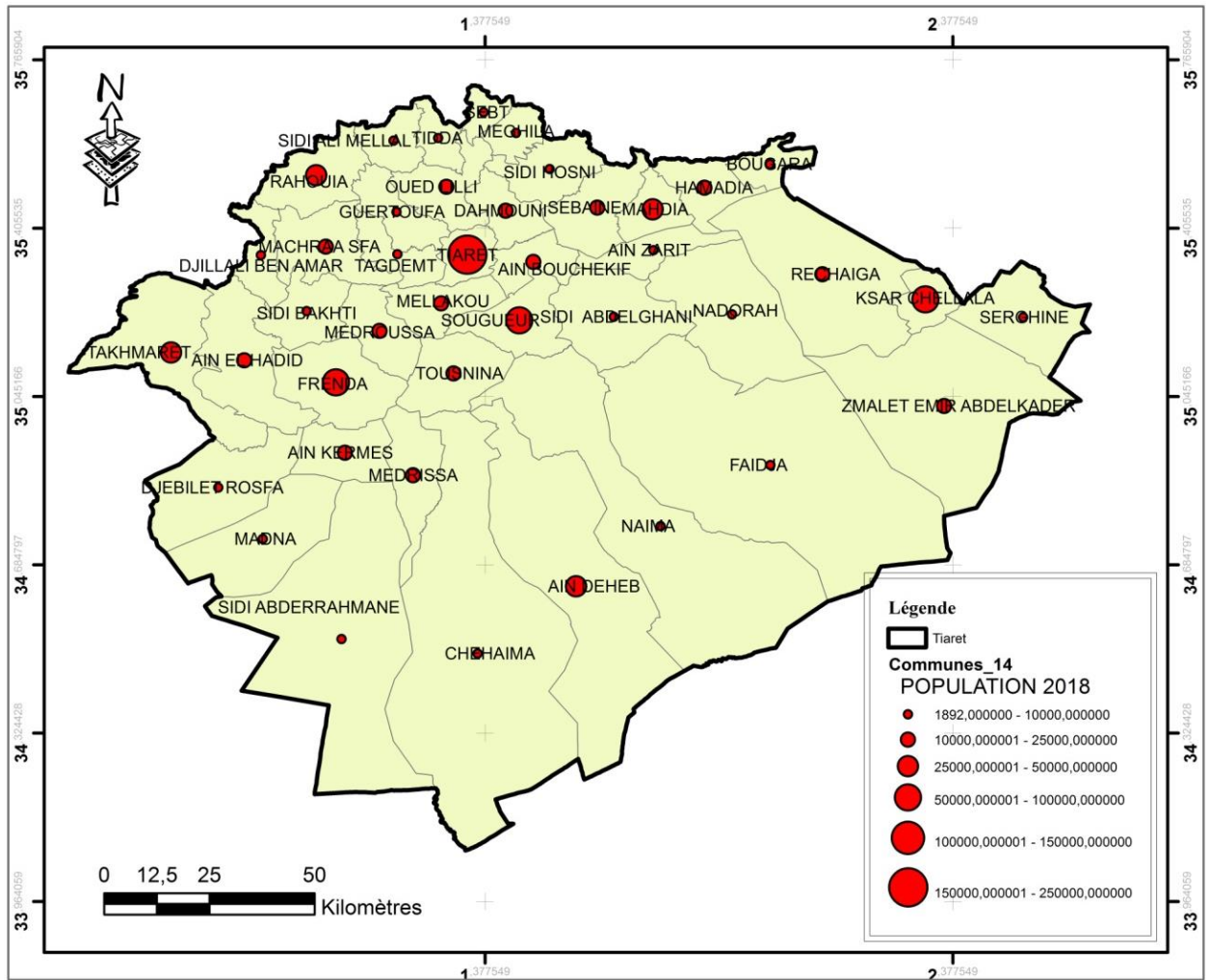


Fig. 04 : Carte de répartition de la population par communes de la wilaya de Tiaret.

4. Relief et morphologie :

La plus part des facteurs météorologie température, pluie ou hydrologique, les débits spécifiques, ces facteurs en particulièrement sont étroitement liées à l'altitude (in Benzarfa F., 2015).

Selon la Fig. 05, Le relief général de la zone d'étude se présente comme un plateau légèrement ondulé, l'altitude est variée entre 930 à 1154 m.

La morphométrie du site présente un ensemble d'individualités physiques distinctes à savoir :

- Zone montagneuse.
- Haute plaine d'Oued Nahr Ouassel.

a-Zone montagneuse:

Son altitude atteint un maximum de 1154m. les pentes sont supérieures à 12,5%.

b-Haute plaine de Nahr Ouassel:

b.1.La vallée en aval:

La vallée de l'Oued Nahr Ouassel a un aspect de gouttière asymétrique s'élargissant dans sa partie aval. La vallée, très rétrécie dans la partie amont, se caractérise sur les bordures par la présence de zones de piémonts dont l'altitude atteint 930 m.

b.2.La rive droite:

Le relief général de la rive droit est légèrement ondulé ou les pentes sont très faibles. L'altitude de la zone varie de 930 à 945m. Sa topographie est généralement plane.

b.3.La rive gauche:

La rive gauche a un faible pendage de quelques degrés, présent dans sa partie haute un relief quasi tabulaire, il est entaillé par un série de thalwegs dans la profondeur croit à l'approche d'Oued Nahr Ouassel (DREW. Tiaret, 2004).

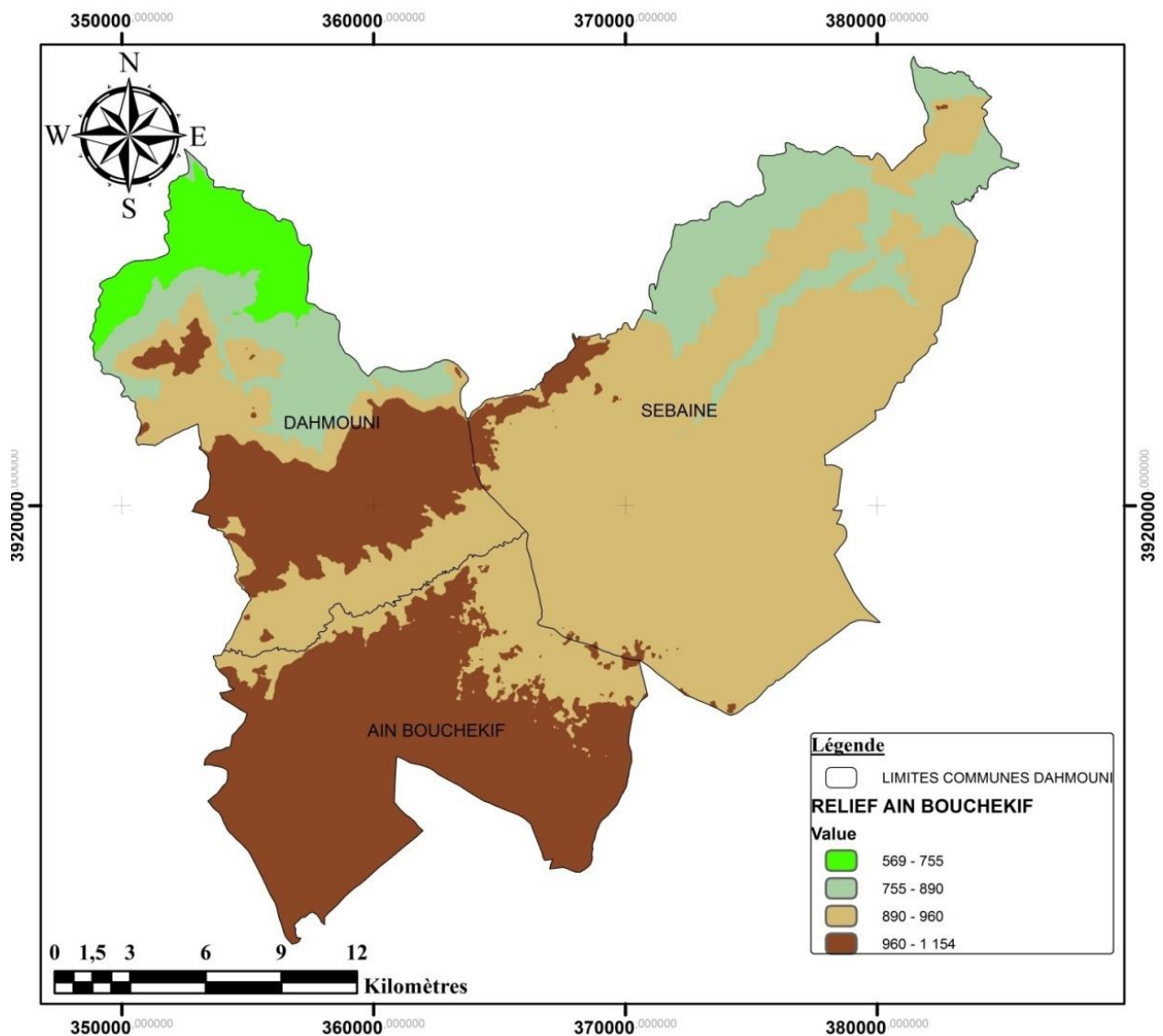


Fig. 05 : Carte altimétrique de la zone d'étude.

5. Le réseau hydrographique:

La zone d'étude est localisée naturellement dans les sous bassins versants d'Oued Nahr Ouassel, Oued Mechti Zerga et Oued Mina Aval. Le réseau hydrographique est plus ou moins dense.

L'oued Nahr Ouassel est en fait constitué de deux branches principales, l'Oued Nahr Ouassel proprement dit, originaire de la région de Tiaret et l'Oued Bou Skif qui prend sa source plus au sud vers Sougueur. Il coule dans une vaste plaine d'altitude 950 m environ bordé au Nord par les monts de Tiaret (culminant à 1225 m) et au Sud par le plateau du Sersou d'altitude proche de 1000 m.

Le plateau du Sersou est parsemé de dépressions ou Daïa dont la surface totale peut être estimée à 125 km². Une partie du bassin versant de l'Oued Bou Skif est donc endoréique, c'est-à-dire que les ruissellements de surface n'atteignent pas l'Oued mais sont piégés dans le centre de ces dépressions (Voir Fig. 06) (DREW. Tiaret, 2018).

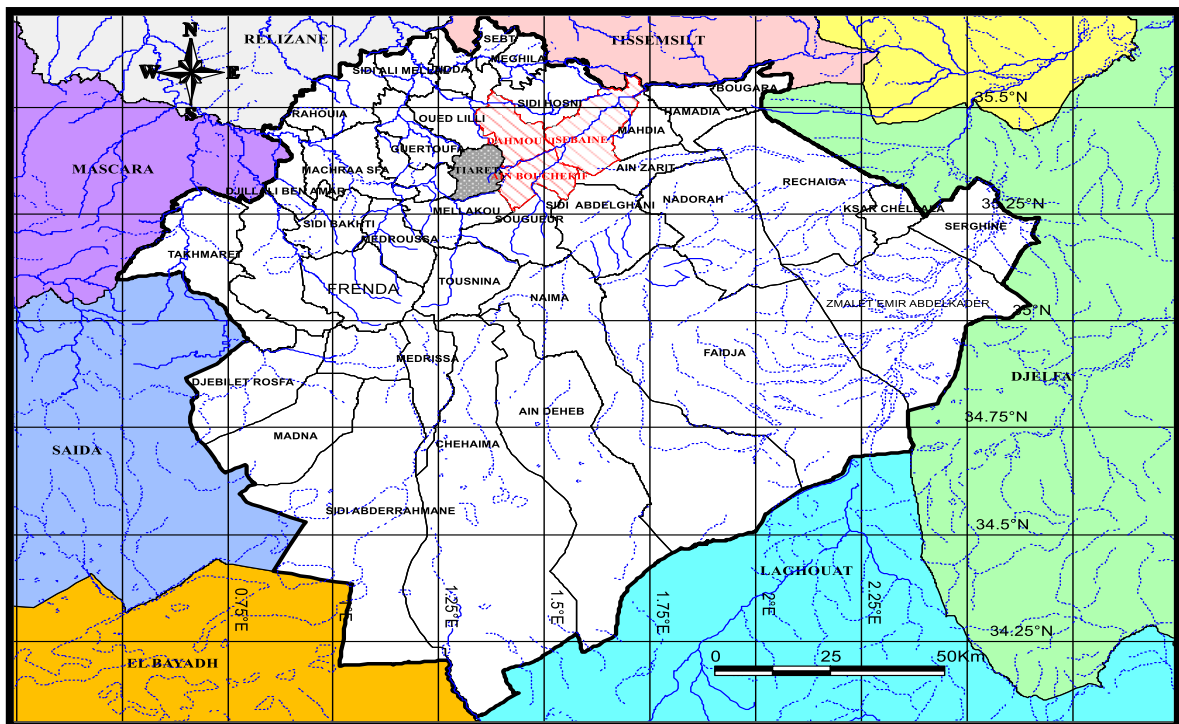


Fig. 06 : Carte de réseau hydrographique de la wilaya de Tiaret.

6. Contexte géologique et stratigraphique :

Les Hautes Plateaux (appelés aussi Meseta oranaise ou Hautes Plaines oranaises) qui se situe entre le domaine Tellien et l'Atlas saharien, qui se terminent en « V » vers l'Est. Il est l'équivalent de la Meseta Marocaine vers l'Ouest. Il est caractérisé par des terrains Mésocénozoïques qui reposent, en discordance angulaire.

Sur la base des considérations faciologiques, la région d'étude est divisée en plusieurs groupes :

- Un groupe de Crétacé supérieur constitué de calcaires à sa base. Cette dernière est surmontée par une formation essentiellement constituée d'un ensemble marneux à la base et de calcaires oolithiques à nodules de silex dans sa partie sommitale.
- Un groupe continental d'âge Miocène inférieur silico-clastique, constitué de grès et de _conglomérat, enveloppé par des poudingues d'âge Miocène moyen et supérieur.
- Un groupe d'âge Quaternaire composé par une croûte de calcaire, surmonté des alluvions actuelles et récentes (sable, gravier et argile).

370

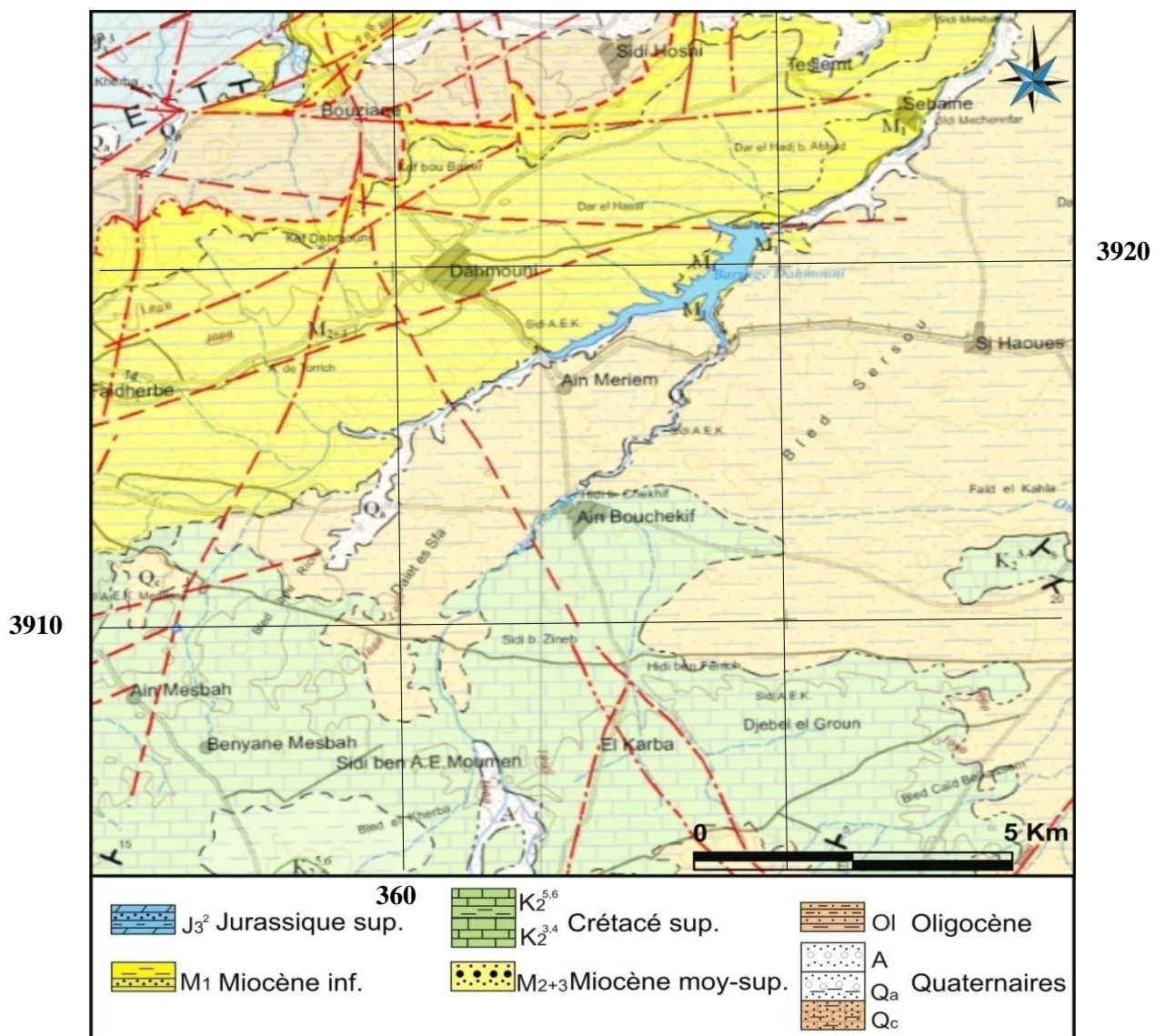


Fig. 07 : Extrait de la carte géologique de la zone d'étude (E : 1/200000) (ANRH, 2008).

7. Conclusion :

La zone d'étude est située dans le Nord-Ouest de l'Algérie elle fait partie de trois communes Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine. Ce secteur est caractérisé essentiellement par l'Agriculture ce qui en fait la source de pollution des eaux souterraines.

Oued Nahr Ouassel à travers cette zone avec ces deux rives (rive droite, rive gauche).

Notre zone est caractérisée par des formations sédimentaires, dont l'âge le plus ancien est le Crétacé supérieur jusqu'au Quaternaire, constituées généralement par des calcaires, des grès, des marnes et des alluvions.

Ces formations géologiques sont susceptibles de stocker et d'emmagasiner des eaux souterraines.

Chapitre II : Étude hydroclimatique

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif**

1. Introduction :

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime d'écoulement superficiel et souterrain. Elle permet d'approcher les termes de bilan qui sont les précipitations et l'évapotranspiration. L'équipement climatologique du bassin est cependant loin d'être satisfaisant. Le manque de documentation est flagrant. Les longues séries d'observation sont rares. Toutes fois nous allons tenter de faire ressortir les caractéristiques générales du climat. Ses nuances spatiales et ses irrégularités temporelles à partir de la documentation disponible (Baali F., 2007).

2. Analyse des paramètres climatiques :

Pour l'analyse climatique de notre zone. Nous avons utilisé les données de la station météorologique d'Ain Bouchékif sur une période de 32 ans entre 1986 à 2018. Les coordonnées géographiques de cette station sont présentées en tableau. 03.

Tab. 03: Caractéristiques de la station météorologique d'Ain Bouchékif (Tiaret).

Station	Les coordonnées en UTM		zone	Altitude Z(m)	Période d'observation
	X(UTM)	Y(UTM)			
Ain Bouchékif	361 514.01	3 912 160.19	31S	976	1986-2018

2.1. Pluviométrie :

La raison de notre étude de régime mensuel des précipitations est qu'il s'agit de l'un des facteurs climatiques les plus importants pour le régime d'écoulement et le volume d'eau infiltrant et donc l'alimentation nette du système aquifère exploité.

