



Republique Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 02 Mohamed BENAHMED  
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre

### **Mémoire**

Présenté pour l'obtention du

Diplôme de Master 2 en géologie

**Option :** Hydrogéologie

### **Thème**

**EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU DES AQUIFERS KARSTIQUES DE LA  
REGION DE TLEMCEM**

Présenté par :

Belkacemi Walid

Larbi Slimane

Devant les membres du jury :

SAFA Aissa  
ABLAOUI Halima  
BOURSALI Tewfik

Professeur  
MAA  
MCA

Président  
Examinatrice  
Rapporteur

Année universitaire 2022/2023

## REMERCIEMENTS

*Avant tout, nous rends grâce à ALLAH, le tout puissant qui m'a guidé dans tout ce que nous a entrepris.*

*Nous tenons à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire et en particulier un très grand remerciement à notre encadreur **MR BOURSALI TEWFIK**, pour ses directives et conseils judicieux.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à **Mr SAFA** et **Mme ABLAOUI** qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.*

*De vifs remerciements à tous les enseignants (**Mme Mebrouk, Hassani, Dekkich, Messirdi, Sahraoui.**) et mes collègues du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers (**Guerbouz, Mouad**).*

*Nos sincères remerciements s'adressent plus particulièrement au directeur du secteur de l'A.N.R.H. d'Oran (monsieur Benabdellah)*

# *DEDICACE*

*Je dédie cet humble travail avec grand amour sincérité et fierté :  
À Mes très chers parents, Ma mère et mon père que dieu lui donne sa  
miséricorde,*

## Table des matières

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICACE</b> .....	<b>II</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>VI</b>
<b>Résumé :</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Introduction Générale :</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Généralités</b> .....	<b>2</b>
<b>Introduction :</b> .....	<b>3</b>
<b>I. CADRE GÉOGRAPHIQUE:</b> .....	<b>3</b>
1. Cadre géographique de l'oranie :.....	3
2. Cadre géographique de secteur d'étude (fig.1) :.....	4
<b>II. CADRE CLIMATOLOGIQUE</b> .....	<b>5</b>
1. Précipitations :.....	6
• Précipitations moyennes annuelles (tab.2):.....	6
• Précipitations moyennes mensuelles (tab.3):.....	7
• Précipitations saisonnières (tab.4):.....	8
2. Étude des Températures :.....	9
• Les températures moyennes mensuelles (tab.5).....	9
3. L'étude du climat (tab.6):.....	10
a. Méthodes de visualisation (méthodes graphiques) (fig.7) :.....	10
b. Les indices climatiques :.....	11
c. Évapotranspiration et déficit d'écoulement.....	13
<b>ETP non corrigée</b> .....	16
d. Évapotranspiration réelle (ETR) :.....	17
Calcul de la réserve facilement utilisable (R. F. U.) :.....	17
Le bilan hydrologique selon C.W Thornthwaite.....	17
$le = P - ETR - R = 15.75 \text{ mm/an}$ .....	18
f. Estimation de la lame d'eau écoulée :.....	19
Conclusion.....	19
<b>Chapitre II : Géologie des Monts de Tlemcen</b> .....	<b>20</b>
<b>I. Cadre géologique de l'oranie</b> .....	<b>21</b>
1. Cadre géologique de secteur d'étude :.....	21

2.	Lithostratigraphie (fig.11):.....	21
•	Le primaire : .....	21
•	Le Tertiaire : .....	26
•	Le plio-quadernaire : .....	27
<b>Conclusion.....</b>		<b>27</b>
<b>Chapitre III : Ressources et bilan d'eau dans les Monts de Tlemcen .....</b>		<b>29</b>
<b>Introduction .....</b>		<b>30</b>
<b>I.</b>	<b>Ressources superficielles : .....</b>	<b>30</b>
<b>II.</b>	<b>Ressources souterraines :.....</b>	<b>31</b>
a.	Principales formation aquifères : .....	31
•	Les dolomies de Terny : .....	32
•	Les dolomies de Tlemcen :.....	32
•	Les grés Tortonien :.....	32
•	Les conglomérats du Miocène inférieur : .....	33
•	Les grés de Boumediene : .....	33
b.	Forages (fig.13):.....	33
c.	Sources : .....	34
III.	Propriétés hydrodynamique : .....	34
	Calcaires et Dolomies du Lias et di Dogger : .....	34
	Grès de Boumediene : .....	34
	Dolomies de Tlemcen : .....	35
	Grès Miocènes : .....	35
	Plio-quadernaire : .....	35
<b>CONCLUSION.....</b>		<b>36</b>
<b>Chapitre IV : Évaluation des ressources en eau des aquifères karstiques.....</b>		<b>37</b>
<b>Introduction : .....</b>		<b>38</b>
<b>I.</b>	<b>Évaluation de la réserve permanente (tab.23): .....</b>	<b>38</b>
	Interprétation hydrogéologique : .....	39
<b>II.</b>	<b>Évaluation de la réserve renouvelable (tab.24): .....</b>	<b>40</b>
<b>CONCLUSION.....</b>		<b>41</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>		<b>42</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Caractéristiques géographiques de la Wilaya de Tlemcen .....	4
Figure 2 : Situation du site étudié (Extrait de Tlemcen au 1/200.000) .....	5
Figure 3 : Variations des précipitations totales annuelles à la station de ZENATA (1995-2021) .....	6
Figure 4 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de ZENATA. .	7
Figure 5 : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de ZENATA.....	8
Figure 6 : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales de la station de ZENATA (1995-2021). .....	9
Figure 7 : Diagramme Pluvio-Thermique de la station de ZENATA (1995-2021). .....	10
Figure 8 : Climagramme d'Emberger .....	12
Figure 9 : Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT) .....	15
Figure 10 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (P. VERDEIL, 1988). 16	
Figure 11 : colonne litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen (BENEST, BENSALAH, 1999).....	22
Figure 12 : coupe transversale des Monts de Tlemcen illustrant les principaux type d'aquifères de la région (in COLLIGNON, 1986) .....	32
Figure 13 : plans de situation des forages à travers les Monts de Tlemcen .....	33
Figure 14 : exemple de la relation linéaire entre le volume prélevé et le rabattement à long terme dans le forage SABRA, exploité à 69 l/s ( d'après B. COLLIGNON, 1986 ) . .....	38
Figure 15 : évolution pluriannuelle du niveau statique au forage SAB2 . .....	41

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Caractéristiques de la station climatologique de ZENATA .....	5
Tableau 2 : précipitation moyenne annuelles de la station Zenâta.....	6
Tableau 3 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de ZENATA (1995-2021).....	7
Tableau 4 : Précipitations moyennes saisonnières à la station de ZENATA (1995-2021).....	8
Tableau 5 : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales de la station de.....	9
Tableau 6 : Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de ZENATA (1995-2021).....	10
Tableau 7 : Indice d'aridité de Martonne. ....	11
Tableau 8 : Indice d'Emberger.....	12
Tableau 9 : Indice de Moral / station de ZENATA.....	13
Tableau 10 : Résultat de l'ETR par la méthode de TURC.....	14
Tableau 11 : valeur du déficit et du quotient d'écoulement (COUTAGNE). ....	15
Tableau 12 : valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt). ....	15
Tableau 13 : Valeur du déficit d'écoulement (d'après P. VERDEIL) .....	15
Tableau 14 : Valeurs de l'ETP corrigée à la station de ZENATA (1995-2021).....	17
Tableau 15 : Calcul du bilan hydrologique de la station de ZENATA (1995-2021) Selon C.W Thornthwaite .....	18
Tableau 16 : Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berckaloff. ....	19
Tableau 17 : Comparaison des volumes d'eau écoulés et les précipitation sur les Monts de Tlemcen (d'après B. COLLIGNON, 1986) . ....	31
Tableau 18 : propriétés transmissives et épaisseur (d'après B. COLLIGNON, 1986). ....	34

Tableau 19 : Propriétés transmissives des Grès de Boumediene (d'après B. COLLIGNON, 1986).....	34
Tableau 20 : Coefficient d'emmagasinement des dolomies de Tlemcen (d'après B. COLLIGNON, 1986). .....	35
Tableau 21 : Le Miocène dans les forages hydrauliques (d'après B. COLLIGNON, 1986)..	35
Tableau 22 : propriétés transmissives dans le plio-quatenaire (d'après S.M. HAYANE, 1983).....	35
Tableau 23 : Estimation des réserves permanentes à partir de l'observation piézométrique dans les forages exploités (d'après B. COLLIGNON, 1986) .....	39
Tableau 24 : Évaluation des réserves renouvelables a partir des remontées s observées au cours d'hiver 1985-86 et du volume spécifique, déterminé lors de l'étiage 1985 (d'après B COLLIGNON, 1986) .....	40

## **Résumé :**

Les Monts de Tlemcen représentent l'un des massifs calcaires karstiques les plus significatifs du nord de l'Algérie. Ils abritent d'importants aquifères situés au sein des formations calcaréo-dolomitiques du Jurassique supérieur. L'interaction entre l'eau et le calcaire a façonné un paysage fortement marqué sur le plan hydrogéologique

La méthodologie proposée offre une approche permettant d'estimer les ressources en eau des aquifères karstiques avec une précision d'environ 10 % pour les réserves permanentes à 200 Mm<sup>3</sup>/an et d'environ 20 % pour les réserves renouvelables, (l'eau stockée dans les 100 premiers mètres d'aquifère) ont été évaluées à 6 300 Mm<sup>3</sup> (Bensaoula, et al., 2019 (sous presse)). Il convient de noter que ces estimations sont provisoires et nécessitent des données supplémentaires ainsi que des études hydrogéologiques approfondies pour une évaluation plus précise

**Mots clés :** Monts de Tlemcen, Aquifères karstiques , hydrogéologie

## **ABSTRACT :**

The Tlemcen Mountains represent one of the most significant karstic limestone massifs in northern Algeria. They house important aquifers located within the upper Jurassic limestone-dolomite formations.

