

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

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 en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : "Sciences de la Terre et de l'Univers"

Filière : "Géologie"

Spécialité : "Hydrogéologie"

Thème

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine de la plaine de
Khemis Miliana.**

Présenté et soutenu publiquement par :

-M^{lle}: METENE Hanine

-M^{lle}: KAOUAR Aicha

Jury :

-Président :	Mr. MEBARKI Keddour	MCA	Université de Tiaret
-Promoteur :	Mr. MOUCHARA Nabil	MAA	Université de Tiaret
-Co-Promoteur :	Mr. OTMANE Abdelkader	MAB	Université de Tiaret
-Examineur :	Mr. SABOUA Toufik	MAA	Université de Tiaret

Année universitaire : 2019/2020

Sommaire

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine
de la plaine de Khemis Meliana

Table des matières

Dédicace.

Remerciement.

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Liste des abréviations.

Introduction générale01

Introduction générale02

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

I.1.Introduction03

I.2.La Situation géographique de la région d'Ain Defla03

I.2.1.La Situation géographique de la zone d'étude04

I.3.Evolution de la population06

I.4.Reseau hydrographique07

I.5.Contexte géomorphologique09

I.6.Occupation du sol11

I.7.Contexte pédologique15

I.8.Contexte géologique17

I.8.1.Lithologie d'Haut Cheliff18

I.8.2.Stratigraphie19

I.8.2.1.Le Primaire..... 19

I.8.2.2.Le Trias 19

I.8.2.3.Le Crétacé19

I.8.2.4.Le Miocène19

I.8.2.4.1.Le Miocène inférieur (Burdigalien)19

I.8.2.4.2.Le Miocène supérieur (Vindobonien)19

I.8.2.4.3.Le Mio-Pliocène20

I.8.2.5.Le Pliocène20

<i>I.8.2.5.1. Le Pliocène inférieur (Pliocène marin)</i>	<i>20</i>
<i>I.8.2.5.2. L'Astien</i>	<i>20</i>
<i>I.8.2.5.3. Pliocène supérieur (Villafranchien)</i>	<i>20</i>
<i>I.8.2.6. Quaternaire</i>	<i>20</i>
<i>I.8.2.6.1. Quaternaire ancien</i>	<i>20</i>
<i>I.8.2.6.2. Quaternaire récent</i>	<i>21</i>
<i>I.8.3. La tectonique d'Haut Cheliff</i>	<i>21</i>
<i>I.9. Conclusion</i>	<i>23</i>

Chapitre II : Étude hydroclimatique.

<i>II.1. Introduction</i>	<i>24</i>
<i>II.2. Analyse des paramètres climatiques</i>	<i>24</i>
<i>II.2.1. Pluviométrie</i>	<i>25</i>
<i>II.2.1.1. Régime mensuel des précipitations</i>	<i>25</i>
<i>II.2.1.2. Régime saisonnier des précipitations</i>	<i>27</i>
<i>II.2.1.3. Les variations annuelles des précipitations</i>	<i>28</i>
<i>II.2.1.3.1. Le coefficient pluviométrique</i>	<i>30</i>
<i>II.2.2. Régime thermique</i>	<i>32</i>
<i>II.2.2.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls.....</i>	<i>33</i>
<i>II.3. Type de climat</i>	<i>34</i>
<i>II.3.1. Diagramme d'Emberger</i>	<i>34</i>
<i>II.3.2. Indice d'aridité de DE MARTONNE</i>	<i>36</i>
<i>II.4. Le bilan hydrique</i>	<i>37</i>
<i>II.4.1. Estimation des paramètres de bilan</i>	<i>38</i>
<i>II.4.1.1. L'évapotranspiration</i>	<i>38</i>
<i>II.4.1.1.1. Estimation de l'évapotranspiration ponctuelle (ETP)</i>	<i>38</i>
<i>II.4.1.1.2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)</i>	<i>38</i>

<i>II.4.1.2. Estimation des réserves facilement utilisés (RFU)</i>	<i>39</i>
<i>II.4.2. Interprétation de bilan hydrique</i>	<i>42</i>
<i>II.4.3. Deficit agricole (DA)</i>	<i>42</i>
<i>II.4.4. L'excédent (EXD)</i>	<i>42</i>
<i>II.5. Bilan hydrologique</i>	<i>42</i>
<i>II.5.1. Estimation de la lame d'eau écoulée.....</i>	<i>42</i>
<i>II.5.1.1. Le ruissellement</i>	<i>42</i>
<i>II.5.1.2. L'infiltration efficace</i>	<i>43</i>
<i>II.6. Conclusion</i>	<i>44</i>

Chapitre III : Étude Hydrogéologique.

<i>III.1. Introduction.....</i>	<i>45</i>
<i>III.2. Contexte Hydrogéologique.....</i>	<i>45</i>
<i>III.2.1. Géométrie des aquifères.....</i>	<i>45</i>
<i>III.2.1.1. Interprétation des coupes géo électriques.....</i>	<i>46</i>
<i>III.2.1.2. Aperçu général sur les aquifères.....</i>	<i>50</i>
<i>III.3. Hydrodynamique des aquifères.....</i>	<i>53</i>
<i>III.3.1. Inventaire des points d'eau.....</i>	<i>53</i>
<i>III.3.2. Evolution de la Piézométrie.....</i>	<i>54</i>
<i>III.3.2.1. Interprétation de la carte piézométrique Avril 2016.....</i>	<i>54</i>
<i>III.3.2.2. Alimentation de la nappe.....</i>	<i>56</i>
<i>III.4. Conclusion.....</i>	<i>57</i>

Chapitre IV : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines

<i>IV.1. Introduction</i>	<i>58</i>
<i>IV.2. Concept de vulnérabilité des eaux souterraines a la pollution.....</i>	<i>58</i>

<i>IV.2.1. Notion de vulnérabilité a la pollution</i>	58
<i>IV.2.2. Types de vulnérabilités</i>	59
<i>IV.2.3. Critères de vulnérabilité</i>	60
<i>IV.2.3.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque</i>	60
<i>IV.2.3.1.1. Critères relatifs au sol</i>	60
<i>IV.2.3.1.2. Critères relatifs à la zone non saturée</i>	60
<i>IV.2.3.1.3. Critères relatifs à la zone saturée</i>	61
<i>IV.2.3.2. critères de vulnérabilité spécifique</i>	61
<i>IV.2.4. Cartographie de vulnérabilité</i>	62
<i>IV.2.4.1. Objet de cartographie</i>	62
<i>IV.2.4.2. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité</i>	62
<i>IV.2.4.2.1. Méthode DRASTIC</i>	62
<i>IV.2.4.2.2. Méthode AVI</i>	63
<i>IV.2.4.2.3. Méthode SINTACS</i>	63
<i>IV.2.4.2.4. Méthode SI</i>	63
<i>IV.2.4.2.5. Méthode EPIK</i>	64
<i>IV.2.4.2.6. Méthode RISKE</i>	64
<i>IV.2.4.2.7. Méthode GOD</i>	64
<i>IV. 3. Vulnérabilité à la pollution de la plaine de Khemis Miliana selon la méthode GOD</i>	67
<i>IV. 3.1. Préparation des données</i>	67
<i>IV. 3.2. Digitalisation</i>	67
<i>IV. 3.3. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques</i>	68
<i>IV. 3.3.1. Paramètre « G » type de l'aquifère</i>	68
<i>IV. 3.3.2. Paramètre « O » Nature lithologique de la ZNS</i>	68
<i>IV. 3.3.3. Paramètre « D » profondeur de la nappe</i>	69
<i>IV. 3.4. Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana selon la méthode GOD</i>	70
<i>IV. 4. Conclusion</i>	72

Conclusion générale.....73

Recommandation74

Références bibliographiques.

Résumé.

Dédicace

Avec une énorme appréciation et une immense gratitude, avec tout l'amour que mon cœur peut porter, je dédie ce modeste travail à l'esprit de ma précieuse grand-mère « KAHLOUCHE Mira » et de mon cher frère « Mohammed », qui m'ont toujours aimé, encouragé, qui m'ont accepté pour qui j'étais et m'ont motivé à être mon meilleur, avec qui je voulais le plus partager ce succès, que vos âmes reposent en paix.

À la femme qui a réussi étant tout, mon père, ma sœur, mon ami, à mon NEPENTHE, mon ancre, la raison pour laquelle le ciel est bleu, a la plus courageuse, forte et belle femme de ma vie, la mère idéale « TAGUINE Fatima » qui a sacrifié sa vie pour moi .je prie pour que tes lèvres ne sachent que des sourires, pour que ton avenir ne contienne que joie et bonheur.

À mon trésor, mon oncle « TAGUINE Mohammed », l'homme de ma vie.

À mes KHWAL la joie de mes jours, la famille des TAGUINES : AEK, Djilaly, Sbaa, Mustapha, Om El Khir, Meriem.

À mon ami d'enfance, ma vie entière, Achour 37. À mes tantes : Khadidja, Meriem, Mezida.

À mes chères cousines/ chers cousins : Chourouk, Heba, Wedjdane, Wassila, Noura, Raid, Tarek, Sohaib.

À mes petites Meriem, Maria, Rukkaya.

À mon âme sœur, Ouzna. À mon binôme, Aicha.

À mon promoteur Mr MOUCHARA.

À mes chères Mounia, Farida, Hafidha, Ismahane, Safia, Souad.

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

Hanine.

Dédicace

*Je dédie mon travail à mes liens, les deux personnes qui ont été derrière moi toute ma vie, qui ont connu et travaillé dur pour moi, mes parents. **Mon Père Abd Kader et ma mère Khaira**, que dieu ait pitié d'eux et les rende spacieux aux paradis.*

*Je dédie mon travail à mes chères sœurs, mes mères, mes beautés **Fatima Zohra- Amina- Fouzia- Dalila** qui m'ont aidé dans ma carrière académique et en tout, que dieu vous préserve pour moi et vous garde comme un soutien pour moi tout au long de ma vie.*

*En plus de mes frères **Mohamed, Hamza, Brahim, Abd Samed et Ahmed** qui m'ont apporté soutien et protection.*

*Dédie à mes petits-enfants, ma princesse **Fadia, Salman, Anes, Noufel, Djawed, Safwan et Loay**.*

*Dédie à mon Promoteur **Mr Nabil Mouchara**, qui nous a aidées et guidés dans notre parcours universitaire et pour l'obtention d'un master. **Merci Monsieur.***

*Dédie à Mon Binôme **Hanine**, ma copine qui fait tout ensemble et n'a pas abandonné malgré les difficultés que nous avons rencontrées.*

*Dédie à mes amies, mes copines, mes sœurs **Djohiana et Linda** pour leur soutien dans ma vie.*

Aicha

The background of the entire page is a repeating pattern of sunflowers with bright yellow petals and dark brown centers, set against a light beige background. The sunflowers are arranged in a grid-like pattern, with some appearing more prominent than others.

Remerciement

***Avant tout nous remercions ALLAH le tout puissant,
qui nous a donné la force, le courage et la patience pour
réaliser ce modeste travail.***

***Nous remercions nos familles, surtout nous parents qui
grâce à eux nous sommes là aujourd'hui.***

***Nous voulons exprimer notre profonde gratitude et notre
immense respect à notre encadreur de mémoire Mr
MOUCHARA, pour sa patience, sa confiance, ses
précieux conseils, son orientation et son aide, et surtout
pour ses encouragements et sa compréhension.***

***Un grand merci à Mr ZERRARKA A.E.K, Mr BEN
AISSA TOUFIK et Tous les enseignants de notre
département.***

***Nous voulons exprimer notre remerciement respectueux
aux membres du jury qui nous feront l'honneur
d'apprécier ce modeste travail.***

***Enfin, à toute personne qui a contribué à la réalisation de
ce travail, de près ou de loin.***

Liste des tableaux

	Pages
Tab. N°1 : Evolution de la population des communes de la plaine alluviale du haut Cheliff (DPSB Ain defla-2020).....	06
Tab. N°2 : Réseau hydrographique (Bong I et Mezian I, 2013).....	08
Tab. N°3 : Livraison des produits phytosanitaires solides par catégorie et par communes (DSA-2016).....	13
Tab. N°4 : Livraison des produits phytosanitaires liquide par catégorie et par communes (DSA-2016).....	13
Tab. N°5 : Livraison des produits engrais par communes (DSA-2016).....	14
Tab. N°6 : Caractéristiques des stations météorologiques	24
Tab. N°7 : Les précipitations moyennes mensuelles des deux stations de la plaine (2002- 2017).....	26
Tab. N°8 : Régime saisonnier des précipitations des stations de la plaine.....	27
Tab. N°9 : Les précipitations interannuel en (mm) de la station de Khemis-ANRH (1986- 2017).....	29
Tab. N°10 : Coefficient pluviométrique de la station de khemis –ANRH (1986-2017).....	30
Tab. N°11 : Température moyenne mensuelles (C°) des stations de khemis-ANRH et de Barrage Harraza (2002-2017).....	32
Tab. N°12 : Valeur e l'indice d'aridité de DE-Martonne et le type de bioclimat Correspondant	36
Tab. N°13 : Résultats du bilan hydrique selon THornthwaite à la station de khemis-ANRH (2002-2017).....	40
Tab. N°14 : Résultats du bilan hydrique selon THornthwaite à la station de Brrage Harraza (2002-2017).....	41
Tab. N°15 : Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrique des stations de la plaine (2002-2017).....	43
Tab.N°16 : Valeurs des résistivités pour les différentes formations géologiques (Ohm.m) (Source CGG ,1969), (Touhari-F, 2015).....	45
Tab.N°17 : Les différentes caractéristiques des formations aquifères. (ANRH, 2004).....	51

Tab.N°18 : Présentation des unités Hydrogéologiques de la région d’Ain Defla. (**Dehbia-A, Oumellal-A, 2015**).....**52**

Tab.N°19 : Criteres d’évluation de la vulnerabilite selon la methode GOD (**In Cherikh-M., 2015**)**65**

Liste des figures

	Pages
Fig. N°1 : Carte de situation géographique de la wilaya d'Ain Defla	04
Fig. N°2 : Carte de situation géographique de la plaine de Khemis-Miliana	05
Fig. N°3 : Evolution de la population des communes de la plaine	07
Fig. N°4 : Réseau hydrographique de la plaine du Haut Chélif (In Boudjnane I, Maarouf n, 2015)	09
Fig. N°5 : Carte des pentes de la plaine de Khemis-Miliana	10
Fig. N°6 : Carte altimétrique de la plaine de Khemis-Miliana	11
Fig. N°7 : Carte d'occupation de sol de la plaine du Haut Chélif (ONID, 2012).....	12
Fig. N°8 : Carte des sols de la région du Haut Chélif (In Attafi S., 2017).....	16
Fig. N°9 : Carte Géologique schématique vectorisée de la plaine du Haut Chélif (In Sahraoui, 2015).....	17
Fig. N°10 : Coupe géologique de la plaine du Haut Chélif (Perrodou1967).....	18
Fig. N°11 : Log litho stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis-Miliana (Matteur 1958, Perrodon 1967).....	22
Fig. N°12 : Carte de situation géographique des stations pluviométrique dans la plaine de khemis miliana	25
Fig. N°13 : Histogramme des precipitations moyennes mensuelles des 02 stations de la plaine (2002-2017).....	26
Fig. N°14 : Varriation saisonnier des precipitations de la station de khemis-ANRH (2002-2017).....	28
Fig. N°15 : Varriation saisonnier des precipitations de la station de Barrage Harraza (2002-2017).....	28
Fig. N°16 : Histogramme de precipitation moyennes annuelles de la station de khemis-ANRH (2002-2017).....	29
Fig. N°17 : Varriation des coefficients pluviometrique de la station de Khemis-ANRH (2002-2017).....	31
Fig. N°18 : Varriation des temperature mensuelle (C°) des stations de Khemis-ANRH de Barrage Harraza (2002-2017).....	32

Fig. N°19 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen de la station de khemis-ANRH (2002-2017)	33
Fig. N°20 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen de la station de Barrage Harraza (2002-2017)	34
Fig. N°21 : Position des stations de la zone d'étude dans la climato gramme d'Emberger	35
Fig. N°22 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE-Martonne des stations de la plaine	37
Fig. N°23 : Bilan hydrique de Thornthwaite de la station de Khemis-ANRH (2002-2017)	40
Fig. N°24 : Bilan hydrique de Thornthwaite de la station de Barrage Harraza (2002-2017)	41
Fig. N°25 : Carte de positionnement des coupes Géo-électriques (CA, CL et CP).....	47
Fig. N°26 : Coupe Géo électrique (CA), (source CGG, 1969).....	48
Fig. N°27 : Coupe Géo électrique (CL), (source CGG, 1969).....	49
Fig. N°28 : Carte des Ressources en eaux souterraines dans le bassin versant de Chellif-Zahrez, (Source : ABH CZ, 2006).....	51
Fig. N°29 : Carte des unités hydrogéologiques de la plaine de Khemiss Meliana.....	52
Fig. N°30 : Carte des sous bassins versants de la plaine de Khemiss Meliana.....	53
Fig. N°31 : Carte de répartition spatiale des forages de la plaine de Khemis Miliana.....	54
Fig. N°32 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut-Chélif (Période des hautes eaux, Avril 2016), (Dekkiche I, Mezaour A, 2019).....	55
Fig. N°33 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut-Chélif (Période des basses eaux : Octobre 2016), (Dekkiche I, Mezaour A, 2019).....	56
Fig. N°34 : Methode GOD, Parametres cotations (In Aichouch F , Moulayat K et Didane Z., 2017)	66
Fig. N°35 : Etapes à suivre pour la réalisation de la carte de vulnérabilité, (In Mimoun S. et Zoubeidi B. 2014 modifié).....	67
Fig. N°36 : Carte du paramètre "G" type d'aquifère de la plaine de Khemis Miliana, (Tracé par ArcGis, 2020).....	68

Fig. N°37 : Carte du paramètre "O" nature lithologique de la ZNS de la plaine de Khemis Miliana, (**Tracé par ArcGis, 2020**).....**69**

Fig. N°38 : Carte du paramètre "D" Profondeur de la nappe de la plaine de Khemis Miliana, (**Tracé par ArcGis, 2020**).....**70**

Fig. N°39 : Carte synthèse de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines selon la méthode **GOD** de la plaine de Khemis Miliana, (**Tracé par ArcGis 10.2, 2020**).....**71**

Fig.N°40 : Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution des eaux de la région d'étude selon la méthode **GOD**.....**72**

Liste des abréviations

AD : Année Déficitaire.

AE : Année excédentaire.

ANRH : Agence national des ressources hydrauliques.

AVI: Aquifer, Vulnerability, Index.

BH : Bilan Hydrique.

C° : Degré Celsius.

CP : Coefficient pluviométrique.

CGG : Compagne Générale de Géophysique.

DA : Déficit Agricole.

DPSB : Direction de la programmation et suivi budgétaire

DRASTIC : **D**epth of growndwater, **R**echarge, **A**quifer media, **S**oil media, **T**opography, **I**mpact of the vadose zone, **C**onductivity.

DSA : Direction des services agricoles.

EPA : environnementale protection agency.

EPIK: **E**pikarst, **P**rotective cover, **I**nfiltration conditions, **K**arst network.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

ETR : Evapotranspiration réelle.

EXD : Excédent.

Fig : La figure.

GOD: **G**roundwater occurrence, **O**verall aquifer, **D**epth of ground water table.

ha : hectare.

Hab : Habitant.

I : Indice d'aridité.

IG: Indice God.

ONID : Office nationale d'irrigation et de drainage.

P : précipitation.

P-Moy : précipitation moyenne.

Q2 : Le quotient d'Emberger.

R : Ruissellement.

RFU : Réserve facilement utilisable.

RISKE: Roche aquifer, Infiltration, Sol, Karstification, Epikarst.

Se : Sud-Est.

SI: Susceptibility, Index.

SINTACS: Soggiacenza, Infiltrazione, Azione del non-saturo, Tipologia della copertura, caratteri idrogeologici dell Aquifero, Conducibilità idraulica, acclività della Superficie topografica.

Sse : Sud-sud-est.

Sso : Sud-sud-ouest.

UTM : La projection universelle transverse de Mercator.

ZNS : zone non saturée.

Introduction Générale

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine
de la plaine de Khemis Meliana

Introduction générale :

L'eau couvre environ 70% de la planète, dans toute cette eau 97.2% est de l'eau salée et seulement 2.8% constitue l'eau douce. La majorité (2.15%) de l'eau douce est sous forme de glace polaire qui est inutilisable, il reste donc que environ $\frac{1}{4}$ de l'eau douce pour tous les habitants de la planète bleue puissent assouvir leurs besoins, dont 0.63% c'est des eaux souterraines.

Les eaux souterraines constituent une source primordiale pour la vie humaine, elles sont pratiquement les seules sources d'eau d'approvisionnement pour la plupart des pays dans le monde.

La recharge des eaux souterraines varie également considérablement d'une année à l'autre sous l'influence de fluctuations climatiques interannuelles (particulièrement dans les régimes climatiques semi-arides à arides), la végétation, le sol, la topographie et la géologie.

La pollution constitue un risque permanent de limitation des ressources en eaux souterraines, l'urbanisation croissante et le développement économique contribuent à la dégradation quantitative et qualitative des eaux souterraines. Les problèmes liés à la pollution des eaux souterraines constituent actuellement une source d'inquiétude qui requiert un intérêt universel. **(In Dekkiche I., Mezaour A., 2019).**

Il faut veiller à maintenir les eaux souterraines propres ; pour que la pollution, qu'elle soit d'origine agricole, industrielle ou liées à d'autres activités humaines ne détruise pas cette très petite partie d'eau utilisable par l'homme, qui est déjà en diminution sous l'effet des facteurs cités précédemment.

La prévention de la pollution des eaux souterraines, action d'autant plus nécessaire que la décontamination des nappes d'eaux souterraines polluées, cette dernière est une entreprise longue et coûteuse, implique que soient élaborées et diffusées à l'attention des services publics responsables aussi bien que des particuliers, des informations décrivant l'existence ou l'absence de facteurs naturels protégeant les nappes d'eau souterraine contre les risques de pollution accidentelle ou due à des négligences, qu'elle soit d'origine atmosphérique ou superficielle, ponctuelle ou extensive. La notion de **vulnérabilité** des nappes souterraines à la pollution intègre les différents facteurs physiques et stables déterminant la mesure dans laquelle ces nappes se trouvent, dans les conditions naturelles, plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. **(Albinet M. et Margat J., 1971).**

La prévention est le meilleur moyen de lutte contre la pollution des eaux souterraines, pour cela, il existe différents moyens de prévention, à savoir : la détermination des périmètres de protection et la cartographie de la vulnérabilité et du risque.

Cette étude s'intéresse à la cartographie de la vulnérabilité et au risque de pollution de la plaine alluviale de Khemis Miliana, qui est devant un risque potentiel de pollution depuis la surface par des contaminants générés par l'activité humaine (surtout l'agriculture), ce qui sert après comme un outil de gestion des eaux de cette nappe à leur protection.

Dans ce mémoire, nous essayons dans un premier temps de faire une discussion descriptive sur l'influence des paramètres climatiques et hydrogéologiques sur l'alimentation de la plaine du Haut Cheliff. Après nous essayons de réaliser une carte de vulnérabilité et du risque de la pollution de la nappe de la plaine alluviale de Khemis Miliana à l'aide de méthode GOD.

Afin d'aboutir aux objectifs de cette étude, nous préconisons l'approche méthodologique suivante :

- Le premier chapitre s'agit d'une synthèse générale sur la localisation et les caractéristiques de la région d'étude, ainsi d'exposer les caractéristiques des formations géologiques rencontrées dans la zone.
- L'analyse des principales conditions climatiques (précipitations, températures et l'évapotranspiration) est présentée dans le deuxième chapitre.
- Le troisième chapitre nous permet de déterminer le comportement hydrogéologique des différents terrains, les caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères (perméabilité) et les directions d'écoulement, de drainage et d'alimentation des eaux souterraines ainsi que les zones d'intercommunication entre les différents horizons hydrogéologiques (carte piézométrique).
- Le dernier chapitre présente une identification générale sur la vulnérabilité à la pollution (types, critères et méthodes), ainsi de réaliser une carte de vulnérabilité intrinsèque en basant sur des paramètres physiques : profondeur de la nappe, type d'aquifère et la nature de la zone non saturée, en utilisant les systèmes d'information géographique (logiciel ArcGIS).

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

Chapitre I:

Présentation de la zone d'étude

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine
de la plaine de Khemis Meliana

I.1.Introduction :

La géographie et la géologie est la base de toute étude de terrain, surtout pour l'étude hydrogéologiques. Elle délimite le secteur étudié et détermine la distribution des facteurs physico-géographiques ainsi que les formations géologiques caractérisent la région d'étude. (Medjouel F, Gouas R, 2019).

I.2.Situation géographique de la Wilaya d'Ain Defla :

Issue du découpage administratif de 1984 la wilaya d'Ain Defla, se présente comme étant une zone relais entre l'Est et l'Ouest, occupant de ce fait, une position géographique centrale pouvant lui confier un rôle stratégique lors de l'élaboration du schéma national d'aménagement du territoire, assurant ainsi une parfaite jonction entre le littoral et la région des hauts plateaux ainsi qu'une meilleure liaison entre la région Ouest et celle de l'Est du pays. (DPSB Ain Defla, 2020).

Le territoire de la wilaya reste inséré entre les massifs montagneux du **DAHRA-ZACCAR** au Nord et **l'OUARSNIS** au Sud avec une plaine au centre sous forme de cuvette, traversée d'Est en Ouest par l'oued Cheliff, cours d'eau d'importance nationale.

Elle est située à **145** km au sud-ouest de la capitale et englobe d'importants axes routiers (RN4 Alger - Oran), (RN14 : Alger – Tissemsilt), (RN 18 : Ain-Defla _Medea), (R65 : AIN-Defla _ Chlef), ainsi que la principale voie ferrée Alger-Oran touchant le territoire de 08 communes de la wilaya (Boumedfaa, El-Hoceinia Khemis Miliana, Sidi Lakhdar, Arib, Ain-Defla, Rouina, El Attaf).

Elle s'étend sur une superficie de **4544,28** km², Elle est limitée administrativement par **cinq** wilayas : (**Fig. N°01**)

- Au Nord la wilaya de **Tipaza**.
- Au Nord-Est la wilaya de **Blida**.
- A L'Est la wilaya de **Médea**.
- A l'Ouest la wilaya de **Chlef**.
- Au Sud la wilaya de **Tissemsilt**.

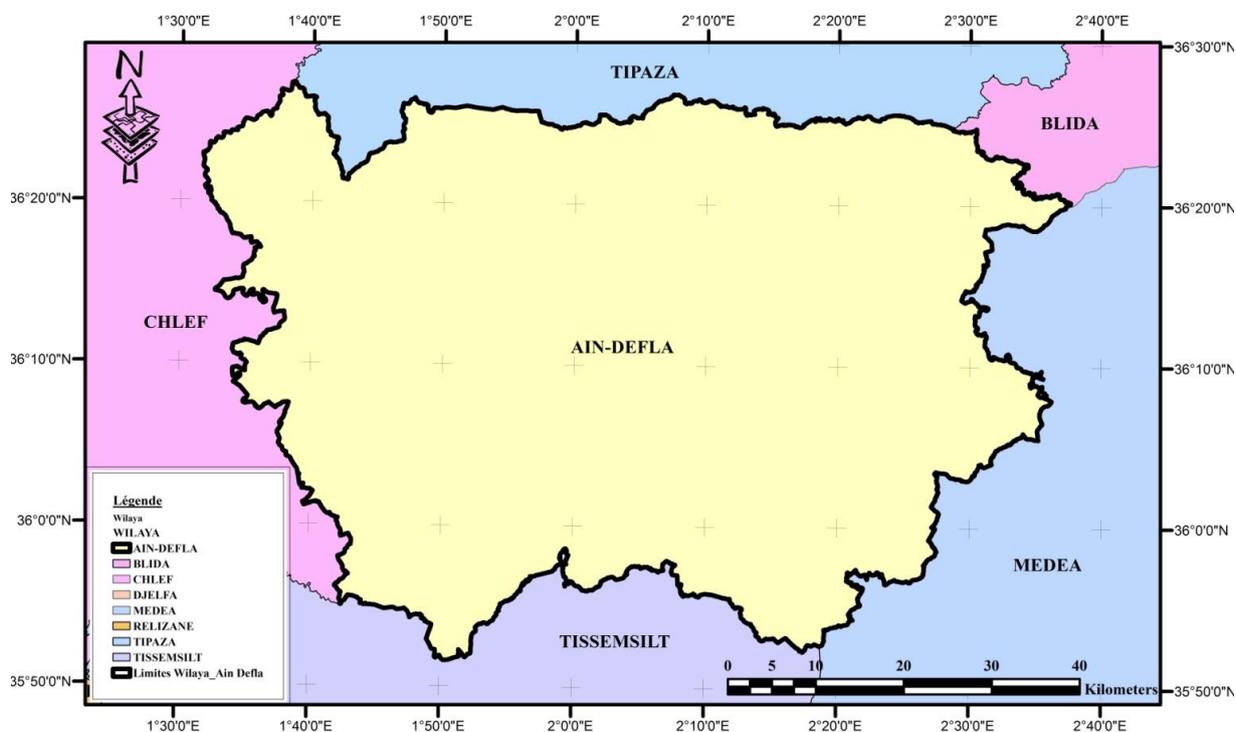


Fig. N°01 : Carte de situation géographique de la wilaya d'Ain Defla.