2.1.1. Régime mensuel des précipitations :

Le tableau ci-dessous décrit la pluviométrie moyenne mensuelle enregistrée à la station d'Ain Bouchékif sur une période de 32 ans qui s'étale de (1986-2018).

Tab. 04 : Précipitation moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
P Moy (mm)	28,25	34,62	40,74	38,21	46,55	43,00	42,34	41,99	31,34	12,63	4,43	11,44	375,54

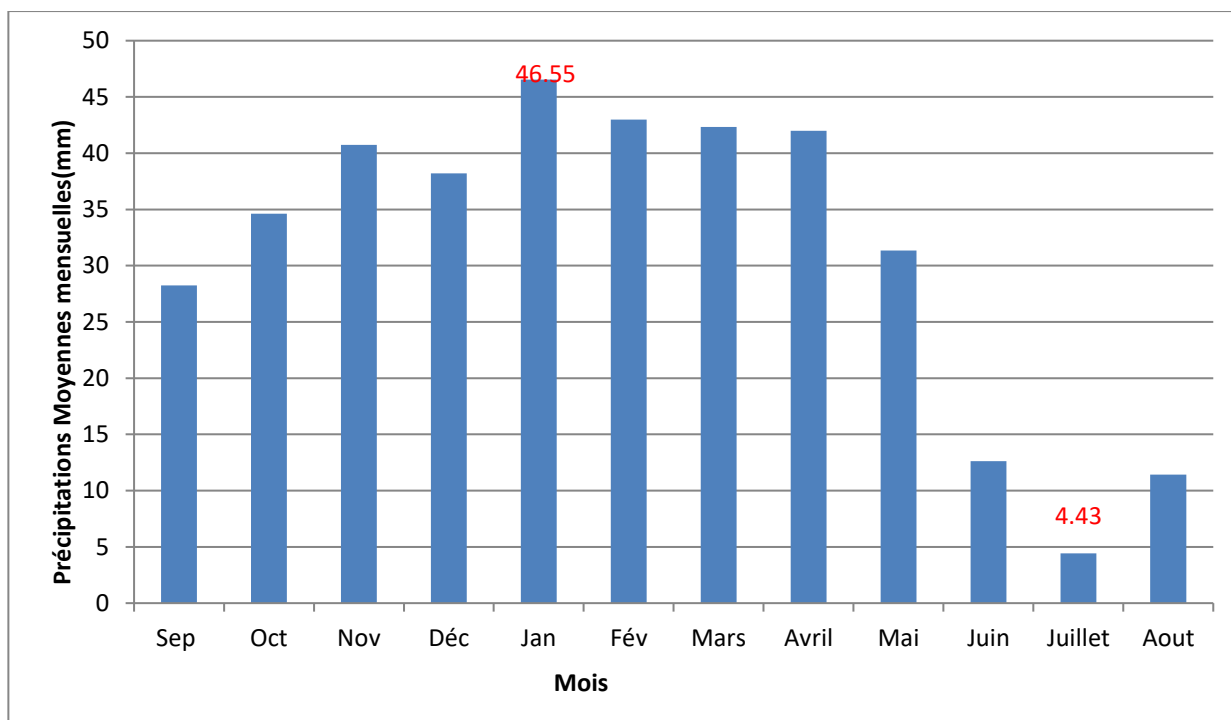


Fig. 08 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station d’Ain Bouchékif (1986-2018).

La figure ci-dessus montre que, le mois le plus pluvieux est le mois de Janvier avec 46.55 mm, et le mois le moins pluvieux est le mois de Juillet avec seulement 4.43 mm.

2.1.2. Régime saisonnier des précipitations :

La différence de précipitations pour chaque saison au cours de la période (1986-2018) est résumée dans le tableau 05.

Tab. 05 : Régime saisonnier des précipitations de la station d’Ain Bouchékif (1986-2018).

Station	Automne Sep-Oct-Nov		Hiver Déc-Jan- Fév.		Printemps Mar-Avr-Mai		Été Juin-Juill-Aout	
	P (mm)	P(%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)
Ain Bouchékif	103.61	27.58%	127,76	34.02%	115,67	30.80%	28,5	7.58%

D’après le tableau 05 on distingue que :

- ❖ La saison la moins pluvieuse est la saison estivale qui coïncide aux mois de Juin, Juillet et Aout avec une pluviométrie moyenne de 28.5 mm.
- ❖ La saison la plus pluvieuse est la saison hivernale qui s’étale du mois de Décembre au mois du Février avec une pluviométrie moyenne de l’ordre de 127.76 mm (voir Fig. 09).

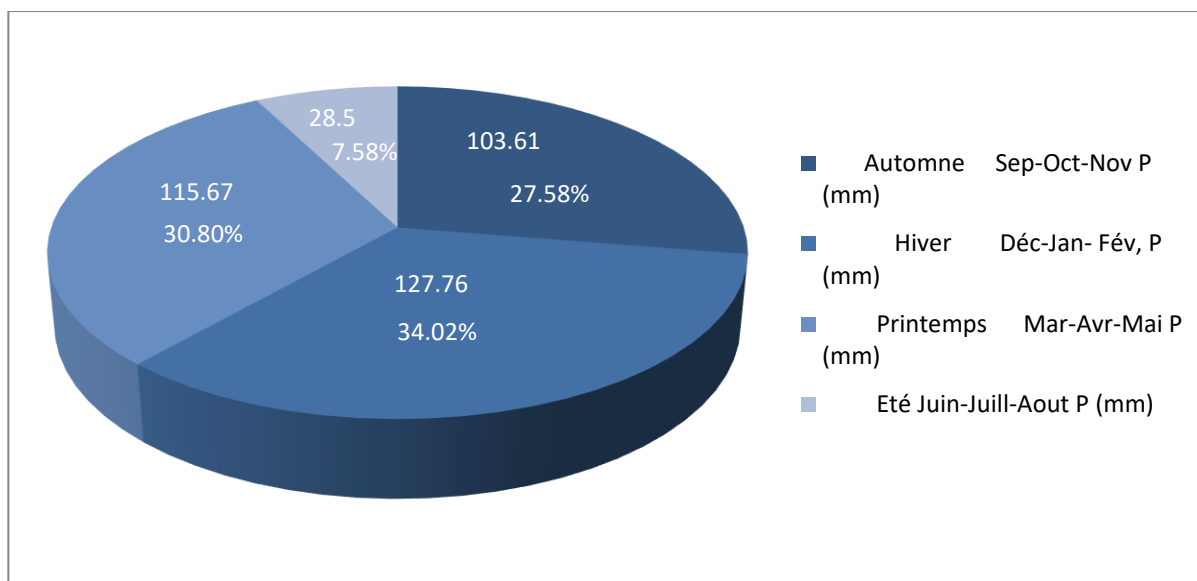


Fig. 09: Variations saisonnières des précipitations de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

2.1.3. Les variations interannuelles des précipitations :

Dans le tableau 06 ci-dessous sont mentionnées les précipitations interannuelles de la station d'Ain Bouchékif.

Tab. 06 : Précipitations interannuelles (mm) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Année hydrologique	Lame d'eau précipitée (mm)	Année hydrologique	Lame d'eau précipitée (mm)
1986/1987	360,3	2002/2003	325
1987/1988	327,2	2003/2004	455,5
1988/1989	344,8	2004/2005	272,5
1989/1990	254,8	2005/2006	437,3
1990/1991	388,1	2006/2007	314,3
1991/1992	350	2007/2008	300,5
1992/1993	247,8	2008/2009	568,2
1993/1994	208,7	2009/2010	594,6
1994/1995	407,8	2010/2011	393,3
1995/1996	494,5	2011/2012	351,6
1996/1997	353,2	2012/2013	587,4
1997/1998	458,1	2013/2014	420,9
1998/1999	230,4	2014/2015	429,8
1999/2000	278,3	2015/2016	392,5
2000/2001	343,7	2016/2017	284,2
2001/2002	346,6	2017/2018	495
Précipitations moyennes annuelles			375.54

D'après le tableau 06 : On remarque que la moyenne interannuelle des précipitations est de 375.54 mm.

La variabilité des données des précipitations mensuelles est exprimée par un paramètre permettant de distinguer les années excédentaires de celles déficitaires. C'est le "coefficient pluviométrique" (C_p) obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne de toute la série d'observation.

Elle est donc en relation proportionnelle avec la pluviométrie et on a :

$$C_p = \frac{p}{P_{moy}}$$

C_p : Coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie interannuelle de l'année en (mm).

P Moy : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

Si on a $C_p > 1$ \Rightarrow Une année excédentaire (AE).

Si on a $C_p < 1$ \Rightarrow Une année déficitaire (AD).

Tab. 07 : Coefficients pluviométriques de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Année	Lame précipitée (mm)	C _p	Observation	Année	Lame précipitée (mm)	C _p	Observation
1986/1987	360,3	0,96	AD	2002/2003	325	0,87	AD
1987/1988	327,2	0,87	AD	2003/2004	455,5	1,21	AE
1988/1989	344,8	0,92	AD	2004/2005	272,5	0,73	AD
1989/1990	254,8	0,68	AD	2005/2006	437,3	1,16	AE
1990/1991	388,1	1,03	AE	2006/2007	314,3	0,84	AD
1991/1992	350	0,93	AD	2007/2008	300,5	0,80	AD
1992/1993	247,8	0,66	AD	2008/2009	568,2	1,51	AE
1993/1994	208,7	0,56	AD	2009/2010	594,6	1,58	AE
1994/1995	407,8	1,09	AE	2010/2011	393,3	1,05	AE
1995/1996	494,5	1,32	AE	2011/2012	351,6	0,94	AD
1996/1997	353,2	0,94	AD	2012/2013	587,4	1,56	AE
1997/1998	458,1	1,22	AE	2013/2014	420,9	1,12	AE
1998/1999	230,4	0,61	AD	2014/2015	429,8	1,14	AE
1999/2000	278,3	0,74	AD	2015/2016	392,5	1,05	AE
2000/2001	343,7	0,92	AD	2016/2017	284,2	0,76	AD
2001/2002	346,6	0,92	AD	2017/2018	495	1,32	AE

Le tableau ci-dessus montre les résultats du coefficient pluviométrique.

Nous remarquons que :

- Il y a 14 /32 années excédentaires et 18 /32 années déficitaires.
- Il y a une alternance entre les années déficitaires (**AD**) et celles excédentaires (**AE**).

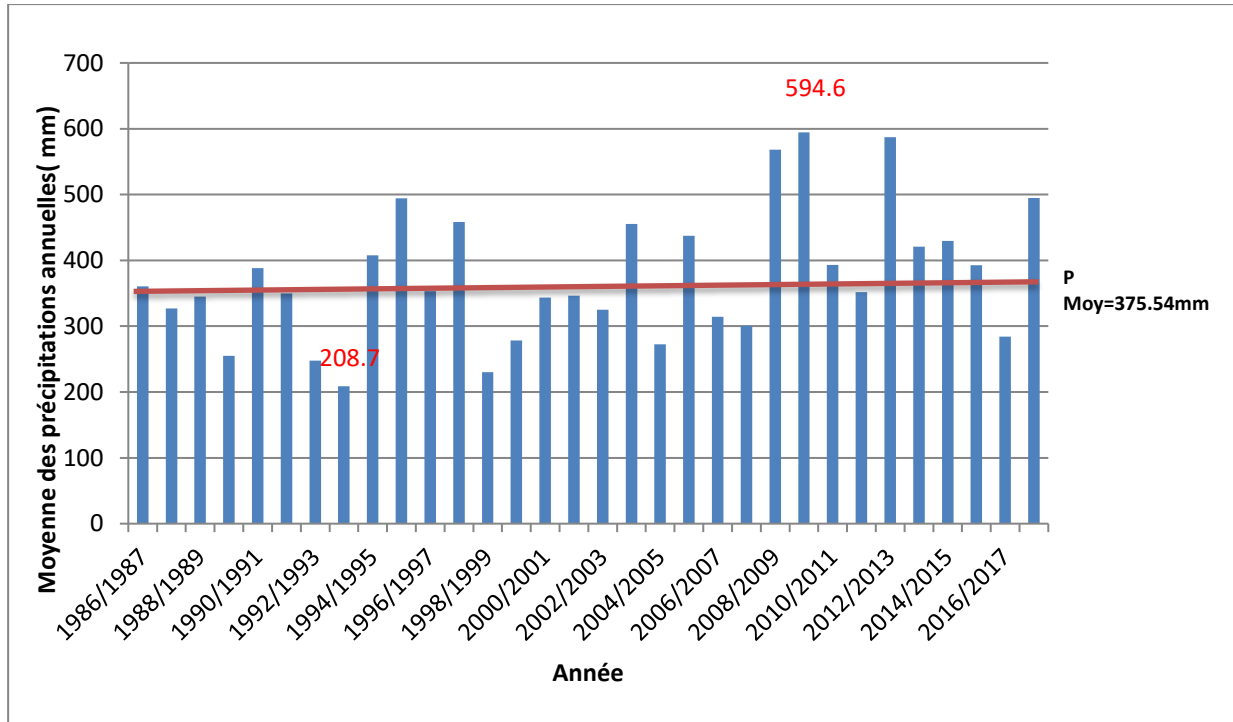


Fig. 10 : Variations interannuelles et coefficients pluviométriques des précipitations de la station d’Ain Bouchékif (1986-2018).

D’après la figure10 la répartition des précipitations interannuelles au cours de 32 ans. Nous concluons que l’année 2009/2010 est l’année la plus arrosées avec 594.6 mm/an par contre l’année 1993/1994 est la plus sèche avec seulement 208.7 mm/an.

2.2. Régime thermique :

La température de l’air est l’un des facteurs les plus importants ayant un impact significatif sur le bilan hydrique en raison de son impact sur le déficit d’écoulement (évapotranspiration).

Grâce aux données de température recueillies par l’office national de météorologie (1986-2018) Le régime thermique de notre zone a été analysé (Tableau. 08).

Tab. 08: Moyennes des températures mensuelles (°C) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Moy
T Moy (°C)	22.67	18.03	11.28	7.41	7.39	8.5	10.95	15.02	20.3	24.18	28.65	27.97	16.86

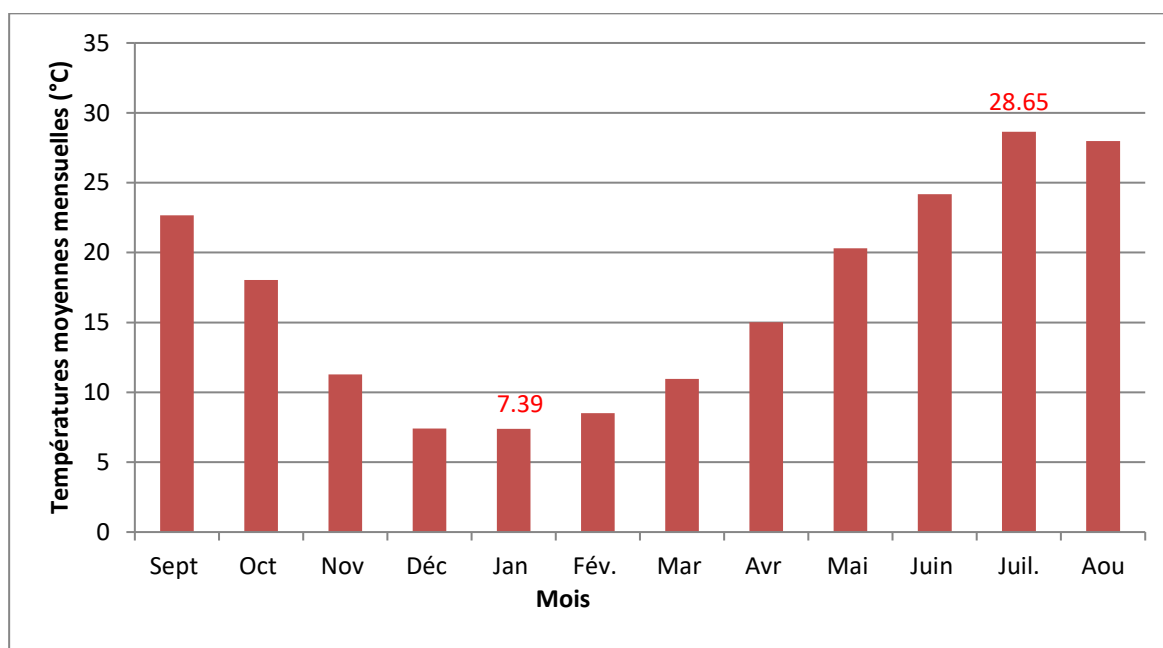


Fig. 11 : Variations des températures moyennes mensuelles (°C) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

La station d'Ain Bouchékif montre la subdivision des températures moyennes mensuelles on distingue que :

La température moyenne des deux mois les plus chauds. Juillet et Aout varient entre 28.65° à 27.97° celle du mois le plus froid « Janvier » est de 7.39°C.

2.3. Diagramme Ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls :

Ce diagramme qui a été réalisé par Gaussen et Bagnouls permet de définir la durée de la période sèche et humide d'une région donnée. Un mois est considéré sec lorsque la courbe des températures (°T) est supérieure à celles des précipitations ($P=2T$).

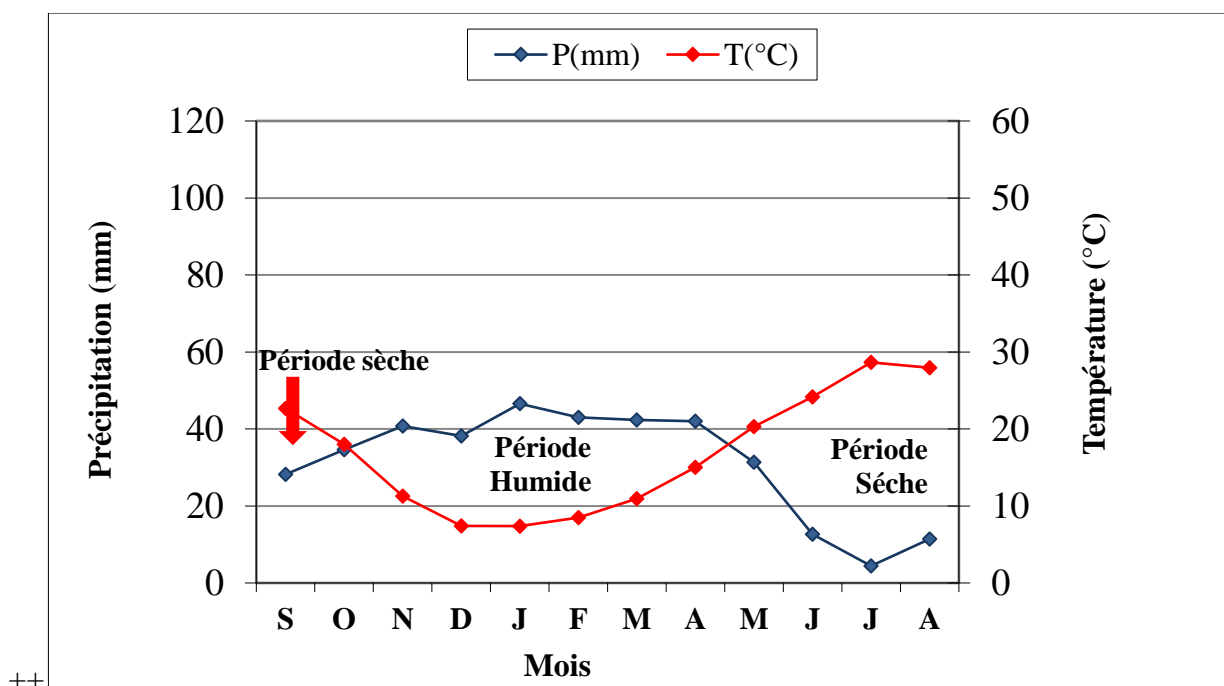


Fig. 12 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

D'après la courbe Ombro-thermique de la station d'Ain Bouchékif on distingue deux périodes:

Une période humide : S'étend du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai.