The interaction between water and limestone has shaped a highly distinctive hydrogeological landscape.

The proposed methodology offers an approach to estimate the water resources of karstic aquifers with an accuracy of approximately 10% for permanent reserves at 200 cubic millimeters per year and about 20% for renewable reserves (water stored within the first 100 meters of the aquifer), which were assessed at 6,300 cubic millimeters (Bensaoula, et al., 2019, [in press]). It should be noted that these estimates are provisional and require additional data and in-depth hydrogeological studies for a more precise evaluation.

**Keywords :** Tlemcen Mountains, Karstic Aquifers, Hydrogeology

## **Introduction Générale :**

L'eau joue un rôle vital dans la vie quotidienne et le développement économique de l'Algérie, un vaste pays situé en Afrique du Nord. La gestion efficace des ressources en eau est cruciale pour répondre aux besoins croissants de la population, de l'agriculture, de l'industrie et de l'environnement. Dans cette optique, l'hydrogéologie, qui étudie les mouvements, la distribution et la qualité des eaux souterraines, revêt une importance particulière en Algérie, y compris dans la région de Tlemcen

Les Monts de Tlemcen, situés dans le nord-ouest de l'Algérie, sont une région d'une grande importance géologique et hydrogéologique. Leur géologie complexe, combinée à un régime de précipitations élevé, contribue à la formation de ressources en eau souterraine abondantes et précieuses. Ce mémoire de fin d'étude se propose d'explorer en profondeur la géologie, l'hydrogéologie, les ressources en eau souterraine et l'impact environnemental des Monts de Tlemcen.

Une attention particulière sera accordée à l'hydrogéologie de la région, en se concentrant sur l'analyse des aquifères présents dans les Monts de Tlemcen. Cela inclura l'étude des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères, telles que la capacité de stockage, la perméabilité et la recharge. Une évaluation approfondie des ressources en eau souterraine, de leur disponibilité et de leur qualité sera réalisée,

Ce mémoire de fin d'étude vise à apporter une contribution significative à la connaissance géologique, hydrogéologique des Monts de Tlemcen.

# **Chapitre I : Généralités**

**Introduction :**

Les monts de Tlemcen présentent une importance particulière en termes de ressources en eau souterraine. Les formations géologiques de la région jouent un rôle crucial dans le stockage et la circulation des eaux souterraines.

Les monts de Tlemcen sont constitués de roches principalement calcaires, qui ont une capacité élevée à absorber et à stocker l'eau. Les fissures, les fractures et les cavités présentes dans les calcaires permettent la création de nappes aquifères souterraines

**I. CADRE GÉOGRAPHIQUE:****1. Cadre géographique de l'Oranie :**

La région de l'Oranie nord-occidentale se trouve à environ 400 km d'Alger. Elle s'étend sur 80 km d'est en ouest et sur près de 30 km du nord au sud. Elle est délimitée par les Monts de Tlemcen au sud, la Méditerranée au nord, la frontière marocaine à l'ouest et la région d'Oran à l'est.

L'Oranie présente une diversité naturelle comprenant des sahels, des plaines littorales et sub-littorales, des chaînes montagneuses, des bassins intérieurs et une vaste zone steppique.

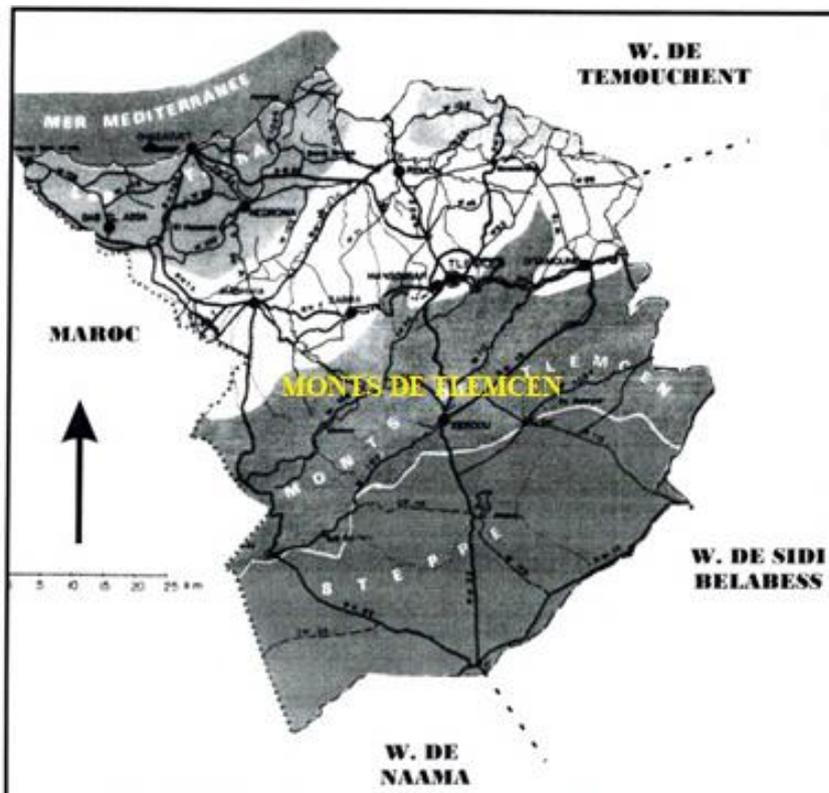
Dans la région de l'Oranie, l'Atlas tellien n'est pas une chaîne de montagnes continue. Il est interrompu près de la mer par une série de plaines sub-littorales s'étendant de Mostaganem à Aïn Témouchent. Entre ces plaines, on trouve les petites hauteurs du Sahel oranais, qui se jettent abruptement dans la mer, formant une côte escarpée et rocheuse. Les baies, telles qu'Oran et Arzew, sont rares et peu abritées, à l'exception notable de la rade de Mers el-Kébir.

Au sud de ces collines du Sahel se trouvent de petits massifs montagneux plus élevés, tels que les monts du Tessala, de Tlemcen, de Beni-Chougrane, des Trara et du Dahra. Le massif de l'Ouarsenis, qui culmine à près de 2 000 mètres, est le plus important. Entre ces massifs s'étendent des plaines intérieures, notamment les plaines de Tlemcen, de Sidi-Bel-Abbès et de Mascara

## 2. Cadre géographique de secteur d'étude (fig.1) :

La wilaya de Tlemcen se situe à l'extrémité nord-ouest du pays et occupe l'Oranie occidentale, elle s'étend du littoral au Nord à la steppe au Sud. Elle est délimitée :

- au nord, par la Méditerranée ;
- à l'ouest, par le Maroc;
- au sud, par la wilaya de Naâma ;
- à l'est, par les wilayas de Sidi-Bel-Abbès et Ain T'émouchent;

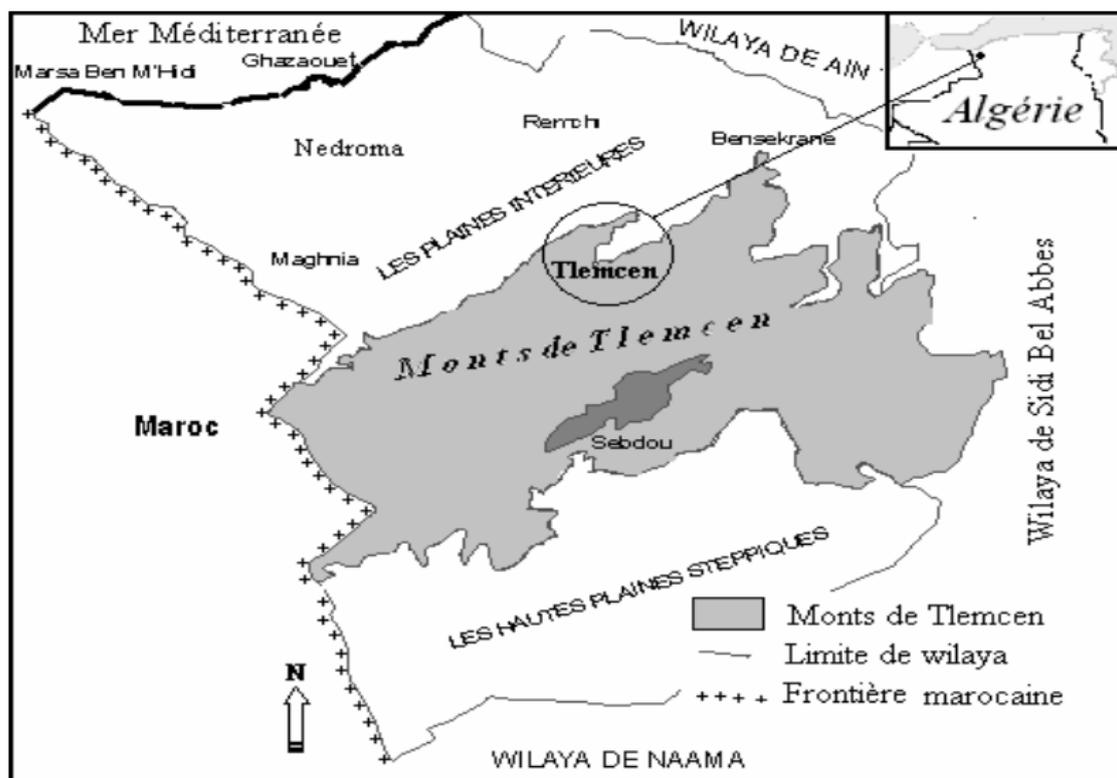


*Figure 1 : Caractéristiques géographiques de la Wilaya de Tlemcen*

Les monts des Tlemcen sont une chaîne de l'Atlas tellien située à son extrémité occidentale au sud du bassin de Tlemcen.