I.2.1.La situation géographique de la zone d'étude :

La plaine de Khemis Miliana, connue aussi sous le nom de la plaine alluviale du **Haut Cheliff**, est localisée dans la wilaya d'Ain Defla. Elle est située à 120 km au Sud-ouest d'Alger et à 25Km à l'Est de chef-lieu de la Wilaya sur la route nationale N°4. Cette plaine appartient au bassin du Cheliff, elle apparaît sous la forme d'une dépression intra-montagneuse dans la partie nord de l'Algérie.

La région d'étude couvre une superficie de 360 Km² et un périmètre de 159 Km et de 270 m d'altitude moyenne. Elle est limitée :

- Au Nord par le massif du Zaccar (1576m).
- Au Sud par les premiers contreforts de l'Ouarsenis (1700m).
- À l'Est par le seuil de Djendel (Djebel Gountas 781 m d'altitude).
- À l'Ouest par le seuil des Aribes (Djebel Doui).

La plaine est caractérisée par une pente relativement faible estimée à 15% (**Hattab M, 1998**) pour la majorité de la surface. Elle est comprise entre les coordonnées géographiques :

- 36°7' - 36°17' de latitude Nord, c'est-à-dire entre les communes de Bir-Ould Khelifa et Miliana.
- 2°1' - 2°17' de longitude Est, entre Djebels Doui et Gountas.

La zone d'étude couvre sept communes totalement qui sont : Arib, Sidi Lakhder, Khemis Miliana, Ain Sultane, Djendel, Bir Ould Khelifa et Djelida, et cinq communes partiellement qui sont : Ain Defla, Ben Allal, Bordj Emir Khaled, Oued Djemaa et Ain Lechiekh. (Fig. N°02)

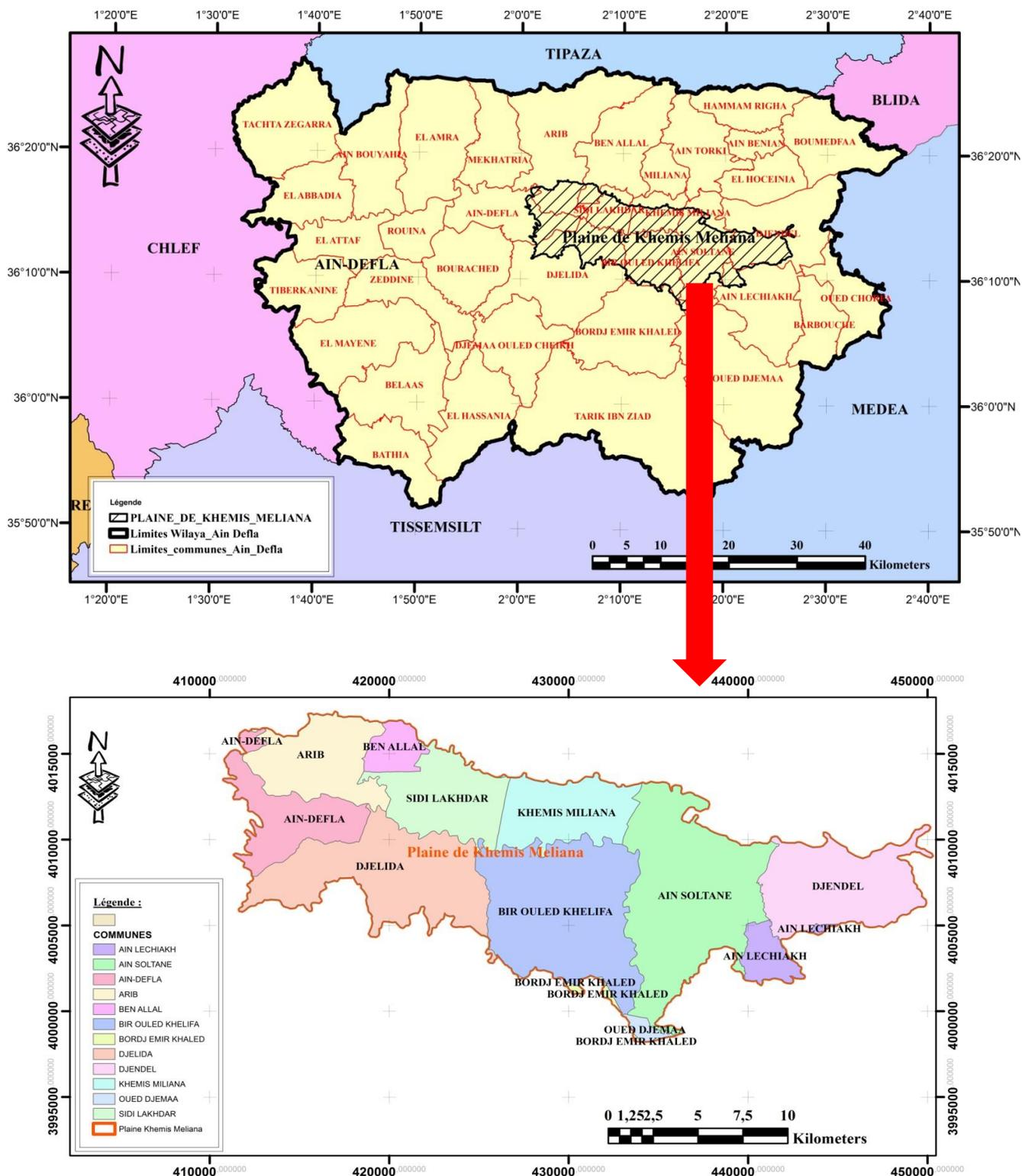


Fig. N°02 : Carte de Situation géographique de la plaine de Khemis Miliana.

I.3. Evolution de la population :

Les 11/12 communes ont connu une croissance démographique importante par rapport aux années précédentes malgré ses superficies limitées, elles atteignent actuellement plus de 457 435 habitants selon le tableau suivant :

Tab. N°01 : Evolution de la population des communes de la plaine alluviale du Haut Cheliff (DPSB Ain Defla, 2020).

Année Commune	1987	1998	2008	2019	Horizon 2030	Horizon 2050
Khemis-Miliana	88131	114012	128775	148549	189400	263675
Sidi-Lakhder	10492	16902	20970	26785	33267	45053
Arib	15906	20782	24980	30761	37190	48879
Djelida	21916	30371	36077	43969	52675	68504
B.O.Khelifa	6954	10568	12846	16019	19543	25951
Djendel	19938	26849	30169	34553	39114	47407
Ain-Soltane	14375	18541	21565	25716	30242	38471
Ain-Defla	33361	52276	65453	84954	107382	148160
Ben Allel	8575	7979	9068	10531	12153	15102
Bordj E-Khaled	6951	7202	8598	10502	12582	16362
Oued Djemaa	10637	9891	9555	9172	8869	8319
Ain Lechiekh	11499	12119	13744	15924	18201	22341

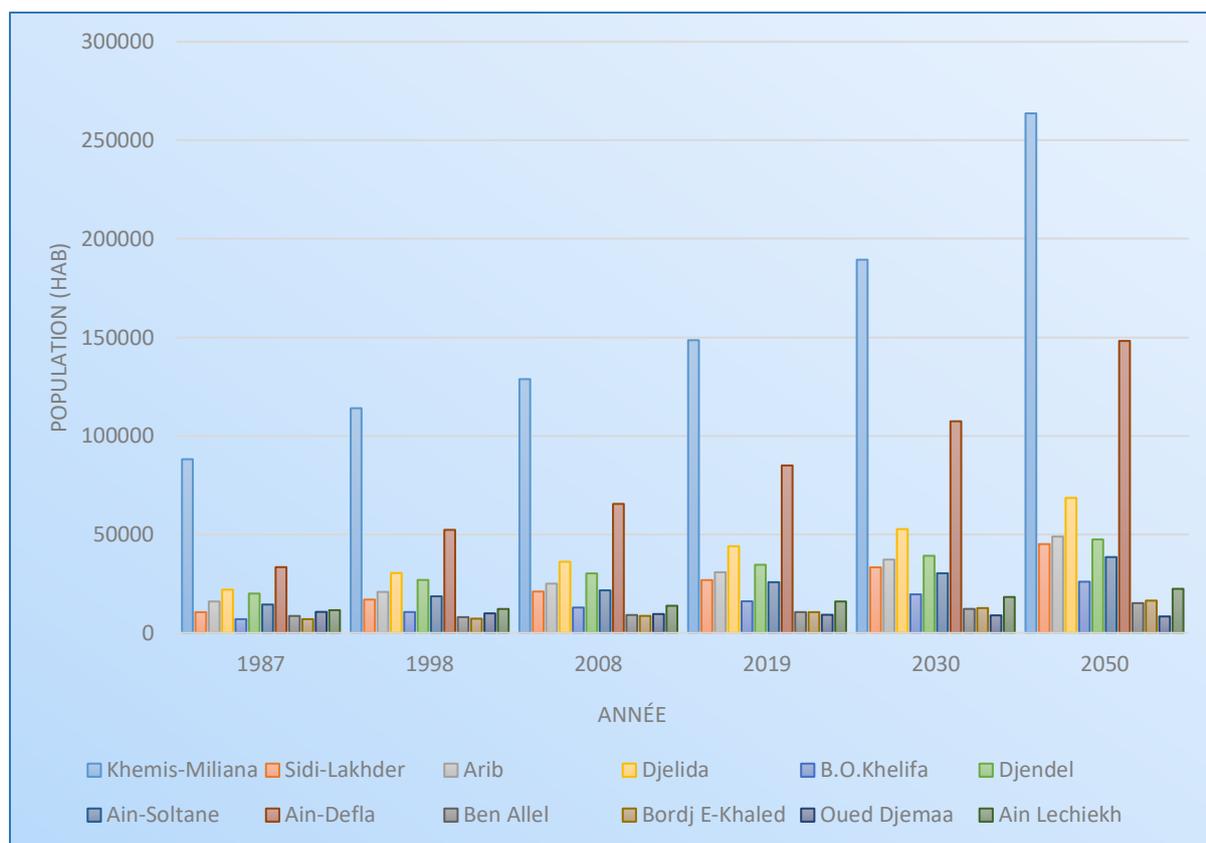


Fig. N°03 : Evolution de la population des communes de la plaine.

D'après le tableau (Tab. N°01) et l'histogramme nous montre que l'évolution de la population des onze communes : Khemis-Miliana, Sidi-Lakhder, Arib, Djelida, Bir Ould Khelifa, Djendel, Ain-Soltane, Ain Defla, Ben Allel, Bordj Emir Khaled et Ain Lechikh connaissent une croissance démographique marquée allant de (1.24% à 2.54%), et la croissance démographique de la commune de Khemis-Miliana est plus importante par rapport à les autres communes. Aussi nous observons que la commune d'Oued Djemaa a connu une décroissance démographique ou on prévoit que la population diminuera à 8300 habitants d'ici 2050, c'est peut-être à cause de l'exode rural.

I.4.Réseau hydrographique :

La plaine alluviale de Khemis Miliana est traversée d'Est en Ouest par l'oued le plus important d'Algérie, **Oued Chéllif** et ses principaux affluents qui alimentent la zone, est qui sont : oued Souffay, Millet et Boutane au nord, Deurdeur, Massine et Harreza au sud. (fig.N°04)

- **Oued Souffay** : Qui draine le secteur Nord-est des monts du Zaccar et reçoit les eaux ruisselée de la ville de Khemis Miliana.

- **Oued Millet et Boutane** : Qui collecte des eaux provenant du secteur Nord du Zaccar, puis traverse la plaine ou il présente, par endroits, des intercommunications avec la nappe alluviale avant de rejoindre l'Oued Chleff à l'Ouest de la plaine.
- **Oued Deurdeur** : qui prend sa source dans les amonts d'Ouarsenis au Sud du secteur d'étude. Il traverse la plaine sur plusieurs Kilomètre avant de confluer avec l'Oued Chélif.
- **Oued Massine** : sa direction d'écoulement est SSE-NNO, il alimente la partie sud de la plaine.
- **Oued Harreza** : est également un Oued du Sud (Ouarsenis), il est caractérisé par un débit élevé du fait de l'impluvium. Dans la partie aval, il s'écoule dans la plaine ou il présente un inféroflux en relation avec la nappe alluviale et rejoint plus en aval l'Oued Chleff.

Tab. N°02 : Réseau Hydrographique (Bong I et Mezian I, 2013).

Oued (cours d'eau)	Chélif	Souffay	Millet et Boutane	Deurdeur	Massine	Harreza
Longueur (m)	59275.67	4305.85	30897	5171	6424	10273
Direction d'écoulement	E-W	NNE-SSW	E-W	SSW-NNE	SSE-NNW	SE-NW

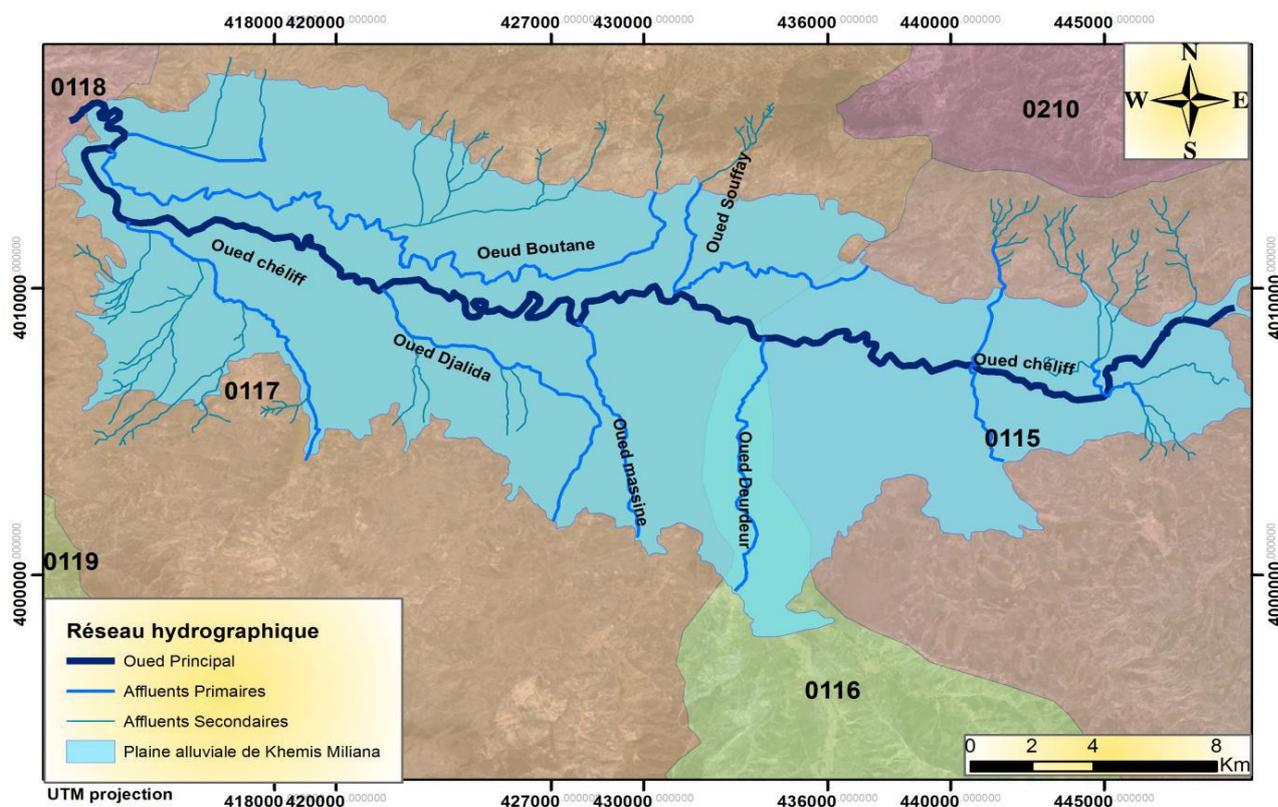


Fig. N°04 : Réseau hydrographique de la plaine du Haut Cheliff
(In Boudjnane I, Maarouf n, 2015).

I.5.Contexte géomorphologique :

Les paramètres géomorphologiques influencent sur l'écoulement des eaux superficielles, notamment le régime d'écoulement. La topographie et relief de la plaine sont très variés par résultante de la combinaison entre deux facteurs : la pente et l'altitude.

- La valeur des pentes du relief est un paramètre que l'on recherche en hydrogéologie. En général, le risque de contamination des eaux souterraines diminue en effet, avec l'augmentation de la pente du terrain, puisqu'une pente forte favorisera le ruissellement, réduisant par le fait même le risque d'infiltration des contaminants. (Sahraoui N, 2015).

La nappe alluviale du Haut Cheliff présente une forme allongée et une pente faible (15%) favorisant le ralentissement de l'écoulement des eaux et par conséquent un accroissement de l'infiltration au dépend de ruissellement. (Fig.N°05)

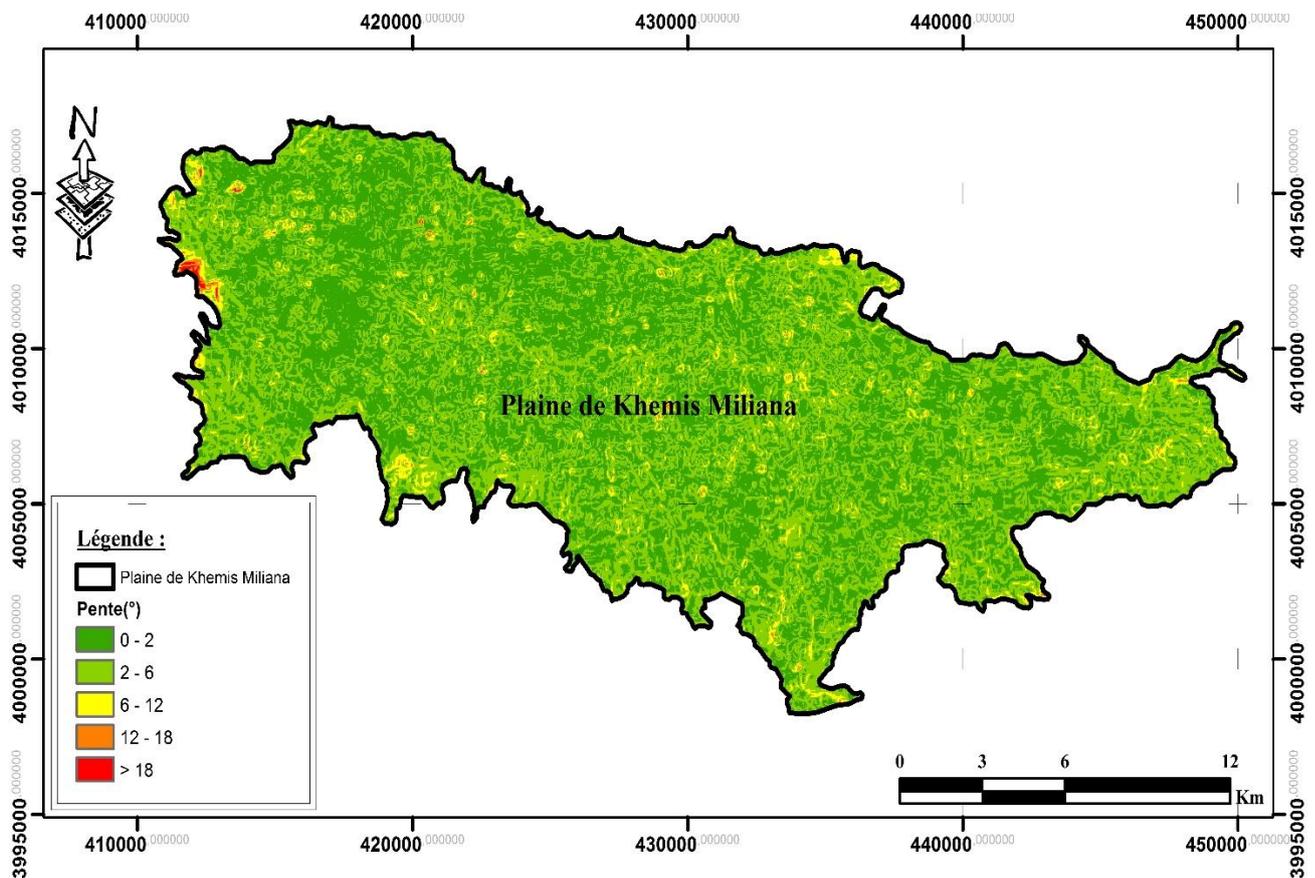


Fig. N°05 : Carte des pentes de la plaine de khemis Miliana.

- La plus part des facteurs météorologiques (précipitations, températures) et hydrologiques sont en fonctions de l'altitude, d'où l'importance de connaître la répartition des surfaces en fonction de l'altitude. (Boudjenane I, Maarouf N, 2015).

La plaine est caractérisée par une altitude moyenne de 270m, avec une altitude maximale de 433m et une minimale de 206m. Plus on s'éloigne de la plaine vers le Nord et vers le Sud plus l'altitude augmente, aussi elle diminue d'Est en Ouest. (Fig.N°06)

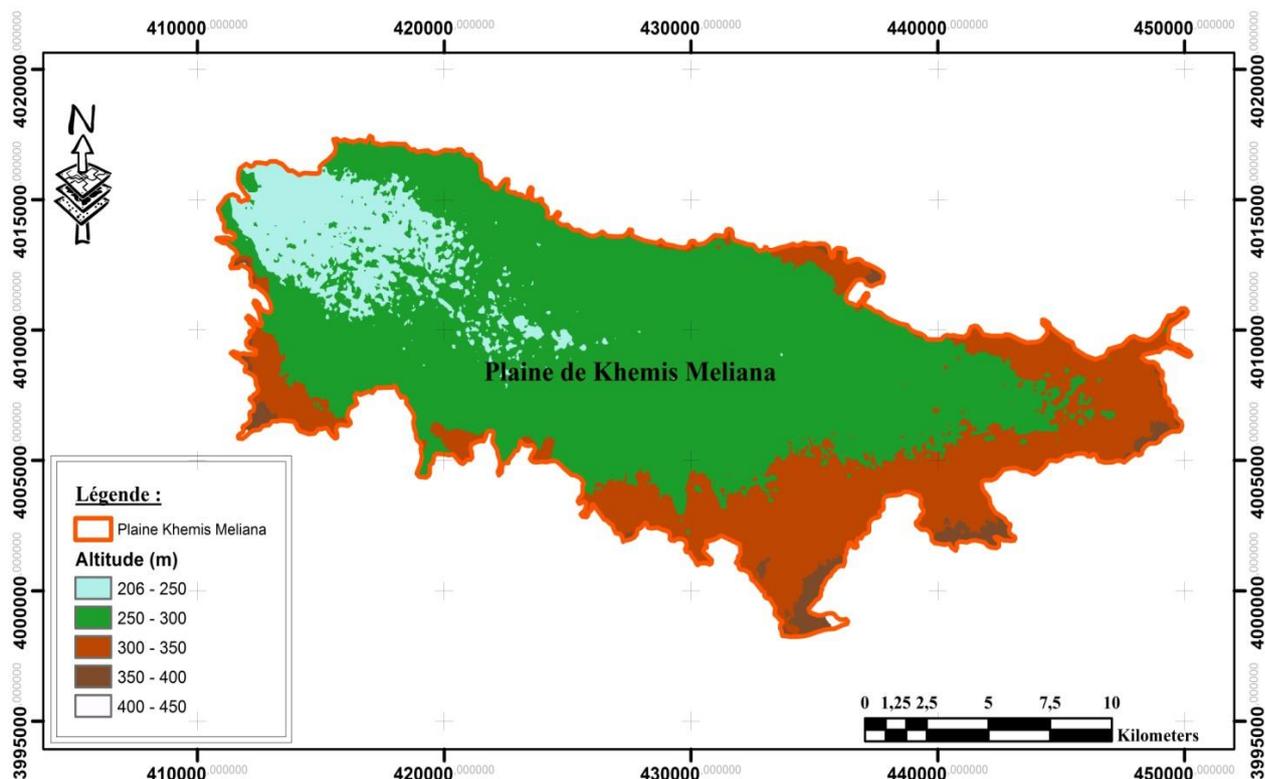


Fig. N°06 : Carte altimétrique de la plaine de Khemis Miliana.

I.6.Occupation du sol :

Le périmètre du Haut Chéiff est devisé selon l'axe de l'oued Cheliff en deux rives :

- ✓ La rive gauche d'une superficie agricole utile de 9730 ha qui est subdivisée en trois zone (Est, Ouest et Centrale).
- ✓ La rive droite couvre 11303 ha, découpée en cinq zones.

D'après la carte d'occupation du sol de **la figure N°7**, on constate que les cultures maraichères occupent la première position en s'étalant sur toute la plaine et sont beaucoup plus concentrés dans la partie Est de la plaine du Haut Chéiff près de la ville de Djendel.

Les cultures pratiquées durant les dernières années montrent que les superficies irriguées ne dépassent pas 6000 ha/compagne sur une totale de la surface agricole utile de 16300 ha.

La carte ci-dessous montre que 65 % de la surface de la plaine est occupée par des cultures annuelles (pomme de terre, tomate, oignon, melon, pastèque, carotte,...), 26 % est occupée par des cultures pérennes (agrumes, vergers,...), alors que les emprises urbaines et le réseau hydrographique occupent 4 % chacun.