Une période sèche : Couvre le reste des mois de l'année de Mai jusqu'à Septembre.

2.4. Type de climat :

2.4.1. Indices Climatiques :

2.4.1.1. Climato gramme d'Emberger :

En vue de classer le bioclimat de notre région d'étude. Nous avons utilisé la méthode d'Emberger (1955).

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat.

Les limites de séparation entre les différents étages climatiques restent encore imprécises. Il est intéressant de signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot. Mais plutôt de bandes de transition mixte. À ce titre Emberger a bien précisé que sur le diagramme. Les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé (**in Araria N. et Khelifa K., 2015**).

Le quotient d'Emberger est spécifique au climat méditerranéen. Il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Le quotient Q_2 a été formulé de la façon suivante :

$$Q_2 = [2000P / M2 - m2].$$

La valeur $(M + m)/2$ du fait de son expression en degrés Kelvin (K°) varie peu. Stewart (1969) l'assimile à une constante $k = 3.43$. D'où le quotient Q_3 , $m = 7.39^\circ C$, $M = 28.65^\circ C$.

$$Q_3 = 3.43 \times [P / M - m] = 60.58$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm).

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud ($^\circ C$).

m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid ($^\circ C$).

Q₂: Quotient d'Emberger.

Q₃: Quotient d'Emberger.

Le quotient **Q₃** de la zone d'étude est égal à **60.58** calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période de 32 ans (1986-2018).

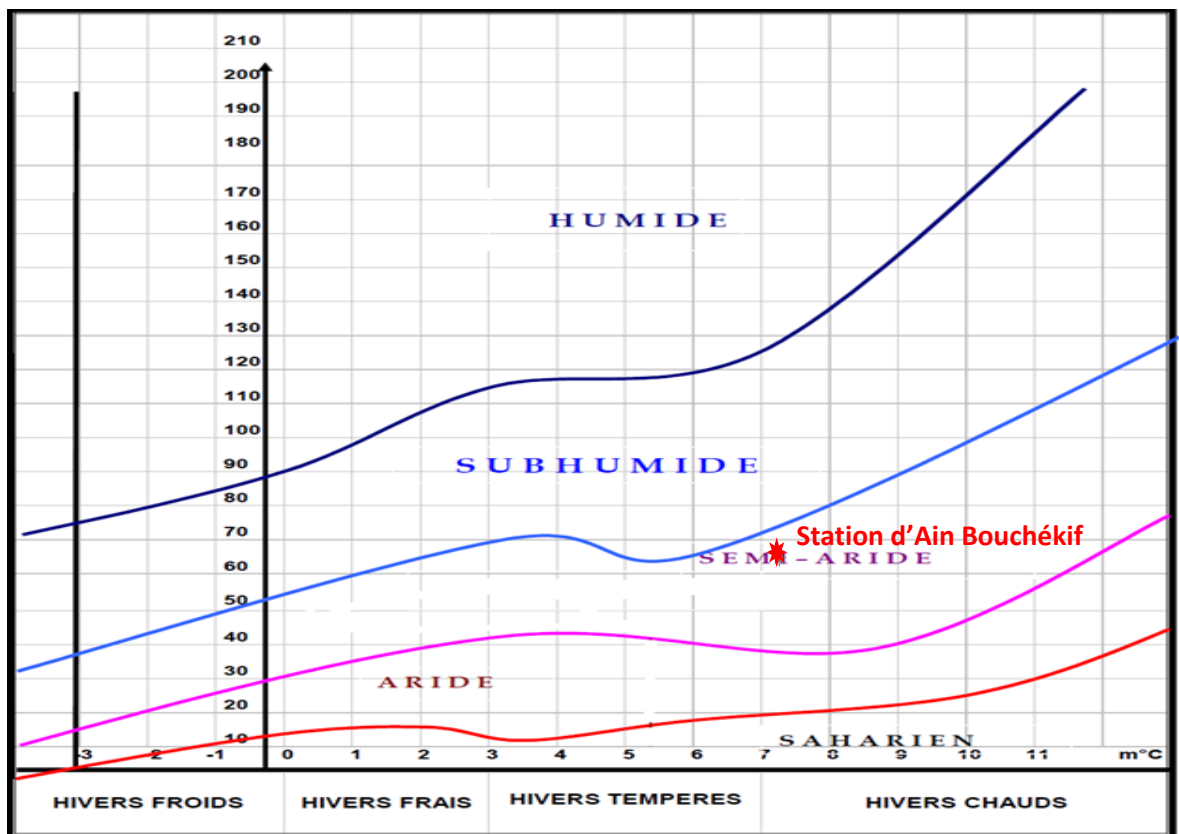


Fig. 13 : Position de la zone d'étude dans le climato gramme d'Emberger.

2.4.1.2. Indice d'aridité de De Martonne :

De Martonne (1926) a défini un indice d'aridité utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse nous avons identifié le type de climat de la station météorologique à l'aide de la formule suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

Le tableau ci-dessous (tableau. 09). Résume l'ensemble des étages bioclimatique en fonction de la valeur d'indice d'aridité.

Tab.09: Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et le type de bioclimat correspondant (in Chaib A. et Soudani M., 2015).

Valeur de l'indice	Type de bioclimat	Valeur de l'indice	Type de bioclimat
0-5	Hyper-aride	20-30	Sub-humide
5-10	Aride	30-55	Humide
10-20	Semi-aride	>55	Hyper-humide

D'après le résultat obtenu, le climat de la zone d'étude est **semi-aride** sec et à écoulement temporaire.

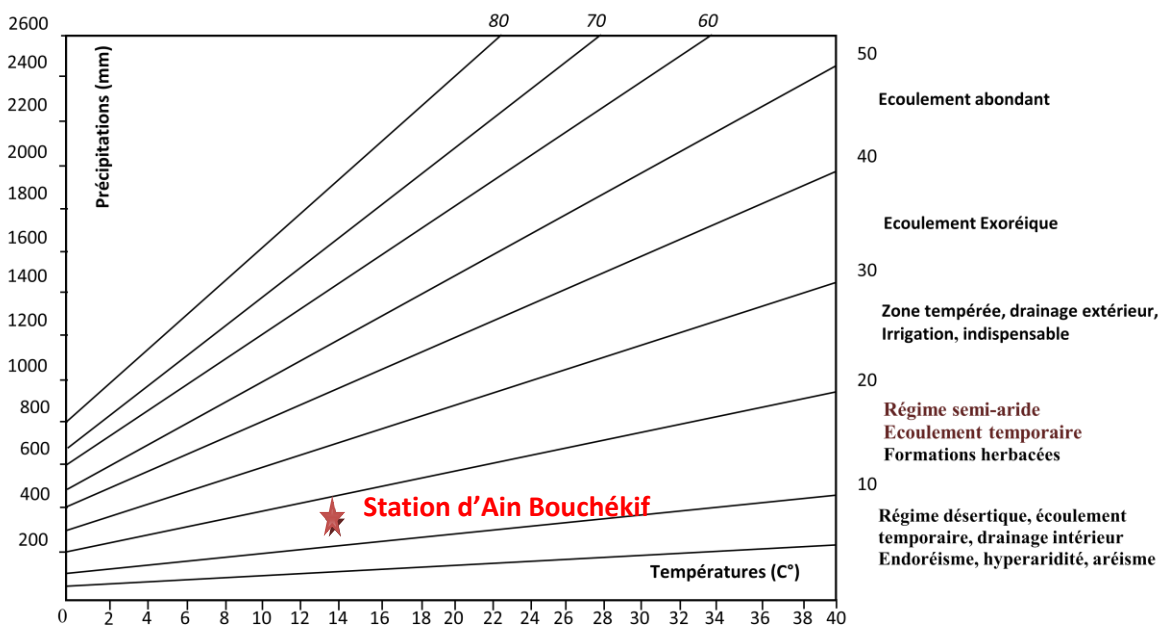


Fig. 14: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

2.5. Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique est l'étude comparée de la lame d'eau précipitée sur une surface donnée et des différentes formes de transfert de cette eau : soit par écoulement, Infiltration ou évaporation.

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation suivante (**Castany., 1982**) :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle en (mm).

ETR : Évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

2.5.1. Étude de l'évapotranspiration :

Selon Musy 2005, l'évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur.

La somme de toutes les pertes par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau nous donne l'évapotranspiration. Cette dernière s'exprime en épaisseur d'eau évaporée pendant un certain temps (**in Saad A., 2017**).

a. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'ETP est calculée par la formule de C.W Thornthwaite (1948). Qui utilise la température de l'air et la latitude de la station. Et qui est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = (10T/I)^a K$$

Tel que :

T : Température moyenne mensuelle en degré Celsius.

ETP : Évapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.

K : Coefficient de correction de la latitude.

I : Indice thermique mensuel.

a : Constante fonction de l'indice thermique annuel :

$$a = \left[\frac{1.6}{100} \right] I + 0.5$$

$$I = \sum i \quad \text{avec :}$$

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

b. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'ETR représente la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les végétaux.

On utilise la méthode de C.W.Thornthwaite. Pour calculer l'évapotranspiration réelle. On distingue deux principaux cas :

1^{er} cas: Si $P - ETP > 0$; c.-à-d : $P > ETP$. Dans ce cas $ETR = ETP$.

2^{eme} cas: Si $P - ETP < 0$; c.-à-d : $P < ETP$. Ce cas est subdivisé en deux cas :

a- si $P + RFU > ETP$ \Rightarrow $ETR = ETP$.

b- si $P + RFU < ETP$ \Rightarrow $ETR = P + RFU$.

Le tableau suivante (bilan hydrique) est résumé les résultats des calculs. L'ETR peut être déterminé par la formule de turc (1954) :

$$ETR = P / \sqrt{0.9 + P^2/L^2}$$

Avec :

- ❖ **ETR** : Évapotranspiration réelle annuelle en (mm).
- ❖ **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- ❖ **L** : Paramètre exprimant le pouvoir évaporant de l'atmosphère :
- ❖ $L = 300 + 25t + 0.05t^3$; $t = 16.86$ °C ; $L = 961.13$.

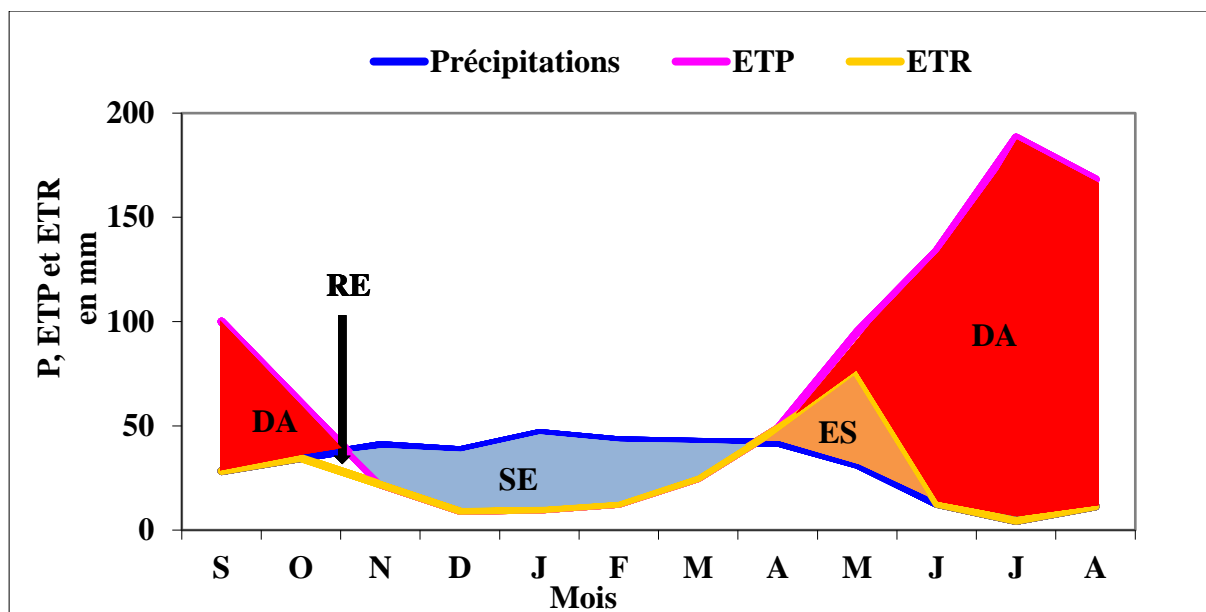
$$ETR = 366.02 \text{ mm/an.}$$

Tab. 10 : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite à la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Mois	T (°C)	IT	CL	ETP	P (mm)	BH	RFU	ETR	DA	Exc
S	22,67	9,86	1,03	100,01	28,25	-71,76	0,00	28,25	71,76	0,00
O	18,03	6,97	0,97	60,81	34,62	-26,19	0,00	34,62	26,19	0,00
N	11,28	3,43	0,86	22,01	40,74	18,73	18,73	22,01	0,00	0,00
D	7,41	1,81	0,81	9,29	38,21	28,92	47,64	9,29	0,00	0,00
J	7,39	1,81	0,87	9,93	46,55	36,62	50,00	9,93	0,00	34,27
F	8,5	2,23	0,85	12,67	43	30,33	50,00	12,67	0,00	30,33
M	10,95	3,28	1,03	24,91	42,34	17,43	50,00	24,91	0,00	17,43
A	15,02	5,29	1,10	48,65	41,99	-6,66	43,34	48,65	0,00	0,00
M	20,3	8,34	1,21	95,14	31,34	-63,80	0,00	74,68	20,47	0,00
J	24,18	10,87	1,22	133,98	12,63	-121,35	0,00	12,63	121,35	0,00
J	28,65	14,06	1,24	188,28	4,43	-183,85	0,00	4,43	183,85	0,00
A	27,97	13,55	1,16	168,23	11,44	-156,79	0,00	11,44	156,79	0,00
Annuel	16,86	81,50	-	873,93	375,54	498,39	-	293,52	580,41	82,02

Avec :

- T : Température mensuelle en °C.
- P : Précipitation moyenne mensuelle en (mm).
- IT : Indice thermique.
- RFU : Réserve facilement utilisable en (mm).
- CL : Coefficient d'ajustement de la latitude.
- ETR : Évapotranspiration réelle en (mm).
- ETP: Évapotranspiration potentielle en (mm).
- DA : Déficit agricole en (mm).
- BH: Bilan Hydrique.
- Exc: Excédent en (mm).



Légende :

- Déficit agricole.
- Surplus d'eau.
- Epuisement du sol en eau.
- Recharge du stock.
- ETP** : Évapotranspiration potentielle en mm.
- ETR** : Évapotranspiration réelle en mm.
- P** : Précipitation en mm.

Fig. 15: Bilan hydrique de Thornthwaite de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

2.5.2. Interprétation du bilan hydrique :

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite pour la station d'Ain Bouchékif durant la période 1986 à 2018 a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (**188.28 mm**) et son minimum au mois de Décembre (**09.29 mm**) .

La constitution de la RFU débute au mois de Novembre et s'étale jusqu'à le mois d'Avril.

Le déficit agricole est évalué à 580.41 mm. Avec un excédent estimé à 82.02 mm qui apparait durant les mois de Janvier, Février et Mars.

2.5.3. Déficit agricole (DA) :

Représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse. On peut déterminer avec la formule suivante : **DA= ETP-ETR**

2.5.4. L'excédent (Exc) :

L'excédent ou le surplus est calculé par la formule suivante : **Exc= P-ETR**

2.6. Bilan hydrologique :

2.6.1. Estimation du ruissellement :

C'est la quantité d'eau qui s'écoule à la surface du sol. Qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et à l'évapotranspiration. Estimé du ruissellement à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff : $R = P^3 / 3(ETP)^2$

S'il y a P inférieur à 600 mm (P= 375.54mm).

Tel que :

- ❖ **R** : Ruissellement en (mm).
- ❖ **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- ❖ **ETP** : Évapotranspiration potentielle moyenne annuelle en (mm).

2.6.2. Estimation de l'infiltration :

L'infiltration c'est la quantité d'eau absorbée par le sol et sous sol. Pour constituer l'eau de rétention. Des eaux souterraines et des écoulements souterrains. Par la formule du bilan :

$$I = P - (ETR + R).$$

Avec :

- **P** : Précipitation moyenne annuelle en mm.
- **ETP** : Évapotranspiration réelle annuelle en mm.
- **R** : Ruissellement en mm.
- **I** : L'infiltration efficace en mm.

Tab.11 : Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Paramètre	Méthode	Valeur (mm/an) (%)
P	-	375.54 (100%)
ETP	Thornthwaite	873.93
ETR	Turc	366.02 (97.46%)
	Thornthwaite	293.52 (78.15%)
R	Tixeront-Berkaloff	23.11 (6.15%)
I	Thornthwaite	58.91 (15.68%)

D'après le tableau 11, on remarque que la lame d'eau précipitée est égale à 375.54 mm, l'évapotranspiration réelle calculée par la méthode de Thornthwaite est 293.52 mm soit 78.15% des précipitations reprises par l'évapotranspiration et retournent à l'atmosphère. Alors que 6.15 % de cette pluie constitue la lame ruisselée et 15.68% sous forme d'une lame infiltrée qui peut recharger les nappes d'eau de la région.

2.7. Conclusion :

L'étude climatique de la région d'Ain Bouchékif permet d'apprécier les résultats suivants :

La région est caractérisée par un climat semi-aride à hiver frais avec une température moyenne annuelle de 16.86°C.

Elle reçoit une hauteur moyenne de précipitation d'environ 375.54 mm/an pour la station d'Ain Bouchékif durant la période 1986 jusqu'à 2018.

L'exploitation des données météorologiques a mis en évidence deux périodes ; une période sèche et une période humide.

L'analyse du bilan hydrique calculé montre que :

- ❖ L'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle moyenne sont respectivement de 873.93 mm. Soit 232.71% des précipitations et 293.52 mm. Soit 78.15% des précipitations.
- ❖ Le déficit agricole estimé est de 580.41 mm étalé sur la période allant de Mai jusqu'à Octobre. Soit 154.55% des précipitations.
- ❖ Le ruissellement et l'infiltration représentent respectivement 6.15% et 15.68% des précipitations.

Des précipitations saisonnières réparties comme suit :

- L'hiver est le plus pluvieux avec 127.76 mm.
- Le printemps avec 115.67 mm.
- L'automne avec 103.61 mm.
- L'été la saison la moins pluvieuse avec seulement 28.5 mm.