Les monts de Tlemcen correspondent à un vaste horst de direction NE-SW. Ils sont situés entre plaines et plateaux au nord et une zone de hautes plaines steppiques au sud. Leur altitude varie de 800 m à 1 400 m et le point culminant est à 1 843 m au Djebel Tenouchfi.

*F. Bensaoula et al. / Larhyss Journal, 6 (2007) 57-64*



*Figure 2 : Situation du site étudié (Extrait de Tlemcen au 1/200.000)*

## II. CADRE CLIMATOLOGIQUE

La climatologie est l'étude du climat et de l'état moyen de l'atmosphère, c'est-à-dire la succession des conditions météorologiques (températures, précipitations, évaporations, vents ...) sur de longues périodes dans le temps. L'objectif est la détermination du type du climat régnant dans la région d'étude. Pour mener cette étude, nous avons utilisé les données climatiques de la STATION ZENATA Tlemcen sur la période qui s'étend de 1995 à 2021 soit 26 ans.

*Tableau 1 : Caractéristiques de la station climatologique de ZENATA*

Station	Altitude (m)	Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)
ZENATA	247	35°01' N	-1°46' W	640 516,28	3 875 235.59

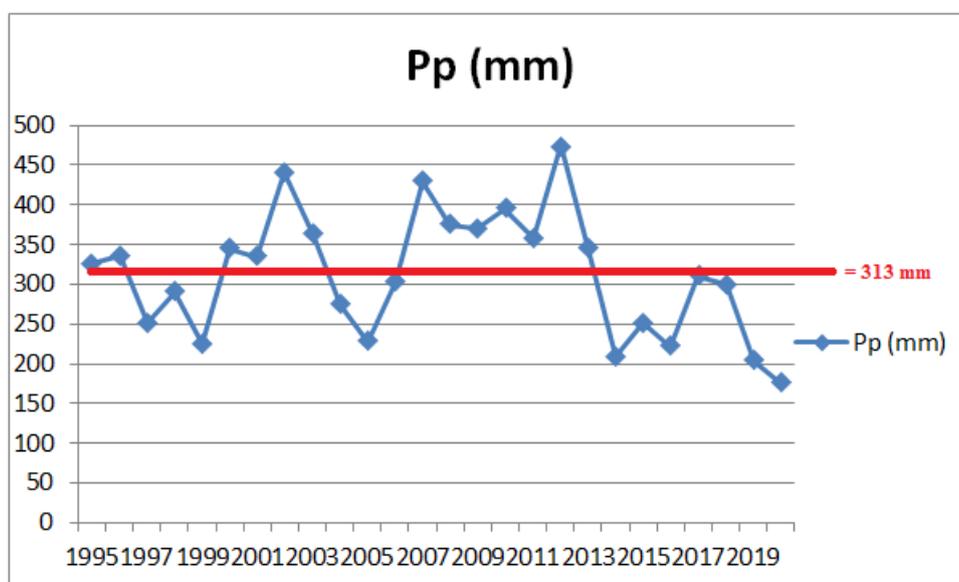
## 1. Précipitations :

Les monts des Tlemcen sont relativement bien arrosés avec des précipitations supérieures à 300 mm/an. Il est plus forestier que le massif des Trara, notamment dans la partie du sud-ouest.

- **Précipitations moyennes annuelles (tab.2):**

*Tableau 2 : précipitation moyenne annuelles de la station Zenâta*

<b>Année</b>	<b>1995/1996</b>	<b>1996/1997</b>	<b>1997/1998</b>	<b>1998/1999</b>	<b>1999/2000</b>	<b>2000/2001</b>	<b>2001/2002</b>
<b>Pp (mm)</b>	325.65	335.31	250.74	290.5	225.30	344.93	333.6
<b>Année</b>	<b>2002/2003</b>	<b>2003/2004</b>	<b>2004/2005</b>	<b>2005/2006</b>	<b>2006/2007</b>	<b>2007/2008</b>	<b>2008/2009</b>
<b>Pp (mm)</b>	441.71	362.23	274.1	227.32	302.74	428.49	374.71
<b>Année</b>	<b>2009/2010</b>	<b>2010/2011</b>	<b>2011/2012</b>	<b>2012/2013</b>	<b>2013/2014</b>	<b>2014/2015</b>	<b>2015/2016</b>
<b>Pp (mm)</b>	370.59	395.46	359.18	474.24	344.91	208.53	251.20
<b>Année</b>	<b>2016/2017</b>	<b>2017/2018</b>	<b>2018/2019</b>	<b>2019/2020</b>	<b>2020/2021</b>		
<b>Pp (mm)</b>	221.5	310.5	299.95	203.97	175.52		



*Figure 3 : Variations des précipitations totales annuelles à la station de ZENATA (1995-2021)*

Pendant cette période (1995-2021) les données pluviométrique permettent de donner une vision globale des déficits pluviométrique caractérisent la région des monts de Tlemcen.

On peut constater sur la figure 3 que les monts de Tlemcen ont marquée par trois (03) période de sécheresse :

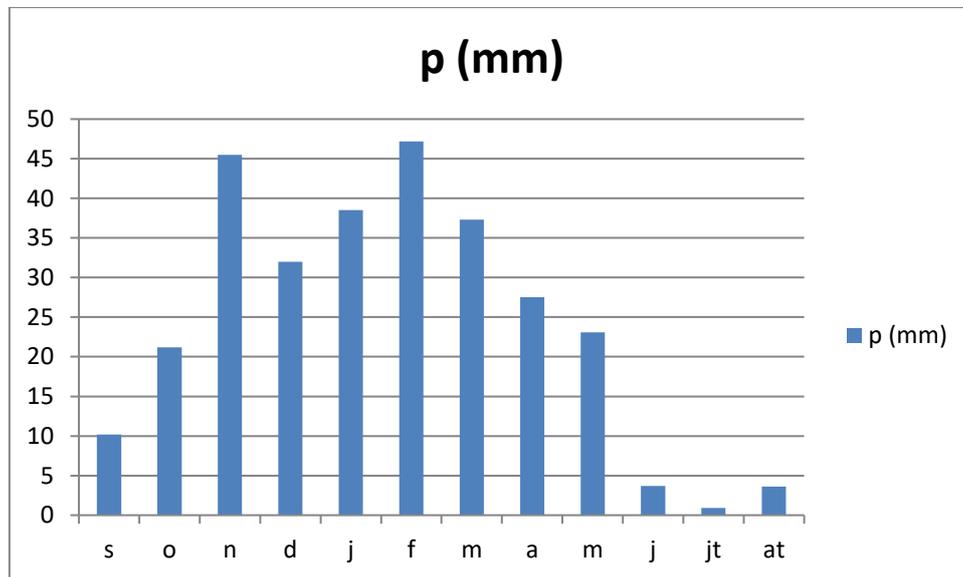
- Première période de 1995 à 2001
- Deuxième période de 2003 à 2006
- Troisièmes période de 2013 à 2021

On peut déduire que périodiquement la sècheresse s'étend sur la région des monts de Tlemcen Faut de pluies suffisantes pendant la période humide