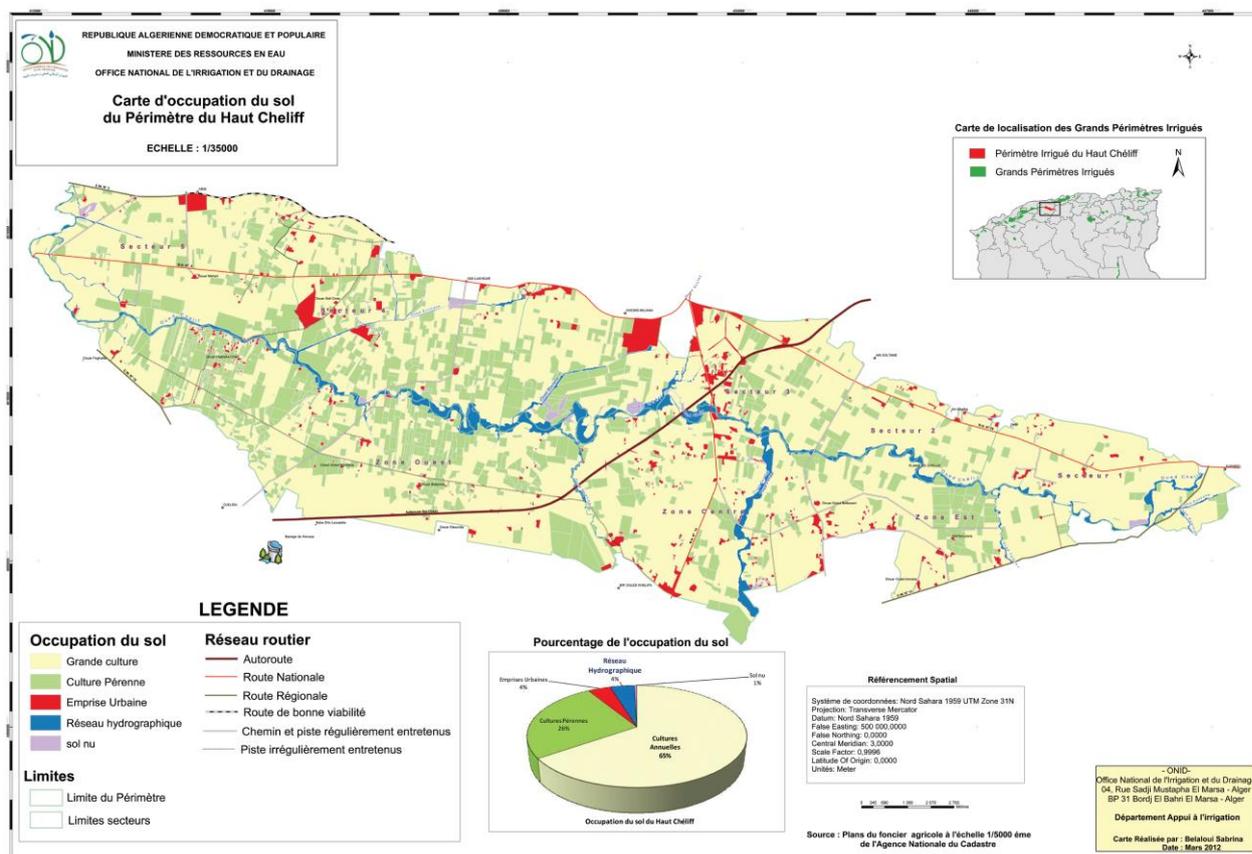


Fig. N°07 : La carte d'occupation du sol de la plaine du Haut Chélif (ONID, 2012)

Les produits phytosanitaires et les engrais sont les facteurs majeurs de la pollution des eaux souterraines d'origine agricole. Les 12 communes de la plaine utilisent ces produits chimiques pour l'augmentation et l'amélioration des rendements, en quantités très importantes devisées comme suite sur les tableaux : 03, 04 et 05 :

Tab. N°03 : Livraison des produits phytosanitaires solides par catégorie et par communes. (DSA, 2016).

Communes	Produits en solide (Kg)				
	Fongicides	Herbicides	Insecticides	Nematicides	Divers
DJELLIDA	-	-	-	-	0
ARIB	2036	300	321	30	310
KHEMIS MILIANA	0	0	0	0	0
SIDI LAKHDAR	9446	3510	2813	1725	795
DJENDEL	0	0	0	0	0
BIR OULD KHELIFA	483	756	59	0	0
AIN SULTAN	0	0	0	0	0
AIN DEFLA	0	0	0	0	0
BEN ALLEL	1800	350	200	0	0
BORDJ E-KHALED	0	10	7	0	0
OUED DJEMAA	0	0	0	0	0
AIN LECHIEKH	510	710	305	0	0

Tab. N°04 : Livraison des produits phytosanitaires liquides par catégorie et par communes. (DSA, 2016)

Communes	Liquides (L)				
	Fongicides	Herbicides	Insecticides	Nematicides	Divers
DJELLIDA	1070	1710	1885	0	310
ARIB	685	2500	2680	0	0
KHEMIS MILIANA	500	777	455	0	189
SIDI LAKHDAR	1099	870	744	0	586
DJENDEL	4020	3137	3527	0	2230
BIR OULD KHELIFA	4500	310	300	0	0
AIN SULTAN	8374	8180	45675	0	0
AIN DEFLA	0	0	0	0	0
BEN ALLEL	0	0	0	0	0
BORDJ E-KHALED	110	105	0	0	0
OUED DJEMAA	520	2700	500	0	0
AIN LECHIEKH	1580	2900	800	0	0

Tab. N°05 : livraison des produits engrais par communes. (DSA, 2016).

Communes	Produits engrais (Qx)
DJELLIDA	52504
ARIB	17886
KHEMIS MILIANA	8295
SIDI LAKHDAR	18390,4
DJENDEL	46652
BIR OULD KHELIFA	39637,5
AIN SULTAN	56161
AIN DEFLA	115188
BEN ALLEL	39637,5
BORDJ E-KHALED	8583,8
OUED DJEMAA	16840
AIN LECHIEKH	211

I.7. Le contexte pédologique :

Selon la carte des sols établie par **Boulaine (1957)** et celle établie par **McDonald et BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural) (1990) (Fig. N°08)**, deux grandes divisions des sols peuvent être distinguées :

- **Les sols des bordures de la plaine :**

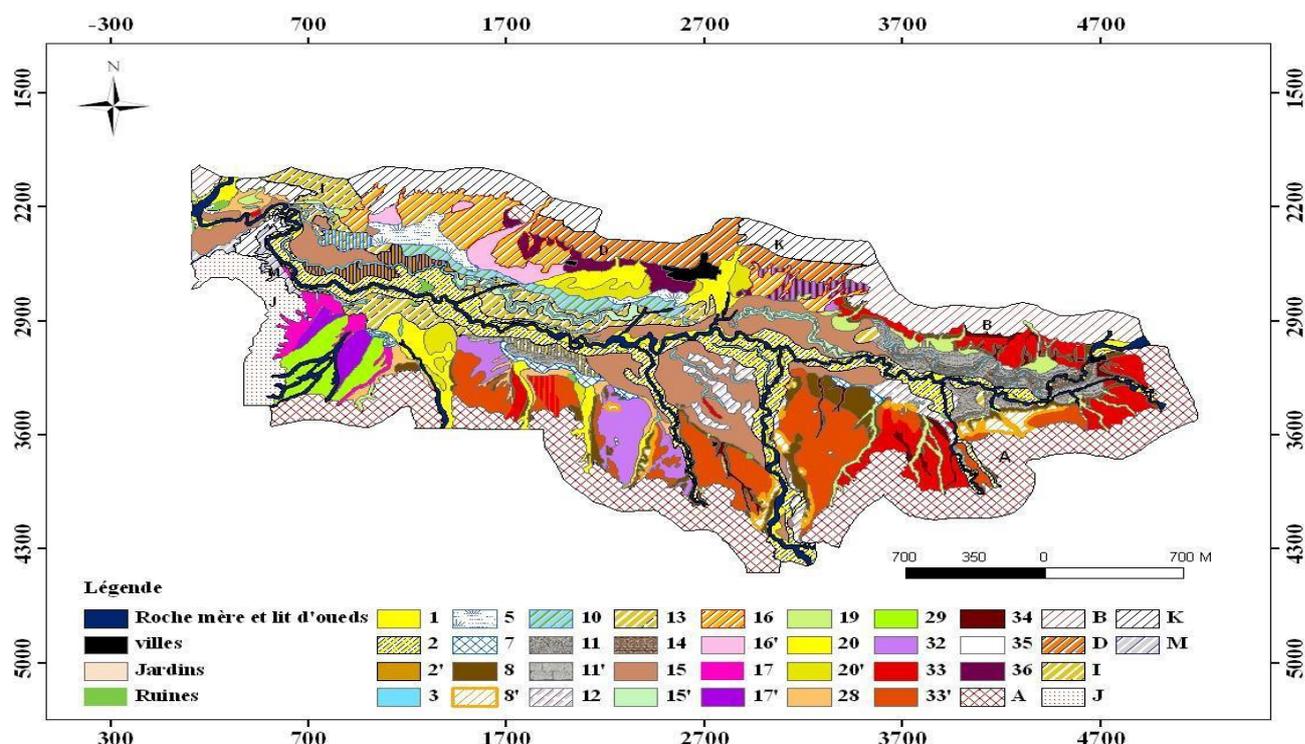
Ces sols sont formés par des associations suivantes :

- Association des sols à carapaces calcaires.
- Association des sols décalcifiés des sols jeunes formés sur les roches perméables et calcaire.
- Association des sols jeunes formés sur les grés et les marnes et de ces roches- mères.
- Association des sols formés sur les calcaires massifs et de ces roches-mères.
- Association des sols formés sur roches-mères siliceuses.
- Association des sols formés sur roches-mères schisteuses.
- Association des sols jeunes des glaciers d'accumulation récents.

- **Les sols centraux de la plaine :**

D'après la carte de Boulaine, sept classes ont été décrites :

- Les sols alluviaux non évolués.
- Les sols engorgés par l'eau. (Appelés aussi hydromorphes).
- Les sols calciques.
- Les sols alluviaux évolués.
- Les sols colluviaux et sols alluviaux des affluents mineurs.
- Les sols très évolués (qui sont divisés en sols partiellement décalcifiés et sols décalcifiés lessivés)
- Un mélange de sol.



- 1-Sols alluviaux non évolués des dépôts sableux du lit majeur des oueds
- 2- Sols alluviaux non évolués des dépôts sableux du bourrelet des oueds.
- 2'- peu épais, recouvrant le sol figuré latéralement.
- 3- Sols engorgés par l'eau des réseaux d'écoulement des eaux superficielles des plaines
- 5- Sols engorgés par l'eau à couvert d'eau temporaire et à nappe phréatiques non salés.
- 7- Sols engorgés par l'eau à inondation temporaire hivernale.
- 8- Sols calciques formés sur carapaces calcaires.
- 8'- sols calciques humifères (sols rendziniformes).
- 10- Sols alluviaux tirsifiés ou sols alluviaux solnetxiques.
- 11- Sols alluviaux présentant un début de décalcification et une accumulation progressive du calcaire ;
- 11'- avec tendance à la tirsification.
- 12- Sols alluviaux en voie de décalcification.
- 13- Sols alluviaux complexes à horizons d'accumulation des sulfates.
- 14- Sols alluviaux présentant un début de décalcification et une accumulation brusque du calcaire.
- 15- Sols alluviaux complexe.
- 16- Sols colluviaux et alluviaux provenant des massifs schisteux.
- 16'- en voie d'évolution par lessivage.
- 17- Sols colluviaux et alluviaux provenant des massifs siliceux.
- 17'- en voie d'évolution par lessivage.

- 19- Sols colluviaux provenant des massifs gréseux et des formations quaternaires anciennes
- 20- Sols colluviaux et alluviaux provenant des massifs marneux et argileux.
- 20'- voie d'évolution par lessivage.
- 28- Sols partiellement décalcifiés avec accumulation progressive du calcaire.
- 29- Sols insaturés à accumulation progressive du calcaire.
- 32- Sols décalcifiés, rubéfiés et lessivés, à accumulation progressive du calcaire.
- 33- Sols décalcifiés, rubéfiés et lessivés, à accumulation brusque du calcaire.
- 33'-sur carapace calcaire.
- 34- Colluviaux des sols rouges lessivés.
- 35- Daya des zones à carapace calcaire.
- 36- Pseudo-solonetx rouges.
- 32+36- Association de sols.
- A- Association des sols à carapace calcaire.
- B- Association des sols décalcifiés et des sols jeunes formé sur les roches perméables et calcaire.
- D- Association des sols jeunes formés sur les grés et les marnes et de ces roches-mères.
- I- Association des sols formés sur les calcaires massifs et de ces roches -mères.
- J- Association des sols formés sur roches-mères siliceuses.
- K- Association des sols formés sur roches-mères schisteuses.
- M-Associat ion des sols jeunes des glacis d'accumulation récents.

Fig. N°08 : La carte des sols de la région du Haut-chéliff (In Attafi S., 2017)

I.8.1.Lithologie du Haut Cheliff :

La coupe lithologique transversale (**Fig. N°10**) effectuée dans la plaine fait apparaître la dépression subsidente et l'allure en synclinal des différentes formations constituant le sous-sol.

On peut observer de bas en haut :

- le Crétacé inférieur, imperméable et s'étalant sur toute la largeur de la plaine. Il a servi comme un fond étanche lors de la réalisation du barrage de Ghrib.
- les dépôts alluvionnaires de l'oued Chélif, en premier lieu ; étant en contact avec la formation argileuse du Miocène, ils forment une couche d'alluvions argileuses d'une épaisseur de 32m.
- les dépôts alluvionnaires grossiers de l'oued Chélif proprement dit ; avec des épaisseurs pouvant dépasser les 70m, ils forment l'aquifère le plus important de la région.
- à la bordure de l'oued, le contact argileux du Miocène et les dépôts alluvionnaires forment des lentilles d'alluvions argileuses.
- finalement, un couverture limoneux surmonte le tout ; observé essentiellement au centre de la plaine, il rend l'aquifère captive dans quelques endroits.

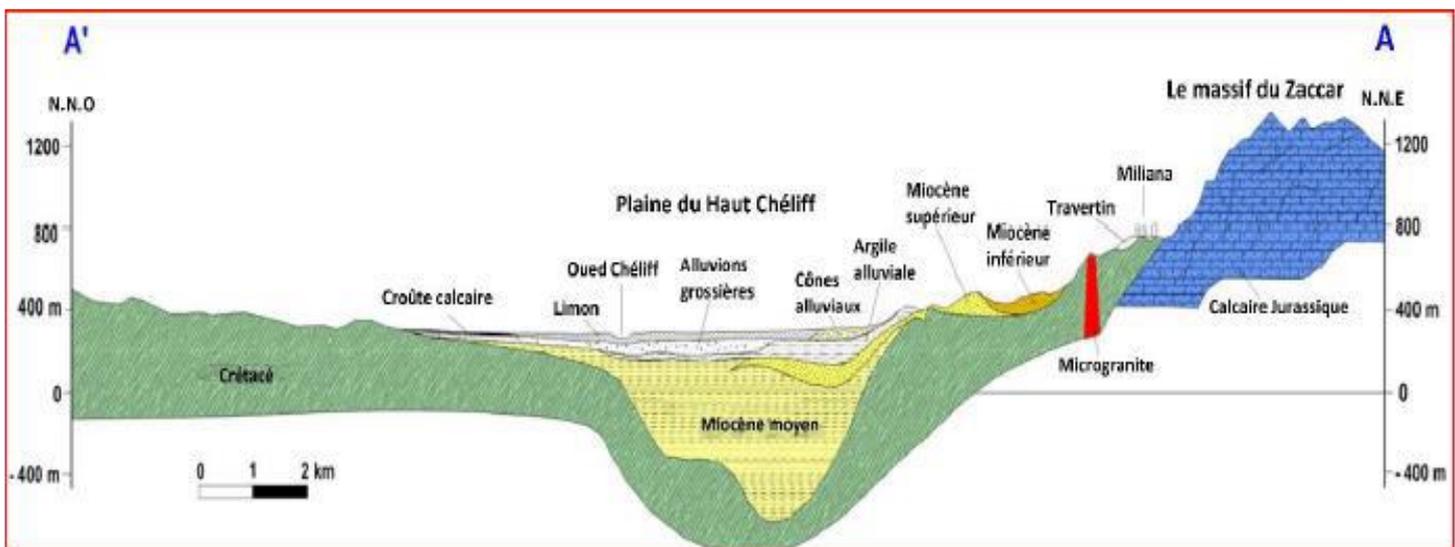


Fig. N°10 : Coupe géologique de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon,A 1957).

I.8.2. Stratigraphie :

Les séries stratigraphiques ou bien la succession lithologique de la plaine du Haut Cheliff s'étalent du primaire jusqu'au Quaternaire.

I.8.2.1. Le Primaire : est constitué d'une alternance des schistes noirs graphiteux et des bancs de quartzites et d'argiles. il affleure de djendel Doui, au Nord Est du Zaccar.

I.8.2.2. Le Trias : est généralement constitué des dolomies et des calcaires dolomitiques, il affleure dans le massif de Doui et de Zaccar.

I.8.2.3. Le Crétacé : le Crétacé affleure sur les bordures latérales de la plaine, IL est représenté de la base au sommet par :

- Des faciès flysch de l'Albien qui se développent dans le massif de Boumaad.
- Des argiles schisteuses du Néocomien, d'une épaisseur de 800 m environ au Nord et à l'Ouest du Zaccar.
- Des marnes avec des intercalations des bancs de calcaire d'âge Sénonien.

I.8.2.4. Le Miocène : Le Miocène peut atteindre 300 m d'épaisseur, il est constitué de la base Au sommet par :

I.8.2.4.1. Le Miocène inférieur (Burdigalien) :

Il repose sur des terrains plus Anciens Eocène et Crétacé, qui débute par une formation conglomératique d'épaisseur environ 220 m.

Cette Formation est constituée essentiellement par des conglomérats polygéniques à des éléments de taille très variables, mal triés, avec des niveaux sableux ou gréseux mal stratifiés parfois gypsifères. Au sommet, les niveaux conglomératiques deviennent plus fins et passent progressivement à des marnes gréseuses rouge à brune verdâtre.

I.8.2.4.2. Le Miocène supérieur (Vindobonien) :

C'est une série qui représente de base au sommet : Des niveaux conglomératiques épais de 1 à 2 m, à ciment sablo- marneux, surmontés par un Niveau marneux de couleur bleu, d'une épaisseur d'environ 50 m ; des marnes blanches Alternant avec quelques bancs siliceux couronnés par un dépôt de grés et de sable, d'une épaisseur de 100 m environ. Une formation

marneuse de couleur bleue, présentant un faciès argileux, parfois gypseux d'environ 90 m d'épaisseur.

I.8.2.4.3. Le Mio-Pliocène : le Mio-Pliocène est constituée par les cailloutis et des galets quartzeux, des Conglomérats, des grés et des argiles détritiques, ainsi que le Travertin ancien déposé au niveau des sources du Zaccar.

I.8.2.5. Le Pliocène : on distingue un Pliocène continental et un Pliocène marin :

I.8.2.5.1. Le Pliocène inférieur (Pliocène marin) : est représenté par une série Marneuse qui débute par des niveaux détritiques gréseux ou sableux et parfois conglomératiques, ensuite on a un Passage progressif dans la partie supérieur à des marnes sableuses et sables argileux, formant tous les termes de passage aux grés Astien. Les grés, avec une épaisseur d'une centaine de mètres constituent, une bande continue depuis l'Ouest d'Abaddia vers le versant Sud du Dahra.

I.8.2.5.2. L'Astien : est représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grés sont souvent à ciment calcaire, localement passer à des calcaires gréseux.

I.8.2.5.3. Pliocène supérieur (Villafranchien) :

Le Pliocène continental est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables, non consolidés. Les dépôts sableux rouges à stratifications entre croisées qui succèdent aux Conglomérats précédents appartiennent au Villafranchien. Ces dépôts reposent le plus souvent sur des limons grés.

Parfois les conglomérats du Pliocène supérieur n'existent pas, et les Formations rouges du Villafranchien se trouvent alors en contact avec des grés Astiens ; d'ailleurs, au Sud de Cheliff sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire recouvre directement les grés du Miocène.

I.8.2.6. Quaternaire : les dépôts quaternaires sont continentaux ; on distingue un Quaternaire ancien et un récent.

I.8.2.6.1. Quaternaire ancien : est représenté essentiellement par des alluvions conglomératiques : galets, graviers et sables. Les alluvions du Quaternaire ancien sont observées au pied du massif du Zaccar, et en particulier à l'Est de Sidi-Lakhdar ; elles forment les vastes collines en bordure Sud de la plaine du haut Chéiff.

I.8.2.6.2. Quaternaire récent :

Le Quaternaire récent est formé essentiellement de limons, dont l'épaisseur varie de 25 à 200m, on y distingue de haut en bas :

Des limons bruns à rouges, les niveaux les plus anciens sont discordants sur le quaternaire ancien. Ces limons recouvrent la presque totalité de la dépression sous forme d'alternance sablo- gréseuse.

Des grés, visibles surtout sur les berges des oueds, forment des accumulations des niveaux très fins dont les épaisseurs peuvent atteindre les cinq mètres, ce sont d'anciens vases asséchés. Ces formations proviennent de l'érosion des reliefs avoisinants.

Des alluvions actuelles formées par des limons, des sables, des galets et des cailloutis au fond des talwegs et dans les zones de confluences des oueds et des méandres abandonnées. **(Kahila A et Achour K, 2008).**

I.8.3. La tectonique du Haut Chélif :

La partie nord-ouest du Djbel Guellala est occupée par la masse du Djbel Gontas, formant un large synclinal central. Toute cette région est affectée par des failles importantes. Les plissements miocènes de cette région semblent être commandés par des accidents du substratum. Le synclinal du Gontas est bordé au S-E par un anticlinal faisant affleurer largement les marnes du Miocène inférieur au Nord-Ouest sur le substratum Crétacé.

(Hadj Hanni, 2013)

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age		Comportement Hydrogéologique
10 à 20		Limons et argiles	Quaternaire récent		Semi - perméable
100		Aluvions grossières (grès et poudingues)	Quaternaire ancien		Perméable
		Aluvions argileuses (sables, graviers, argiles)			
100		Argiles	Pliocène		Imperméable
		Grès et conglomérats			Perméable
100		Grès et poudingues			Perméable
200		Argiles	Miocène supérieur (Vindobonien)		Imperméable
		Grès et poudingues			Perméable
?		Calcaires			Perméable
300		Marnes	Miocène inférieur (Burdigalien)		Imperméable
1000		Grès et poudingues			Perméable
20		Calcaires			Perméable
?		Grès quartzitiques	Eocène		Perméable
		Argiles et schistes			Imperméable
?		Marnes et calcaires marneux	Senonien		Imperméable
20 à 60		Calcaires et marne calcaire	Cénomannien		Imperméable
1000		Schistes et bancs de quartzites	Crétacé		Imperméable
		Argiles schisteuses			Albien
800 à 1000		Argiles schisteuses	Néocomien		Imperméable
1000		Calcaires	Jurassique		Perméable
?		Gypse et argiles	Trias		Semi-perméable
500		Schistes et quartzites	Permo-Trias		Imperméable

Fig. N°11 : Log litho-stratigraphique et hydrogéologique de la plaine alluviale de Khemis-Miliana (Mattauer 1958, Perrodon 1967)

I.9. Conclusion :

La zone d'étude est située dans la partie Nord de l'Algérie, entre les massifs du Zaccar et ceux de l'Ouarsenis, elle fait partie de sept communes totalement qui sont : Arib, Sidi Lakhder, Khemis Miliana, Ain Sultane, Djendel, Bir Ould Khelifa et Djelida, et cinq communes partiellement qui sont : Ain Defla, Ben Allal, Bordj Emir Khaled, Oued Djemaa et Ain Lechiekh.

C'est une région principalement à vocation agricole, traversée par l'oued le plus important en Algérie « Oued Chéllif ».

Les sols dominantes constituent le centre de la plaine sont des sols alluviaux, et les associations des sols jeunes formés sur des calcaires et grés constituent les bordures.

La plaine de Khemis Miliana est caractérisée par des formations sédimentaires, du Primaire jusqu'au Quaternaire, constituées généralement par des calcaires, des grés, des marnes, des argiles et des alluvions. Ces formations peuvent formés des réservoirs d'eau souterraines pour satisfaire la demande en eau de la région.

Chapitre II: Etude Hydroclimatique

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine
de la plaine de Khemis Meliana

II.1.Introduction:

L'étude climatique est très importante pour la connaissance des caractéristiques hydro climatiques, qui est indispensable pour évaluer l'alimentation des ressources hydriques et des réserves souterraines. En effet, une grande partie de l'alimentation des réserves se fait par la remarquable contribution des précipitations, ou plus précisément les précipitations efficaces (PE), qui dépendent de plusieurs facteurs climatiques et hydrologiques.

Les paramètres les plus intéressants dans l'identification du régime d'écoulement sont les précipitations (P) et la température (T). Ces paramètres conditionnent soit la sécheresse, soit l'humidification du milieu. Elles sont utilisées d'une part, pour déterminer les différents termes du bilan hydrique et d'autre part, pour la connaissance des conditions d'alimentation des réserves en eaux souterraines. (Seghir K., 2008).

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).

II.2.Analyses des paramètres climatiques :

Pour l'analyse climatique de notre zone, nous avons utilisé les données de deux stations météorologiques, de Khemis-ANRH et de Barrage Harraza, sur une période de 16 ans entre 2002 à 2017.

Les coordonnées géographiques de ces stations sont présentées en tableau 06.

Tab. N°06 : Caractéristiques des stations météorologiques.

Paramètres Stations	Code	Coordonnées en UTM		Altitude Z(m)
		X(m)	Y(m)	
Khemis-ANRH	01-17-17	431848.16	4012029.25	285
Barrage Harraza	01-17-18	428376.88	4005240.25	315

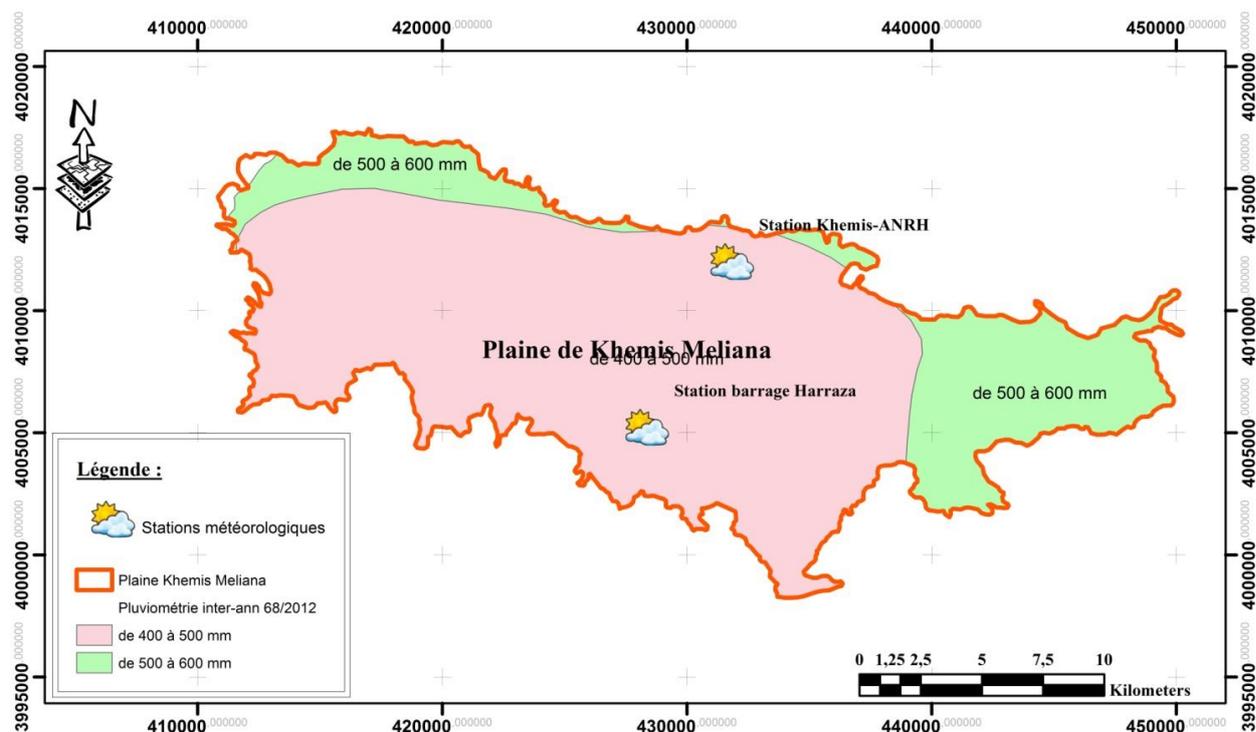


Fig. N°12 : Carte de situation géographique des stations pluviométriques dans la plaine de Khemis-Miliana

II.2.1.Pluviométrie :

II.2.1.1.Régime mensuel des précipitations :

L'objectif de l'étude du régime mensuel des précipitations car il constitue l'un des facteurs climatiques les plus importants pour le régime d'écoulement et le volume d'eau infiltrant et donc l'alimentation nette des nappes d'eau souterraine de la plaine.

Le tableau ci-dessous décrit la pluviométrie moyenne mensuelle enregistrée a les stations de Khemis-ANRH et Barrage Harraza sur une période de 15 ans qui s'étalent de (2002-2017).