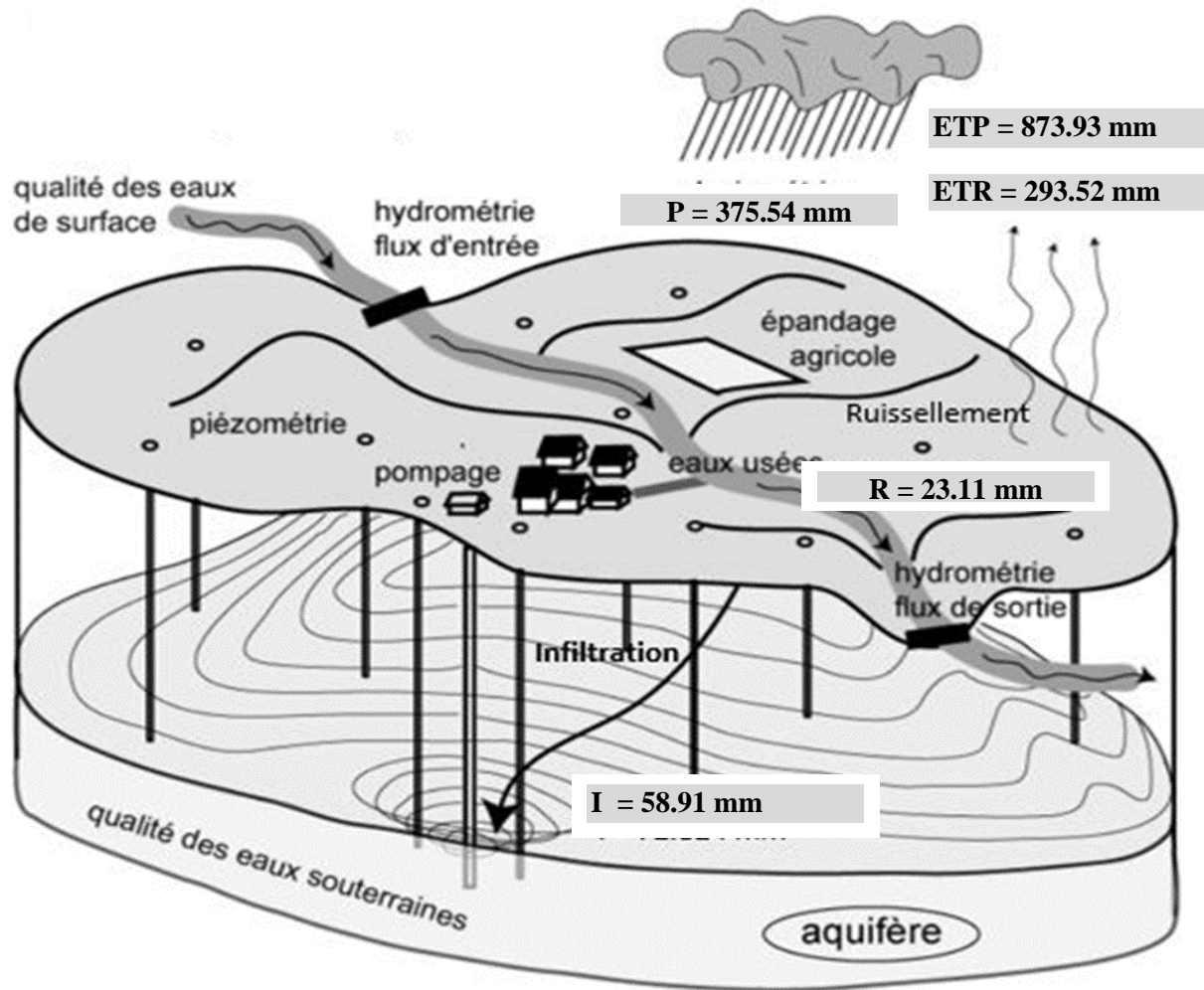


Fig. 16: Schéma récapitulatif des paramètres du bilan hydrique de Thornthwaite de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

Chapitre III : Étude hydrogéologique

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif.**

1. Introduction :

L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface (D'après Frédéric P. et al., 2010).

Le rôle de l'hydrogéologie est de déterminer l'origine des eaux souterraines et leur répartition dans les couches de la terre, ainsi que leurs écoulements et leurs équilibres.

2. Contexte hydrogéologique:

2.1. Contexte hydrogéologique général :

Sur le plan spatial, le contexte hydrogéologique correspond pratiquement à toute la partie Ouest et Nord Ouest du plateau du Sersou ainsi que les zones montagneuses qui bordent ce plateau notamment :

-Djebel Guezoul au Nord Ouest.

-Djebel Nador, Djebel Ben En Nsour et Djebel Chemeur qui constituent une chaîne montagneuse s'étendant du Sud Ouest vers l'Est Nord Est.

Entre les extrémités Ouest des Djebels : Guezoul et Nador et suivant une direction Nord-Sud, se situe approximativement la ligne de partage des eaux de surface et très probablement celles des eaux souterraines également (in Benzghouda M., 2015).

2.1.1. Aperçu générale sur les aquifères :

a. Région de Tiaret :

Tab.12 : Présentation des unités hydrogéologiques (Région de Tiaret).

Wilaya	Bassin versant	Sous-bassin versant	Oueds
Tiaret	Cheliff, (01)	O. Mina Amont O. Torada O.Ouassel Amont O.Taht O. Abed Amont	O. Mina Amont O.Aïoun O.et trat O.El Ferche O. Bou skif

a.1. Limites et extension :

La région de Tiaret est une unité limitée à l'Est par le plateau du Sersou, au Sud par l'Oued Soussellem et Djebel Nador à l'Ouest par Plateau Saida et au Nord par l'Oued haut Mina.

a.2. Aperçu géologique :

La partie centrale de cette unité hydrogéologique est composée de Crétacé supérieur (Coniacien et Santonien) principalement formée par des calcaires tandis que les parties Nord et Nord-Est extrême sont composés de grès et poudingues du Miocène moyen et supérieur (Vandobonien).

a.3. Types des aquifères :

Aq 1. L'aquifère discontinu a la roche carbonatée – calcaires. L'aquifère est libre et captif, porosité fissurée, perméabilité moyenne $K > 10^{-4}$ m/s.

Aq 2. L'aquifère de grès aquifères discontinus et continus, perméabilité faible.

a.4. Extension des aquifères :

Aq 1. Cet aquifère s'étend dans la partie centrale de l'unité dans la zone des communes de Tiaret et Frenda. Sa superficie est 1120.41 km² avec une profondeur de 30 m.

Aq 2. L'aquifère est développé dans la partie extrême au Nord de l'unité, au Nord des alluvions d'Oued Nahr Ouassel. Avec une profondeur de 2 à 3 m.

b. Plateau du Sersou :

Tab.13 : Présentation des unités hydrogéologiques (Plateau du Sersou).

Wilaya	Bassin versant	Sous-bassin versant	Oueds
Tiaret	Cheliff 01	O. Mechti Zerga O. Ouassel Moyen O. Soussellem	O. Nahr Ouassel O. Souffag O. Mechti O. Soussellem O. Bou skif

b.1. Limites et extension :

Le Plateau du Sersou est limité au Nord par le Massif de l'Ouarsenis, à l'Ouest par le Plateau de Saida, à l'Est par la Plaine de Nahr Ouassel et au Sud par le Djebel Nador. Plateau du Sersou, Oued Soussellem, Djebel Ben Hammade et Oued Touil constituent un complexe d'unité hydrogéologique.

b.2. Aperçu géologique :

Les grès-calcaires et les dolomies (Crétacé et Jurassique) ayant la structure tabulaire et les fractures sont recouverts par les marnes du Miocène inférieur et dépôts détritiques continentaux du Mio-Pliocène et du Quaternaire. Le Trias souligne les failles.

b.3. Types des aquifères :

Aq 1. Sur tout le plateau la nappe libre et captive – dépôts Quaternaires (sables, argiles, graviers) un aquifère peu profond avec $K = 10^{-4}$ - 10^{-6} m/s.

Aq 2. L'aquifère libre et captif du Miocène inférieur de faible perméabilité est exploité par de nombreux puits et forages.

Aq 3. Calcaires du Crétacé supérieur (Coniacien et Santonien) constituent un aquifère libre et captif avec $K = 10^{-5}$ - 10^{-7} m/s.

Aq 4. Un aquifère aux calcaires dolomités du Jurassique supérieur (Tithonien) $K = 10^{-5}$ m/s.

- Superficie des aquifères : 2215.02 km².

b.4. Extension des aquifères :

Aq 1. Plateau du Sersou. Avec une puissance de 1 à 10 m et une profondeur de 10 à 25 m.

Aq 2. Partie Nord du plateau. Avec une puissance de 10 à 30 m.

Aq 3. Partie SW du plateau. Avec une puissance de 10 à 35 m et une profondeur de 0.3 à 17 m.

Aq 4. Partie Sud du plateau. Avec une puissance plus de 100 m c'est un artésien (ANRH, 2008).

3. Identification des aquifères de la zone d'étude :

Les forages de la zone d'étude (Dahmouni F1, Bouchekif F4, Biben Mesbah), et (Dahmouni F2, Dahmouni F4, ITGC F1) existants sont réalisés dans la zone ainsi que sur les données géophysiques mettant en évidence la présence de deux aquifères :

Aq 1. L'aquifère libre et captif des dépôts alluviaux l'Oued Nahr Ouassel (ANRH, 2008).

D'après les données acquises qui confirment l'existence des bonnes potentialités en eau souterraine dans la région d'étude.

Aq 2. Un aquifère aux calcaires du Crétacé Supérieur (Coniacien, Santonien) ainsi les grés du Miocène inférieur et Miocène moyen et supérieur c'est un aquifère mixte (perméabilité d'interstices et de fissures).

Les potentialités hydriques de cet aquifère varient entre moyennes et faibles.

3.1. Interprétation des données de forages de la zone d'étude :

Le tableau suivant présente une synthèse sur les forages de la zone étudiée.

Tab.14 : Synthèse des données relatives aux forages de la zone d'étude
(DREW. Tiaret, 2015).

Dénomination	XUTM	YUTM	Prof (m)	Niveau statique (m)	formation captée
Biben Mesbah	355 637,87	3 906 106,60	150	25,3	Calcaires fissurés
Ain Mesbah	362 536,58	3 905 287,12	100	21	Alluvions, sables, et calcaires gréseux
Kherba F2	368 054,36	3 910 973,27	140	16,36	calcaires fissurés
Boucekif F5	368 951,48	3 910 269,63	122	46	Alluvions et calcaires fissurés
Bouazza F2	368 400,70	3 910 021,17	140	32,5	Alluvions
Dahmouni F4	365 279,74	3 920 351,49	155	0	Grès fins
ITGC F1	373 393,15	3 924 608,73	84	14	Grès fin et moyen
Dahmouni F1	362 032,06	3 921 340,95	100	12,4	Grès
Dahmouni F2	361 277,08	3 919 642,84	150	0	Calcaires fissurés
Sebaine F2	372 634,68	3 921 710,54	107	1,9	Grès moyen
Ain Boucekif F4	361 900,73	3 910 339,62	120	31,35	Alluvions et calcaires fissurés

La répartition spatiale des forages du secteur et leur localisation d'une part dans chacune des nappes les calcaires du Crétacé, les grés du Miocène et les alluvions, les croûtes calcaires de Quaternaire et d'autre part à la limite entre celles-ci, nous permet de faire les observations suivantes:

3.1.1. Les forages captant les calcaires du Crétacé :

Le niveau statique très proche de la surface du sol (Biben Mesbah, Kherba F2, Boucekif F5, Bouazza F2). Leurs débits spécifiques varient entre 3 l/s à 7 l/s.

3.1.2. Les forages captant les grés du Miocène :

Ils sont artésiens ou avec un niveau statique très proche de la surface du sol (Dahmouni F1, Dahmouni F2, Dahmouni F4).

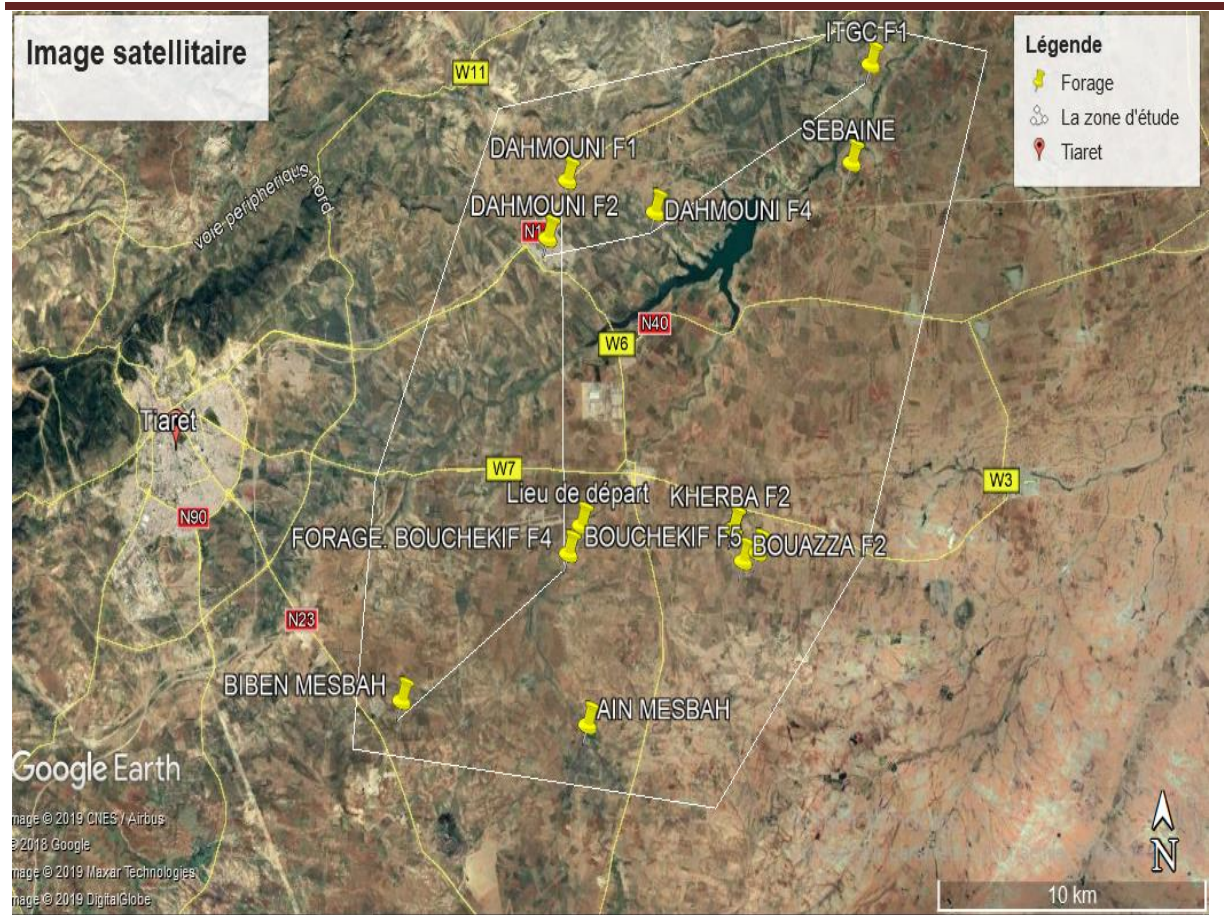


Fig. 17 : Image satellitaire Google Earth montrant la répartition des points d'eau dans la zone d'étude (Date de prise d'image 15/06/20)

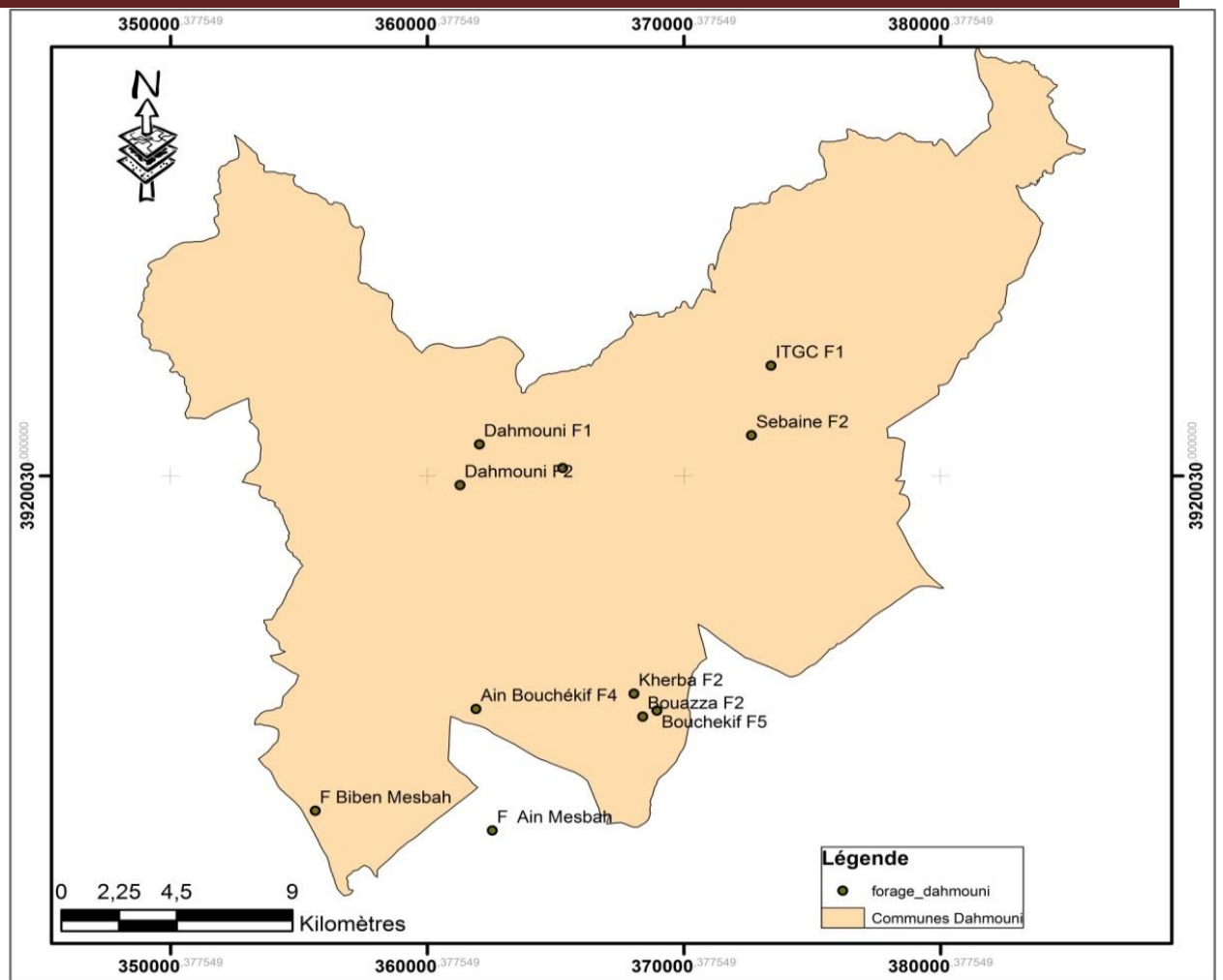


Fig. 18 : Carte de la répartition des forages d'eau dans la zone d'étude.