• **Précipitations moyennes mensuelles (tab.3):**

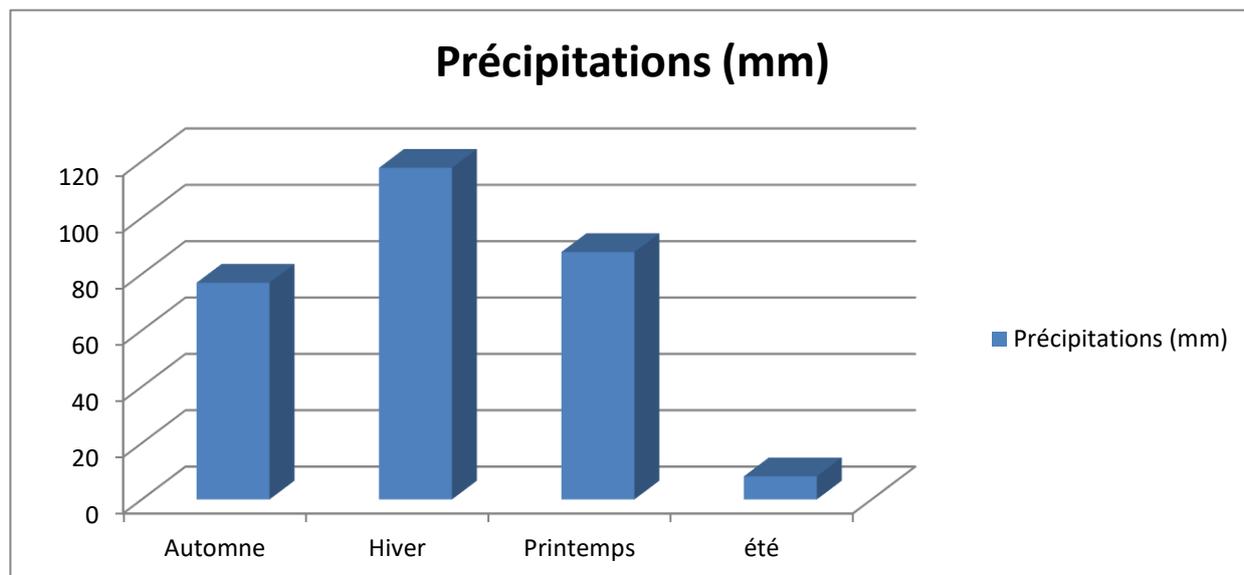
*Tableau 3 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de ZENATA (1995-2021).*

Mois	s	o	n	d	j	F	m	a	m	j	jt	At
<b>P</b> <b>(mm)</b>	10.2	21.2	45.5	32	38.5	47.2	37.3	27.5	23.1	3.7	0.9	3.6



*Figure 4 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de ZENATA.*

L’histogramme des précipitations mensuelles (fig.4) de la station de ZENATA, révèle Que le mois de février est le plus humide avec 47.2 mm, tandis que le mois de Juillet est le Plus sec, avec seulement 0.9 mm.



*Figure 5 : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de ZENATA*

- **Précipitations saisonnières (tab.4):**

Pour apprécier la variation des précipitations ou le régime pluviométrique saisonnier de la région des monts de Tlemcen nous avons calculé le total de précipitations de chaque saison de la période (1995-2021).

Le calcul aussi fait montré que malgré les irrégularités des précipitations les pluies d'hiver sont toujours les plus importantes.

Tandis que la saison d'été est la moins pluvieuse

*Tableau 4 : Précipitations moyennes saisonnières à la station de ZENATA (1995-2021).*

Saison	Automne	Hiver	Printemps	été
<b>Précipitations (mm)</b>	76.9	117.7	87.8	8.2
<b>Précipitations (%)</b>	26.46	40.50	30.21	2.82

L'histogramme des précipitations saisonnières nous indique que l'hiver est la saison la plus Humide tandis que l'été est la saison la plus sèche.

## 2. Étude des Températures :

La température constitue un élément fondamental du climat. Elle est liée à la Radiation solaire. Elle régit directement le climat, en interaction avec les autres facteurs Météorologiques et biogéographiques.

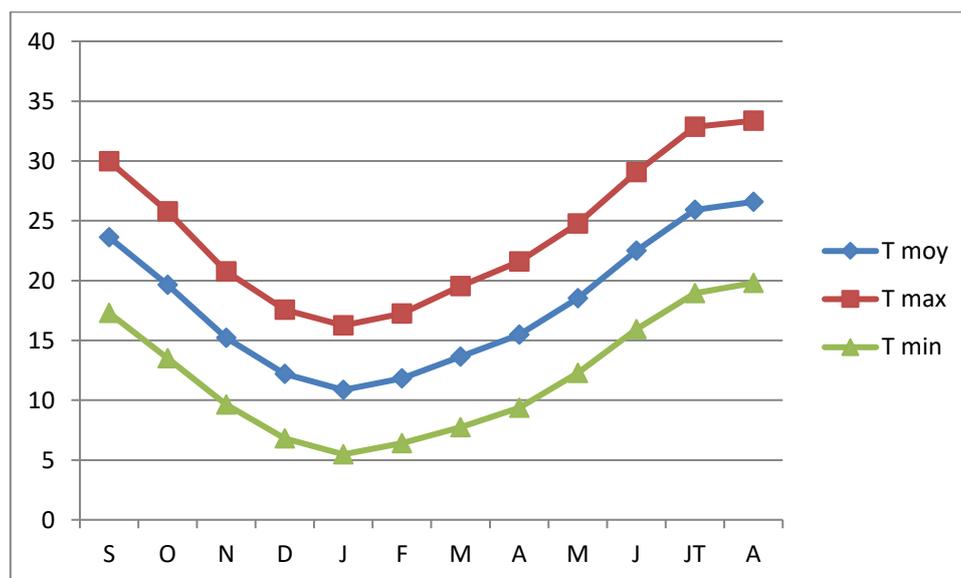
- **Les températures moyennes mensuelles (tab.5):**

Les valeurs des températures moyennes mensuelles maximales et minimales de la Station de ZENATA sont données dans le tableau suivant :

*Tableau 5 : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales de la station de*

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	An
<b>T moy</b>	23.63	19.65	15.20	12.19	10.86	11.82	13.63	15.48	18.52	22.50	25.90	26.58	18
<b>T max</b>	29.97	25.79	20.77	17.57	16.25	17.23	19.53	21.60	24.76	29.07	32.84	33.36	24.06
<b>T min</b>	17.28	13.51	9.63	6.81	5.47	6.41	7.74	9.36	12.27	15.92	18.96	19.80	11.93

- Températures moyennes maximales (°C) = 24.06
- Températures moyennes minimales (°C) = 11.93
- Températures moyennes mensuelles (°C) = 18



*Figure 6 : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales de la station de ZENATA (1995-2021).*

La représentation de la température moyenne mensuelle (fig6) permet de considérer le mois de janvier comme le plus froid (5.47°C) et les mois d'août comme le plus chaude (33.36°C).

### 3. L'étude du climat (tab.6):

Les méthodes de l'étude de climatiques sont nombreuses.

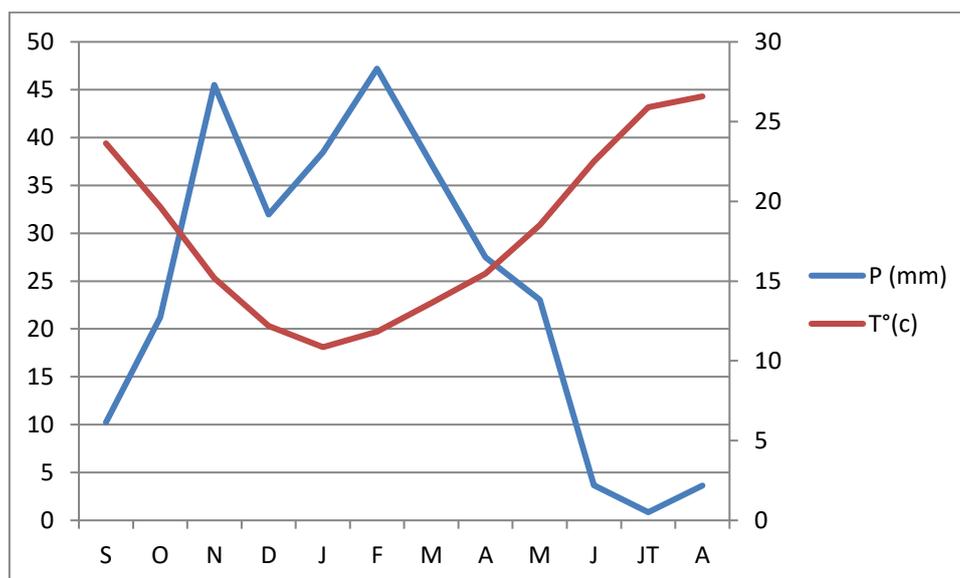
Elles supposent soit sur une visualisation graphique des paramètres, soit sur le calcul d'indice permettant de préciser le climatique domine la région

*Tableau 6 : Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de ZENATA (1995-2021).*

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	An
<b>P</b> (mm)	10.24	21.22	45.49	31.95	38.47	47.20	37.23	27.50	23.05	3.66	0.85	3.63	312.80
<b>T°(c)</b>	23.63	19.65	15.20	12.19	10.86	11.82	13.63	15.48	18.52	22.50	25.90	26.58	18.00

#### a. Méthodes de visualisation (méthodes graphiques) (fig.7) :

▪ Les courbes pluvio-thermiques (Méthode de GAUSSEN et BAGNOULS). Il y a deux courbes dans le graphe pluvio-thermique de Bagnouls et Gausсен



*Figure 7 : Diagramme Pluvio-Thermique de la station de ZENATA (1995-2021).*

Cette méthode est basée sur une visualisation graphique. On trace les deux courbes des Précipitations et des températures moyennes mensuelles sur un graphe avec deux échelles Différentes (P=2T). Si la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations, On dit que la période est déficitaire. Dans le cas inverse, la période est dite excédentaire.