Tab. N°07 : Les précipitations moyennes mensuelles des deux stations de la plaine de Khemis-Miliana (2002-2017)

Mois	P Moy (mm)	
	Khemis-ANRH	Barrage Harraza
Septembre	15.74	20.01
Octobre	37.80	32.63
Novembre	62.03	51.93
Décembre	62.09	50.63
Janvier	68.71	54.31
Février	63.31	52.83
Mars	61.01	52.73
Avril	36.41	36.49
Mai	22.83	23.43
Juin	11.31	10.68
Juillet	1.59	0.55
Aout	6.96	6.21
Annuel	449.78	392.43

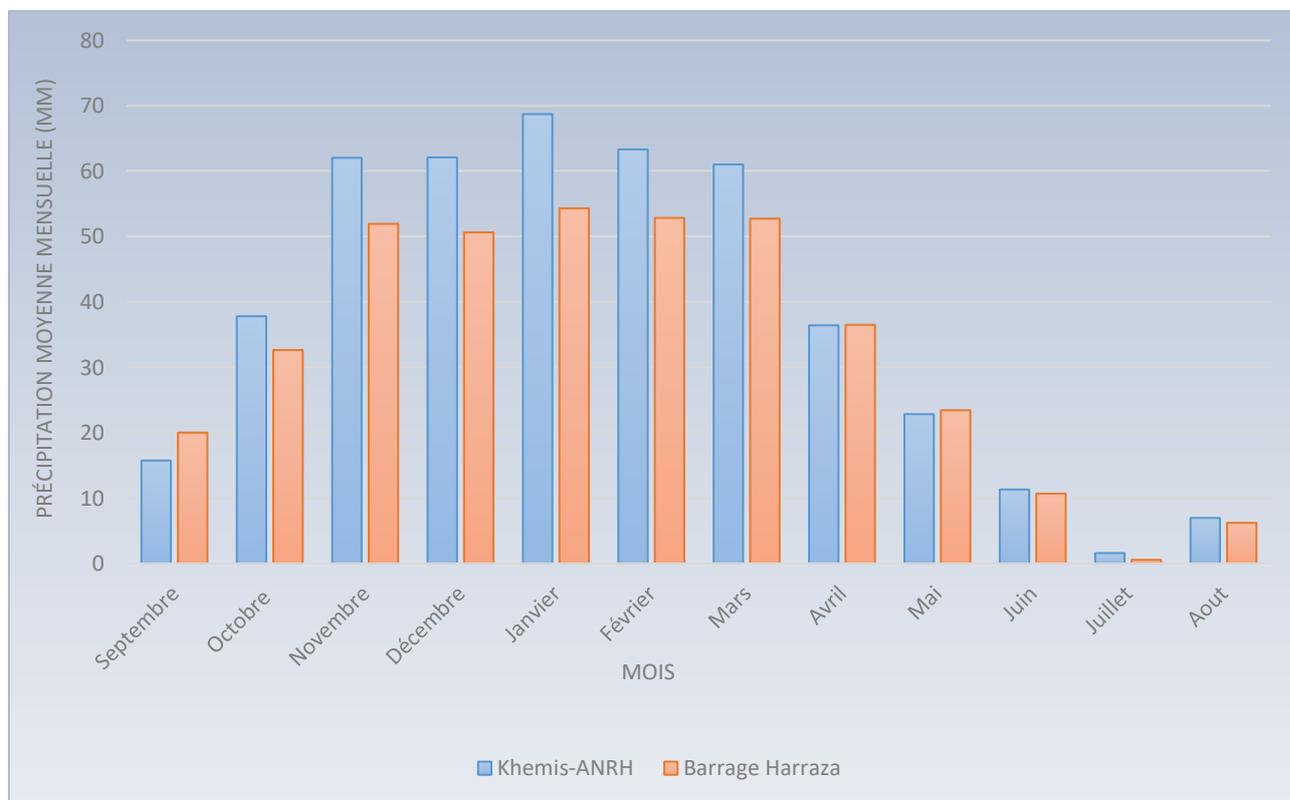


Fig. N°13 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles des deux stations de la Plaine. (2002-2017)

La distribution spatiale des précipitations moyennes mensuelles suit globalement un gradient croissant de septembre à janvier, et un gradient décroissant de janvier à Aout. Au cours de cette période, les pluies les plus importantes sont enregistrées dans la station de Khemis-ANRH.

Le mois le plus pluvieux est le mois de janvier où les hauteurs pluviométriques dépassent les 60 mm à la station de Khemis-ANRH, et les 50 mm à la station de Barrage Harraza, alors que le mois le moins pluvieux est le mois de juillet où les hauteurs pluviométriques enregistrés sont 1.59 et 0.55mm. (Fig.N°13)

II.2.1.2.Régime saisonnier des précipitations :

La distribution saisonnière des précipitations des deux stations de référence au cours de la période (2002-2017) est résumée dans le tableau 08 :

Tab. N°08 : Régime saisonnier des précipitations des stations de la plaine de Khemis-Miliana

Saison Station	Automne Sep-Oct-Nov		Hiver Déc-Jan-Fév		Printemps Mars-Avr-Mai		Eté Juin-Jul-Aout	
	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)	P (mm)	P (%)
Khemis-ANRH	115.57	25.69	194.11	43.15	120.25	26.73	19,86	4.41
Barrage Harraza	104.57	26.64	157.77	40.20	112.65	28.70	17.44	4.44

D’après le tableau 08 on distingue que :

- La saison la plus pluvieuse est la saison hivernale qui s’étale du mois de Décembre au mois de février avec une pluviométrie moyenne qui dépasse 190 mm à la station de Khemis-ANRH, et une pluviométrie de l’ordre de 157.77 mm à la station de Barrage Harraza.
- La saison la moins pluvieuse est la saison estivale qui coïncide aux mois de juin, juillet et aout avec une pluviométrie moyenne de 19.86 mm et 17.44 mm seulement aux stations de Khemis-ANRH et du barrage Harraza respectivement.

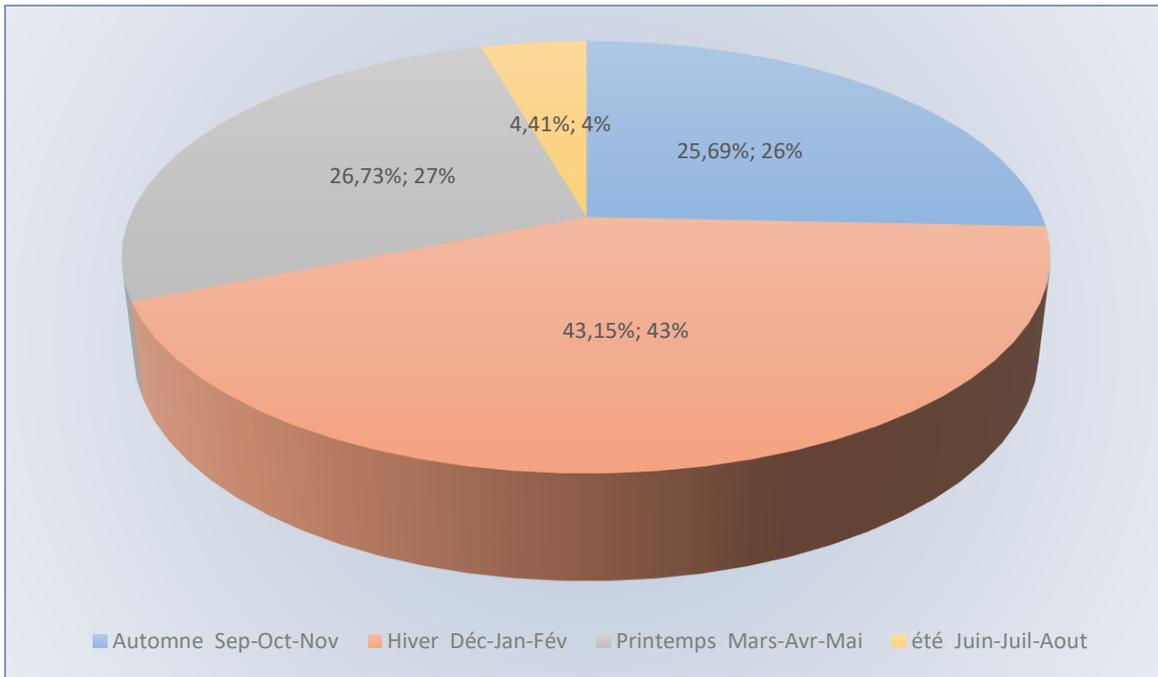


Fig. N°14 : Variations saisonnières des précipitations de la station de Khemis-ANRH (2002-2017)

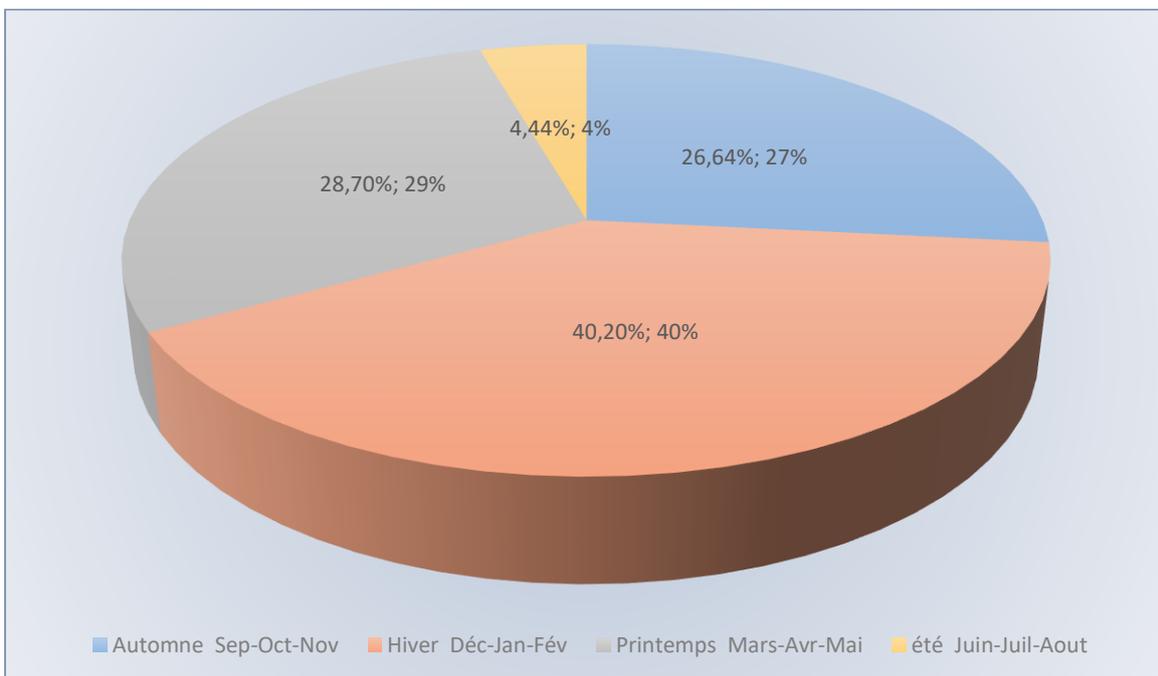


Fig. N°15 : Variations saisonnières des précipitations de la station de Barrage Harraza (2002-2017)

II.2.1.3. Les variations annuelles des précipitations :

Dans le tableau 09 ci-dessous sont mentionnées les précipitations annuelles de la station Khemis-Miliana. « Il est obligatoire de mentionner que les données des trois années dernières (2015-2017) ont été prises à l’histogramme de (Benrabah H, Ait Ziane L, 2019).

Tab. N°09 : Les précipitations interannuelles en (mm) de la station de Khemis-ANRH (2002-2017)

Année Hydrologique	Précipitations annuelles
	Khemis-ANRH
2002/2003	317.0
2003/2004	381.8
2004/2005	378.2
2005/2006	381.9
2006/2007	421.4
2007/2008	379.0
2008/2009	443.1
2009/2010	612.9
2010/2011	496.0
2011/2012	516.8
2012/2013	522.7
2013/2014	447.2
2014/2015	398.3
2015/2016	400.0
2016/2017	418.0
2017/2018	370.0
précipitations moyennes annuelles	458.95

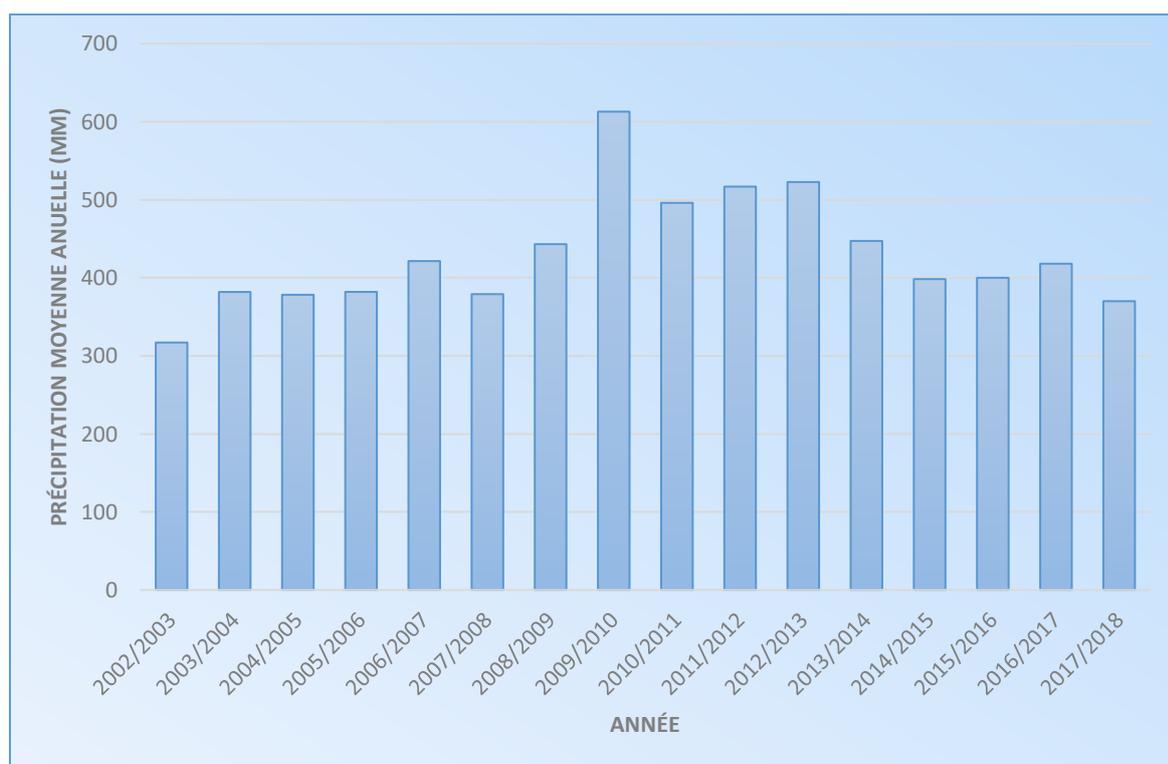


Fig. N°16 : Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Khemis-ANRH (2002-2017)

L'analyse temporelle des précipitations (**Fig. N°16**) de la station pluviométrique de Khemis-Miliana, nous montre que l'année 2002/2003 est l'année la plus sèche avec une précipitation annuelle de 317 mm, tandis que celle de 2009/2010 est la plus humide avec une précipitation annuelle de 612.9 mm pour une période qui s'étale de 2002 à 2017.

II.2.1.3.1. Le coefficient pluviométriques :

D'après le tableau (**Tab. N°09**) on remarque que les précipitations moyennes annuelles de la station de Khemis-ANRH sont de 458.95 mm.

Le coefficient pluviométrique (CP) est un paramètre qui permettant de distinguer les années excédentaires de celles déficitaires. Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne de toute la série d'observation.

Il est donc en relation proportionnelle avec la pluviométrie, on a : **$CP = P/P Moy$**

CP : coefficient pluviométrique.

P : pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

P Moy : pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

- Si on a un $CP > 1$ → une année excédentaire (AE).
- Si on a un $CP < 1$ → une année déficitaire (AD).

Tab. N°10 : coefficient pluviométrique de la station de Khemis-ANRH (2002-2017)

Année	Lame précipitée (mm)	CP	observation
2002/2003	317.0	0.76	AD
2003/2004	381.8	0.91	AD
2004/2005	378.2	0.90	AD
2005/2006	381.9	0.91	AD
2006/2007	421.4	1.01	AE
2007/2008	379.0	0.91	AD
2008/2009	443.1	1.06	AE
2009/2010	612.9	1.47	AE

2010/2011	496,0	1.19	AE
2011/2012	516.8	1.24	AE
2012/2013	522.7	1,25	AE
2013/2014	447.2	1.07	AE
2014/2015	398.3	0.95	AD
2015/2016	400.0	0.96	AD
2016/2017	418.0	1.00	AE
2017/2018	370.0	0.89	AD



Fig. N°17 : Variations des coefficients pluviométriques de la station de Khemis-Miliana ANRH (2002-2017)

D’après les résultats du coefficient pluviométrique de la station de Khemis-ANRH (2002-2017), (**Tab. N°10**) et (**Fig. N°17**) nous remarquons que :

- Il y a 8/16 années excédentaires et 8/16 années déficitaires.
- Il y a une régularité entre les années déficitaires et excédentaires.

II.2.2. Régime thermique :

La température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration (les pertes d'eau). Elle permet d'étudier l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Aussi elle facilite l'établissement du bilan hydrique.

Tab. N°11 : Températures moyennes mensuelle (C°) des stations de Khemis-ANRH et du Barrage Harraza (2002-2017)

Mois		Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T Moy (C°)	Khemis-ANRH	24.72	20.95	14.67	11.11	10.60	11.59	13.82	17.60	21.52	26.85	30.37	29.02
	Barrage Harraza	25.45	21.27	13.96	10.39	9.56	10.46	13.17	16.20	20.82	26.53	29.89	29.14

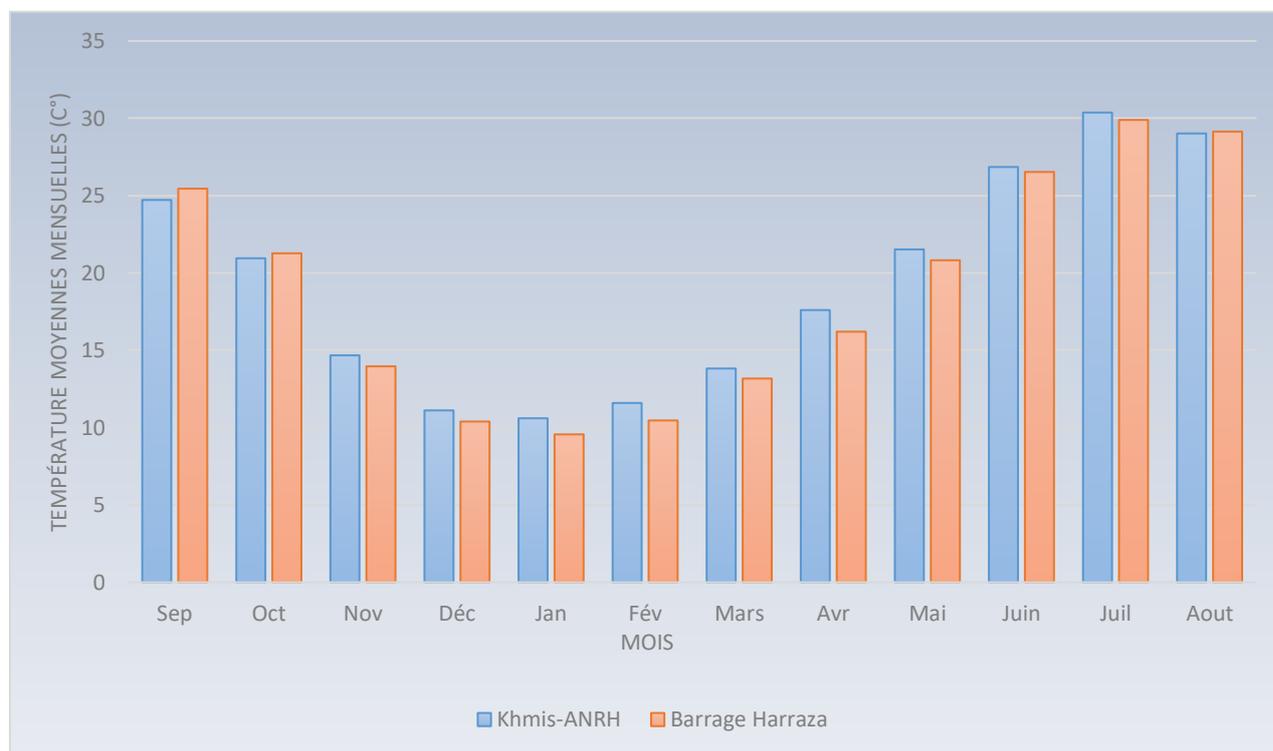


Fig. N°18 : Variation des températures moyennes mensuelles (C°) des stations de Khemis-ANRH et de Barrage Harraza (2002-2017)

L'histogramme de Température moyenne mensuelle, montre qu'il existe deux périodes :

- Une période froide allant du mois de Novembre au mois de Mars, la température moyenne du mois le plus froid « **Janvier** » est 9.56°C à la station de barrage Harreza et 10.60°C à la station de Khemis-ANRH.

- Une période chaude allant du mois d’Avril au mois d’Octobre, la température moyenne du mois le plus chaud « **Juillet** » est 29.89°C à la station de barrage Harreza et 30.37°C à la station de Khemis-ANRH.

II.2.2.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls :

Le Diagramme Ombro-thermique de Gaussen (1953) ou le Climatogramme pluviométrique de Gaussen ; il est représenté graphiquement par la combinaison de deux facteurs, la température (°C) et la précipitation (mm)

Les températures sont reportées à l’échelle double des précipitations selon la définition de **GAUSSEN 1958**. Notons qu’une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température ($P \leq 2T$).

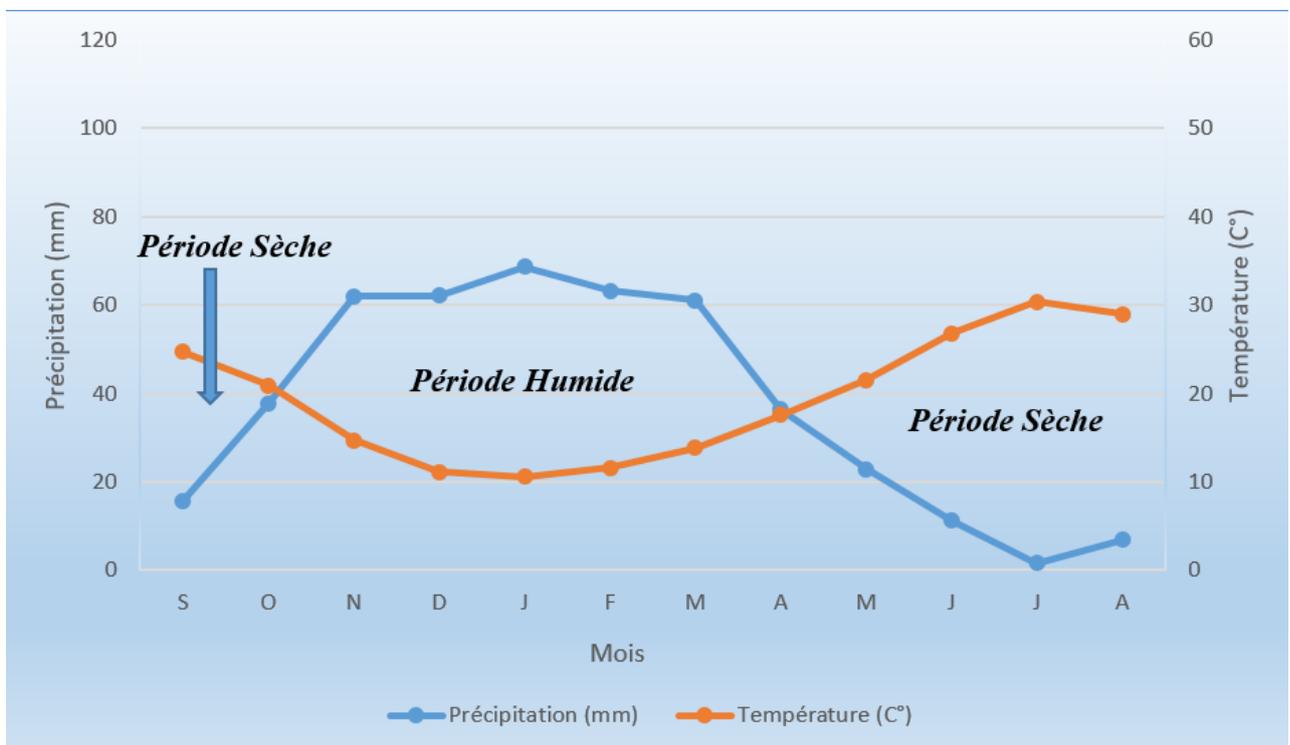


Fig. N°19 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen de la station de Khemis-ANRH (2002-2017)

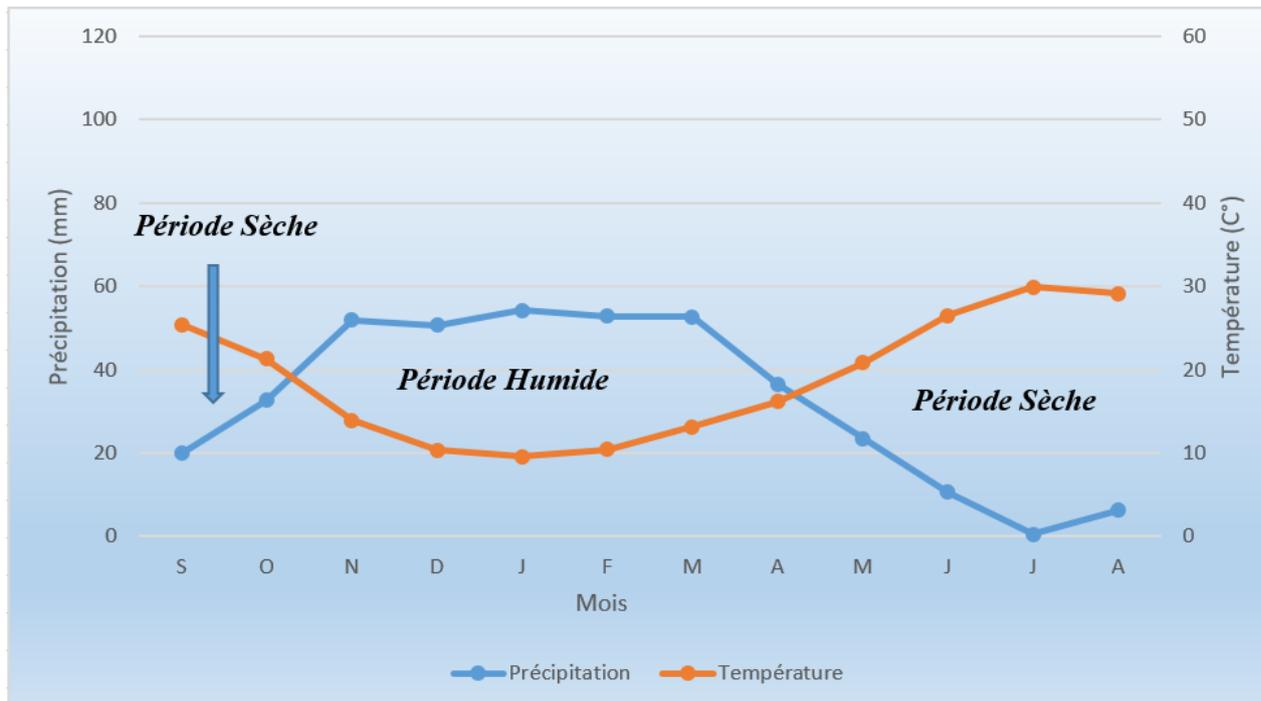


Fig. N°20 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen de la station de Barrage Harraza (2002-2017)

D'après les courbes pluviométriques des stations de Khemis-ANRH et Barrage Harraza on distingue deux périodes :

- **Une période Humide** : s'étend du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.
- **Une période Sèche** : couvre le reste des mois de l'année, d'Avril jusqu'au Octobre.

II.3.Type de Climat :

II.3.1.Climatogramme d'Emberger :

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., Khelifa K., 2015).

Le quotient d'Emberger est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Il est spécifique au climat méditerranéen. La formule de quotient Q_2 est : $Q_2 = \frac{2000P}{M_2 - m_2}$

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 , $m : 7.39^\circ C$, $M = 28.65^\circ C$.