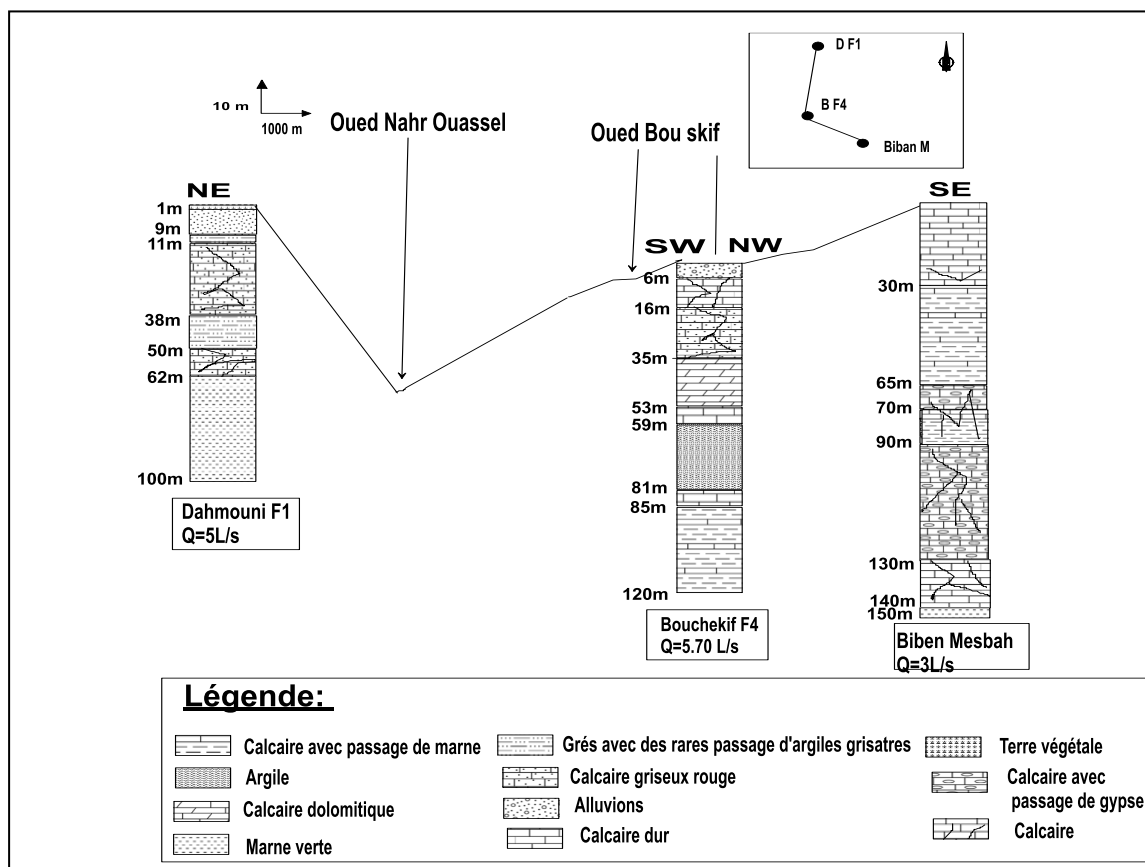
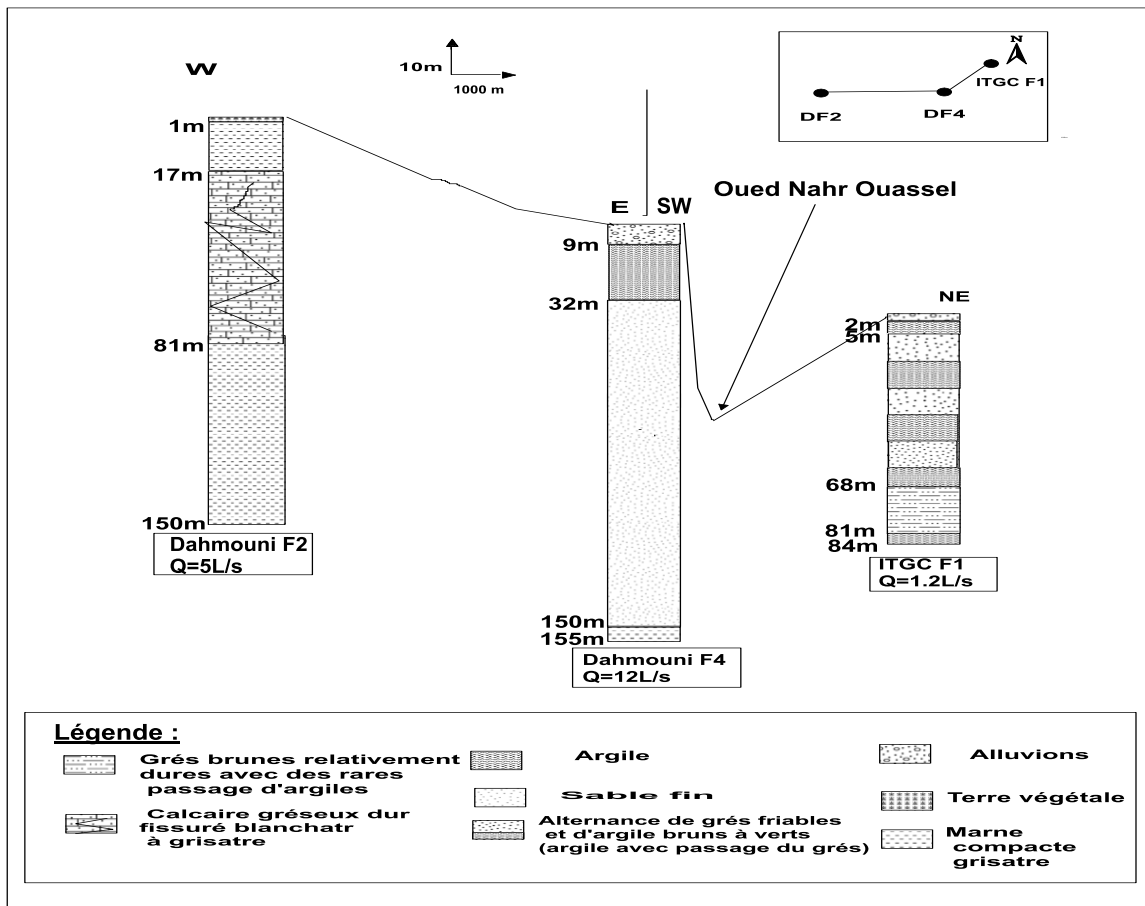


Fig. 19 : Coupe schématique de corrélation des forages de la zone d'étude (D'après Gouas R. & Medjouel F., 2019).

Selon la figure 19 des deux coupes hydrogéologiques schématiques de corrélation réalisées, et vu la distance qui sépare les points pris en considération lors de l'établissement de ces coupes aussi l'existence de failles déterminées (voir la carte géologique de la figure 07) au niveau de la zone d'étude qui peut expliquer le décalage de niveau entre les horizons aquifères (il s'agit d'un milieu hétérogène) ce qui explique le manque de corrélation claire entre les logs stratigraphiques des forages de la région d'Ain Bouchékif.

Tab.15: Log hydrogéologique de la zone d'étude (Gouas R. & Medjouel F., 2019).

Stratigraphie	Lithologie	Hydrogéologie
Quaternaire	Sables limoneux et croute calcaire	Bonne perméabilité
Vandobonien	Grés et poudingues	Bonne perméabilité
Miocène inférieur	Grés et marnes grises	Semi-perméable
Coniacien et Santonien	Calcaires fissurés	Bonne perméabilité

A partir de cette analyse hydrogéologique menée par observation des logs stratigraphiques de forages de la zone d'étude qui nous ont permis de constater qu'on a deux nappes :

-L'une superficielle libre : qui est formés principalement par des alluvions du Quaternaire (Oued Nahr Ouassel).

-L'autre profonde captive : qui est constitués de calcaires fissurés et grés du Crétacé Supérieur et du Miocène.

3.2. Les nappes de la zone d'étude :

3.2.1. La nappe d'Oued Nahr Ouassel :

L'Oued Nahr Ouassel prend sa source dans la région de Dahmouni (Tiaret), ensuite il se dirige vers l'Est en passant au Sud de Tissemsilt pour rejoindre l'Oued Touil et forme ainsi l'Oued Ouerk. Il est limité au Nord par les Djebels Guerouaou, et RedjemGana, à L'Ouest par la région de Tiaret, au Sud par la plaine du Sersou, et à l'Est par la plaine de Nahr Ouassel (in Aichouch F. et al., 2017).

Tab.16 : Présentation des unités hydrogéologiques (Oued Nahr Ouassel).

Wilaya	Bassin versant	Sous-bassin versant	Oueds
Tiaret	Cheliff, (01)	O. Ouassel Amont	O. Nahr Ouassel

a. Limites et extension :

Cet aquifère est situé au Nord du plateau du Sersou le long de la plaine alluviale de l'Oued Nahr Ouassel.

b. Aperçu géologique :

Les dépôts alluviaux sont formés autour des cours d'eau de Nahr Ouassel. L'épaisseur de ces sédiments Quaternaires dépasse rarement 20 m. L'aquifère alluvial est composé principalement de gravier, sables avec argiles et limons.

c. Types des aquifères :

Aq 1. L'aquifère libre et captif des dépôts alluviaux l'Oued Nahr Ouassel. Sa superficie est 39.55 km², avec une puissance de 20 m, une profondeur de 2.0 à 4.0 m et une capacité des ouvrages existants de 1.0 l/s (ANRH, 2008).

3.2.2. La nappe profonde :

On appelle nappes profondes tous les aquifères contenus dans les formations grossières du Coniacien - Santonien - Vandobonien.

Ces nappes superposées sur des profondeurs qui atteignent 100 m et plus, circulent dans des calcaires, grés et séparées par des couches de marnes et d'argile.

L'inventaire sur terrain montre que ces nappes profondes sont captées par une dizaine de forages dont la profondeur varie de 84 à 155m.

Les ouvrages de captages possèdent des débits qui varient de 1.2 l/s à 12 l/s.

Le meilleur forage captant cette nappe est celui de Dahmouni (F4) au Sud-Est de Dar el Hassi (la rive gauche d'Oued Nahr Ouassel par rapport à son amont), a recoupé sur 155 mètres des formations de remplissages fin grossiers, avec un débit de 12 l/s. selon la carte géologique interprétative de Tiaret établi par l'ANRH en 2008.

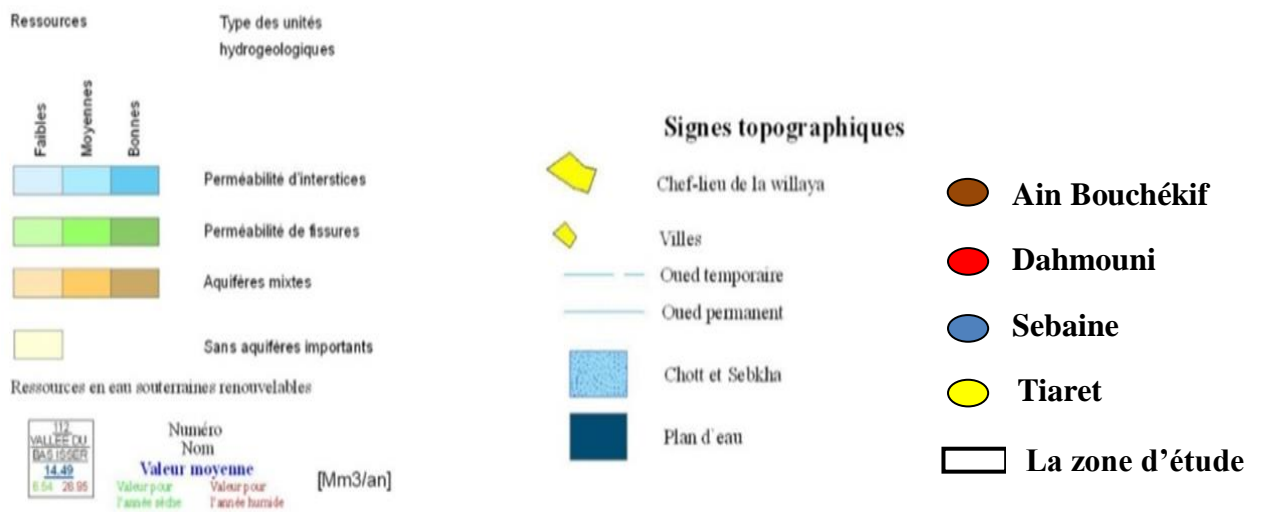
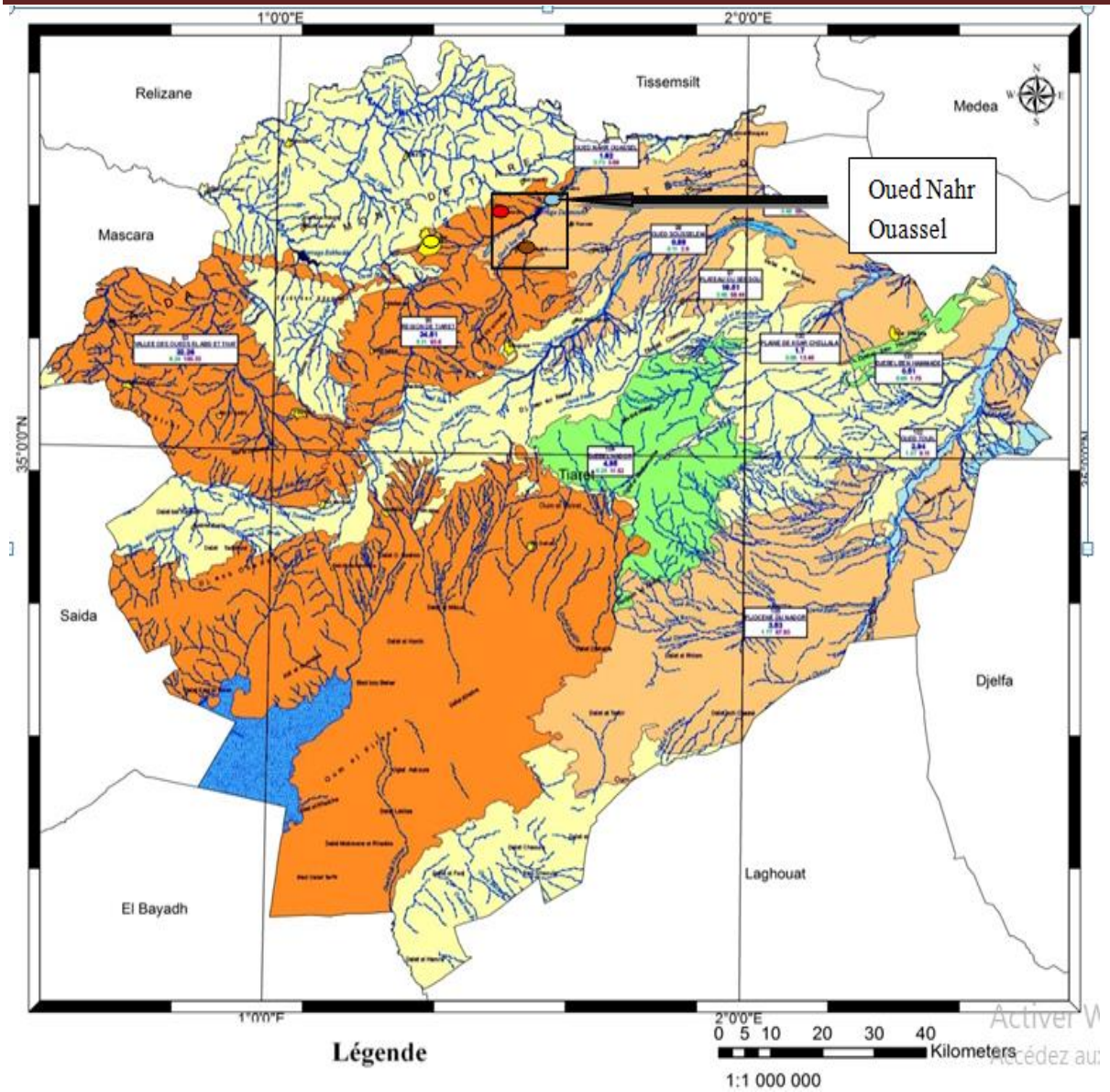


Fig. 20 : Carte hydrogéologique des bassins de la wilaya de Tiaret (ANRH, 2011 modifié, 2019).

4. Conclusion :

Les seules ressources hydriques disponibles dans notre zone d'étude sont les eaux souterraines et les eaux superficielles (Oued Nahr Ouassel).

Les aquifères de la vallée d'Oued Nahr Ouassel sont contenus dans des formations de nature différente. Dans cette étude, il ressort que la vallée d'Oued Nahr Ouassel est occupée par un remplissage alluvionnaire formé essentiellement par les sables limoneux, galets, blocs, cailloux, et graviers.

Sur le plan hydrogéologique, la région d'étude présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Crétacé au Quaternaire, comportant deux nappes qui se superposent, l'une superficielle est exploitée par la nappe libre et captif des dépôts alluviales de l'Oued Nahr Ouassel, ainsi la nappe profonde est exploitée aussi par des forages peu profonds varient de 84 m à 155 m.

Le substratum est représenté par des formations calcaires, grés et séparées par des couches de marnes et d'argiles.

La recharge des nappes se fait de deux manières, directe par les eaux de pluie et indirecte par l'existence des échanges inter-nappes (par drainance) ou par Oued Nahr Ouassel.

Chapitre IV :

Vulnérabilité et protection des eaux souterraines

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif.**

1. Introduction :

La plupart des eaux souterraines provient d'eau qui a percolé en premier lieu à travers le sol et ensuite la roche sous-jacente. Le sol élimine de nombreuses impuretés et la roche au travers de laquelle l'eau s'écoule, parfois durant des milliers d'années, continue le processus de filtration et de purification. L'eau réapparaît donc en général à la surface en étant débarrassée de tout micro-organisme pathogène, ce qui explique l'exploitation croissante des ressources d'eaux souterraines.

En d'autres termes, la composition des eaux souterraines résulte à la fois de la composition minéralogique des roches aquifères (roches et sols traversés au cours de leur infiltration) et notamment, de leurs éléments solubles dont elles reflètent la géographie, la durée de séjour et donc les trajectoires et les vitesses de déplacement de l'eau ainsi que les conditions climatiques (**in Quevauviller P., 2010**).

2. Concept de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution :

2.1. Notion de vulnérabilité à la pollution :

Le concept de vulnérabilité des eaux souterraines a été introduit par Margat à la fin des années 60 (**Margat, 1968**). Il se base sur le fait que les écosystèmes compris entre la surface terrestre et les aquifères protègent naturellement les eaux souterraines contre les pollutions d'origine humaine, animale ou naturelle. Partant de ce postulat, le terme de « vulnérabilité des eaux souterraines » est défini comme étant le contraire de « protection naturelle contre les pollutions ».

Cette protection est possible grâce à différents mécanismes d'atténuation des pollutions qui peuvent se produire durant le parcours de la substance polluante dans le système. Ces mécanismes sont entre autres la dispersion, la filtration, la sédimentation, la dilution, l'absorption / désorption, la biodégradation, la volatilisation et la dégradation chimique (**in Hamza. et al., 2007**).

La vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine à la pollution est fonction des facteurs de défense naturelle du sol et de l'aquifère non saturée (épaisseur, perméabilité...) sur montant la nappe qui déterminent la plus au moins grande facilité d'accès verticale à cette nappe (**in Roux JC., 2006**).

Véhiculé depuis l'eau des précipitations qui s'infiltré à la surface du sol, le contaminant percole ainsi à travers la zone non saturée (vadose) jusqu'à atteindre la zone saturée. Certains auteurs l'ont défini comme une propriété intrinsèque des aquifères ; d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terrains de surface (**in Aichouch F. et al., 2017**).

Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité:

La vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique (Schenbelen. et al., 2002, in Hamza. et al., 2007). Le premier terme est utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui détermine la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les actions humaines. Le deuxième est celui utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant ou à un groupe de polluants. La vulnérabilité spécifique prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque (in Hamza. et al., 2007).

2.1.1. Les critères de vulnérabilité :

2.1.1.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque :

La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration de la contamination, soit sur son temps de transfert. L'ensemble des critères de vulnérabilité rencontrés dans la littérature sont exposés ci-dessous.

2.1.1.1.1. Critères relatifs au sol :

- **Ruissellement – infiltration :** Le ruissellement et l'infiltration efficace (quantité d'eau s'infiltrant jusqu'à la nappe) sont représentatifs de la recharge de la nappe. Ils sont étroitement liés à la topographie et à la nature des formations superficielles.
- **Couverture Pédologique :** La nature, la texture, la teneur en argiles et en matière Organique, ainsi que la puissance (ou épaisseur) (in Miguel EdilasioA. et Paim Paulo J., 2015).

2.1.1.1.2. Critères relatifs à la zone non saturée :

- **Profondeur de la nappe libre :** L'épaisseur de la zone non saturée conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe (rétention, stockage, interactions physico-chimiques avec l'encaissant).
- **Amplitude de battement de nappe :** Elle peut devenir un critère de vulnérabilité dans la mesure où elle est significative (l'amplitude de battement de la nappe, conditionne L'épaisseur du recouvrement de la nappe).
 - **Perméabilité verticale de la zone non saturée :** Elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe.
 - **Structure de la ZNS :** Les variations de faciès, l'épaisseur des discontinuités de faciès et leur position dans le profil vertical, la texture, la teneur en matières organiques.

2.1.1.1.3. Critères relatifs à la zone saturée :

- **Type de nappe (libre ou captive) :** L'absence d'horizon imperméable entre la surface et le toit d'une nappe libre lui confère un caractère plus vulnérable qu'une nappe captive protégée par des formations imperméables.