La courbe des températures passe au-dessus de celles des précipitations pendant les mois Sèche (déficitaire), (Juin, Juillet Aout et Septembre) alors que pour les mois humides Excédentaire (Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril et Mai), la courbe Des précipitations passent au-dessus de la courbe des températures, et la relation P=2T permet D'établir les courbes pluvio-thermiques, où l'échelle des précipitations doit être le double de Celle des températures.

## b. Les indices climatiques :

- **Indice d'Aridité de DE Martonne(1923) (tab.7) :**

L'indice d'aridité de De Martonne est une mesure utilisée pour évaluer le niveau d'aridité ou de sécheresse d'un climat donné. Il a été développé par le géographe français Emmanuel de Martonne en 1923. Cet indice se base sur la formule suivante :

$$IA = 10 * (P / (T + 10))$$

Où IA représente l'indice d'aridité, P est la précipitation annuelle moyenne en millimètres, et T est la température annuelle moyenne en degrés Celsius.

Plus l'indice d'aridité est élevé, plus le climat est sec. L'indice d'aridité de De Martonne est souvent utilisé pour classer les climats en fonction de leur degré d'humidité ou de sécheresse. Voici une échelle générale pour interpréter les valeurs de l'indice d'aridité :

20<I<30 : climat tempéré

10<I<20 : semi-aride

7.5<I<10 : steppique

5<I<7.5 : desertique

I<5 : hyperaride

Pour la station de ZENATA (1995-2021) l'indice d'aridité annuel « I » est compris entre 10 et 20, dénotant un climat semi-aride.

*Tableau 7 : Indice d'aridité de Martonne.*

P moy (mm)	Tmoy (°C)	I (mm/°C)
312.80	18	11.15

• **Climagramme d'EMBERGER (fig 8) (tab.8) :**

Le climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une Station donnée. Il est défini par la formule suivante  $Q2 = 1000 \times P / \left(\frac{M+m}{2}\right)(M - m)$  Avec :

- P : Précipitations moyennes annuelles (mm)
- M : Moyenne des maxima de la température en (°K) du mois le plus chaud  
M=33.36°C+273=306.36 k°
- m : moyenne des minima de la température en (°K) du mois le plus froid,  
m=5.47°C+273=278.47 k°
- Q2 : Quotient pluvio-thermique d'Emberger : 38.28
- Avec : K= T (°C) + 273.

Tableau 8 : Indice d'Emberger.

Station	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q2
ZENATA	312.80	306.36	278.47	38.28

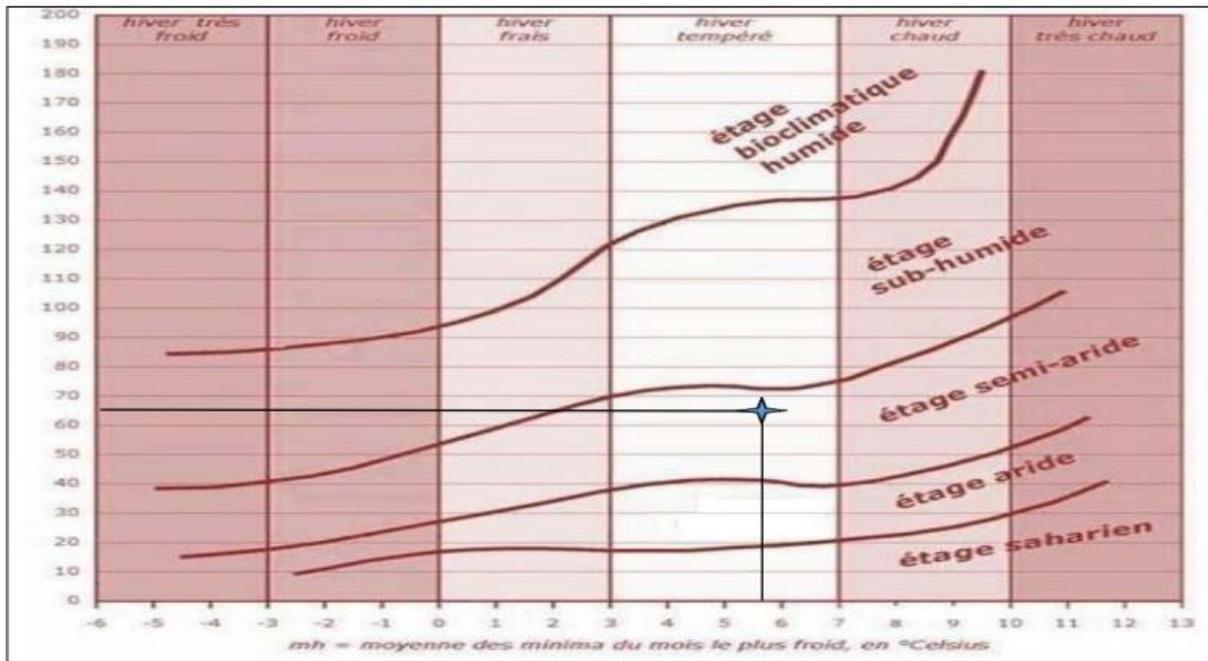


Figure 8 : Climagramme d'Emberger

Nous pouvons constater que la région présente un climat semi-aride avec un Hiver Tempéré

▪ **Indice de Moral (1964) (tab.9) :**

Moral a élaboré un indice d'aridité annuel en analysant le régime des précipitations en Afrique de l'Ouest. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Ia = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

avec :

- P : Précipitations moyennes annuelles (mm)
- T : Température moyenne annuelle (°C)
- $I_a > 1$  : climat humide
- $I_a < 1$  : climat sec

*Tableau 9 : Indice de Moral / station de ZENATA.*

Station	P moy (mm)	T moy (c°)	Ia
ZENATA	312.80	18	0.90

•  $I_a = 0.90$  Donc : le climat est sec ( $I_a < 1$ ).

▪ **Indice de Stewart (1969)** : Définie par :  $Q2 = \frac{3.43 P}{M+m}$

L'indice de Stewart est utilisé pour caractériser le climat d'une région en fonction de paramètres climatiques suivante le quotient d'Emberger (Q2), les précipitations moyennes annuelles (P), la moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud (M), et la moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid (m). Voici comment cet indice est utilisé pour classer le climat d'une région :

1. Si  $10 < Q2 < 50$ , cela caractérise un climat semi-aride.
2. Si  $2 < Q2 < 10$ , cela caractérise un climat désertique.
3. Si  $Q2 < 2$ , cela caractérise un climat insaturé.

Le quotient Q2 pour la station ZENATA est égal à 27.58, cela signifie que la région de ZENATA est classée comme ayant un climat semi-aride en utilisant la méthode de l'indice de Stewart. Ce type de climat est caractérisé par des précipitations relativement faibles

### c. Évapotranspiration et déficit d'écoulement

L'évapotranspiration est la quantité d'eau qui s'évapore du sol et qui est libérée par la transpiration des plantes. On distingue deux principaux types d'évapotranspiration :

1. L'évapotranspiration réelle (ETR) : c'est la quantité d'eau retirée du sol en raison du processus d'évaporation et de transpiration des plantes.
2. L'évapotranspiration potentielle (ETP) : est défini comme la quantité d'évaporation qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau suffisant

Effectivement, il existe plusieurs méthodes pour estimer le paramètre de l'évapotranspiration, chacune ayant ses propres avantages et limitations. Les méthodes couramment utilisées :

- La méthode de TURC : Cette méthode est basée sur une relation empirique qui prend en compte les précipitations annuelles, la température, et d'autres facteurs pour estimer l'évapotranspiration. Elle est relativement simple à appliquer.
- La méthode de COUTAGNE : Cette méthode utilise des données météorologiques, y compris la température, l'humidité relative, et la vitesse du vent, pour calculer l'évapotranspiration potentielle. Elle est plus précise que la méthode de Turc, mais elle nécessite davantage de données.
- La méthode de VERDEIL : Cette méthode se base sur l'analyse des données météorologiques et hydrologiques pour estimer l'évapotranspiration réelle. Elle est souvent utilisée dans le contexte de la modélisation hydrologique.
- La méthode de WUNDT : Cette méthode est basée sur des observations locales et des mesures de l'évapotranspiration dans des zones spécifiques. Elle peut être adaptée aux conditions locales et est souvent utilisée pour des études plus détaillées.

**Méthode de Turc (1954) :** Cette méthode permet d'évaluer l'ETR annuelle à partir de la hauteur de la pluie et de la température moyenne annuelle, selon

l'expression suivante Avec : 
$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

- $L=300+25T+0,05T^3$
- **P** : pluviométrie moyenne annuelle, en (mm).
- **T** : température moyenne annuelle, en (C°).
- **ETR** : évapotranspiration réelle annuelle, en (mm/an).

*Tableau 10 : Résultat de l'ETR par la méthode de TURC.*

Station	P (mm)	T (c°)	L	E (mm)
ZENATA	312.80	18	1041.6	315.41

**Méthode de COUTAGNE :** L'évapotranspiration réelle ou le déficit d'écoulement est calculée à partir de la relation suivante :  $ETR = D = P - \lambda P^2$  Avec  $\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$

Avec :

**D** : le déficit d'écoulement en (m/an)

**P** : précipitations moyennes annuelles en (m/an)

**T** : température moyenne annuelle en (°C)

**λ** : désigne un facteur dépendant de la température moyenne annuelle

Tableau 11 : valeur du déficit et du quotient d'écoulement (COUTAGNE).