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

P : Pluviosité moyenne annuelle (en mm).

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud (en °C)

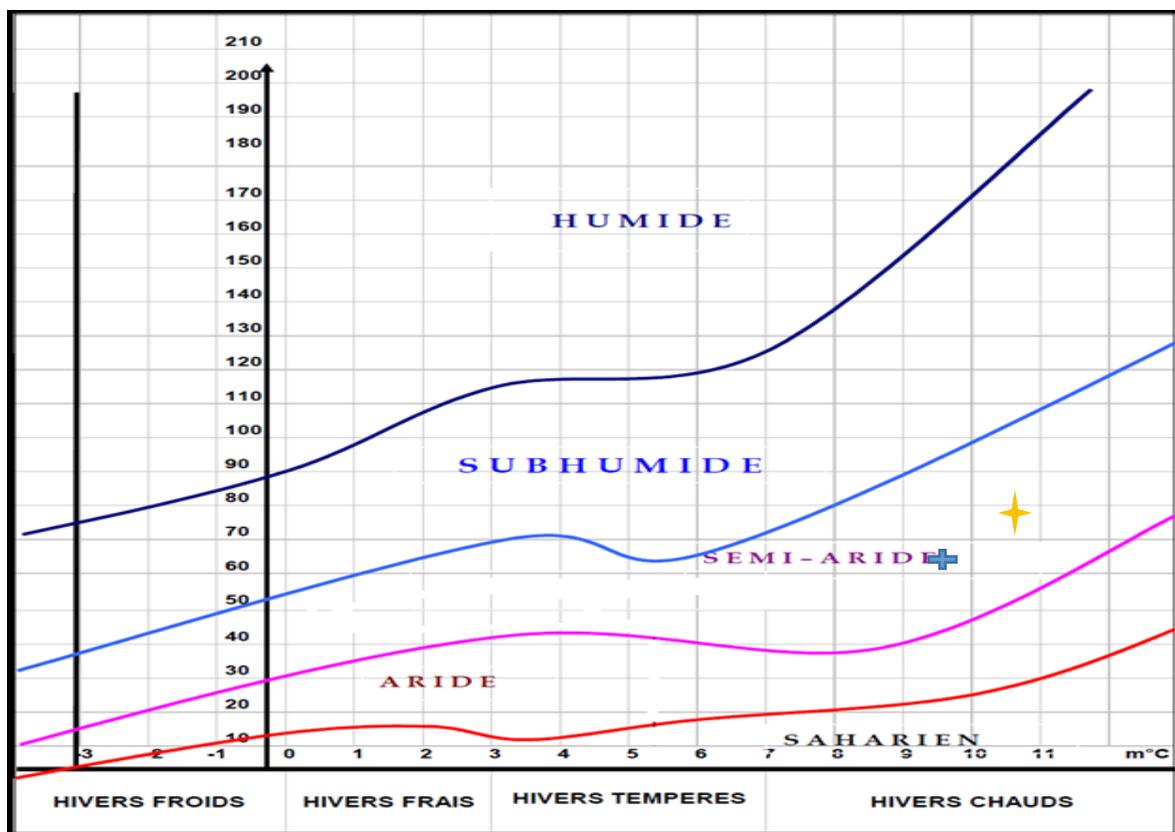
m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid (en °C)

Q₂ : Quotient d'Emberger.

Q₃ : Quotient d'Emberger.

- La station de **Khemis-ANRH**, **Q₃=78.03**.
- La station de **Barrage Haraza**, **Q₃=66.21**.

Les quotients **Q₃** sont calculés à partir des données climatiques obtenues durant une période de 15 ans (2002-2017).



Légende :

- ✚ Station de Barrage Haraza
- ★ Station de Khemis-ANRH.

Fig. N°21 : Position des stations de la zone d'étude dans le climatogramme d'Emberger.

II.3.2. Indice d'aridité de DE Martonne :

DE.MARTONNE (1925) a proposé une formule climatologique pour évaluer l'intensité de la sécheresse appelé indice d'aridité, en fonction des températures et des précipitations :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec : **A** : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

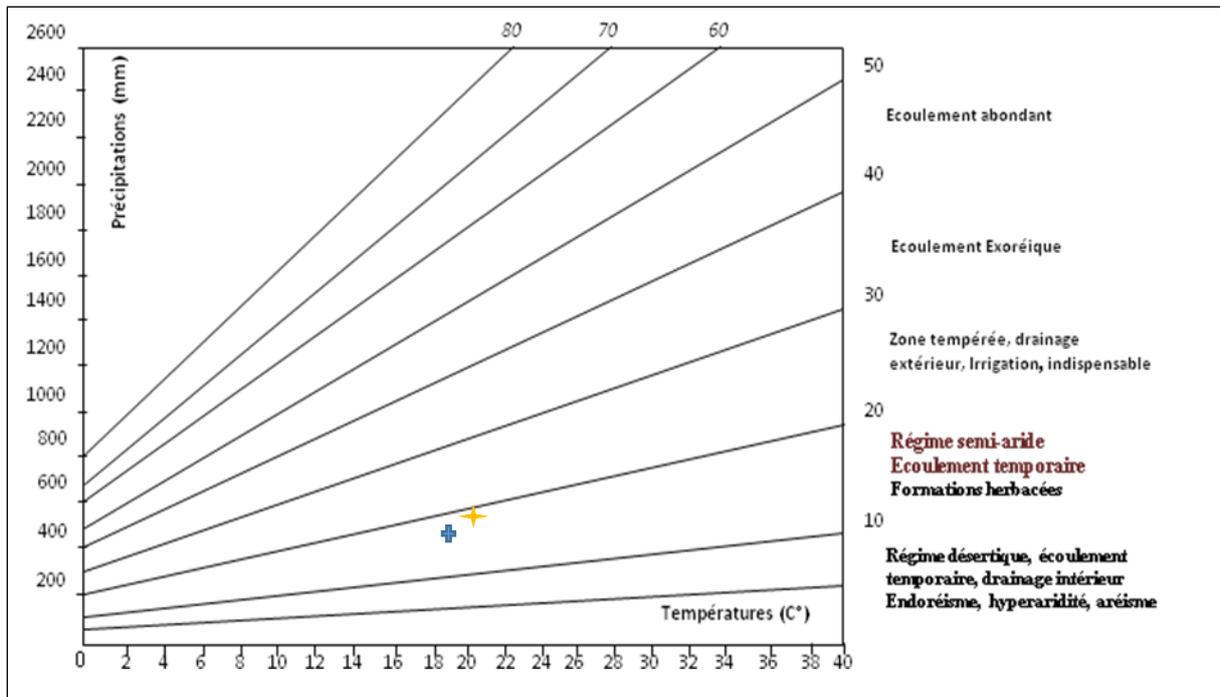
T : températures moyennes annuelles (°C).

Le tableau ci-dessous (**Tab N°12**), résume l'ensemble des étages bioclimatiques en fonction de la valeur d'indice d'aridité.

Tab. N°12 : Valeur de l'indice d'aridité de DE Martonne et le type de bioclimat correspondant

Valeur de l'indice	Type de bioclimat	Valeur de l'indice	Type de bioclimat
I < 5	Hyper-aride.	10 < I < 20	Semi-Aride.
5 < I < 7.5	Désertique.	20 < I < 30	Tempéré.
7.5 < I < 10	Steppique.	I > 30	Humide.

- La station de **Khemis-ANRH, I=15.29**
- La station de **Barrage Haraza, I=13.57**



Legend :

- + Station de Barrage Harraza
- ★ Station de Khemis-ANRH.

Fig. N°22 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE Martonne des stations de la plaine.

D'après les résultats obtenus, le climat de la zone d'étude est semi-aride. Sec et à écoulement temporaire. (Fig.N°22)

II.4.Le bilan hydrique :

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

L'équation du bilan hydrique s'écrit : $P=R+ETR+I$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).

I : infiltration moyenne annuelle en (mm).s

II.4.1. Estimation des paramètres du bilan :

II.4.1.1. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (processus biologique). Le terme évapotranspiration englobe deux types :

- Evapotranspiration ponctuelle (ETP).
- Evapotranspiration réelle (ETR).

II.4.1.1.1. Estimation de l'évapotranspiration ponctuelle (ETP) :

C'est la somme des quantités d'eaux pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eaux suffisants.

L'ETP est calculée par la formule de **C.W.Thornthwaite (1948)**, qui utilise la température de l'aire et l'altitude de la station, et qui est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a k$$

Avec : **ETP** : évapotranspiration ponctuelle du mois considéré en (mm).

T : la température moyenne mensuelle de la période en (C°)

I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i)

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Avec} \quad i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

K : coefficient d'ajustement mensuel lie à la latitude.

a : constante fonction de l'indice thermique annuel.

$$a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

II.4.1.1.2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Elle représente la quantité de vapeur effectivement exportée vers l'atmosphère par le sol et par les plantes, quand le sol est à une certaine humidité et les plantes au stade de développement physiologique et sanitaire spécifique. L'ETR peut être déterminée par deux méthodes :

- La formule de Turc (1954) : qui permet d'évaluer l'ETR annuelle à partir de la hauteur de la pluie et de la température moyenne annuelle, dont l'expression

suiuante $ETR = \frac{P}{\sqrt{09 + \frac{P^2}{L^2}}}$ Avec :

ETR : evatranspiration réelle en (mm)

P : hauteur annuelle de pluie en (mm).

L : pouvoir évaporant, $L=300+25T+0.05T^3$.

T Khemis-ANRH=19.40 C° ; L=1150.07.

ETRKhemis-ANRH = 438.33 (mm/an).

T Barrage Harraza = 18.90 C° ; L=1110.06.

ETRBarrage Harraza =387.62 (mm/an).

- La méthode du bilan d'eau selon **C.W.Thornthwaite**, qui est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU) et ce que nous utilisons dans notre étude. On distingue deux principaux cas :

1^{er} cas : si $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$, on a alors un excédent.

2^{eme} cas : si $P < ETP$, dans ce cas on a deux formules, soit $ETR = P$, soit $ETR = P + RFU$.

II.4.1.2. Estimation des réserves facilement utilisés (RFU) :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de :

- La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle.
- La profondeur de niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétale.

Les deux tableaux (bilan hydrique) résument les résultats des calculs, Avec :

T : température mensuelle en C°.

i : indice thermique.

K : coefficient d'ajustement de la latitude.

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm).

P : précipitation moyenne mensuelle en (mm).

BH : bilan hydrique.

RFU : réserve facilement utilisable en (mm).

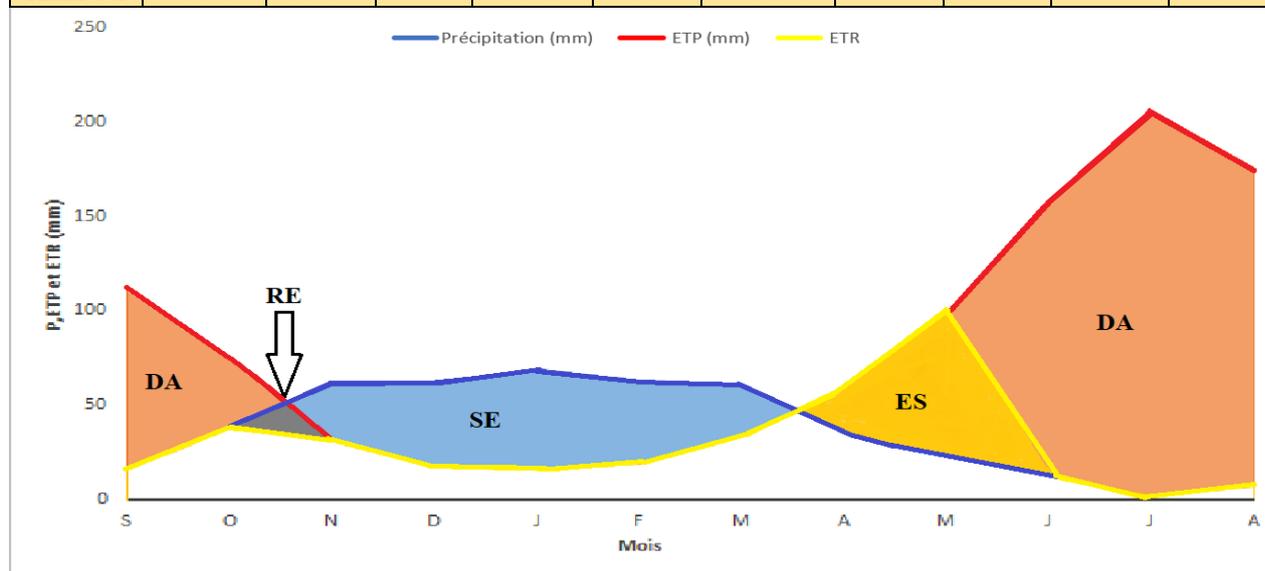
ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

DA : déficit agricole en (mm).

EXD : excédent en (mm).

Tab. N°13 : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite à la station de khemis-ANRH (2002-2017)

Mois	T(C°)	i	K	ETP (mm)	P (mm)	BH (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	EXD (mm)
S	24.72	11.24	1.03	111.77	15.74	-96.03	00	15.74	96.03	00
O	20.95	8.75	0.97	74.73	37.80	-36.93	00	37.80	36.93	00
N	14.67	5.10	0.85	31.32	62.03	30.71	30.71	31.32	00	00
D	11.11	3.35	0.84	17.41	62.09	44.68	75.39	17.41	00	00
J	10.60	3.12	0.87	16.36	68.71	52.35	100	16.36	00	27.74
F	11.59	3.57	0.85	19.23	63.31	44.08	100	19.23	00	44.08
M	13.82	4.66	1.03	33.54	61.01	27.47	100	33.54	00	27.47
A	17.60	6.72	1.09	58.55	36.41	-22.14	77.86	58.55	00	00
M	21.52	9.11	1.21	98.55	22.83	-75.72	2.14	98.55	00	00
J	26.85	12.74	1.22	157.10	11.31	-145.79	00	13.45	143.65	00
J	30.37	15.35	1.24	206.06	1.59	-204.47	00	1.59	204.47	00
A	29.02	14.33	1.16	175.45	6.96	-168.49	00	6.96	168.49	00
Annuel	19.40	98.04	--	1000.07	449.79	-550.28	--	350.5	649.57	99.29



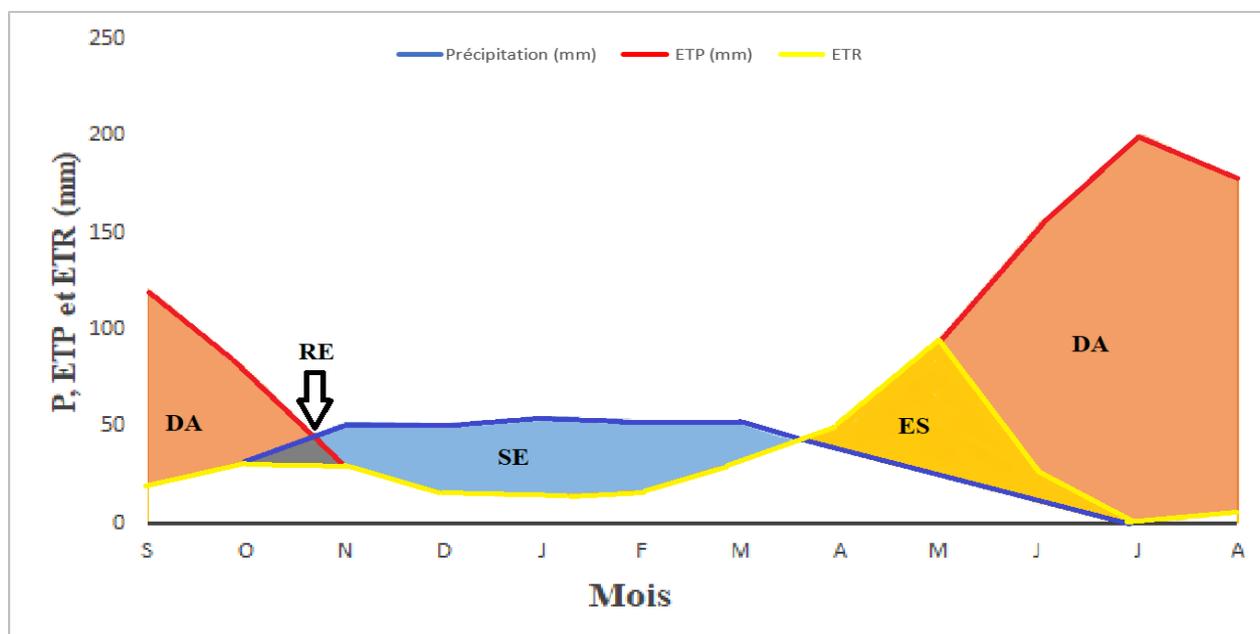
Légende :

- Déficit Agricole.
- Surplus d'eau.
- Epuisement du sol en eau.
- Recharge du stocke.

Fig. N°23 : Bilan hydrique de Thornthwaite de la station de Khemis-ANRH (2002-2017)

Tab. N°14 : Résultats du bilan hydrique selon Thornthwaite à la station de Barrage Harraza (2002-2017)

Mois	T(C°)	i	K	ETP (mm)	P (mm)	BH (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	EXD (mm)
S	25.45	11.75	1.03	120.60	20.01	-100.59	00	20.01	100.59	00
O	21.27	8.95	0.97	79.04	32.63	-46.41	00	32.63	46.41	00
N	13.96	4.73	0.85	29.58	51.93	22.35	22.35	29.58	00	00
D	10.39	3.03	0.84	16.09	50.63	34.54	56.89	16.09	00	00
J	9.56	2.67	0.87	14.09	54.31	40.22	97.11	14.09	00	00
F	10.46	3.06	0.85	16.51	52.83	36.32	100	16.51	00	33.43
M	13.17	4.33	1.03	31.86	52.73	20.87	100	31.86	00	20.87
A	16.20	5.93	1.09	51.23	36.49	-14.74	85.26	51.23	00	00
M	20.82	8.67	1.21	94.42	23.43	-70.99	14.27	94.42	00	00
J	26.53	12.51	1.22	155.36	10.68	-144.68	00	24.95	130.41	00
J	29.89	14.99	1.24	200.93	0.55	-200.38	00	0.55	200.38	00
A	29.14	14.42	1.16	178.56	6.21	-173.35	00	6.21	172.35	00
Annuel	18.90	95.04	--	988.27	392.43	-595.84	--	338.13	650.14	54.30



Légende :

- Déficit Agricole.
- Surplus d'eau.
- Epuisement du sol en eau.
- Recharge du stocke.

Fig. N°24 : Bilan hydrique de Thornthwaite de la station de Barrage Harraza (2002-2017)

II.4.2. Interprétation de bilan hydrique :

D'après les figures (Fig. N°23 et 24), qui représentent le bilan hydrique (Tab. N°13 et 14) établi par la méthode de Thornthwaite pour la station de Khemis-ANRH durant la période (2002-2017) nous remarquons que :

Le réserve facilement utilisable (RFU) commence à se reconstitué à partir de mois de Novembre jusqu'à le mois de Mai. Lorsqu'il est total (RFU=100), il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement, et quand il commence à diminuer il y a un épuisement du stock au point que la (RFU=0) il aura un déficit agricole au mois de Juin jusqu'à le mois d'Octobre.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) dans les deux stations atteint son maximum au mois de Juillet avec **206.06mm** et avec un minimum de **14,09mm** au mois de Janvier.

L'excédent annuel qui apparait durant les mois de Janvier, Février et Mars pour la station de Khemis=ANRH est estime à **99.29mm**, et a **54.30mm** durant les mois de Février et Mars pour la station du Barrage Harraza.

II.4.3. Déficit agricole (DA) :

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

II.4.4. L'excédent (EXD) :

L'excédent ou le surplus représente la quantité d'eau qui s'écoule dans les oueds selon la formule suivante : **EXD=P-ETR.**

II.5. Bilan hydrologique :

II.5.1. Estimation de la lame d'eau écoulée :

II.5.1.1. Le ruissellement :

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration.

Les précipitations enregistrées sont inférieurs à 600mm dans les deux stations, ce qui nous amène a utilisé la formule de Tixeront-Berkaloff : **$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$**

Avec : **R** : ruissellement en (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

II.5.1.2.L'infiltration efficace :

L'infiltration est la quantité d'eau absorbée par le sol et le sous-sol, pour constituer l'eau de rétention, des eaux souterraines et des écoulements souterrains.

On utilise la formule générale du bilan hydrique : $P=ETR+R+I$

Donc : **$I= P-(ETR-R)$**

Avec : **R** : ruissellement en (mm).

P : précipitations moyennes annuelles en (mm).

ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

I : infiltration en (mm).

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tab. N°15 : Tableau récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique des stations de la plaine de Khemis Milana (2002-2017).

Paramètres	Méthode	Valeur (mm)/%	Paramètres	Méthode	Valeur (mm)/%
P	--	449.79/100%	P	--	392.43/100%
ETP	Thorntwaite	1000.07	ETP	Thorntwaite	988.27
ETR	Turc	438.33/97.45%	ETR	Turc	387.62/98.77%
	Thorntwaite	350.50/77.93%		Thorntwaite	338.13/86.16%
R	Tixeront-Berkaloff	30.33/6.74%	R	Tixeront-Berkaloff	20.63/5.26%
I	Thorntwaite	68.96/15,33%	I	Thorntwaite	33.67/8.58%
Station Khemis-ANRH			Station Barrage Harraza		

D'après le tableau (**Tab. N° 15**), pour la station de Khemis-ANRH on remarque que la lame d'eau précipitée est égale à 449.79mm, l'évapotranspiration réelle calculé par l

méthode de Thornthwaite est 350.5mm soit 77.93% des précipitations reprises par l'évapotranspiration et retournent à l'atmosphère. Alors que 6.74% de cette pluie constitue la lame ruisselée et 15.33% sous forme d'une lame infiltrée qui peut recharger la plaine.

Pour la station de Barrage Harraza, la lame d'eau précipitée est égale à 392.43mm, l'évapotranspiration réelle calculé par la méthode de Thornthwaite est 338.13mm soit 86.16% des précipitations reprises par l'évapotranspiration et retournent à l'atmosphère. Alors que 5.26% de cette pluie représente la lame ruisselée et 8.58% sous forme d'une lame infiltrée qui peut recharger la plaine.

Remarque :

Il est à noter que cette valeur ne représente pas réellement l'infiltration dans toute la plaine, car son estimation est basée sur les données de deux stations pluviométriques, qui sont celle de Khemis Miliana et Harraza. Les mesures d'infiltration in situ, réparties sur toute la superficie de la plaine pourraient, nous donner une approche faible de ce paramètre.

II.6.Conclusion :

L'ensemble des données climatiques nous permet d'attribuer à la région d'étude un climat semi-aride, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide et pluvieuse allant du mois d'Octobre au mois d'Avril et l'autre sèche et chaude allant de mois d'Avril jusqu'à Octobre.

La température moyenne annuelle varie entre 18.90 C° et 19.40 C°, elle est assez régulière, par contre, la hauteur moyenne des précipitations est de 392.43mm à Barrage Harraza et 449.79mm à Khenis-Miliana.

La formule du bilan de Thornthwaite, permet l'estimation de l'ETR qui montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration réelle ETR (86.16% pour la station de Barrage Hrraza et 77.93% pour la station de Khemis-ANRH), alors que la lame d'eau ruisselée constitue 5.26% et 6.74% de la lame d'eau précipitée respectivement à Harraza et Khemis-Miliana.

L'infiltration efficace varie entre 8.58% à 15.33% des précipitations qui joue un rôle important dans la recharge de la plaine.

Chapitre III:

Etude Hydrogéologique

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine
de la plaine de Khemis Meliana

III.1. Introduction :

Hydrogéologie est la science qui étudie l'eau souterraine, Elle s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface.

Cette étude va nous permettre de déterminer le comportement hydrogéologique des différents terrains, les caractéristiques hydrodynamiques des différents aquifères (perméabilité) et les directions d'écoulement, de drainage et d'alimentation des eaux souterraines ainsi que les zones d'intercommunication entre les différents horizons hydrogéologiques (carte piézométrique). (Touhari F, 2015).

III.2. Contexte Hydrogéologique :

L'évolution paléogéographique de la région et le compartimentage structural qui en a résulté a donné naissance au bassin versant du Haut Cheliff et surtout à son organisation en unités hydrogéologiques bien individualisées. Les ensembles tectoniques Zaccar, Doui, Ouarsenis et Gantas constituent des barrières importantes qui ont favorisé les conditions aux limites des différents aquifères. (Touhari F, 2015)

III.2.1. Géométrie des aquifères :

L'étude géophysique réalisée par la compagnie générale de géophysique (CGG) en 1969 par la méthode de prospection électrique avait pour but principal la détermination de la géométrie et la nature des aquifères. L'échelle de résistivité retenue pour les différentes formations géologiques explorées est la suivante (tableau) :

**Tab.N°16 : Valeurs des résistivités pour les différentes formations géologiques (Ohm.m)
(Source CGG ,1969)**

Étage	Nature géologique	Résistivité(Ohm.m)
Quaternaire	Alluvions	50 à 100
	Alluvions peu perméables	5 à 30
Pliocène	Calcaires gréseux	60 à 80
	Marnes	3 à 20
Miocène	Argiles Quartzitiques	10 à 20
	Marnes	40 à 50

D'après l'échelle présentée sur le tableau (**Tab.N°16**), La plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge Mio-Plio-quaternaire, représenté par des dépôts alluvionnaires du Quaternaire et des grès et poudingues du Mio-Pliocène d'une épaisseur de 50 à 100 m au niveau de l'oued Cheliff. Les marnes constituent le substratum de cet aquifère.

III.2.1.1. Interprétation des coupes géo électriques :

a) Coupe géo électrique (CA)

La coupe Géo électrique (CA) d'orientation Nord- Sud (**Figure 25 et 26**), réalisée à l'Ouest de la localité de Djendel et passant par les sondages électriques (CA3, CA2, CA1) montre que :

- Dans la partie centrale au niveau du sondage électrique (CA2) les alluvions devenant plus épais, atteignent des résistivités de 100 Ohm.m.

Au Nord et au Sud du sondage électrique (CA2) les alluvions diminuent d'épaisseur.