- **Paramètres hydrodynamiques des formations aquifères (T, K, S, i) :** Ils déterminent la vitesse de migration des polluants dans la nappe et les temps de résidence de ceux-ci dans la zone saturée.
- **Piézométrie :** Elle rend compte de la géométrie de la nappe et de son fonctionnement hydrodynamique qui peuvent évoluer au cours d'un cycle hydrologique complet.
- **Direction et sens d'écoulement :** Ils déterminent les espaces susceptibles d'être atteint par un polluant une fois que celui-ci a atteint la nappe.
- **Type de système hydrogéologique :** La vulnérabilité d'un système hydrogéologique peut être appréhendée à partir de la connaissance de sa réactivité aux impulsions pluviométriques. Un système au caractère transmissif fort se caractérise par des temps de transfert rapides des eaux depuis la surface vers la zone saturée et par de faibles temps de séjour.
- **Relations nappe/cours d'eau :** Les relations entre les eaux superficielles et les eaux souterraines peuvent être de deux types, drainage ou alimentation, et conditionnent la possibilité de contamination des eaux souterraines à partir des eaux superficielles.
- **Epaisseur de l'aquifère (quantité de réserve) :** La quantité d'eau stockée dans l'aquifère détermine les conditions de dilution d'un polluant ayant atteint la nappe.

2.1.1.2. Critères de vulnérabilité spécifique :

Le comportement du polluant potentiel (milieu fixe) dépend des caractéristiques du milieu, mais également des propriétés physico-chimiques et biologiques du composé lui-même (réactions acides bases, d'oxydoréduction, de désorption, biodégradation, synthèse cellulaire, diffusion, évaporation, filtration, transport de germes,...).

2.1.1.2.1. Capacités dispersives et épuratoires des sols : Concerne les propriétés auto épuratoires des sols.

2.1.1.2.2. Qualité du réseau hydrographique : Sa vulnérabilité et la qualité de ses eaux, le réseau hydrographique peut être vecteur de contaminations vers les eaux souterraines.

2.1.1.2.3. Typologie de l'occupation du sol : L'occupation du sol conditionne les volumes et la nature des polluants potentiels (forêt, cultures, élevage, habitat, tissu industriel, etc....) (in Miguel Edilasio A. et Paim Paulo J., 2015).

3. Cartographie de vulnérabilité:

3.1. Objet de cartographie :

La sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une pollution qui a déjà atteint la nappe, à partir de la zone non saturée ou d'un ouvrage d'eau souterraine (puits, forage, etc...).

L'objectif d'une carte de la vulnérabilité d'un système en eau souterraine à la contamination est de fournir le potentiel et le degré de risque de contamination, mais aussi le degré des conséquences possibles d'une contamination, de même que les éléments nécessaires, tant pour la prévention que pour les mesures mises en place à la suite d'une contamination. La cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère permet une meilleure gestion de la nappe et des interventions rapides et appropriées en cas de pollution (in Miguel Edilasio A. et Paim P., 2015).

3.2. Classification des méthodes :

La classification des méthodes d'estimation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines peut se faire de multiples façons en fonction:

- Type de vulnérabilité étudiée : intrinsèque ou spécifique.
- L'objet étudié : source ou ressource.
- Du contexte géologique : poreux, karstique, fissuré ou autre.
- Du contexte géographique : pays, environnement naturel, climat.
- Du résultat souhaité : carte de vulnérabilité générale, zones de protection d'une source ou estimation de la vulnérabilité en un point donné.

Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité pourraient être subdivisées en 3 groupes :

- ❖ **Méthodes des systèmes paramétriques** : GOD, EPIK, DRASTIC, SINTACS, CALOD, SI, COP.
- ❖ **Méthodes des relations analogiques et des modèles numériques** : AVI méthodes comparatives:
Selon le type de vulnérabilité (spécifique ou intrinsèque) :
- ❖ **Méthodes de vulnérabilité intrinsèques** : GOD, EPIK, DRASTIC, SINTACS, CALOD, COP et AVI.
- ❖ **Méthodes de vulnérabilité spécifique** : SI

En fonction de l'utilisation ou non de système de pondération pour les facteurs mise en jeu. Utilisation de système de pondération : DRASTIC, SINTACS, SI, CALOD et EPIK. Non utilisation du système de pondération : GOD, AVI et COP.

3.2.1. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité :

L'étude de la vulnérabilité de l'eau souterraine à la pollution est un outil qui permet d'identifier les régions les plus susceptibles à la contamination dans un aquifère donné. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la vulnérabilité des aquifères :

3.2.1.1. Méthode DRASTIC :

Cette méthode a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (**in Schnebelen. et Al., 2002**). Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept critères.

3.2.1.2. Méthode AVI:

Aquifer Vulnerability Index (Canada). Cette méthode cherche à évaluer le temps de transport d'éventuels contaminants en fonction de l'épaisseur de la Z.N.S. Elle a été appliquée en 2005 en étant comparée à l'application de la méthode GOD.

3.2.1.3. Méthode SINTACS :

La méthode SINTACS, développée par Civita (1994) (**in Hamza. et al., 2007**), est la version italienne de la méthode DRASTIC : c'est une adaptation de cette méthode aux conditions méditerranéennes. Cette méthode de vulnérabilité verticale intrinsèque prend en considération les mêmes paramètres que la méthode DRASTIC. Un poids compris entre 1 et 5 est attribué à chacun d'eux, et chaque paramètre est classé en plusieurs classes, dont chacune est associée à une cote variant de 1 à 10. La spécificité de cette méthode par rapport à la méthode DRASTIC est qu'elle propose cinq scénarios différents de vulnérabilité : les scénarios « impact normal » et « impact sévère », scénarios relatifs aux aquifères constitués par des sédiments non consolidés, localisés dans des aires à sols épais, avec une profondeur du plan d'eau qui n'est pas très élevée.

3.2.1.4. Méthode COP :

La méthode «COP» a été développée pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque des aquifères carbonatés dans le cadre du programme COST Action 620 de l'Union Européenne (**Vias. et al., 2002, 2004**) (**in Vias. et al., 2006**). L'acronyme COP correspond aux initiales des trois facteurs utilisés: concentration des flux, couches supérieures et précipitations. La base conceptuelle de cette méthode, en fonction de l'approche européenne (**Daly. et al., 2002; Goldscheider et Popescu., 2004**) (**in Vias. et al., 2006**), est d'évaluer la protection naturelle des eaux souterraines, déterminé par les propriétés des couches situées au dessus de la nappe aquifère ou ce qu'on appelle aussi zone de vadose ou zone non saturée (facteur O), la concentration de l'écoulement (facteur C) et les précipitations au dessus de l'aquifère (facteur P), comme les paramètres de l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines.

3.2.1.5. Méthode CALOD :

La méthode « CALOD » (**Edet., 2004**), a été développée pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque des aquifères sableux des nappes côtières, dans les zones où on trouve des difficultés pour l'obtention des données souvent utilisées par les méthodes de vulnérabilités couramment

utilisées comme DRASTIC, SANTACS,...Elle est applicable par des simples données recueillis à partir des log de forages ou des mesures de terrains.

L'acronyme « CALOD » correspond aux initiales des cinq paramètres mise en jeu : couches argileuses (C). Les couches d'argiles d'épaisseurs variées et à différents niveaux par rapport à la surface de sol, jouent le rôle de la couverture protectrice pour l'aquifère, plus qu'elles sont épaisses, plus le risque de contamination de l'aquifère est réduit, car le contaminant va prendre un temps plus long pour atteindre l'aquifère. Type de l'aquifère (A), épaisseur de la couche de latérite (L) définit l'épaisseur et le type de la zone non saturée (O), profondeur du plan d'eau par rapport à la surface de terre (D). Une valeur numérique, appelée poids paramétrique, comprise entre 1 et 5 (Edet., 2004) est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence. Chaque paramètre est classé en classes associées à des cotes qui varient pour chaque paramètre. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. Une valeur numérique, appelée indice de vulnérabilité CALOD et notée ICALOD, est déterminée ; Elle décrit le degré de vulnérabilité de chaque unité hydrogéologique.

3.2.1.6. Méthode GOD :

Ce système a été développé par Foster en 1987. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée. Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères :

- Type de nappe (Groundwater occurrence).
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Over all aquifer class).
- Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table).

Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère.

3.2.1.7. Méthode SI :

(Susceptibility Index) ou méthode d'indice de susceptibilité est une méthode de vulnérabilité verticale spécifique, développée au Portugal par Ribeiro 2000 (in Hamza. et al., 2007) Pour tenir compte du comportement des polluants d'origine agricole, principalement les nitrates. Cette méthode prend en considération cinq paramètres. Les quatre premiers paramètres sont identiques à quatre paramètres déjà pris en compte dans la méthode DRASTIC :

D : (Depth to water) profondeur du plan d'eau.

R : (Net Recharge) recharge efficace de l'aquifère.

A : (Aquifer media) lithologie de l'aquifère.

T:(Topography) la pente topographique du terrain. Les cotes attribuées aux différentes classes de ces paramètres dans la méthode DRASTIC ont été conservées. Le cinquième nouveau paramètre introduit est le paramètre « occupation des sols (OS) ». La classification utilisée pour ce paramètre est la classification Corine Land Cover (1993) (in Hamza. et al., 2007) (Tableau 17).

Une valeur appelée facteur d’occupation des sols est notée LU, variant de 0 à 100, est attribuée à chaque classe d’occupation des sols. Il est à signaler que les valeurs des cotes attribuées aux classes des différents paramètres ont été multipliées par 10 p pour faciliter la lecture des résultats obtenus, les valeurs des cotes varient par conséquent de 0 à 100, allant du moins vulnérable au plus vulnérable (in Daboussi A., 2009).

L’élaboration de la carte de vulnérabilité, est effectuée par le calcul de l’indice de vulnérabilité (ISI) donnée par la formule :

$$ISI = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Tc \times Tp + Oc \times Op$$

Où : c et p désignent respectivement la cote et le poids des paramètres (in Saad A., 2017)

Les poids attribués aux paramètres SI varient de 0 à 1 selon l’importance du paramètre dans la vulnérabilité (Tableau. 18).

La méthode SI présente cinq degrés de vulnérabilité selon les valeurs des indices obtenus et basée sur la classification de Jourda. et al., 2007 (tableau. 19).

Tab. 17 : Principales classes d’occupation des sols et valeurs correspondantes :

Occupation des sols selon la classification Corine Land Cover	Valeur du facteur d'occupation des sols LU (Land Use Factor)
Décharge industrielle, décharge d'ordures, mines	100
Périmètre irrigués, rizières	90
Carrière, chantier naval	80
Zones artificielles couvertes, zone vertes	75
Cultures permanentes (vignes, vergers, oliviers, etc.,)	70
Zones urbaines discontinues	70
Pâturages et zones agro-forestières,	50
Milieux aquatiques (marais, saline, etc.,)	50
Forêts et zone semi-naturelles	0

Tab. 18: Poids attribués aux paramètres de la méthode SI.

Paramètre	D	R	A	T	OS
Poids	0,186	0,212	0,259	0,121	0,222

Tab. 19 : Indice SI et degré de vulnérabilité (Jourda. et al., 2007).

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Très faible	0-30%
Faible	30-45%
Moyen	45-60%
Elevé	60-75%
Très élevé	75-100%

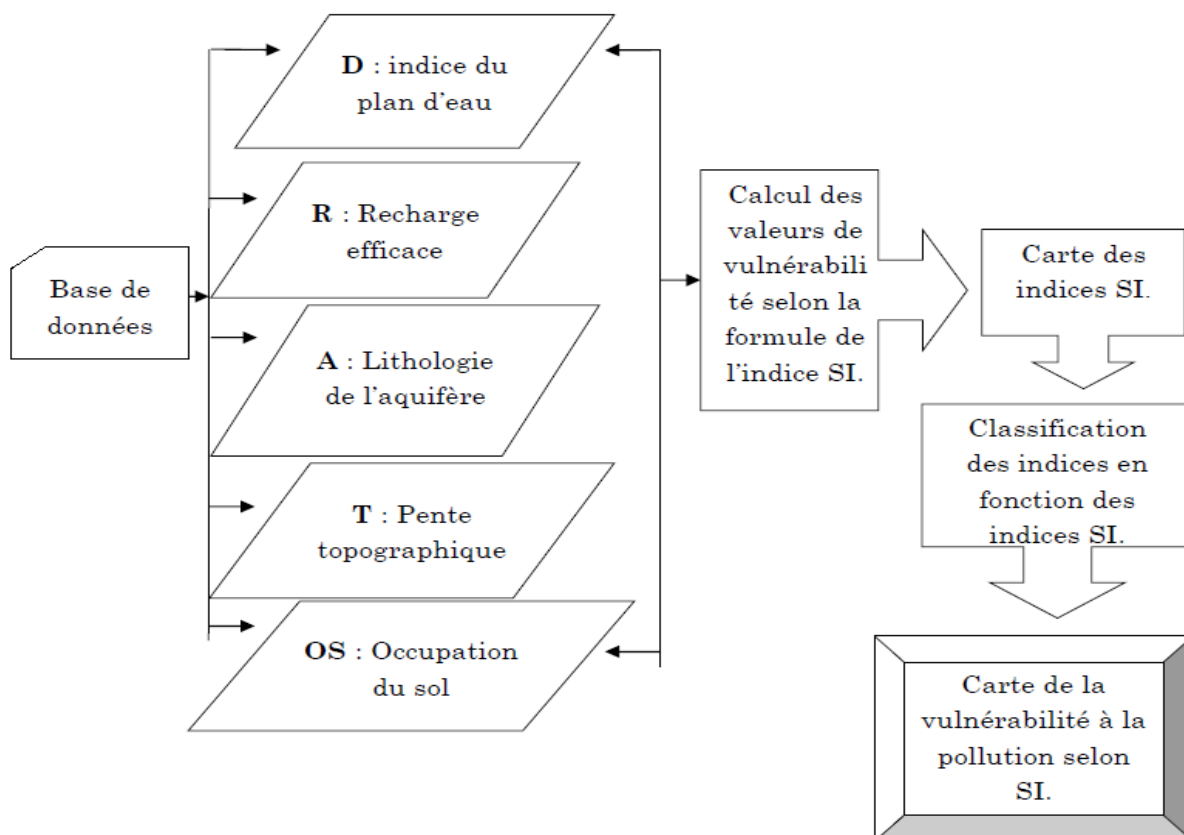


Fig. 21: L'organigramme de la cartographie de la vulnérabilité à partir de la Méthode SI (in Salhi S., 2018).

3.3. Description des paramètres de la méthode SI et réalisation des cartes :

Pour chaque paramètre on a réalisé des cartes thématiques et des tableaux sur les quelles sont délimitées des zones caractérisées par un indice de vulnérabilité partiel du paramètre correspondant. Les quatre premiers sont identiques à celle de la méthode DRASTIC en multipliant les cotes par 10.

3.3.1. Le paramètre « Profondeur de la nappe (D) » :

La profondeur de la nappe représente la distance verticale traversée par un contaminant à la surface du sol pour atteindre la nappe. Généralement, la protection potentielle de l'aquifère augmente avec la profondeur de la nappe.

La carte des profondeurs du plan d'eau a été établie à partir des relevés du niveau statique relatifs aux puits de surface et aux forages implantés dans la région par logiciel Arc Gis 10.2.2.

Tab. 20 : Indices des paramètres calculés selon la méthode SI (DREW.Tiaret, 2019).

Dénomination	XUTM	YUTM	Prof (m)	Niveau statique (m)	formation captée
Biben Mesbah	355 637,87	3 906 106,60	150	25,3	Calcaires fissurés
Ain Mesbah	362 536,58	3 905 287,12	100	21	Alluvions, sables, et calcaires gréseux
Kherba F2	368 054,36	3 910 973,27	140	16,36	calcaires fissurés
Bouchekif F5	368 951,48	3 910 269,63	122	46	Alluvions et calcaires fissurés
Bouazza F2	368 400,70	3 910 021,17	140	32,5	Alluvions
Dahmouni F4	365 279,74	3 920 351,49	155	0	Grès fins
ITGC F1	373 393,15	3 924 608,73	84	14	Grès fin et moyen
Dahmouni F1	362 032,06	3 921 340,95	100	12,4	Grès
Dahmouni F2	361 277,08	3 919 642,84	150	0	Calcaires fissurés
Sebaine F2	372 634,68	3 921 710,54	107	1,9	Grès moyen
Ain Bouchekif F4	361 900,73	3 910 339,62	120	31,35	Alluvions et calcaires fissurés

La variabilité spatiale de la profondeur est représentée d'après cinq classes (Tableau.20). Ce paramètre a été classé d'après la classification d'Aller. et al., 1987, la nappe de la zone d'étude est situé entre 0 à 46 mètres de profondeur (Fig. 22).

Tab. 21 : Cotes attribuées à la profondeur de la nappe (D) (Aller. et al., 1987).

Classe de la profondeur d'eau (m)	Cote
0-1.5	100
1.5-4.5	90
4,5-9,0m	70
9,0-15,0m	50
15-23m	30
23-30m	20
>30m	10

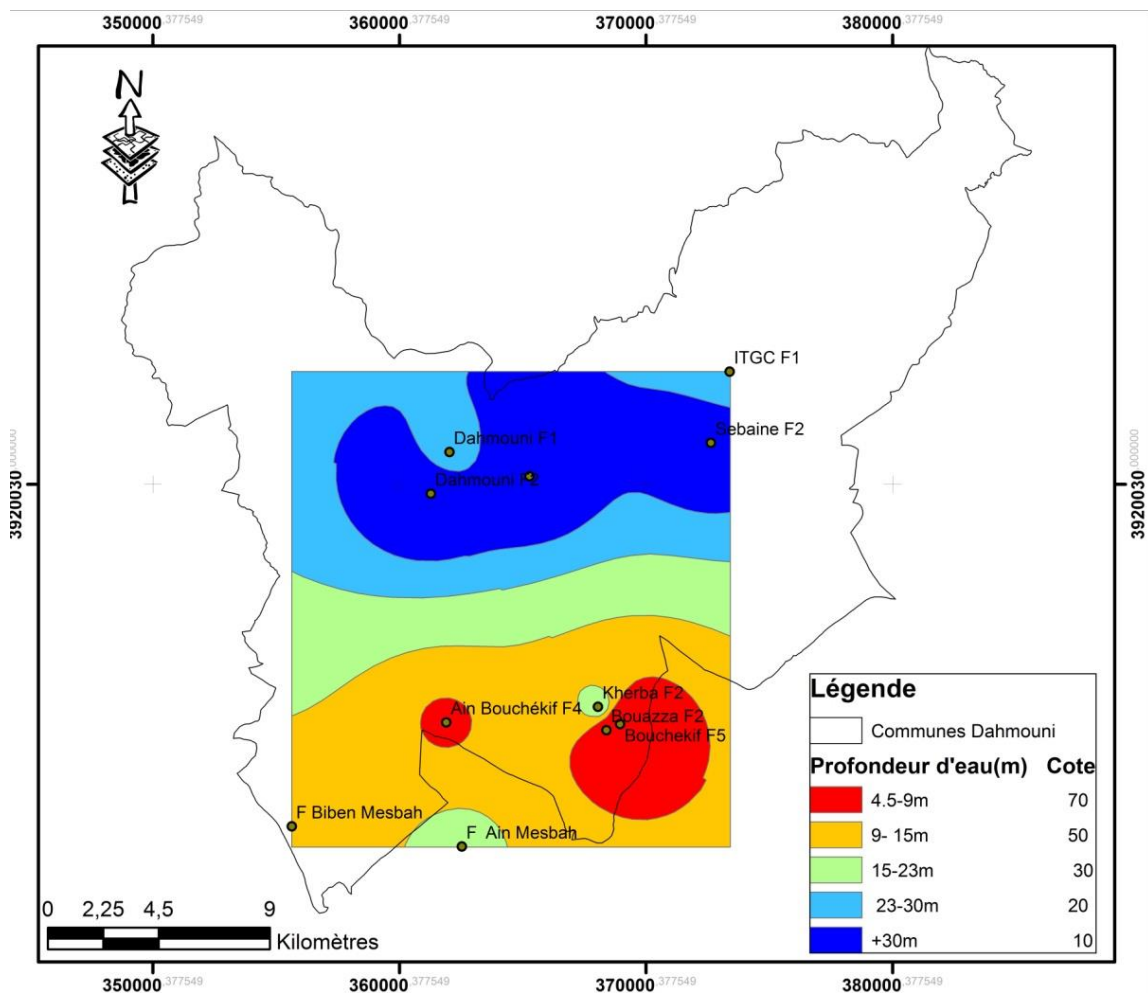


Fig. 22 : Carte de profondeur (D) de la nappe de la zone d'étude.