Station	P (mm)	T (C°)	D (mm)	Écoulement et infiltration (P-D)
ZENATA	312.80	18°	283	29.26

Méthode de Wundt : L'application de cette méthode donne les résultats suivants :

Tableau 12 : valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt).

Station	P (mm)	T (C°)	D (mm/an)	Écoulement et infiltration (P-D)
ZENAT A	312.80	18	215 soit 68.77% de P	97.26 soit 31.23 % de P

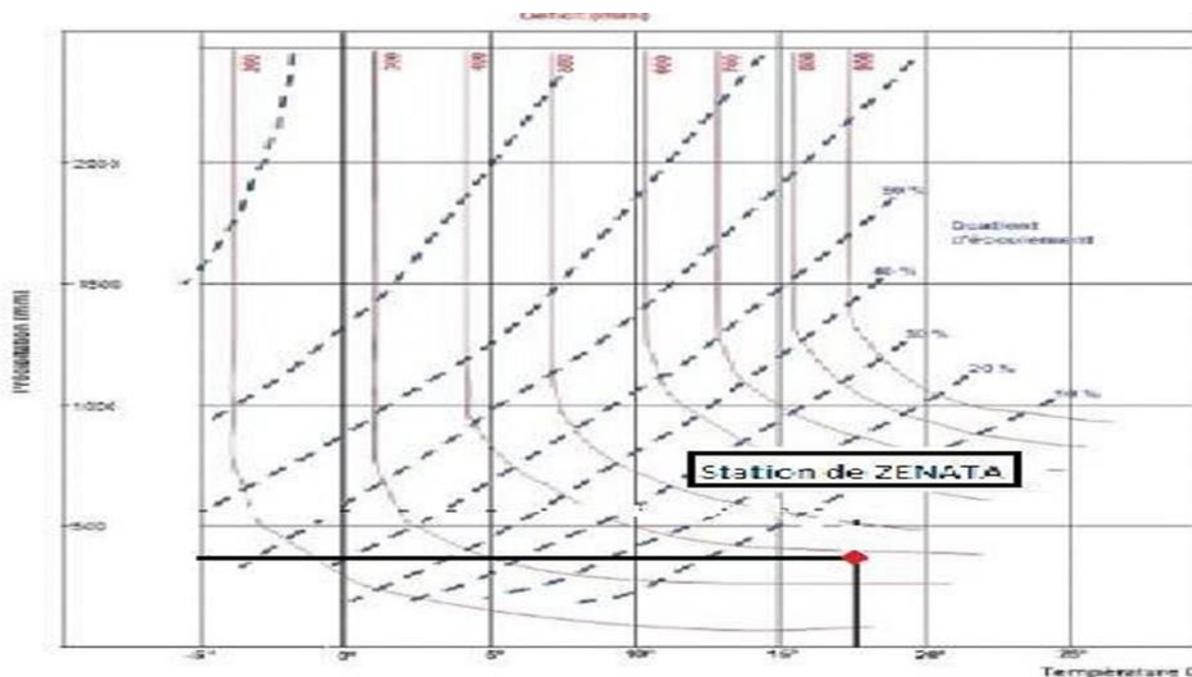


Figure 9 : Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT)

Méthode de P. VERDEIL : Pour estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou du déficit d'écoulement, Verdeil (1988), a établi en Algérie un abaque bi-logarithmique pour les régions semi-arides, en tenant compte uniquement des précipitations moyenne annuelles.

Tableau 13 : Valeur du déficit d'écoulement (d'après P. VERDEIL)

Station	P (mm)	Déficit (mm/an)	Écoulement et infiltration (mm)
ZENAT A	312.80	300 Soit 96.1% de P	12 soit 3.92 % de P

Pour la station de ZENATA, la moyenne des précipitations est 312.80 mm et après la projection sur l'abaque de P. VERDEIL le déficit d'écoulement est  $D=300$  mm ce qui représente 96.1% des précipitations.

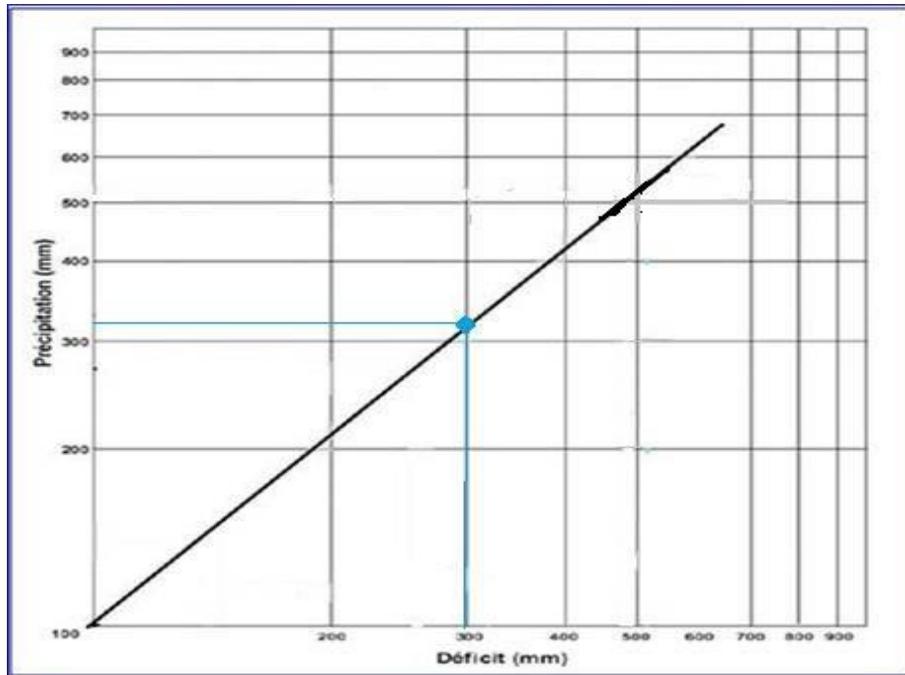


Figure 10 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (P. VERDEIL, 1988).

#### Méthode de THORNTHWAITTE :

Pour appliquer la méthode de Thornthwaite, on doit calculer :

$$\text{ETP non corrigée} = 16x\left(\frac{T}{I} \times 10\right)^a$$

$$\text{ETP corrigée} = 16x\left(\frac{T}{I} \times 10\right)^a \times K \quad \text{Avec : } a=0.016I+0.5$$

ETP : Évapotranspiration potentielle (mm),

$$i : \text{Indice thermique mensuel} = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

I : La Somme des indices mensuels des 12 mois de l'année =86.25

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré en °C.

K : Coefficient de correction, en fonction de la latitude de la station de Zenata

(34°N), les résultats sont présentés dans le tableau suivant :  $a=1.88$

Tableau 14 : Valeurs de l'ETP corrigée à la station de ZENATA (1995-2021).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	Annuel
T (°C)	23.6 3	19. 65	15. 20	12. 19	10. 86	11. 82	13. 63	15. 48	18. 52	22.5 0	25.9 0	26.5 8	18
I	10.4 9	7,9 4	5.3 8	3,8 5	3,2 3	3,6 7	4,5 6	5,5 3	7,2 6	9.74	12,0 6	12,5 4	86.2 5
ETP Non corrigée (mm)	106. 41	75. 23	46. 42	30. 66	24. 67	28. 93	37. 82	48. 04	67. 30	97.0 5	126. 44	132.7 5	821.7 1
K	1,03	0,9 7	0,8 6	0,8 5	0,8 8	0,8 5	1,0 3	1,0 9	1,2 1	1,21	1,23	1,16	/
ETP Corrigée (mm)	109. 60	72. 97	39. 92	26. 06	21. 70	24. 59	38. 95	52. 36	81. 43	117. 43	155. 52	153. 99	894.5 2

**d. Évapotranspiration réelle (ETR) :**

L'évapotranspiration réelle étant liée aux réserves en eau disponible, nous avons deux cas :

- Si les précipitations sont supérieures à l'ETP alors ETR=ETP.
- Si les précipitations sont inférieures à l'ETP, alors l'ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que les réserves en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance ; au-delà, il y a un déficit.

**Calcul de la réserve facilement utilisable (R. F. U.) :**

Selon Hallaire (1960) on peut calculer La R.F.U par la formule

suivante :Avec :

**Ru** : Réserve utile en eau du sol.

**C** : Capacité au champ.

**f** : Capacité au point de flétrissement.

**H** : Profondeur du sol (H=500 mm).

**D** : Densité apparente du sol (D=1). **30 mm** : Enracinement capillaire

Les valeurs de (C - f) dépendent de la nature du sol, d'après les travaux antérieursconsultés, nous avons pris : (C-f) /100 = 20%, donc : Ru=130 mm.

$$RU = \frac{c - f}{100} H.D + 30mm$$

**Le bilan hydrologique selon C.W Thornthwaite**

Le bilan hydrologique c'est l'étude comparée de la lame d'eau tombée à la surface d'un bassin versant et des différentes formes de transfert de cette eau soit par

évapotranspiration, écoulement, infiltration et alimentation des nappes souterraines.