- Le substratum des formations alluviales représentées par des argiles affleurent au Nord et au Sud de la région de Djendel avec une résistivité de 10 Ohm.m.
- L'épaisseur des niveaux conducteurs augmente vers le Sud où elle atteint au niveau des sondages électriques (CA3) et (CA2) plus de 100 m.
- La coupe géo électrique (CA) montre d'autre part un second niveau résistant (100 Ohm.m) d'une épaisseur moyenne de 100 m peuvent être attribuée aux grès – sableux du Djebel Gantas. (**Touhari F, 2015**)

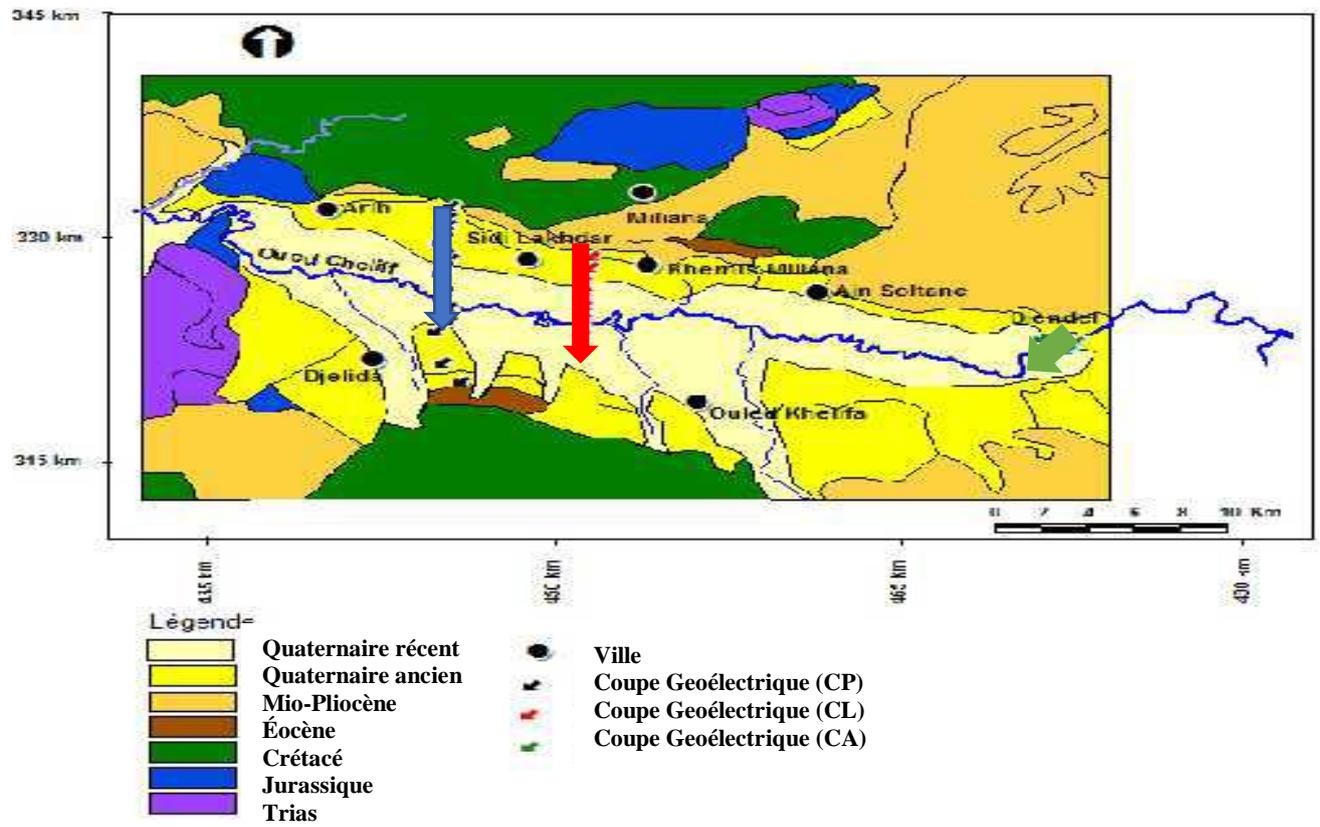


Fig. N° 25 : Carte de positionnement des coupes géo-électriques (CA, CL et CP).

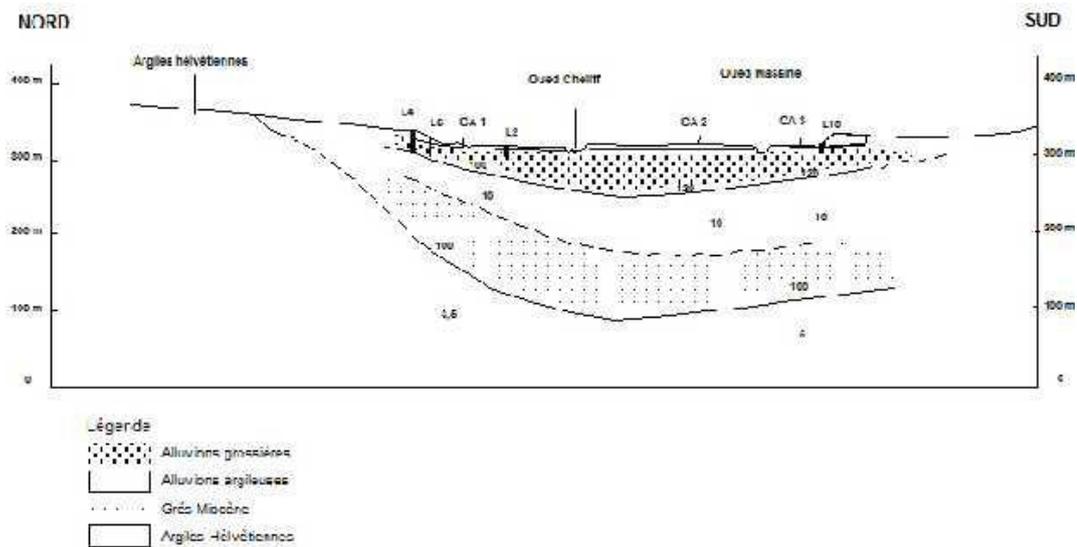


Fig. N° 26 : Coupe Géo-électrique (CA) (source CGG, 1969).

b) Coupe géo-électrique (CL)

Cette coupe située à l'Ouest d'El Khemis (**Figure 25 et 27**) et passant par les sondages électriques (CL7, CL6, CL5, CL4, CL3, CL2, et CL1) montre que :

- Dans la partie centrale, entre les sondages électriques (CL3, CL2), les argiles deviennent plus épaisses et atteignent une épaisseur d'environ 50m avec des résistivités de 15 Ohm m.
Les alluvions ont presque la même épaisseur le long de la rive droite de Oued Cheliff d'une résistivité maximale de 100 ohm m, sur la rive gauche de l'Oued Cheliff, on constate des alluvions caractérisées par une résistivité de 30 Ohm m.
- Le substratum des formations alluviales représenté par des argiles affleure au Sud (au niveau du sondage électrique CL6) et au Nord avec une résistivité de 10 Ohm.m. On remarque qu'entre les sondages électriques (CL1 et CL3), l'épaisseur du substratum est très importante et peut atteindre 150 m avec une résistivité de 12 Ohm m.
- La coupe géo électrique CL montre d'autre part un second niveau résistant (150m) d'une épaisseur moyenne de 100m attribués aux grés du djebel Gantas.
- □ Sur la rive gauche de l'oued Cheliff, on remarque que l'épaisseur des formations alluviales diminue suite à la remontée du substratum crétacé de la formation schisto-quartzique. (**Touhari F, 2015**)

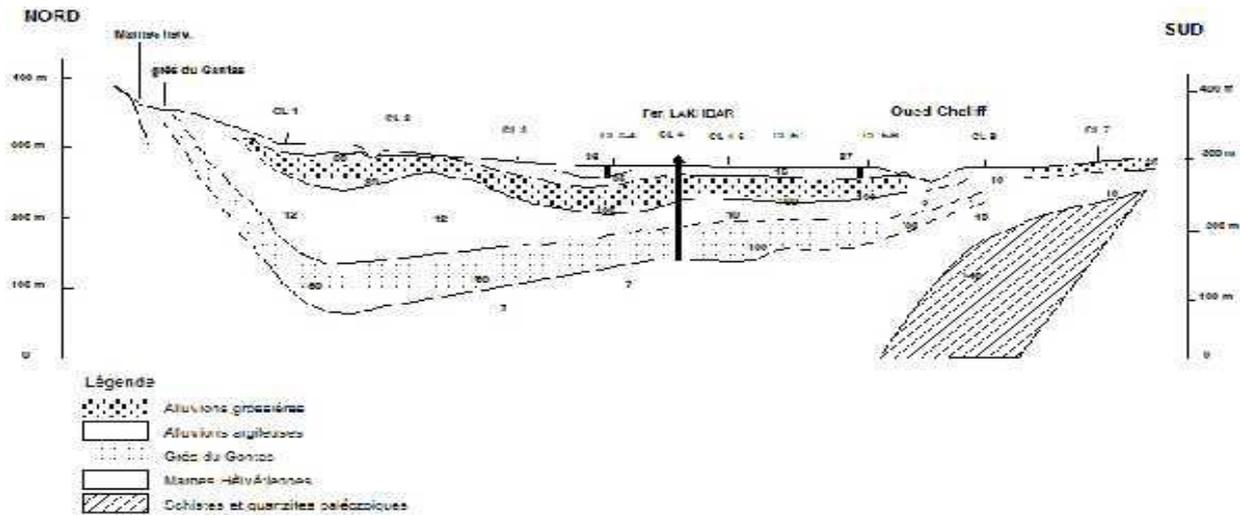


Fig. N° 27 : Coupe Géo-électrique (CL) (source CGG, 1969).

b) Coupe géo-électrique (C et CP)

Au point de vue hydrogéologique les formations résistantes sur cette coupe sont représentées par :

- Les alluvions du Quaternaire recoupées par les sondages électriques (C6, CP0, CP1, CP1-2, CP2) avec une résistivité de 100 Ohm.m dans la partie centrale. Les alluvions résistantes sont recouvertes par un horizon conducteur à 10 Ohm.m représentant les argiles sableuses Quaternaires d'une épaisseur comprise entre 10 et 20 m. Les formations résistantes d'âge Quaternaire sont recoupées dans la partie Nord et Sud de la coupe par les sondages électriques (C1, C2, C3, C4, C5, CP6, CP7, CP8) où la résistivité diminue, elle est comprise entre 30 et 50 Ohm.m.
- Les grès du Miocène qui ont été recoupés par les sondages électriques au Sud et au Nord de la coupe montrent une résistivité de 80 et 100 Ohm.m. au niveau de la partie sud la probabilité de la présence des formations gréseuses du Miocène est faible.
- Ces deux horizons résistants sont intercalés par une couche conductrice d'une résistivité de 7 à 10 Ohm.m. (Touhari F, 2015)

III.2.2. Aperçu général sur les aquifères :

D'après l'étude de la série stratigraphique et ses caractères lithologiques et structuraux, on distingue les niveaux aquifères suivants :

1-Les calcaires Jurassiques :

Les calcaires Jurassiques affleurent au Sud d'Ain Defla avec une épaisseur considérables (environ 100 m jusqu'à 400 m et plus), Les calcaires d'âge Jurassique constituent un important réservoir Karstique qui se particularise par la présence des fissures représentatives d'un milieu approprié pour la circulation et le stockage de l'eau souterraine. Toutefois, la densité et la répartition mal connues et des forages posent d'énormes problèmes pour l'implantation des puits et des forages (leur puissance peut atteindre les 400 m) en raison des directions préférentielles que peuvent prendre les filets d'eau lorsqu'ils sont sollicités par un captage ; des essais de traçage et des études spéléologiques seront d'un grand intérêt hydrogéologique.

2- Les aquifères du Miocène :

Il se présente sous forme de conglomérats plus ou moins argileux et sableux. Les calcaires du Miocène affleurent le long de la limite Sud de la vallée.

L'observation de ces affleurements et les données de forages, suggèrent la présence d'espaces vides et de fissures internes ouvertes. Cette situation est provoquée par dissolution des carbonates sous l'influence de l'infiltration de l'eau de pluie, particulièrement le long des surfaces de contact. L'aquifère c'est développé dans ces espaces vides.

3-Les aquifères du Pliocène :

Ce sont essentiellement les grès sableux jaunâtres de l'Astien, qui vont voir leur sommet se transformer en sables dunaires à hélix. L'épaisseur est très variable atteignant quelque fois les 100 m au Centre de la plaine et quelques mètres aux affleurements.

4-Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire :

Lors de l'examen des données de forages (puttings et sondages électriques), on s'est aperçu de l'importante épaisseur des formations quaternaires (sables, graviers ou grés), qui varie de quelques mètres à plus de 150 m, ce qui fait que cet aquifère est considéré comme étant le plus volumineux et le plus intéressant à étudier, vu l'importance socio-économique qu'il présente.

Tab. N°17 : Les différentes caractéristiques des formations aquifères. (ANRH, 2004)

Formations	Age	Épaisseur maximale (m)	Type de nappes	Type de porosité	Intervalle de perméabilité (m/s)
Alluvions grossières	Quaternaire	150	Semi Captive (parfois libre)	Interstices et Chenaux	$(8 \text{ à } 10) \cdot 10^{-4}$
Grès et poudingues	Mio-Plio-Quaternaire	100-200	Captive	Interstices	$(3 \text{ à } 5) \cdot 10^{-5}$
Calcaires fracturés et Karstifiés	Jurassique	400-700	Semi Captive	Fractures	$(10 \text{ à } 12) \cdot 10^{-4}$

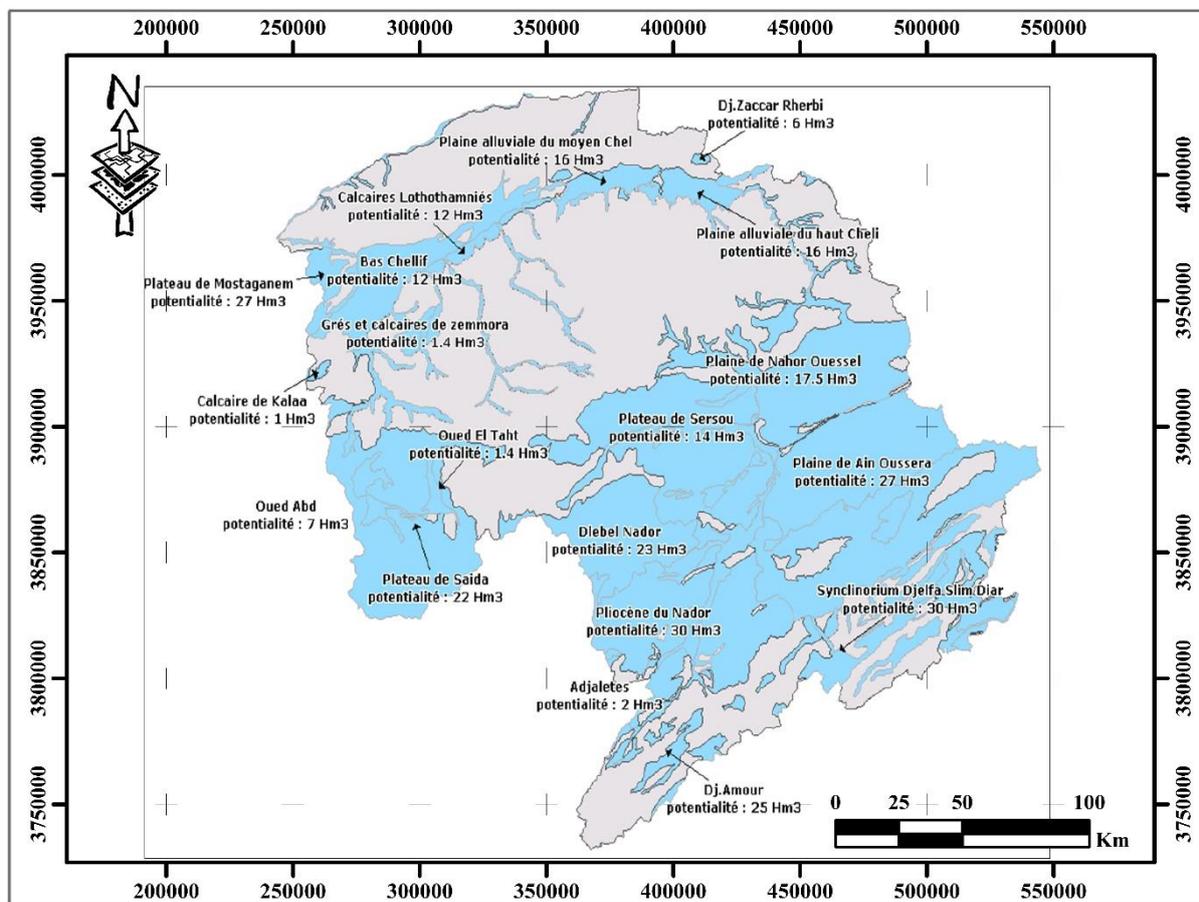


Fig. N°28 : Ressources en eaux souterraines dans le bassin versant de Chellif- Zahrez. (Source : ABH CZ, 2006).

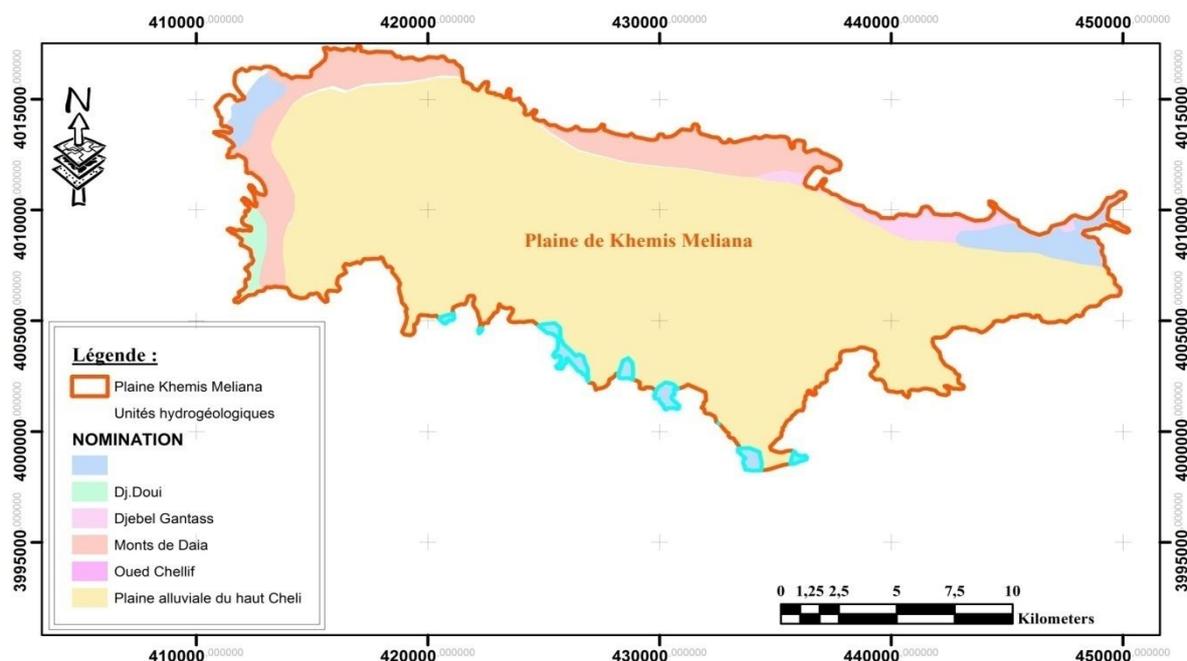


Fig.N°29 : Carte des unités hydrogéologiques de la plaine de Khemiss Meliana

Tab. N°18 : Présentation des unités hydrogéologiques de la région d’Ain Defla.
(Dehbia A, Oumellal A, 2015)

WILAYA	Bassin Versant	Sous Bassin Versant
Ain Defla	Haute et Moyen Chelif	OuedChelif Djellil
		OuedChelif Gherib
		OuedChelif Harbil
		Oued Deurdeur
		OuedChelif Herrazza
		Oued Ebda
		Oued Rouina Zddine
		OuedChelif Tighazel
		Oued Fodda
		OuedRas Ouahrane
		Oued Sly

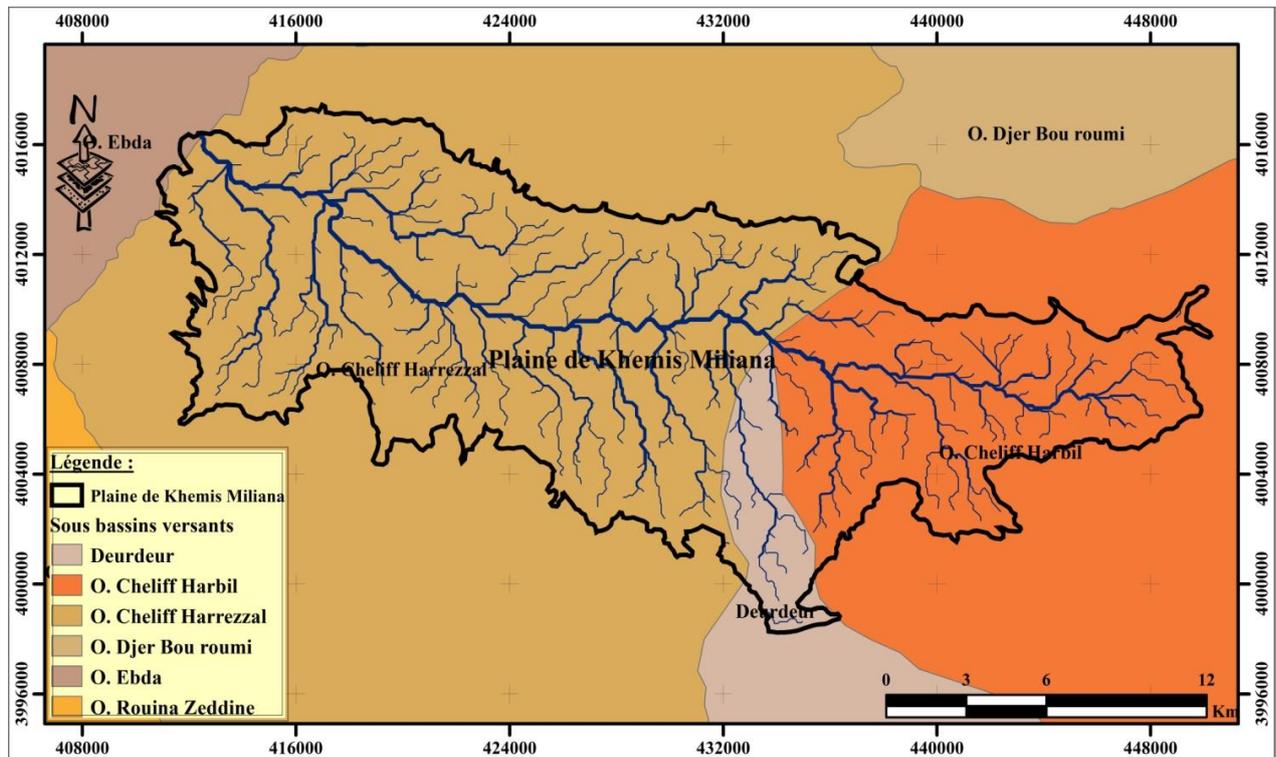


Fig. N°30 : Carte des sous bassins versants de la plaine de Khemis Meliana

III.3. Hydrodynamique des aquifères :

III.3.1. Inventaire des points d'eau :

L'inventaire réalisé par l'ANRH en collaboration avec la DRE d'Ain Defla recense un réseau assez dense réparti sur toute la plaine du Haut Chélif.

Il comporte : 40 puits domestiques, 49 forages pour l'alimentation en eau potable et 4 piézomètres. (BenKada A, 2018) (Fig.N°31)

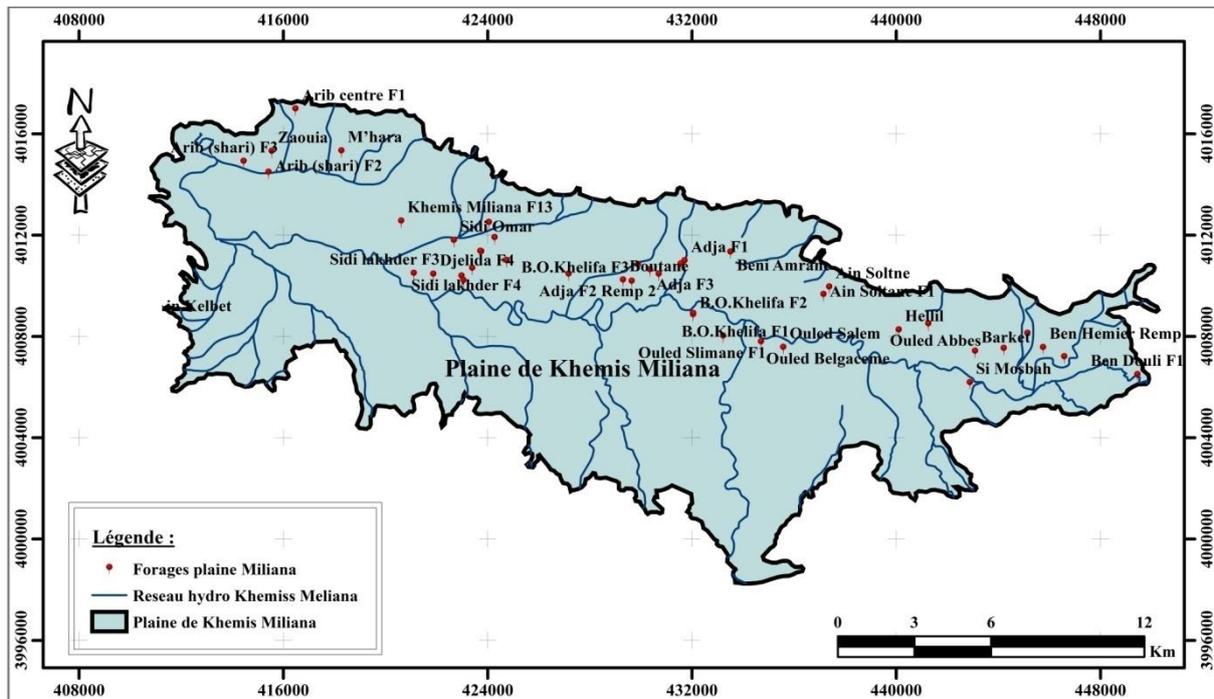


Fig. N°31 : Carte de répartition spatiale des forages de la plaine de Khemis Miliana.

La profondeur de la nappe à partir de la surface du sol varie entre 2 m à l'Ouest et 30 m à l'Est. Dans la partie centrale, la profondeur moyenne est d'environ 10 m. ce qui confirme que la nappe captée par ces points d'eaux est celle des alluvions quaternaires. Étant donné le climat semi-aride, l'effet de l'évaporation est donc très sensible sur la qualité chimique des eaux souterraines. (Touhari F, 2015)

III.3.2. Evolution de la Piézométrie :

Le suivi de l'évolution piézométrique de la nappe dans le temps et dans l'espace permet de reconnaître d'une part, la direction générale de l'écoulement et les zones d'alimentation et de dépressions, et permet d'avoir aussi une idée sur le temps de séjour des eaux d'infiltration dans la couche aquifère et par conséquent nous informe sur le degré des échanges géochimiques entre l'eau et la roche.

III.3.2.1. Interprétation de la carte piézométrique Avril 2016 :

L'examen de la carte piézométrique de hautes eaux Avril 2016 montre que la direction des écoulements converge vers l'oued Cheliff, l'axe de drainage principal est d'orientation Est-Ouest.

Les courbes hydro-isohypses se resserrent à l'amont avec un gradient hydraulique important de l'ordre de 0,09 près de la ville de Djendel due à la remontée du substratum et montre aussi une alimentation de cette nappe dans cette zone. Alors que dans la partie sud-est, dans la région de Djelida, un gradient hydraulique de l'ordre de 0,08 a été observé, il est expliqué par la remontée du substratum et de faible épaisseur de l'aquifère. Dans la partie centrale les courbes isopièzes sont espacées avec un gradient hydraulique faible de l'ordre de 0,008 il est expliqué par la faible pente du substratum et aussi par l'importante épaisseur de l'aquifère, (Fig.N°32). (Dekkiche I, Mezaour A, 2019)

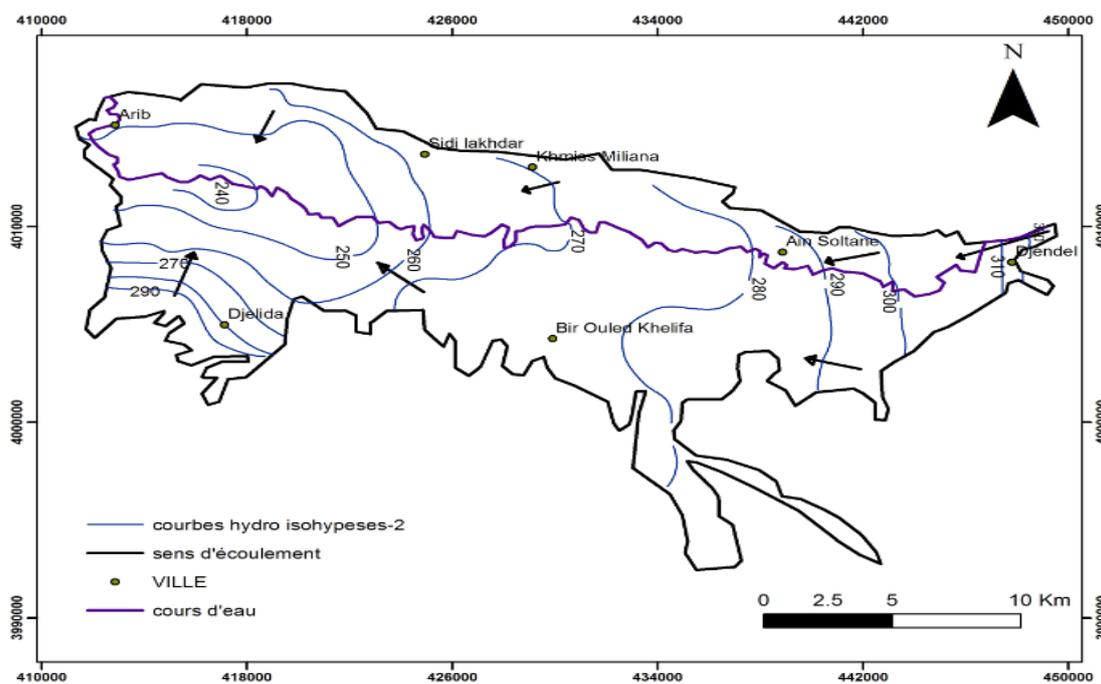


Fig.N°32 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut-Chéouli (Période des hautes eaux, Avril 2016) (Dekkiche I, Mezaour A, 2019)

La carte piézométrique correspondant à la période de basses eaux (Octobre 2016) possède la même morphologie piézométrique que celle de hautes eaux. Néanmoins, une diminution de niveau d'eau dans l'ensemble de la nappe a été observée, et cela est due à l'influence de l'exploitation qui s'accompagne avec l'absence du recharge durant la saison estivale, de Mai à Septembre (Fig.N°33).