3.3.2. Le Paramètre « Recharge nette (R) »:

La recharge nette annuelle est la quantité d'eau atteignant la zone saturée sur une période donnée. Et aussi constitue un facteur de transfert des polluants vers les eaux

souterraines. Pour l'estimation de ce paramètre nous utilisé les résultats du bilan hydrologique de notre zone.

La précipitation moyenne annuelle dans la région est de l'ordre de 375.54 mm (1986-2018) et l'infiltration estimée est égal à 58.91 mm/an.

Tab. 22: Cotes attribuées au paramètre recharge nette (R) (Aller. et al., 1987).

Intervalles de recharge (mm/an)	Cote
0-50	10
50-100	30
100-180	60
180-250	80
+250	90

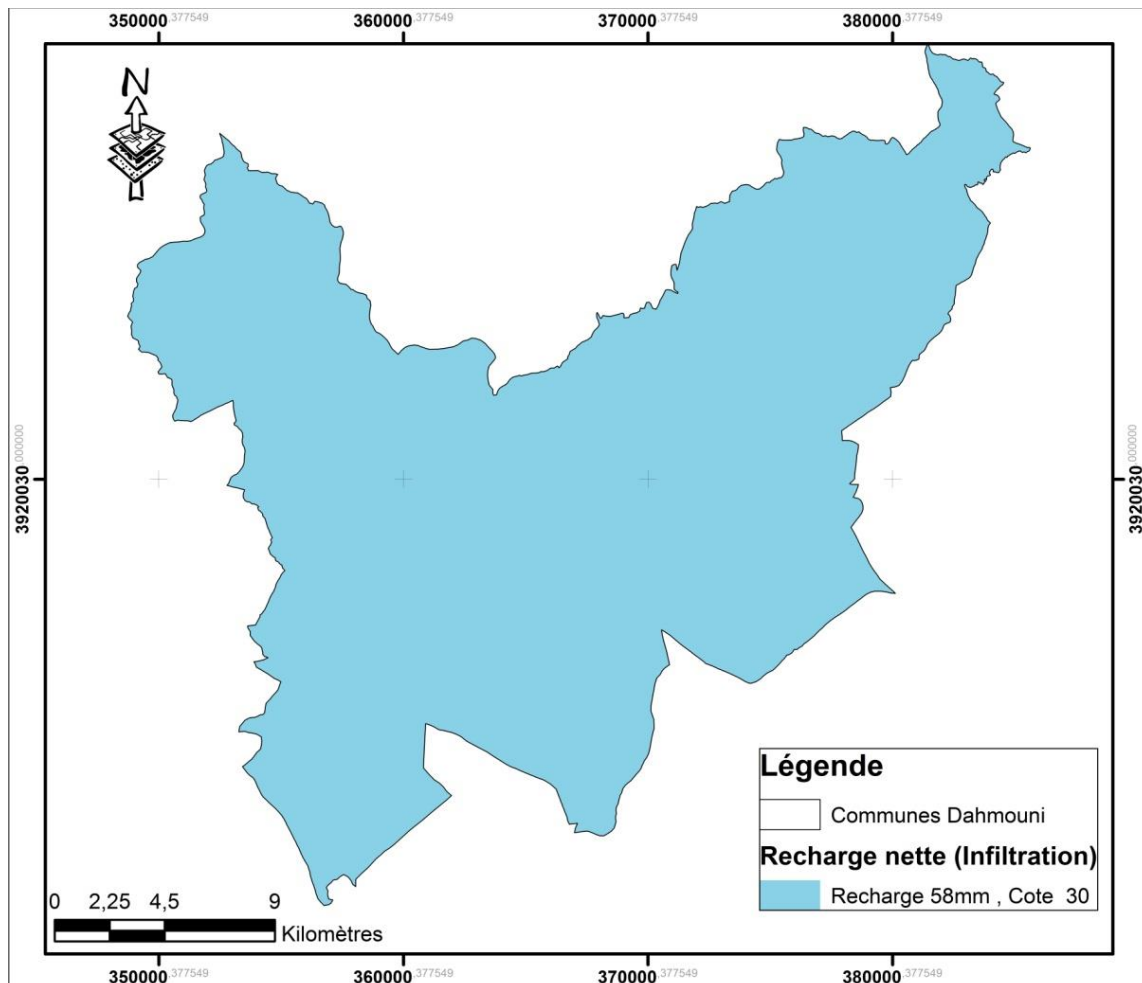


Fig. 23 : Carte de la recharge nette (R) de la région d'Ain Bouchékif.

3.3.3. Le Paramètre «Lithologie de l'aquifère (A)» :

Le milieu aquifère est peut être stockées des quantités d'eaux importantes. Son rôle dans l'atténuation du polluant dépend de la nature lithologique et la texture des formations qui constituent le milieu aquifère. Le potentiel de pollution est le degré de porosité des terrains qui constituent l'aquifère.

L'analyse de cette dernière a illustrée que notre zone est constituée d'un mélange de calcaire, grès, sable, argile, marne et les alluvions.

Tab. 23: Cotes attribuées au paramètre lithologie de l'aquifère (A).

Forage	Formations captées	Cote
Biben Mesbah	Calcaires fissurés	60
Ain Mesbah	Alluvions, sables, et calcaires gréseux	70
Kherba F2	calcaires fissurés	60
Bouhekif F5	Alluvions et calcaires fissurés	70
Bouazza F2	Alluvions	80
Dahmouni F4	Grès fins	60
ITGC F1	Grès fin et moyen	60
Dahmouni F1	Grès	60
Dahmouni F2	Calcaires fissurés	60
Sebaine F2	Grès moyen	60
Ain Bouhekif F4	Alluvions et calcaires fissurés	70

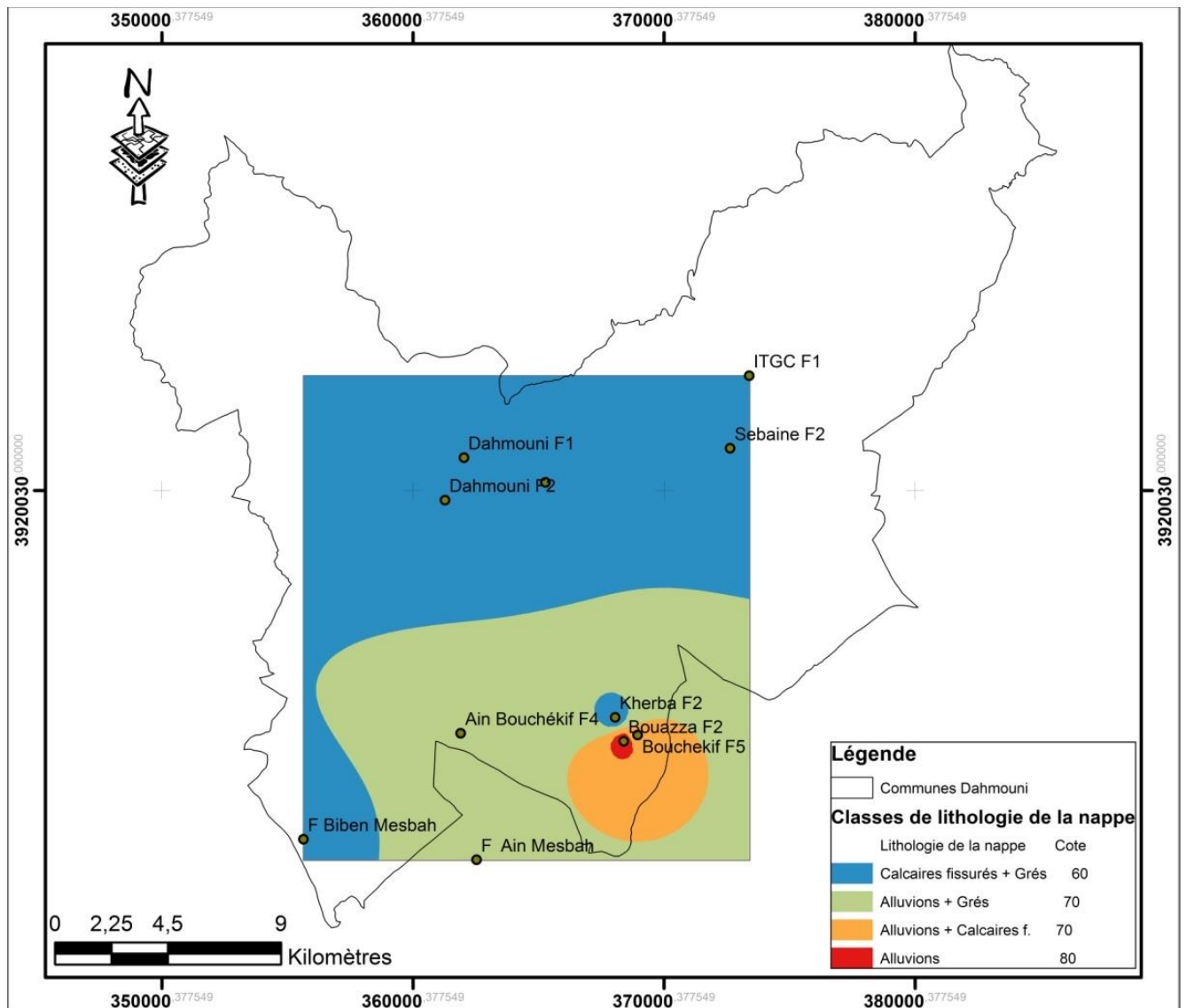


Fig. 24 : Carte de la lithologie du milieu aquifère (A) de la région d'Ain Bouchékif.

3.3.4. Le Paramètre «Topographie (T)» :

La variation de la pente des terrains contrôle la possibilité d’infiltration des polluants.

Plus la pente des terrains est forte, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible. En revanche, une zone à faible pente a une tendance à retenir l’eau pendant une longue période, cela permet un plus grand potentiel de migration des contaminants.

Les valeurs de pente sont classées suivant le système de cotation d’**Aller. et al., 1987**.

D’après la carte des pentes (voir Fig. 25) la quasi-totalité de la zone d’étude est caractérisée une pente faible entre 0 à 6%.

Tab. 24: Cotes attribuées à la pente (T) (Aller. et al., 1987).

Valeurs des pentes(%)	Cote
0-2	100
2-6	80
6-12	50
12-18	30
>18	10

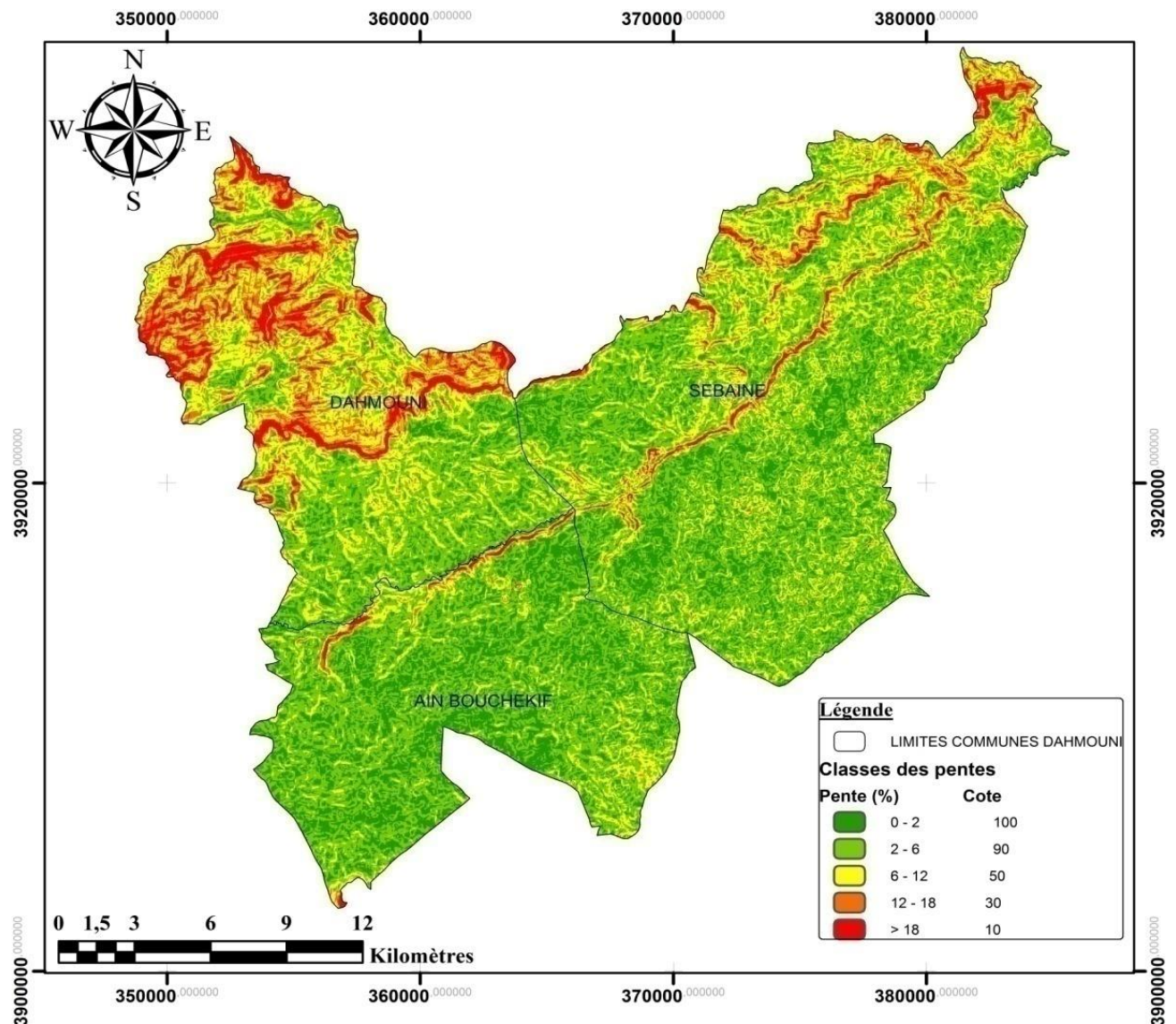


Fig. 25 : Carte de la topographie (T) de la zone d'étude classée selon SI.

3.3.5. Le paramètre «Occupation du Sol (OS)» :

Pour la réalisation de la carte d'occupation du sol, nous avons utilisé une image satellitaire prise en 15 juin 2018.

Le terrain étudiée est une zone essentiellement agricole sur près de 80 % de la superficie totale, seule la méthode SI est concernée par ce paramètre (Fig. 26).

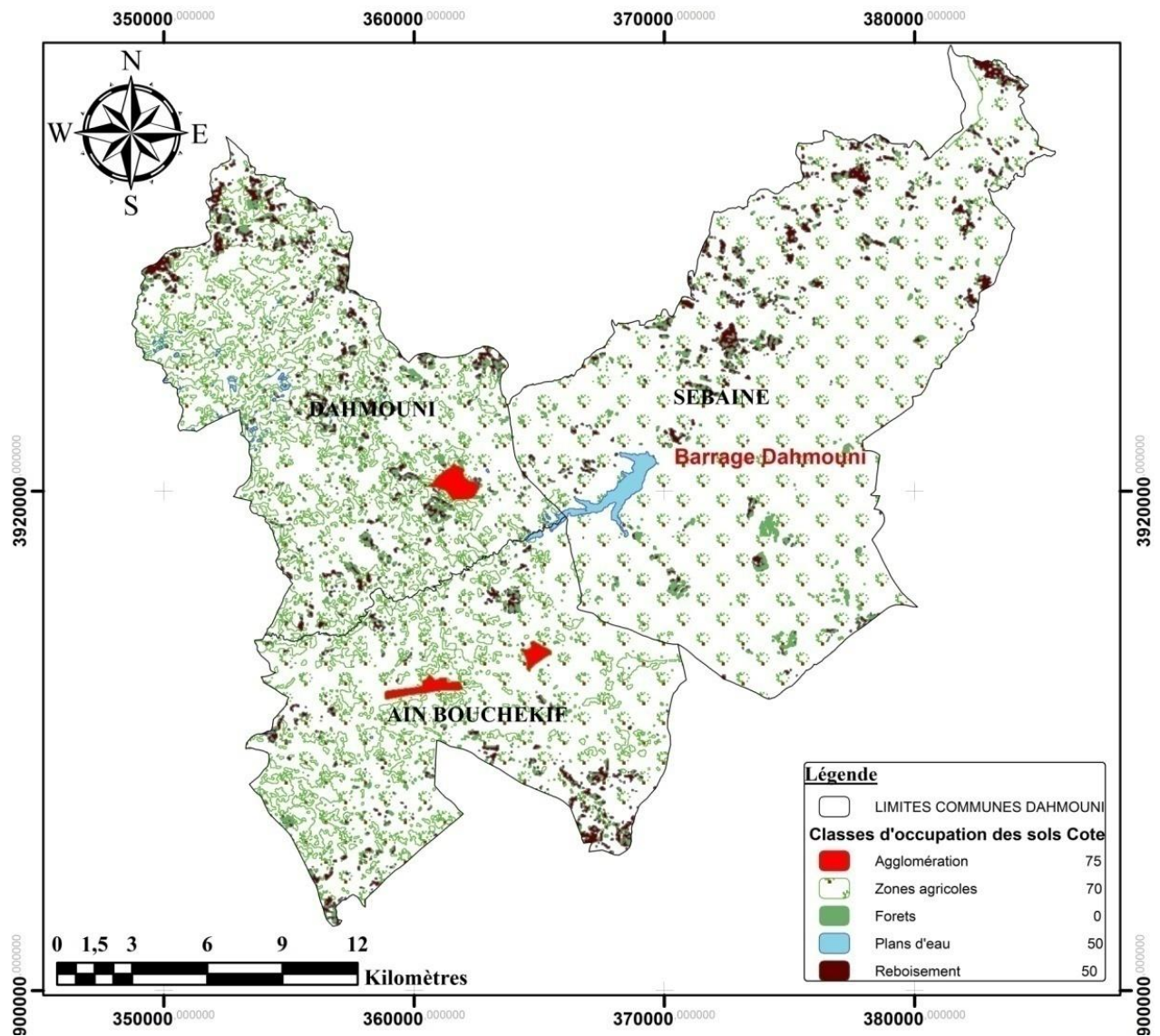


Fig. 26 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude classée selon la méthode SI.

3.3.6. Indice de vulnérabilité

Le calcul et la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la région d'Ain Bouchékif ont été réalisés par la méthode SI et à l'aide du logiciel Arc Gis version 10.2.2.

Le calcul des indices de vulnérabilité selon la méthode SI se fait directement par un calcul d'addition appliqué sur les cinq paramètres. Le résultat de ce calcul est l'élaboration d'une nouvelle couche d'information qui représente la variation de l'indice de vulnérabilité générale dans la zone d'étude.

Dans ce contexte le tableau 25 représente le pourcentage de la vulnérabilité de chaque zone :

Tab. 25: Pourcentage des classes de la vulnérabilité SI dans la région d'étude.

Indice	Pourcentage (%)	Degré de vulnérabilité
45 – 60%	46.45 %	Moyen
60 – 75%	53.55 %	Elevée

L'indice de la vulnérabilité relatif à la méthode SI est calculé par l'addition des indices de cinq paramètres.

A partir des résultats obtenus on a distingué quatre parties qui sont comme suit :

- **La partie moyenne** : à un degré de vulnérabilité représente la zone Sud de la région d'étude. Elle représente une profondeur de 4.5 – 9m.
- **La partie élevée** : à un degré de vulnérabilité recouvrant la partie Sud et qui représente le plus grand pourcentage de la surface totale de la zone d'étude avec une profondeur de 1.5.- 4.5m.