*Tableau 15 : Calcul du bilan hydrologique de la station de ZENATA (1995-2021) Selon C.W Thornthwaite*

Para- mètres	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	juill.	Aout	Ann
<b>P (mm)</b>	10.24	21.22	45.49	31.95	38.47	47.20	37.23	27.50	23.05	3.66	0.85	3.63	<b>312.80</b>
<b>ETP (mm)</b>	109.60	72.97	39.92	26.06	21.70	24.59	38.95	52.36	81.43	117.43	155.52	153.99	<b>894.52</b>
<b>RU (130mm)</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>5.57</b>	<b>11.46</b>	<b>28.23</b>	<b>50.84</b>	<b>49.12</b>	<b>24.26</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>169.48</b>
<b>ETR (mm)</b>	<b>10.24</b>	<b>21.22</b>	<b>39.92</b>	<b>26.06</b>	<b>21.70</b>	<b>24.59</b>	<b>37.23</b>	<b>27.50</b>	<b>23.05</b>	<b>3.66</b>	<b>0.85</b>	<b>3.63</b>	<b>283.15</b>
<b>D.A (mm)</b>	<b>99.36</b>	<b>51.75</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1.72</b>	<b>24.86</b>	<b>58.38</b>	<b>113.77</b>	<b>154.67</b>	<b>150.36</b>	<b>654.87</b>
<b>EXC</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>18.1</b>	<b>7.7</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>25</b>

**P** : Précipitations (mm)

**ETP** : Evapotranspiration potentielle (mm)

**Ru** : Réserve utile (mm)

**ETR** : Evapotranspiration Réelle (mm)

**D.A**: Déficit Agricole (mm)

**Exc** : Excédent (mm)

**e. Infiltration efficace :**

L'infiltration efficace est déduite de l'équation du bilan hydrique :

- Si  $I_e > 0$  : Les entrées sont supérieures aux sorties.
- Si  $I_e < 0$  : Les entrées sont inférieures aux sorties.

$$I_e = P - ETR - R = 15.75 \text{ mm/an}$$

## f. Estimation de la lame d'eau écoulée :

### Le ruissellement :

L'évaluation du ruissellement est nécessaire pour évaluer l'apport en eau de surface et d'apprécier l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol.

Formule de Tixerant-Berckaloff :  $R = \frac{p^3}{3(ETP)^2}$

Avec :

**P** : précipitation moyenne en **mm**. **R** : ruissellement en **mm**. **ETP** : évaporation potentielle

*Tableau 16 : Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berckaloff.*

Paramètres	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)
Station ZENATA	312.80	894.52	13.9

### Conclusion

D'après les résultats des calculs obtenus, la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. Les précipitations moyennes annuelles sont de 312.80 mm. La température moyenne mensuelle est d'environ 18 °C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds (25.90°C et 26.58°C), et Janvier est le mois le plus froid (10.86°C).

- Le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussen, nous a permis de définir une période humide entre le début du mois de Septembre et la fin du mois de Mai et une période sèche pour le reste des mois de l'année.

Les calculs du bilan ont fait ressortir les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle a été évaluée à environ **894.52 mm**.
- L'évapotranspiration réelle annuelle est de **283.15 mm**.
- L'écoulement de surface annuel est de **13.9 mm**.
- L'infiltration annuelle est de **15.75 mm**.

# **Chapitre II : Géologie des Monts de Tlemcen**

## **I. Cadre géologique de l'Oranie**

L'Oranie est limitée, au nord, par la Mer Méditerranée sur un littoral de 400 km de longueur, à l'ouest, par le Maroc, au sud, par le Chott ech Chergui, et les hautes plaines du Sersou et à l'est, par les Monts de l'Ouarsenis et la vallée du bas-Chélif1.

La structure géographique de l'Algérie du Nord, en particulier dans la région d'Oranie, est influencée par les mouvements hercyniens et alpins. Les Monts de Tlemcen jouent un rôle de séparation entre le domaine des nappes de tell au nord et le domaine stable des hautes plaines oranaises au sud. Cette configuration géologique a contribué à l'individualisation de plusieurs domaines distincts dans la région.

Le domaine des nappes de tell correspond à la région côtière et est représenté par les Monts des Traras et des Sebâa Chioukh. Cette zone est orientée grossièrement est-ouest et est caractérisée par une géologie complexe résultant des mouvements hercyniens et alpins. Les montagnes de cette région sont le résultat de plissements et de chevauchements causés par l'activité tectonique. Au sud des Monts de Tlemcen se trouve le domaine stable des hautes plaines oranaises. Cette région est limitée au nord par le domaine des nappes de tell et au sud par une série de fractures correspondant à la flexure Nord Atlasique. Les hautes plaines oranaises sont une vaste étendue de plaines et de plateaux relativement stables, caractérisée par des formations géologiques plus anciennes.

### **1. Cadre géologique de secteur d'étude :**

Les Monts de Tlemcen sont délimités de la manière suivante :

- Au nord, par les plaines de Maghnia, d'Hennaya, ainsi que par les plateaux de Zenata et de Sidi Abdelli.
- Au sud, par les hautes plaines oranaises.
- À l'ouest, par le Moyen Atlas marocain.
- À l'est, par les Monts de Daïa.

### **2. Lithostratigraphie (fig.11):**

Les Monts de Tlemcen sont caractérisés par des terrains dont l'âge varie du Primaire au PlioQuaternaire

- **Le primaire :**

Les terrains d'âge primaire se trouvent dans le horst de Ghar Roubane. La série commence avec des schistes de couleur brune à rougeâtre qui alternent avec des quartzites très compactes de

couleur grisâtre à rougeâtre, formant des bancs décimétriques. Cette formation constitue un substratum imperméable

• **Le Secondaire :**

La nature spécifique des formations du Secondaire peuvent varier selon la localisation exacte dans les Monts de Tlemcen. L'étude détaillée de la lithostratigraphie permet de mieux comprendre l'histoire géologique de la région et ses implications en termes de ressources naturelles

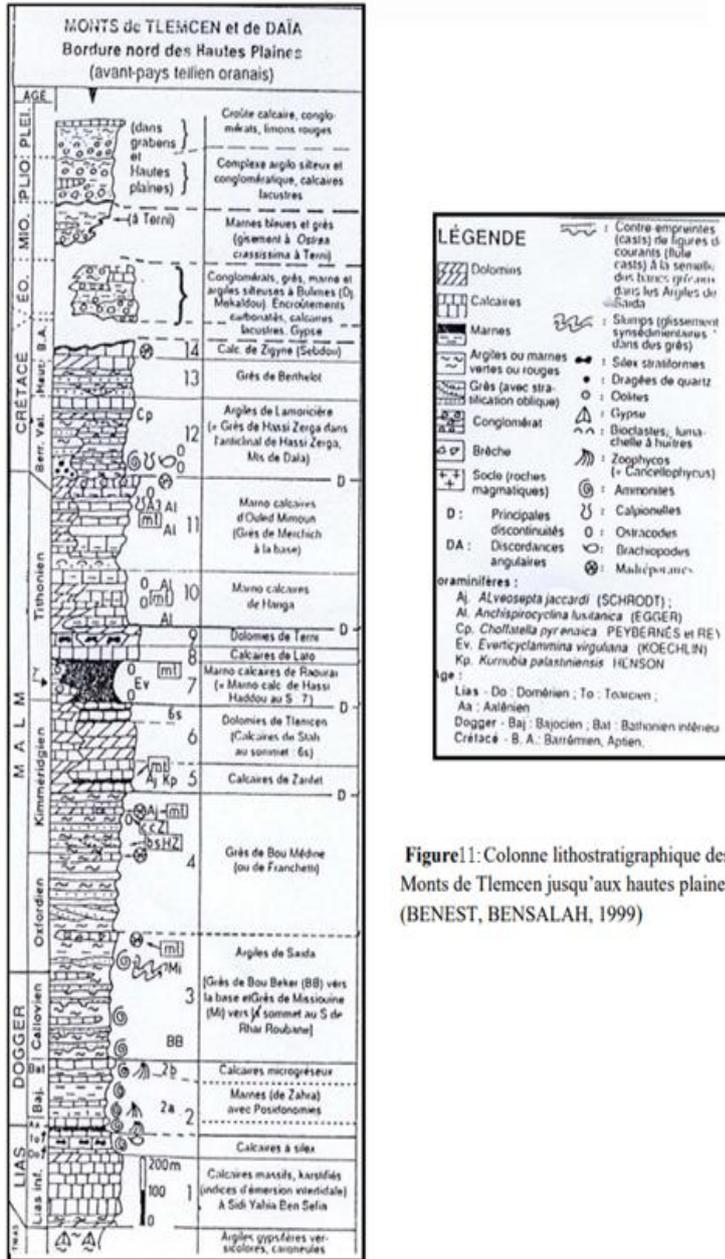


Figure 11: Colonne lithostratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (BENEST, BENSALAH, 1999)

Figure 11 : colonne litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen (BENEST, BENSALAH, 1999)

- ***Trias :***

La formation du Trias, qui représente environ les trois quarts de la période triasique, est clairement visible à Aîn Tellout et au Djebel Larbi. Elle se compose d'argiles rouges violacées qui entourent des niveaux de gypse fibreux. On trouve souvent des dépôts de basaltes, de tufs, de calcaires ou de dolomies associés à cette formation. Par ailleurs, au Djebel El Arbi, seules les argiles contenant du gypse affleurent, comme le soulignent Auclair et Biehler dans leur étude de 1967.