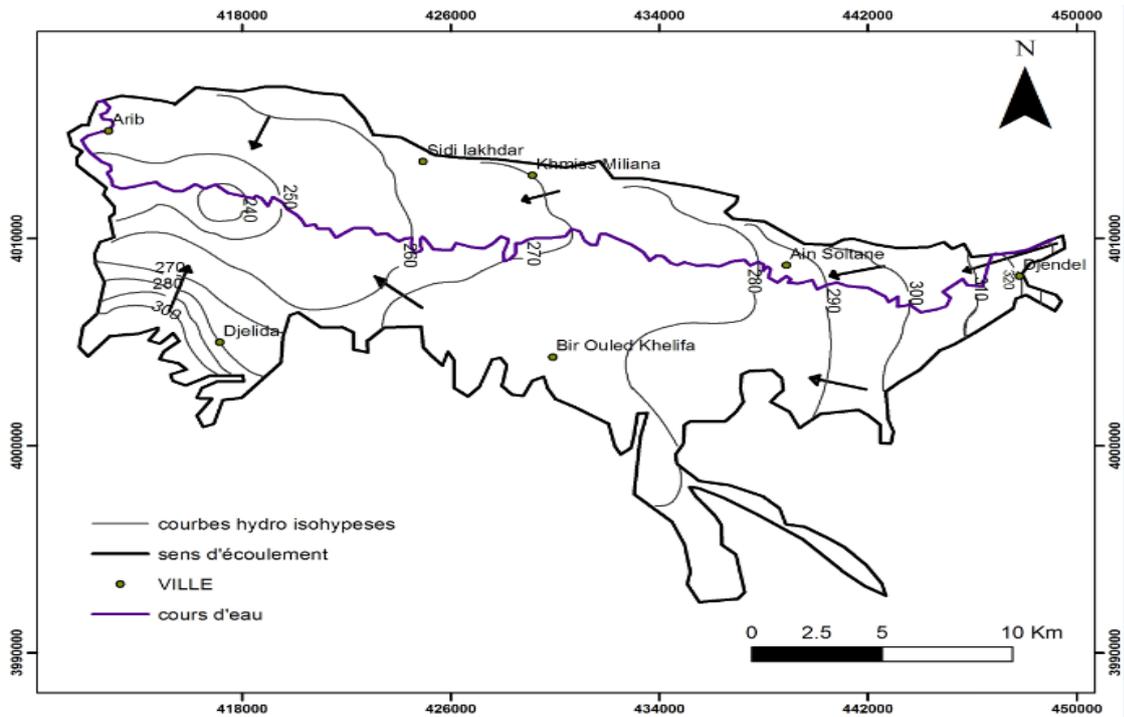


Fig.N°33 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut-Chélif (Période des basses eaux : Octobre 2016) (Dekkiche I, Mezaour A, 2019)

III.3.2.2. Alimentation de la nappe :

Des affleurements gréseux perméables du Mio-Pliocène bordent la nappe au nord et au nord-est. Ils constituent un aquifère important qui plonge sous la terrasse alluviale Quaternaire. La nappe est bordée au sud par des grès et poudingues. Le ruissellement dans la partie nord est favorisé par la forte pente du massif schisto-calcaire du Zaccar très raviné, qui provoque le débordement de nombreux oueds situés à la rive droite de l’oued principal. (BenKada A, 2018)

L’alimentation de la nappe Mio-Plio-Quaternaire est assurée par des eaux d’infiltration résultant des apports des eaux météoritiques tombant sur la plaine, des eaux d’irrigation excédentaires et des eaux de ruissellement de l’oued Chélif et de ses affluents.

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre on fait des études hydrogéologiques, géophysiques et litho-stratigraphiques qui montre :

L'Etude hydrogéologique de la région du haut Cheliff permette de déterminer les différentes caractéristiques hydrogéologiques des terrains (perméabilité).

D'après l'étude géophysique de la région, la plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge Mio-Plio-Quaternnaire qui est représenté par des dépôts alluvionnaires et des grés d'une épaisseur de 50 à 100m.

La nappe alluviale est séparée de la nappe des grés par une couche relativement épaisse d'alluvions argileux. Cette couche est continue sauf à l'Ouest où le contact entre les deux formations existe.

Dans la série stratigraphique de la plaine, on distingue quatre niveaux d'aquifères : Les calcaires Jurassiques, les aquifères de Miocène, les aquifères de Pliocène et les aquifères alluvionnaires du Quaternaire.

Les cartes piézométriques effectuées en hautes et basses eaux de l'année 2016, nous avons constaté que les cartes piézométriques présentent la même morphologie et la même allure des courbes piézométriques. Les écoulements de la nappe se font des bordures vers l'axe central de la vallée avant de prendre une direction Est-Ouest parallèlement au cours d'eau principal de l'oued Cheliff. Mais avec une diminution de niveau d'eau dans l'ensemble de la nappe alluviale.

Chapitre IV:

Vulnérabilité et protection des eaux souterraine

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraine
de la plaine de Khemis Meliana

IV.1.Introduction :

Les eaux souterraines constituent une ressource de qualité généralement meilleure à celles des eaux de surface, grâce à la protection naturelle des couches du sol sous-jacent et aux pouvoirs des terrains. En milieu urbain, industriel ou agricole caractérisé par certaines conditions hydrogéologiques favorables, la contamination des nappes d'eau souterraine est inévitable et la qualité naturelle de ces ressources va être dégradée.

Les problèmes liés à la pollution des eaux souterraines générée par les activités anthropiques, constituent actuellement une source d'inquiétude qui requiert un intérêt universel.

La prévention de la pollution des eaux souterraine, action d'autant plus nécessaire que la décontamination des nappes d'eaux souterraines polluées. (**Albinet M et Margat J, 1970**).

La protection et la préservation de ces ressources sont donc une nécessité de premier ordre. Avec tous les difficultés liées aux techniques de dépolluée et au coût de celles-ci, il devient nécessaire de prévoir des moyens de protection pour la sauvegarde de ces ressources.

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

IV.2.1.Notion de vulnérabilité a la pollution :

Le terme de « vulnérabilité des aquifères » a été introduit en hydrogéologie par **Margat** dans les années 60'' (**1968**) comme étant le degré d'exposition de la nappe d'eau souterraine à une pollution exogène. La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique, en relation avec la nappe d'eau souterraine, procure un certain degré de protection vis-à-vis des pollutions et cela, en fonction des caractéristiques de ce milieu. (**Ouissam H, 2017**).

Toutefois, son concept reste difficilement quantifiable de manière absolue et il n'existe pas de définition unique et adoptée par tous. Nous ne proposerons ici que les définitions les plus pertinentes de la littérature autour de ce sujet.

- **Olmer et Rezac (1974)** suggèrent que la vulnérabilité des eaux souterraines est « le degré de dangerosité déterminé par les conditions naturelles et indépendantes des sources de pollution actuelles ». Leur point de vue est que la vulnérabilité dépend dans la zone non saturée de la perméabilité verticale et, dans l'aquifère, du gradient hydraulique et de la vitesse d'écoulement de l'eau souterraine.
- **Zaporozec et Vrba (1994)** suggèrent que le concept de vulnérabilité des eaux souterraines est basé sur le postulat que l'environnement offre une protection naturelle pour les eaux souterraines, plus particulièrement par apport aux contaminations liée sa

l'activité humaine ?

- **Schnebelen et al (2002)** définissent que le concept de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique en relation avec la nappe d'eau souterraine. La vulnérabilité est représentée par la capacité donnée à l'eau située en surface de rejoindre le milieu souterrain saturé en eau.
- **Amharref et Bernoussi (2007)** relie la vulnérabilité à la propriété spécifique du contaminant. Cependant d'autres l'associent aux activités humaines et la qualité agro-pédologique des terrains de surface. (**Bouzara C. et Ensaad R., 2018**)

Elle étudie les possibilités de propagation du polluant dans le sol, La vulnérabilité liée au risque de pollution est déterminée par la facilité de pénétration des substances polluantes s'infiltrant à partir de la surface du sol vers la nappe. (**In Dekkiche I. et Mezaour A., 2019**).

Le concept de vulnérabilité de l'eau souterraine est généralement défini comme la capacité d'un système hydrogéologique à transmettre un contaminant potentiel depuis la surface du sol jusqu'à atteindre la zone saturée. Véhiculé depuis l'eau des précipitations qui s'infiltrer 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'autre 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 , Moulayat K et Didane Z., 2017**)

IV.2.2.Types de la vulnérabilité :

Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité :

- **La vulnérabilité intrinsèque** : est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. La sensibilité intrinsèque d'un aquifère est en fonction des caractéristiques intrinsèques géologiques et hydrogéologiques du milieu.
- **La vulnérabilité spécifique** : (zone à risque) est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

IV.2.3. Critères de la vulnérabilité :

IV.2.3.1. 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. Elle est évaluée en prenant en compte les caractéristiques du sol, de la zone saturée et de la zone non saturée qui contrôle le comportement des polluants.

IV.2.3.1.1. Critères relatifs au sol :

- **Ruissellement – infiltration** : Le ruissellement et l'infiltration efficace sont représentatifs de la recharge de la nappe. Ils sont étroitement liés à la topographie et à la nature des formations superficielles (Cazaux M., 2007).
- **Couverture pédologique** : La nature, la texture, la teneur en argiles et en matière organique, ainsi que la puissance (ou épaisseur).

IV.2.3.1.2. 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) et dans son éventuelle dégradation en cours de transfert.
- **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 zone non saturée (Z.N.S.)** : la variation de faciès (la nature lithologique) ainsi l'épaisseur des discontinuités des faciès et leur position dans le profil vertical, la texture et la teneur en argile et la matière organique de la ZNS peut réduire la contamination des eaux souterraines.

IV.2.3.1.3. Critères relatifs à la zone saturée (Z.S.) :

- **Type de la nappe (Libre ou captive) :** Une nappe libre est plus vulnérable à la pollution tandis que la nappe captive est naturellement protégée par un toit imperméable.
- **Les paramètres hydrodynamiques :** la perméabilité, gradient hydraulique, le coefficient d'emménagement et la transmissivité déterminant le temps de résidence (dépend de l'hydrodynamisme des formations aquifères) de contaminant et leur vitesse de migration dans la nappe.
- **La relation nappe-cours d'eau :** c'est la relation entre les eaux superficielles et les eaux souterraines (drainage ou alimentation).
- **Épaisseur de l'aquifère :** déterminant la quantité d'eau stockée dans l'aquifère, détermine les conditions de dilution d'un polluant ayant atteint la nappe.
- **Type du système hydrogéologique :** Caractéristique plus ou moins capacitif et transmissif, il joue sur le temps de transfert et le temps de séjour dans la nappe.
- **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 atteints par un polluant une fois que celui-ci a atteint la nappe.

IV.2.3.2. Critères de vulnérabilité spécifique :

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, ...).

- **Capacités dispersives et épuratoires des sols :** Concerne les propriétés auto-épuratoires des sols.
- **Qualité du réseau hydrographique :** Le réseau hydrographique peut être vecteur de contaminations vers les eaux souterraines.
- **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, agricole, irrigation etc....) et augmente la percolation.

IV.2.4. Cartographie de vulnérabilité :

IV.2.4.1. 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. (Miguel E.E.C. et Paim P.J.C., 2015).

IV.2.4.2. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité :

L'étude de 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 :

IV.2.4.2.1. Méthode DRASTIC :

Cette méthode a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 et Aller *et al.* en 1987, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines. Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept critères :

D : Depth to groundwater (distance à la nappe, épaisseur de la zone non saturée).

R : Recharge (recharge) ;

A : Aquifer media (nature de la zone saturée)

S : Soil media (nature du sol) ;

T : Topographie (topographie, pente en %).

I : Impact of the vadose zone (nature de la zone non saturée).

C : Conductivity (perméabilité de l'aquifère).

IV.2.4.2.2. Méthode AVI : (Canada) Aquifer Vulnerability Index

Cette méthode cherche à évaluer le temps de transport d'éventuels contaminants en fonction de l'épaisseur de la zone non saturée (Z.N.S). Elle mesure la vulnérabilité selon la résistance

hydraulique (C) à l'écoulement vertical de l'eau opposée par les formations géologiques situées au-dessus de la couche de l'aquifère.

IV.2.4.2.3. Méthode SINTACS :

Cette méthode a été développée en Italie, par Civita au début des années 1990. Elle représente une adaptation de la méthode DRASTIC aux conditions méditerranéennes. Cette méthode de vulnérabilité verticale intrinsèque prend en considération les mêmes paramètres que la méthode DRASTIC mais avec des poids et des cotes différentes (poids de chaque classe varie de 1 à 5).

Elle présente six classes de degré de vulnérabilité, mais la spécificité de la méthode consiste au fait qu'elle propose cinq scénarios différents de vulnérabilité :

Scénario « impact normal » ; scénario « impact sévère » ; scénario « drainage important à partir d'un réseau superficiel » ; scénario « terrain très karstifié » ; scénario « terrain fissuré ».

IV.2.4.2.4. Méthode SI :(Susceptibility Index)

Cette méthode d'évaluation de la vulnérabilité verticale spécifique a été développée au Portugal par **Ribeiro (2000)**. Elle prend en compte les pollutions d'origine agricole, essentiellement les nitrates et les pesticides, elle utilise cinq paramètres. Les quatre premiers sont identiques aux méthodes **DRASTIC** et **SINTACS**, le cinquième est un nouveau paramètre qui a été introduit, il s'agit de occupation des sols (Os). (**In Achour M., 2014**).

IV.2.4.2.5. Méthode EPIK :(Suisse) (Epikarst, Protective cover, Infiltration conditions, Karst network.)

Cette méthode largement employée en Suisse est devenue obligatoire dans ce pays pour définir la vulnérabilité des bassins karstiques captés pour l'AEP suite à la loi fédérale sur protection des eaux de 1991. Elle a été développée dans le but de délimiter les périmètres de protection des captages, conformément à la législation Suisse. L'un des avantages de cette méthode est de traduire la sensibilité des eaux souterraines vis-à-vis de tout type de contaminant. La méthode est systématique puisqu'elle propose une analyse détaillée du bassin d'alimentation de la source karstique découpé en un maillage régulier. La méthode a été testée sur le site de Saint-Imier dans le Jura Suisse (**Doerfliger N. et Zwahlen, 1998**).

IV.2.4.2.6.Méthode RISKE : (Petelet G. *et al.*, 2000).

Cette méthode s'inspire de la méthode suisse EPIK en raison de sa spécificité karstique. RISKE est un acronyme qui reprend les initiales des 5 critères pris en compte : Roche aquifère, Infiltration, Sol, Karstification et Epikarst.

IV.2.4.2.7.Méthode GOD: (Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater table)

Cette méthode a été développée par Foster en 1987. Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée. Elle permet de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité et prend en compte trois grandes phases :

- **La phase 1** : Type de nappe.
- **La phase 2** : Facteurs géologiques.
- **La phase 3** : Profondeur de la nappe.

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des aquifères par la méthode GOD a été faite par le calcul de l'Indice GOD (**IG**) selon l'équation suivante. (In Aichouch F., Moulayat K. et Didane Z., 2017).

$$\mathbf{IG = IA \times IO \times ID}$$

Avec :

- **IG** : Indice de GOD
- **IA** : Groundwater occurrence (Indice du type d'aquifère) ;
- **IO** : Overall aquifer class (Indice des caractéristiques de l'aquifère en terme de lithologie et de porosité)
- **ID** : Depth of water table (Indice de la profondeur de la nappe).

L'indice GOD (**IG**) a pour valeur minimum " 0 " et valeur maximum " 1 ".

La vulnérabilité augmente avec l'indice. Après la calcul de l'indice, on fait correspondre des classes de vulnérabilité aux différentes plages d'indices obtenues répartis en cinq classes de vulnérabilité allant du «très faible » à « extrême » (**Tab 19**).

Remarque: Il est à noter, qu'une activité humaine telle que la surexploitation d'une nappe va influencer le degré de confinement de l'aquifère, mais cela n'apparaît pas dans le schéma proposé.

La carte de synthèse finale obtenue se compose de 6 indices de vulnérabilité : aucune vulnérabilité, vulnérabilité négligeable, faible vulnérabilité, vulnérabilité moyenne, forte vulnérabilité, vulnérabilité extrême. On peut réduire ce nombre d'indice à 5 sachant que la définition «d'aucune vulnérabilité» revient à avoir un indice de 0. Or, définir une zone comme non vulnérable est erroné.

Tab. N°19 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité selon la méthode GOD
(In Cherikh M., 2015).

Classe GOD	Intervalle
Vulnérabilité très faible	0-0,1
Vulnérabilité faible	0,1-0,3
Vulnérabilité modérée	0,3-0,5
Vulnérabilité forte	0,5-0,7
Vulnérabilité extrême	0,7-1

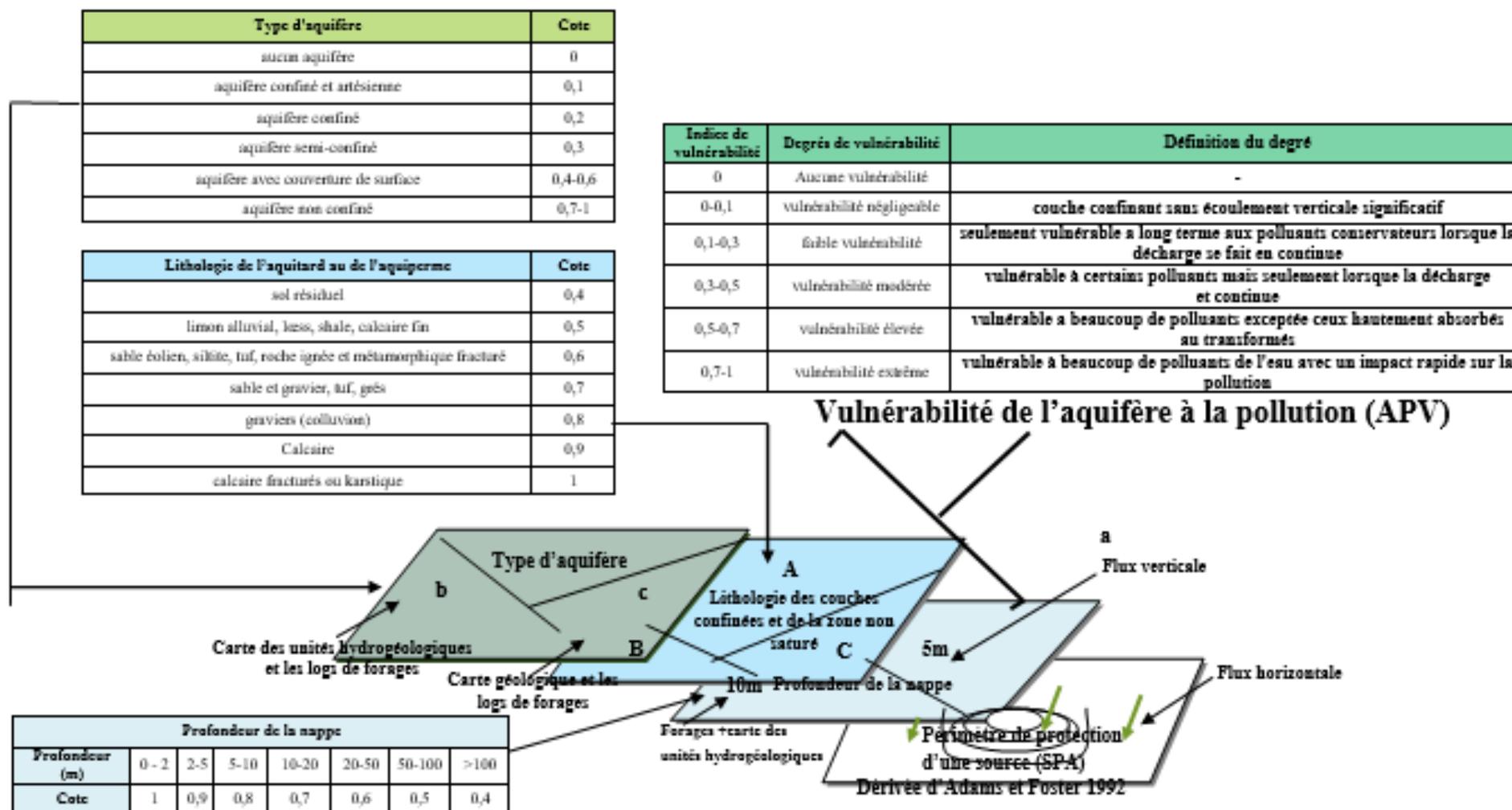


Fig. N°34 : La méthode GOD, paramètres et cotations (in Valérie Murat, 2000 modifié 2017).

IV. 3. Vulnérabilité à la pollution de la plaine de Khemis Miliana selon la méthode GOD

IV. 3.1. Préparation des données :

Les cartes des différents paramètres pris en compte pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe.

IV. 3.2. Digitalisation :

Chaque paramètre a été réalisé (avec ArcGis 10.2) et sauvegarder, l'ensemble des données établies constitue la base de données nécessaire pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité.

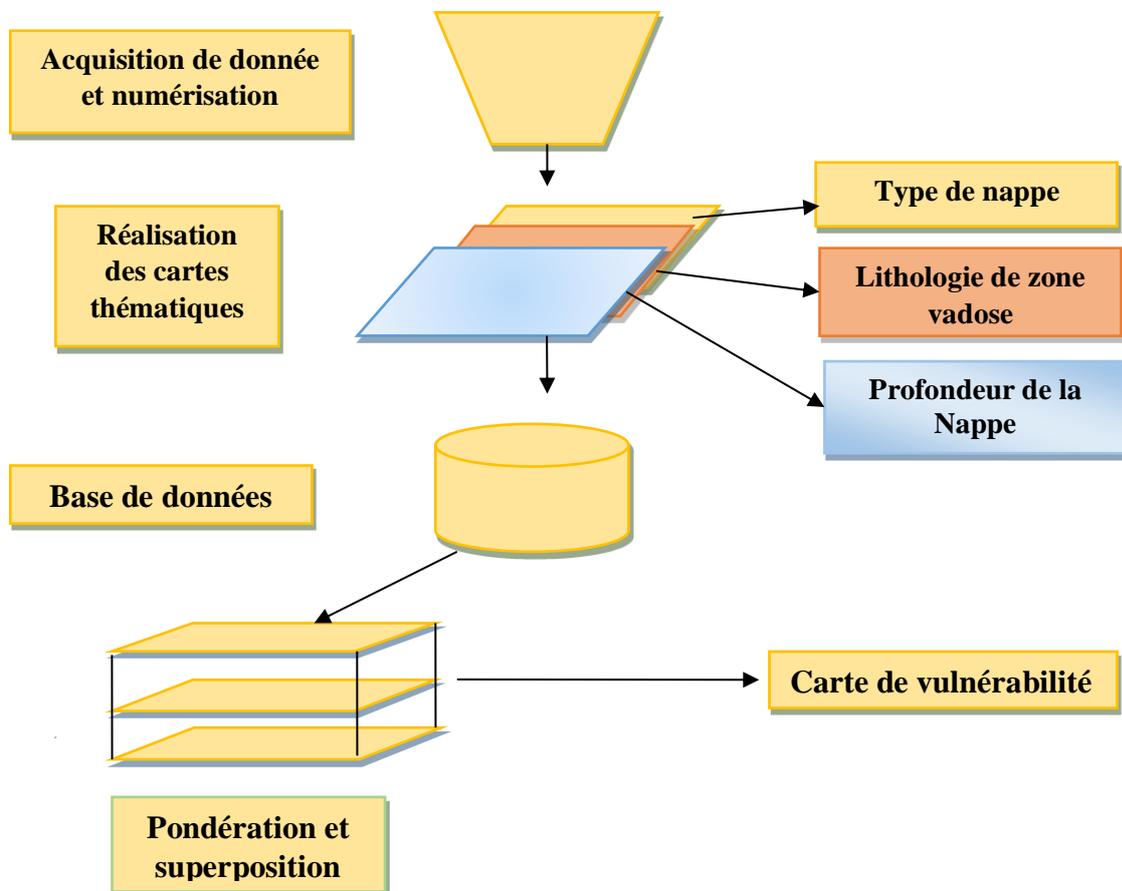


Fig. N°35 : Etapes à suivre pour la réalisation de la carte de vulnérabilité (In Mimoun S. et Zoubeidi B. 2014 modifié).

IV. 3.3. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques :

IV. 3.3.1. Paramètre « G » type de l'aquifère :

D'après les logs des forages et des études faites sur la région, on observe qu'il existe trois types de nappes, l'une libre (superficielle) s'étendue dans la majorité de la zone d'étude et l'autre semi captive à captive couvre le reste de la plaine de Khemis Miliana au séparant par une couche de sable et grés. De cette configuration on distingue trois types d'indice :

-les deux premiers d'ordre de 0.2 e 0.3 observé très limité au niveau de la nappe captive et semi captive à la limite de la plaine et l'autre de l'ordre de 0.8 occupant presque la totalité de la plaine.

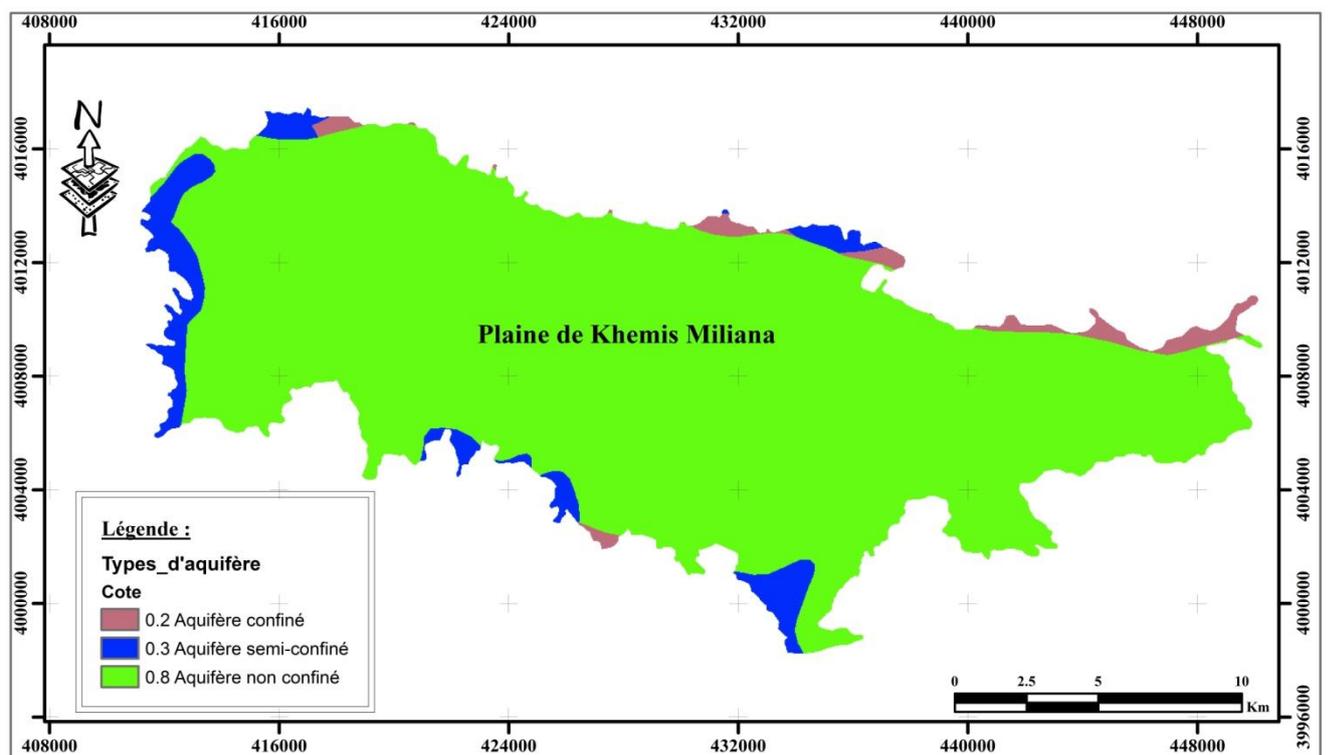


Fig. N°36 : Carte du paramètre "G" type d'aquifère de la plaine de Khemis Miliana
(Tracé par ArcGis, 2020).