La superposition des cinq cartes des paramètres étudiée nous donne la carte de vulnérabilité finale (Fig. 27).

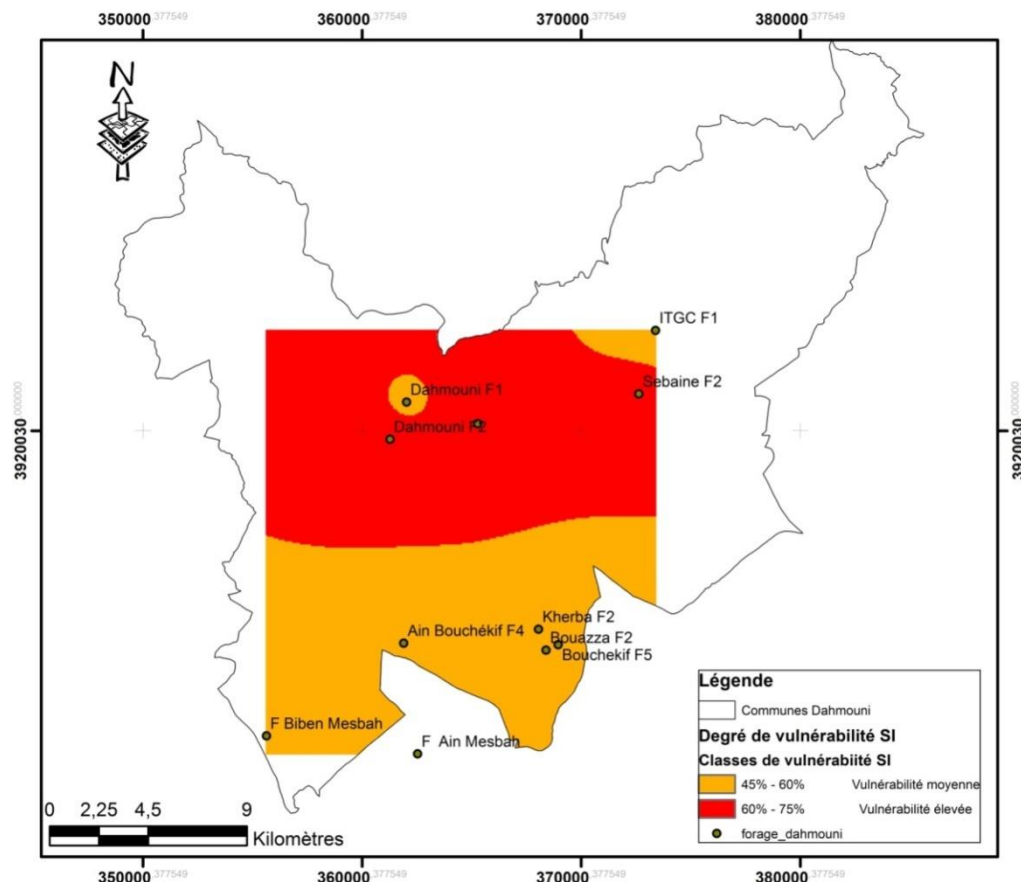


Fig. 27 : Carte de vulnérabilité de la zone d'étude classée selon la méthode SI.

3.4. Conclusion :

A partir des résultats obtenus par l'application de la méthode SI au système aquifère de la région d'Ain Bouchékif, on a réalisé une carte de vulnérabilité qui définit le degré de contamination, pour chaque indice de susceptibilité calculé.

On a identifié deux zones bien distinctes de vulnérabilité de degré élevée et moyenne tel qu'elles sont citée ci-dessous :

- Les zones à vulnérabilité élevées représentées par les nappes du Miocène caractérisée par les grés et poudingues qui occupent la partie Nord du terrain étudié avec une faible profondeur d'eau qui varie entre 0 à 14 m.
- Les zones à vulnérabilité moyenne représentées par formations du Crétacé constituées principalement par : Les calcaires fissurés avec des intercalations de marnes, des alluvions et des grés caractérisées par des profondeurs allant de 16.36 m jusqu'à 46 m.

Conclusion générale et Recommandations

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif.**

Conclusion générale :

Les études peuvent déterminer les facteurs affectant la qualité de l'eau souterraine de la zone d'étude (Ain Bouchékif, Dahmouni, Sebaine) sont concluons :

De point de vue géomorphologique, la zone étudiée se présente comme un plateau légèrement ondulé se compose (une zone montagneuse et haute plaine de Nahr Ouassel avec ces deux rive gauche et droite et vallée en aval elle est caractérisée par un réseau hydrographique peu dense.

Cette zone se caractérise géologiquement par la présence de quatre grandes formations différentes (Crétacé supérieur, Miocène inférieur, Miocène moyen et supérieur et Quaternaire.

Selon la station d'Ain Bouchékif le climat général de cette zone est un climat semi aride, où les variations interannuelles sont très importantes, dont la moyenne des précipitations annuelles (1986-2018) est de l'ordre de 375.54 mm.

Les températures moyennes enregistrées pour notre zone d'étude est 16.86 °C et la précipitation moyenne atteint 375.54 mm. Ce qui nous a permis de définir deux périodes humide et sèche.

L'étude hydrogéologique de la région a mis en évidence deux formations aquifères majeures : les calcaires du Crétacé et aussi grés du Miocène qui sont formés la nappe profonde et qui est l'aquifère le plus important et les alluvions de la nappe superficielle d'Oued Nahr Ouassel.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de SI) montre que 46.45 % des nappes de la zone d'étude a une vulnérabilité moyenne et 53.55 % a une vulnérabilité élevée et cela est dû à plusieurs facteurs qu'on cite : la pente topographique du terrain, la lithologie de l'aquifère, la profondeur de la nappe, recharge efficace de l'aquifère et l'occupation des sols.

Recommandations :

Les ressources en eau étant l'un des éléments essentiels de la vie, il est nécessaire de les préserver et de les exploiter à bon escient. Le développement et la gestion de l'eau doivent reposer sur la communication des utilisateurs, des planificateurs et des décideurs.

Il est recommandé de suivre ces étapes :

- ✓ D'élaborer une stratégie de l'eau préférant la mobilisation des eaux de surface (barrages et retenues collinaires).
- ✓ L'exploitation rationnelle des eaux souterraines.
- ✓ Lutter contre les forages et puits illégaux.
- ✓ Diminution de quantités d'engrais et de pesticides utilisées en agriculture afin de ne pas contaminer les eaux souterraines et de les remplacer par de la lutte et produits biologiques.
- ✓ Application stricte du périmètre de protection quantitative et qualitative des ouvrages de captage surtout ceux destinés à l'alimentation en eau potable par des lois propres aux ressources en eau de surface que souterraines.
- ✓ La surveillance permanente de la qualité de l'eau au niveau de la zone étudiée et la prise d'échantillons d'eau pour analyse chimique pendant les deux périodes (hautes et basses eaux). Pour pouvoir éviter tout type de pollution naturelle ou accidentelle.
- ✓ Eviter le déversement direct des eaux des égouts dans les cours d'eau.

Références Bibliographiques

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif.**

Références bibliographiques

Aichouch F. et al., (2017) : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines : Application sur un système aquifère dans une zone semi aride : Cas de la région de Tiaret. Mémoire de master en hydrogéologie Université Ibn Khaldoun Tiaret 78p.

Aller L., Lehr J., H.Petty R., Bennett T., 1987: DRASTIC: A standardized system to evaluate Groundwater pollution using hydrogéologie setting. Jour. Geol. Soc. India, 29(1) pp 23-37.

ANRH., (2008) : Cartes des ressources en eau souterraines du Nord de l'Algérie région centre 100 p.

Araria N. et Khelifa K., (2015) : Etude hydrogéologique et caractéristiques hydro chimiques des eaux souterraines de la région de Sougueur Wilaya de Tiaret. Mémoire de master en hydrogéologie et environnement Université Ibn Khaldoun Tiaret 57p.

Baali F., (2007): Contribution à l'étude hydrogéologique, hydro chimique et vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi aride. Cas du plateau de Chéria NE Algérien. Thèse de doctorat Université Badji Mokhtar-Annaba 157p.

Bagnauls. et Gausse., (1953) : Saison sèche et indice xéothermique. Bull. Soc. Hist 29p.

Benzarfa F., (2015) : Gestion opérationnelle du réservoir de Dahmouni. Mémoire de master en hydraulique Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran 79p.

Benzghouda M., (2015): Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Nahr Ouassel (Partie Aval de Dahmouni). Mémoire de master en hydrogéologie et environnement Université Ibn Khaldoun Tiaret 74p.

Castany G., (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie Université Pierre et Marie curie-Paris VI 237p.

Chaib A. et Soudani M., (2015) : Impact de la décharge publique de Sid El Abed sur la qualité des eaux souterraines. Mémoire de master en hydrogéologie et environnement Université Ibn Khaldoun Tiaret 84p.

Corine Land Cover., (2009): Guide d'utilisation agence européenne de l'environnement. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire 22p.

Daboussi A., (2009) : La cartographie de la vulnérabilité des nappes : Un moyen de gestion durable des ressources en eau. Faculté des sciences de Tunisie-Maàrtise en sciences de la terre 49p.

De Martonne E., (1926) : Une nouvelle fonction climatologique, l'indice d'aridité la météo 31-32p.

Edet., (2004): Vulnerability evaluation of a coastal plain sand aquifer with a case example from Calabar, southeastern Nigeria, environmental geology 45:10621070.

Frederic p. Miller., Anges F., Vandome joher Mc Bvewster., (2010): Hydrogéologie 56p.

Jourda GP., Kouam KJ., Adja MG., Deh SK., Anani AT., Effini AT., Biemi J., (2007) : Évaluation du degré de protection des eaux souterraines : Vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la cote D'Ivoire) par la méthode DRASTIC. Actes de la conférence francophone.SIG 2007/10 au 11/10/2007 Versailles-France 11p.

Margat., (1968) : Vision méditerranéenne sur l'eau, la population et L'environnement au « XXI ème siècle » 83p.

Miguel Edilasio A. et Paim Paulo., (2015) : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du bas Cheliff application de la méthode DRASTIC 24-25-26p.

Mohamed Oussaid S. et Abbou M., (2013): L'évaluation de terre de la commune de Sebaine (blé dur et blé tendre). Mémoire de master Université Ibn Khaldoun Tiaret 91p.

ONM., (2019) : Les données météorologiques de la station d'Ain Bouchékif (Tiaret).

Portugal par Ribeiro., (2000), Corine Land Cover., (1993), Hamza et al., (2007): Validité de l'application des méthodes de vulnérabilité DRASTIC, SINTACS et SI à l'étude de la pollution par les nitrates dans la nappe phréatique de Met line-Ras Jebel-Raf Raf.C.R.. Géoscience 339,493-505p.

Quevauviller P., (2010): Protection des eaux souterraines 433p.

Roux JC., (2006) : Aquifères et eaux souterraines en France ouvrage collectif en deux tomes, brgméditations 944p.

Saad A., (2017) : Évaluation de la pollution des eaux souterraines dans la plaine de Sidi Bel Abbes à partir d'un SIG, Mémoire de master en hydrogéologie et environnement Université Ibn Khaldoun Tiaret 67p.

Salhi S., (2018) : Étude de la vulnérabilité à la pollution de la zone de Boulimat par la méthode SI. Mémoire master en toxicologie industrielle et environnementale Université Bejaïa 91p.

Schnebelen et Al., (2002) : Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-terre et de Marie-Galante-Guadeloupe phase2 RP-52677-FR.

Vias et al., (2002, 2004,2006), Gold scheider. et Popescu., (2004), Daly et al., (2002) : Méthode proposée pour la cartographie de l'ultralitabilité des eaux souterraines dans les

aquifères carbonatés (karstiques): La méthode COP application in two pilot sites in Southern Spain, hydrogeology journal.

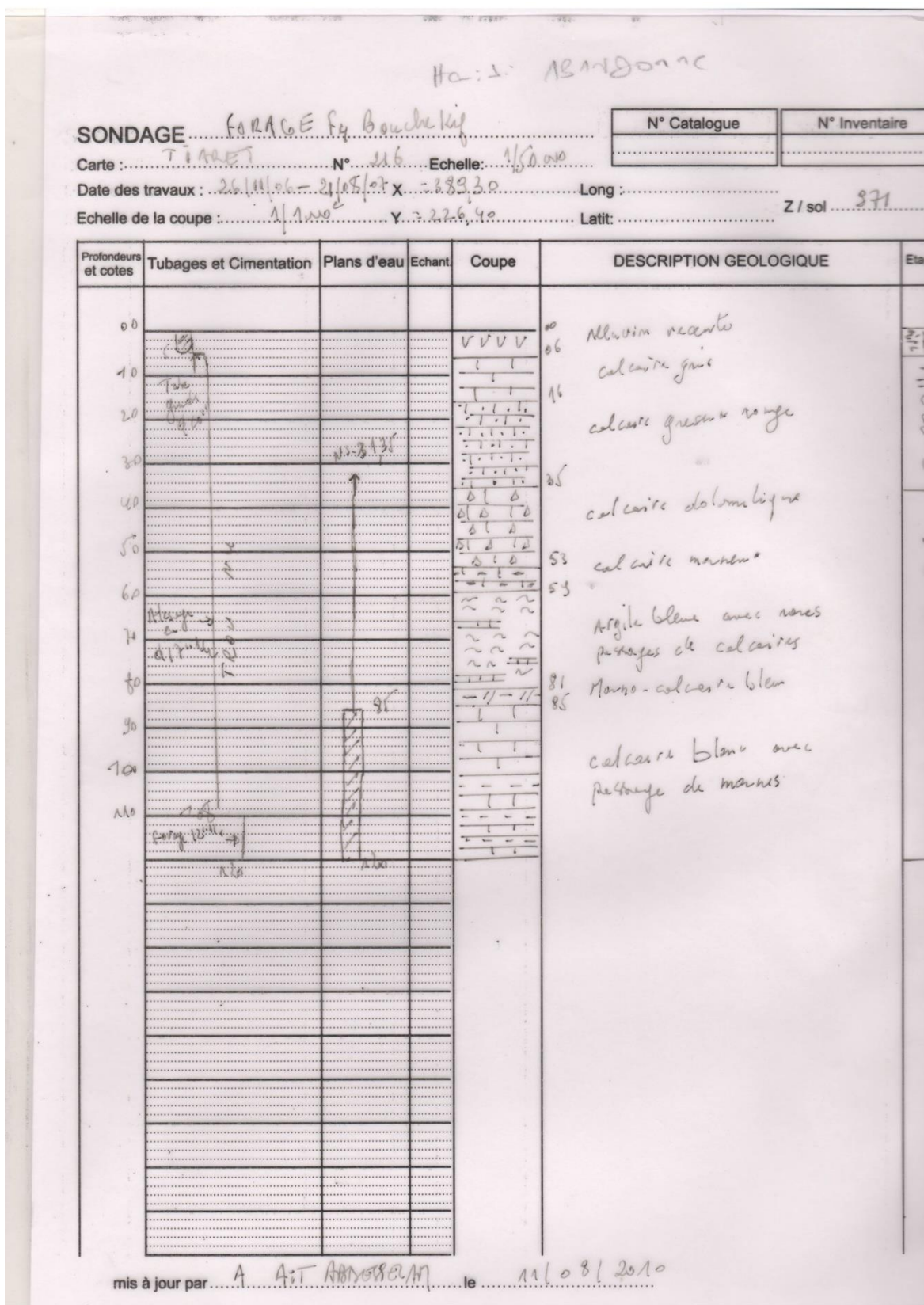
Annexes

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine dans
Une zone semi aride : Cas de la région d'Ain Bouchékif.**

ANNEXE N°1 : Les coordonnées des forages de la zone d'étude.

N	DÉNOMINATION	XUTM	YUTM	ZUTM	LAT	LONG
1	ITGC F1	373 393.15	3 924 608.73	31	35° 27' 34.15"	1° 36' 17.29"
2	Ain Mesbah	362 536.58	3 905 287.12	31	35° 17' 1.96"	1° 29' 18.43"
3	Kherba F2	368 054.36	3 910 973.27	31	35° 20' 9.16"	1° 32' 53.49"
4	Dahmouni F1	362 032.06	3 921 340.95	31	35° 25' 42.67"	1° 28' 48.71"
5	Dahmouni F2	361 277.08	3 919 642.84	31	35° 24' 47.19"	1° 28' 19.82"
6	Dahmouni F4	365 279.74	3 920 351.49	31	35° 25' 12.16"	1° 30' 58.05"
7	Bouchékif F5	368 951.48	3 910 269.63	31	35° 19' 46.76"	1° 33' 29.43"
8	Forage Bouchékif F4	361 900.73	3 910 339.62	31	35° 19' 45.61"	1° 28' 50.20"
9	Bouazza F1	368 053.38	3 910 977.27	31	35° 20' 9.29"	1° 32' 53.45"
10	Sebaine 2	372 634.68	3 921 710.54	31	35° 25' 59.75"	1° 35' 48.84"
11	Bouazza F2	368 400.70	3 910 021.17	31	35° 19' 38.43"	1° 33' 7.76"
11	Biben Mesbah	355 637.87	3 906 106.60	31	35° 17' 25.06"	1° 24' 44.91"

ANNEXE N°2 : Log stratigraphique de forage Bouchékif F4.



Résumé :

Les eaux souterraines sont l'une des plus importantes ressources en eau douce au monde, mais elles sont menacées par le risque de pollution résultant d'activités humaines telles que l'agriculture, qui occupe une place importante dans la zone étudiée, ainsi que par la croissance démographique qui caractérise Ain Bouchékif, Dahmouni et Sebaine, ce qui provoquera la rareté de ces ressources.

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude géologique, climatique et hydrogéologique liée au cours des eaux souterraines.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de SI) montre que 46.45 % des nappes de la zone d'étude a une vulnérabilité moyenne et 53.55 % a une vulnérabilité élevée et cela est dû à plusieurs facteurs qu'on cite : la pente topographique du terrain, la lithologie de l'aquifère, la profondeur de la nappe, recharge efficace de l'aquifère et l'occupation des sols.

Mots clés : Eaux souterraines, vulnérabilité, aquifère, SI, cartographie, protection.

Summary:

Groundwater is one of the world's largest freshwater resources, but it is threatened by the risk of pollution from human activities such as agriculture, which occupies an important place in the study area, as well as by population growth that characterizes Ain Bouchekif, Dahmouni and Sebaine, which will cause the scarcity of these resources.

The objective of this work is to carry out a geological, climatic and hydro geological study related to groundwater flow.

The vulnerability map (SI method) shows that 46.45% of the aquifer in the study area has a medium vulnerability and 53.55% has a high vulnerability and this is due to several factors: slope topographic terrain, aquifer lithology, aquifer depth, effective aquifer recharge and land use.

Key words: Groundwater, vulnerability, aquifer, SI, mapping, protection.

ملخص:

تعتبر المياه الجوفية احد أهم الموارد المائية العذبة في العالم لكنها أصبحت مهددة بخطر التلوث الناتج عن الأنشطة البشرية كالزراعة مثلا التي تحتل مساحة مهمة في المنطقة المدروسة وكذا النمو السكاني الذي تمتاز به كل من عين بوشقيف ,دحموني و السبعين و الذي سيسبب ندرة في هذه المصادر.

الهدف من هذا العمل هو القيام بدراسة جيولوجية ,مناخية و هيدروجيولوجية مرتبطة بمسار المياه الجوفية. توضح الخريطة قابلية التأثر (طريقة SI) أن 46.45% من طبقة المياه الجوفية في منطقة الدراسة بها ضعف متوسط وأن 53.55% لديها قابلية عالية للتأثر وهذا يرجع إلى عدة عوامل: ميل التضاريس الطبوغرافية ,علم طبقات المياه الجوفية ,عمق طبقة المياه الجوفية ,إعادة شحن طبقة المياه الجوفية بطريقة فعالة واستخدام الأراضي, نوع الطبقة المائية.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية، الضعف، الحوض المائي، SI ، الخرائطية ،الحماية.