IV. 3.3.2. Paramètre « O » Nature lithologique de la ZNS :

La carte de la lithologie de la zone non saturé (ZNS) montre la présence de quatre classes :

- 1) La première représentant les formations argile et limons, couvrant une surface limitée dans la partie nord et sud de la plaine, avec un indice de 0.5.

- 2) La deuxième présente des formations alluviales occupant la majorité de la plaine de Khemis Miliana, avec un indice de 0.8
- 3) La troisième classe présente les formations tufs et grés occupe la partie ouest et sud de la plaine avec un indice de 0.7.
- 4) La dernière classe identifiant la formation calcaire couvre une partie de nord-est et sud et nord de la zone d'étude avec un indice de 0.9.

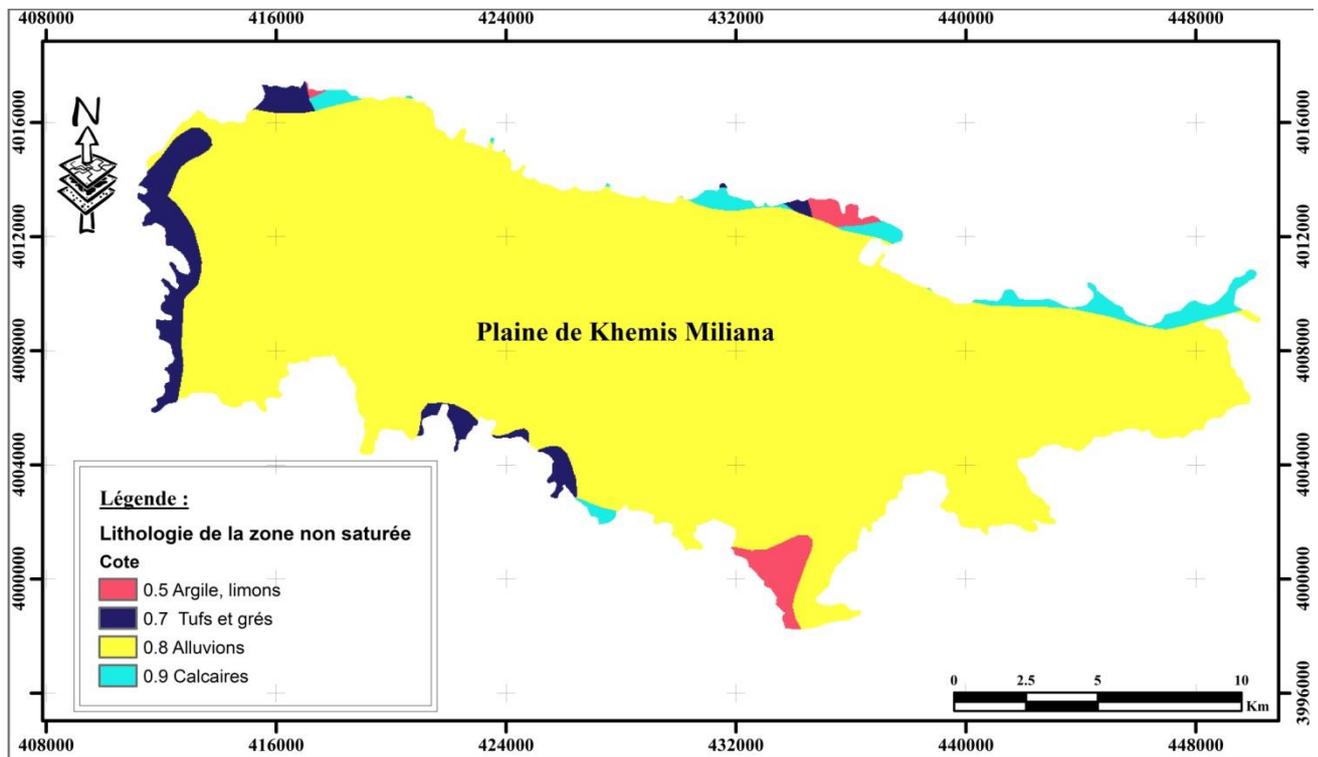


Fig. N°37 : Carte du paramètre "O" nature lithologique de la ZNS de la plaine de Khemis Miliana (Tracé par ArcGis, 2020).

IV. 3.3.3. Paramètre « D » profondeur de la nappe :

D'après la carte de la figure n° 38 trois classes ont été remarquées :

- Classe 1** : présente des profondeurs allant de 30m à 50m avec un indice ID = 0.6, cette classe est située dans la partie Est, Nord et le Sud- Ouest de la zone d'étude.
- Classe 2** : elle domine la majorité de la zone d'étude, la profondeur de cette classe est comprise entre 10 à 30 m avec un indice ID= 0.7.
- Classe 3** : présente des profondeurs allant de 5 m à 10 m avec un indice ID=0.8 occupe la partie Ouest de la zone d'étude.

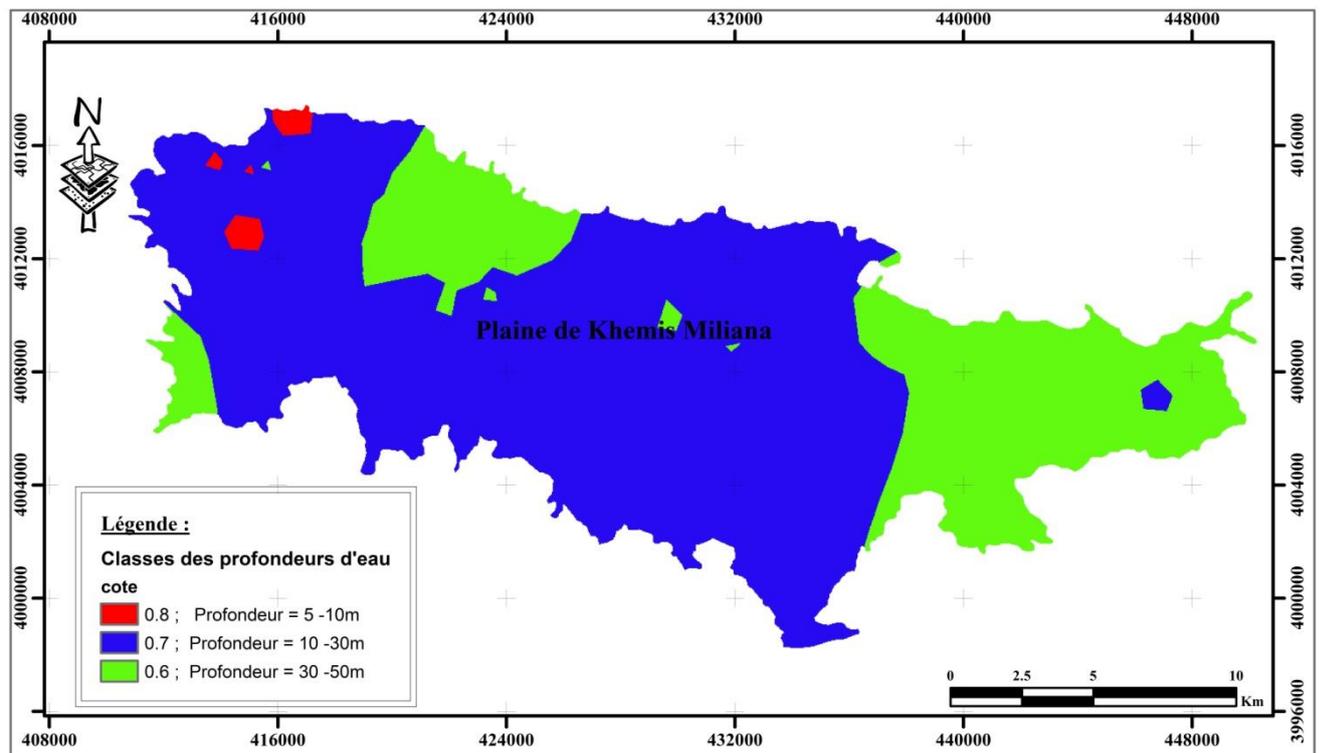


Fig. N°38 : Carte du paramètre "D" Profondeur de la nappe de la plaine de Khemis Miliana.
(Tracé par ArcGis, 2020).

IV. 3.4. Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Khemis Miliana selon la méthode GOD :

Les zones de vulnérabilité faible, modérée et forte ont été mises en évidence par la méthode GOD et traduisent le degré de vulnérabilité auquel est soumis le système aquifère de la plaine de Khemis Miliana. Cette vulnérabilité décroît aux limites de la zone d'étude. L'analyse de ces zones révèle trois classes de vulnérabilité à la pollution (**Fig 39**).

-La classe "faible " : Cette classe s'observe à la périphérie de la zone d'étude et affirme une pollution moins sévère en cas de contamination de la nappe. Elle représente environ 7.01 % de la zone d'étude. Formée essentiellement par des tufs, grès, calcaires, argiles et limons .Elle serait due au type de nappe captive à semi captive et aux profondeurs de la nappe qui sont comprises entre 30 à 50 m.

-La classe "modérée " : Cette classe se rencontre presque dans la totalité de la zone d'étude avec une proportion plus importante que la classe faible, soit de l'ordre de 92.54%. Elle

serait due également à des profondeurs de la nappe moyennes comprises entre 10 et 30m. Occupe presque la totalité de la nappe de Khemis Miliana.

-La classe "forte « : C'est la classe la moins répandue de cette méthode GOD dans la région d'étude. Elle se retrouve préférentiellement dans la partie Ouest de la zone d'étude, elle présente une surface très limitée moins de 0.45%. La distribution spatiale de cette classe s'expliquerait par la nature lithologique de la zone non saturée constituée d'alluvions et calcaires très favorables à l'infiltration d'un polluant (faible pouvoir filtrant) ainsi que le type de nappe libre qui caractérise cette zone avec une profondeur d'eau faible < 5m.

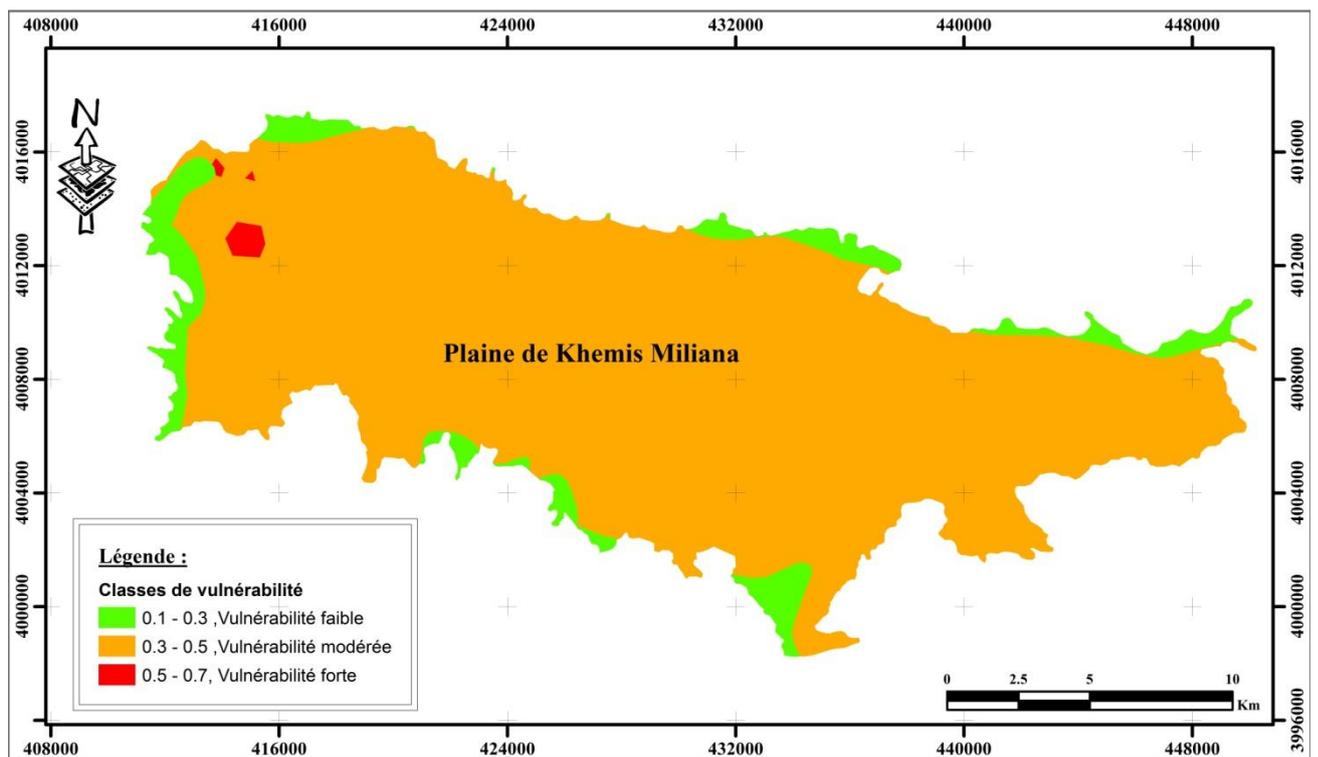


Fig. N°39 : Carte synthèse de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines selon la méthode **GOD** de la plaine de Khemis Miliana (Tracé par ArcGis 10.2, 2020).

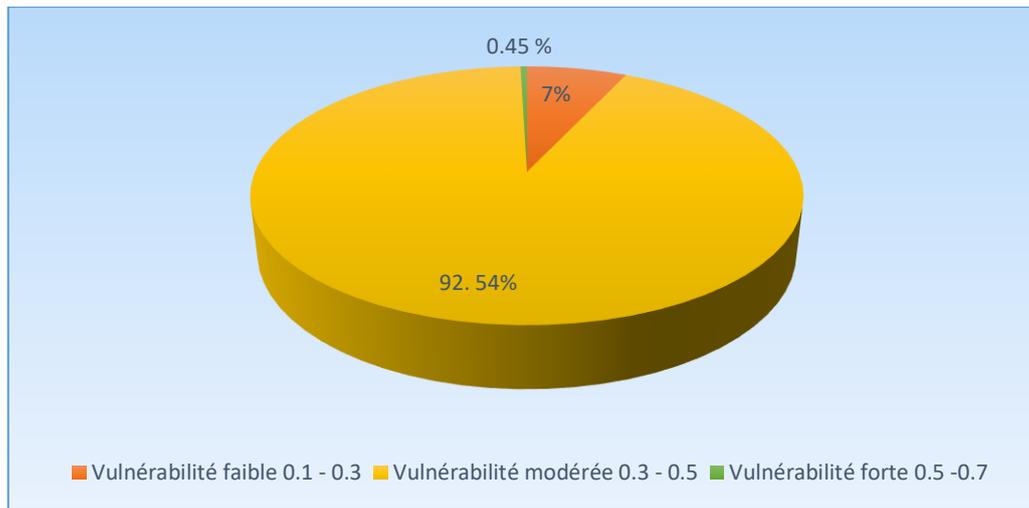


Figure N°40 : Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution des eaux de la région d'étude selon la méthode **GOD**.

IV. 4. Conclusion :

La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue impérative afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau et la protection des captages d'eau potable. Elle apparaît donc nécessaire et incontournable, car elle permet d'identifier facilement les zones sensibles à des pollutions potentielles. Elle permet aussi d'orienter l'aménagement du territoire. Cependant, l'usage de ces cartes pour la limitation efficace de la protection des eaux souterraines doit tenir compte du contexte hydrodynamique de l'aquifère qui ne compromet pas inutilement la planification et la gestion du territoire. L'originalité de ce travail réside dans la réalisation d'une cartographie de la vulnérabilité de la Zone d'étude et cela en utilisant un indice de vulnérabilité récemment introduit. D'autres études doivent être poursuivies afin d'élaborer des cartes plus précises et tenant compte d'un nombre important de données. La cartographie des zones de vulnérabilité de la nappe a révélé trois zones de vulnérabilité différentes. Les zones de vulnérabilité modérée occupent la majorité de la surface totale de la plaine avec 92.54%, alors que les zones à vulnérabilité faible (7.01%) et forte (0.45%) occupent le reste de cette surface.

Conclusion générale et Recommandations:

Vulnérabilité et protection des ressources en eau
souterraine de la plaine de Khemis Meliana

Conclusion générale :

Les études peuvent déterminer les facteurs affectent la qualité de l'eau souterraine de la zone d'étude (La plaine Alluviale de Khemis Miliana) sont conclurons :

La zone d'étude est située dans la partie Nord de l'Algérie, entre les massifs du Zaccar et ceux de l'Ouarsenis, elle est principalement à vacation agricole qui est traversée par l'oued le plus important en Algérie « Oued Chéllif ».

La plaine de Khemis Miliana est caractérisée par des formations sédimentaires, du Primaire jusqu'au Quaternaire, constituées généralement par des calcaires, des grés, des marnes, des argiles et des alluvions.

Selon les données climatiques, nous n'avons constaté que la zone étudiée a un climat semi-aride, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide et l'autre sèche et chaud.

La température moyenne annuelle varie entre 18.90 C° et 19.40 C° et la précipitation moyenne est de 392.43mm à Barrage Harraza et 449.79mm à Khemis Miliana.

L'infiltration efficace varie entre 8.58% à 15.33% des précipitations qui joue un rôle important dans la recharge de la plaine.

L'Etude hydrogéologique de la région du haut Cheliff permette de déterminer les différentes caractéristiques hydrogéologiques des terrains (perméabilité).

D'après l'étude géophysique de la région, la plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge Mio-Plio-Quaternaire qui est représenté par des dépôts alluvionnaires et des grés d'une épaisseur de 50 à 100m.

Dans la série stratigraphique de la plaine, on distingue quatre niveaux d'aquifères : Les calcaires Jurassiques, les aquifères de Miocène, les aquifères de Pliocène et les aquifères alluvionnaires du Quaternaire.

La cartographie des zones de vulnérabilité de la nappe par la méthode GOD a révélé trois zones de vulnérabilité différente. Les zones de vulnérabilité modérée occupe la majorité de la surface totale de la plaine avec 92.54%, alors que les zones à vulnérabilité faible (7.01%) et forte (0.45%) occupent le reste de cette surface et cela est du à plusieurs facteurs qu'on cite : lithologie de l'aquifère (pouvoir filtrant), le profondeur de la nappe et type d'aquifère.

Recommandation :

Le besoin humaine de ressources en eau dans la vie est important, nous devons donc les conserver et les consommer d'une manière correcte.

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.
- Lutte contre les forages et puits illégaux.
- Diminution de quantité d'engrais et de pesticides utilisées en agriculture afin de ne pas contaminer les eaux souterraines et de les remplacés 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
de la plaine de Khemis Meliana

Références bibliographiques

Albinet M et Margat J., (1971) : Ground water pollution, proceeding of the Moscow symposium, August 1971. Actes du colloque de Moscow, IAHS-AISH PUBL N : 103, 1975.

Baali F, (2007) : Contribution à l'étude hydrogéologique, hydro chimique et vulnérabilité d'un système aquifère Karstique en zone semi-aride : cas de plateau de Cheria N-E Algérien. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba.

BenKada A, (2018) : Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à l'aide d'une méthode spécifique SI : application sur l'aquifère alluvial du Haut Cheliff. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master. Spécialité : Hydrogéologie. Université Djilali Bounaama-Khemis-Miliana.

Benrabah H, Ait Ziane L, (2019) : estimation de cartographie de la recharge naturelle des eaux souterraines : cas d'application différents méthodes dans la plaine alluviale de khemis miliana. Mémoire de fin d'étude en hydrogéologie. Université Djilal Bounaama-khemis miliana.

Bouzara Ch et Ensad R., (2018) : Contribution à la protection des eaux souterraines soumises aux pressions agricoles (cas de la plaine de Haut Cheliff), mémoire de master, université Djilaly Bounaama-Khemis miliana.

Cazaux M., (2007) : Les eaux souterraines en girond cartographie de vulnérabilité aux pollutions de nappe ecocerne dans le secteur de Blayai, mémoire de stage, rapport SMEGREG P54, FIG 23.

Dahbia A et Oumellal A, (2015) : Cartographie des risques d'érosion et évaluation du transport solide du bassin versant haut et moyen Cheliff. Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme de master. Spécialité : Génie Civil. Université Mouloud Mammeri -Tizi Ouzou

Dekkiche A, Mezaour A, (2019) : Etude comparative de trois méthodes pour la cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère alluviale à la pollution : plaine alluviale de Khemis Miliana. Mémoire Master Académique. Spécialité : Hydrogéologie. Université Djilali Bounaama-Khemis-Miliana.

DSA, (2016) : tableaux des livraisons des produits phytosanitaires.

Hadj Hanni, (2013) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale du haut Cheliff (entre les Aribes et Djendel). Mémoire pour l'obtention du grade d'ingénieur d'état en science de la terre. Université d'Oran.

Hattab M, (1998) : Etude qualitatif des eaux du haut Cheliff. Mémoire fin d'étude. Promotion 1998. Centre universitaire de khemis miliana.

In Achour M., (2014) : vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : cas de la vallée du Mizab (GHARDAIA, ALGERIE), mémoire de magister, université d'Oran.

In Aichouch F, Moulayat K et Didane Z., (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 Khaldoune-Tiaret.

In Attafi S (2017) : Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à l'aide d'une méthode spécifique SI, application sur l'aquifère alluviale de Haut Cheliff. Mémoire de master. Université Djilali Bounaama, Khemis Miliana.

In Boudjnane I, Maarouf n, (2015) : utilisation de système d'information géographique et l'indice de qualité des eaux (IGE) pour évaluer la qualité des eaux souterraines dans la plaine de khemis miliana. Mémoire de fin d'étude. Spécialité : eau et bioclimatologie. Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.

In Mimoun S. et Zoubeidi B. (2014) : problème de la vulnérabilité des eaux souterraines de l'Oued (Sud-Est algérienne), mémoire de master en hydrogéologie. Université de l'Oued.

Kahila A et Achour K, (2008) : contribution à l'étude de la qualité des eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff (Rapport du projet de synthèse de licence en système LMD). Centre Universitaire de Khemis Miliana.

Larbi B F, Nabi K, (2019) : Impact du Changement Climatique sur l'Évolution des Eaux Souterraine dans la plaine alluviale du Haut Chéiff. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de master. Spécialité : Hydrogéologie. Université Djilali Bounaama-Khemis-Miliana.

Mattauer (1958), Perrodon (1967) : étude géologique de l'Ouarsenis oriental Algérie. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. Bulletin N17.Alger.

Medjoul F, Gouas R, (2019) : vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines : dans une zone semi-aride : cas de la région d'Ain Bouchekif. Mémoire de fin d'étude en hydrogéologie. Université Ibn Khaldoun de Tiaret.

Miguel EAC et pain PJC., (2015) : cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du bas cheliff (application de la méthode DRASTIC), Mémoire de fin d'étude, université Djilali Bounaama de Khemis-Miliana.

Nefidsa k, (2013) : Evolution géochimique des eaux souterraines et leurs impacts sur la qualité des sols irrigués de la plaine du Haut Chéiff. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister. Spécialité : Ecologie et Environnement. Université Hassiba Ben Bouali_ Chleff

ONID (2012) : La carte d'occupation du sol de la plaine du Haut Chéiff.

Perrodon A (1957) : Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale.

Quissam H, (2017) : étude de la vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine basée sur l'approche méthodologique GALPIT (Cas de la nappe de Bouteldja Nord-Est Algérie), mémoire de master, école national supérieur d'hydraulique ARBAOUI Abdellah.

Sahraoui N, (2015) : Etude de la cohérence entre la vulnérabilité a la pollution et la qualité des eaux souterraines –plaine de Khemis Miliana Algérie. Mémoire de fin d'étude spécialité eau et bioclimatologie. Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.

Seghir K, (2008) : vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous-système aquifère de Tebessa Hammamet. Thèse de doctorat en hydrogéologie, université Badji Mokhtar d'Annaba.

Touhari F, (2015) : Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff. Thèse de doctorat. L'école Nationale Supérieure D'Hydraulique.

Résumé :

La nappe alluviale de Khemis Miliana qui est située au Nord-Ouest de l'Algérie est exposée aux pollutions d'origine agricole. La détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine affectées par la pollution est un processus très important pour comprendre la fragilité intrinsèque de la région Haut Cheliff. Dans notre étude on a défini la vulnérabilité de la nappe alluviale en appliquant la Méthode GOD ainsi on utilise logiciel ArcGIS.

La carte de vulnérabilité de la plaine de Khemis Miliana selon la méthode GOD montre que la zone présente trois classes : une classe de vulnérabilité faible a un pourcentage de 7% à la surface totale, une classe de vulnérabilité modérée est représentée par 92,54% qui occupent la majorité de la plaine et la classe de vulnérabilité élevé avec un pourcentage de 0,45%. D'après la carte présentée, notre nappe est vraiment menacée à la pollution ou il devrait nécessaire à prendre les mesures préventives pour réduire cette pollution.

Mots Clés : La plaine de Khemis Miliana – Nappe d'eau souterraine – Alluvions – La Vulnérabilité – Pollution – Méthode GOD– La cartographie – L'ArcGIS.

المخلص:

الحوض المائي الرسوبي خميس مليانة، الواقع في الشمال الشرقي للجزائر، معرض للتلوث بسبب النشاط الزراعي. إن تحديد حساسية المياه الجوفية للتلوث هي عملية ذات أهمية بالغة تسمح لنا بفهم مدى قابلية منطقة شلف الأعلى الجوهريّة للتلوث. في دراستنا هذه قمنا بتحديد حساسية الحوض المائي الجوفي الرسوبي بتطبيق طريقة GOD وباستعمال برنامج L'ArcGIS.

إن خريطة الحساسية لسهل خميس مليانة حسب طريقة GOD تظهر أن المنطقة تنطوي على ثلاثة أقسام متباينة: قسم بحساسية ضعيفة بنسبة 07% من المساحة الكلية، قسم بحساسية متوسطة ويشغل معظم السهل بنسبة 92.54% وأخيرا قسم بحساسية مرتفعة بنسبة 0.45%. إذن حسب الخريطة المقدمة فإن الحوض المائي الجوفي مهدد فعلا بالتلوث ويجب اتخاذ تدابير وقائية مبكرة للحد من هذا الخطر.

الكلمات المفتاحية: خميس مليانة – الحوض المائي الجوفي – رسوبيات – الحساسية – التلوث – طريقة GOD – الخرائطية – ArcGIS.

Abstract:

Khemis Miliana's alluvial tableware located in northeastern Algeria is exposed to the danger of agricultural pollution. The determination of the groundwater's vulnerability of the plain effected by pollution is a very important process, to understand the fragility intrinsic of the Haut Cheliff area. In our study, we defined the vulnerability of the tablecloth by applying the GOD method and using the ArcGIS programmer.

The vulnerability map of the Khemis Miliana's plain according to the GOD method show that the area has three classes: a low vulnerability class, which has a percentage of 7% of the total surface, a moderate vulnerability class is represented by 92.54%, which covers the majority of the plain, and a high vulnerability class with a percentage of 0.45%. According to the map we presented, our tablecloth is really threatened by pollution where taking preventive measures to reduce this pollution is necessary.

Keywords: the plain of Khemis-Miliana, groundwater table, alluvions, the vulnerability, pollution, GOD method, mapping, ArcGIS.