- ***Le Lias et Le Dogger :***

Les formations carbonatées du Lias et du Dogger ne sont visibles que dans les horsts de Rhar-Roubane et du Djebel Tenouchfi.

- ***Les argiles de Saïda :***

Elles sont représentées par des dépôts argileux et marneux à passées gréseuses d'âge Callovo-Oxfordien. Cette formation apparaît dans la région de Sabra ainsi que près de du barrage du Béni Bahdel.

D'une puissance de 300 m à 500 m, elle assure parfois une transition assez progressive aux grès de Boumediene.

- ***Les grès de Boumediene :***

Les grès de Boumediene, d'âge Oxfordien supérieur - Kimméridgien inférieur, constituent principalement un ensemble de grès, avec des intercalations argileuses souvent masquées par des éboulis ou de la végétation. Ces grès sont caractérisés par leur ciment calcaire et se présentent sous forme de bancs relativement durs. Dans la partie supérieure de la formation, on observe la présence d'argiles de couleur rougeâtre, avec quelques intercalations marneuses et calcaires riches en débris de gastéropodes et de lamellibranches.

- ***Les calcaires de Zarifet :***

D'âge Kimméridgien supérieur, les calcaires à grandes géodes de calcite se présentent sous forme de bancs épais, séparés par de minces intercalations de calcaires marneux, parfois écailleux et légèrement fossilifères. Ils marquent généralement la base du Kimméridgien et reposent en continuité stratigraphique sur les grès de Boumediene. L'épaisseur de cette formation peut atteindre 25 mètres au col de Zarifet

- ***Les dolomies de Tlemcen :***

Les dolomies de Tlemcen se distinguent par un style morphologique distinctif dans les Monts de Tlemcen. L'érosion a parfois créé des reliefs pittoresques avec un aspect ruiniforme et des formations en forme de cheminées, notamment dans le sud de Terny. Ces dolomies sont de couleur grise cristalline avec une patine rousse et une cassure parfois grise, parfois rousse, présentant de nombreuses cavités remplies de calcite. Dans la région de Tlemcen, l'épaisseur de ces dolomies peut atteindre 300 mètres. Elles affleurent notamment autour de Aïn Fezza, dans la forêt de Zarifet, le Djebel Tefatisset, la région d'Aïn el Houtz, le plateau de Terny et au nord de Tlemcen.

- ***Les calcaires de Stah :***

Les dolomies de Tlemcen sont des calcaires micritiques présentant des bancs épais qui n'ont pas été affectés par la dolomitisation. Ils ont une patine de couleur gris clair. Ces calcaires renferment des pellets, des coprolites et des dasycladacées, comme observé dans la coupe type de Dj Stah sur une épaisseur de 65 mètres. (M. Benest en 1972)

- ***Les marno calcaires de Raourai :***

Sont principalement constituées de marnes grises, blanchâtres en surface, qui présentent une texture rugueuse et esquilleuse. Dans ces marnes, on trouve de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs qui s'intercalent. Cette formation est délimitée à sa base par les calcaires de Stah et à son sommet par les calcaires du Lato ou par les premiers niveaux des dolomies de Terny.

- ***Les calcaires du Lato :***

Les calcaires de Stah sont des calcaires massifs qui se présentent en bancs épais, caractérisés par des laminites sombres calcaréo-argileuses. Ces laminites peuvent parfois contenir quelques rubanements de silex, ajoutant ainsi une texture distinctive à la formation. Les calcaires de Stah ont une épaisseur moyenne d'environ 50 mètres et sont bien développés au Djebel Lato.

- ***Dolomies de Terny :***

Elles présentent un aspect ruiniforme et constituent les sommets des Djebels Nador et Terny. Ces dolomies peuvent être vacuolaires ou massives, avec de nombreuses stratifications obliques qui les distinguent clairement des dolomies de Tlemcen. Elles sont particulièrement bien développées sur les plateaux des Azaïls, de Terny, des Djebels El Guern, Bouchiba et du Lato. L'épaisseur de cette formation atteint 100 mètres au niveau du plateau de Terny. (Doumergue en 1910)

- ***Les Marno-Calcaires d'Hariga :***

Les formations géologiques correspondantes se composent d'une alternance de calcaires et de marnes, qui varient en termes de dureté. Ces formations sont principalement constituées de micrites bien stratifiées, présentant une patine de couleur gris clair. Elles sont particulièrement bien représentées au Djebel Hariga, avec une épaisseur moyenne de 165 mètres.

- ***Marno-calcaires d'Ouled Mimoun :***

La formation en question est principalement constituée de grès et d'argiles à sa base, connus sous le nom de grès de Merchich. Ensuite, elle présente une alternance de calcaires et de marnes. La limite inférieure de cette formation correspond à l'apparition des grès de Merchich sur les rebords sud du plateau de Terny.

- ***Le crétacé :***

Les argiles de Lamoricière :

D'âge Berriasien moyen-Valanginien, la formation en question est principalement composée d'argiles et de grès, avec une nette présence de calcaires à son sommet. Elle affleure au niveau

de Hassi Zerga. la formation en question est principalement composée d'argiles et de grès, avec une nette présence de calcaires à son sommet. Elle affleure au niveau de Hassi Zerga.

- Les grès de Berthelot :

Les grès de cette formation se distinguent par une récurrence de la smectite, mais surtout par la présence notable du chlorite sur une épaisseur de 10 m à 15 m. À la base de la formation, on observe la présence d'un banc de dolomie pulvérulente, accompagné de stratifications obliques caractéristiques.

- Les calcaires de Zigyne :

D'âge Barrémien-Aptien, cette formation géologique marque la transition entre les périodes du Crétacé et de l'Éocène, comme indiqué par M. Benest et F. Bensaoula en 1994.

- **Le Tertiair :**

- ***L'éocène :***

Présente un ensemble de roches gréseuses avec des bancs intercalés de poudingues. À Aïn Berkouk, ces roches sont exposées sur une surface très limitée. À Sebâa Chioukh, le massif est principalement constitué de grès siliceux jaunes à rougeâtres, relativement friables, avec un ciment argileux alternant avec des marnes argileuses verdâtres. Ces alternances, d'une épaisseur allant de 100 à 150 mètres, ont été attribuées à la période géologique de l'Éocène supérieur.

- ***Le miocène :***

- **Inférieur :**

Il commence par une couche de poudingues composée de calcaire dolomitique avec un ciment calcaréo-gréseux très dur, présentant des blocs bien roulés de tailles variées et provenant de sources multiples. Cette couche peut atteindre une épaisseur de 20 mètres. Ce faciès, extrêmement résistant et fissuré, présente un tri granulométrique normal avec des intercalations de marnes à sa base. La partie supérieure est constituée d'argiles marneuses de couleur verdâtre,

où se trouvent des bancs de grès ferrugineux friables d'épaisseur décimétrique. Dans l'ensemble, cette succession de couches peut dépasser une épaisseur totale de 100 mètres.

- **Moyen (Serravallien) :**

Il repose fréquemment en discordance sur le Miocène inférieur et présente des déformations ainsi qu'une érosion partielle. Il est principalement composé d'une épaisse séquence de marnes grises ou bleutées, qui prennent une teinte ocre par altération. À l'intérieur de cette séquence, qui peut atteindre une épaisseur de 300 mètres dans la vallée de l'Oued Isser, on trouve de nombreux bancs décimétriques de grès jaunes, plus abondants en haut de la séquence.

- **Supérieur (Tortonien) :**

Il se compose de grès durs de couleur jaune d'or ou citron, parfois intercalés avec de minces couches marneuses peu consolidées atteignant une épaisseur de 20 à 30 mètres. Ces grès ont été initialement datés de l'Helvétien par Doumergue en 1910, mais des analyses micropaléontologiques indiquent qu'ils sont en réalité d'âge Tortonien supérieur, comme l'a confirmé (Hayane en 1983).

- **Le plio-quadernaire :**

Est constitué de diverses couches discontinues et difficilement datables. Il comprend des travertins villafranchiens consolidés près des Monts de Tlemcen, des sédiments plio-villafranchiens bordés de massifs secondaires et des éboulis de piémont, ainsi que des marnes épaisses. On y trouve également d'anciennes alluvions allant des marnes verdâtres aux galets, ainsi que des limons, sables et graviers récents s'étendant jusqu'à la frontière algéro-marocaine. Quelques lambeaux de basaltes interstratifiés au nord-ouest de la plaine de Maghnia témoignent d'une activité volcanique passée.

## **Conclusion**

En conclusion, la région des Monts de Tlemcen présente une géologie diversifiée et un climat distinctif qui en font une zone géographique remarquable. Les formations géologiques

comprennent des roches sédimentaires du Crétacé supérieur, de l'Éocène, de l'Oligocène, du Miocène, du Pliocène, du Trias et du Jurassique, offrant une histoire géologique riche et complexe.

Les Monts de Tlemcen se distinguent également par leur climat. Ils bénéficient de précipitations plus élevées que les zones environnantes, ce qui en fait l'une des régions les plus arrosées de l'ouest de l'Algérie. Cette abondance d'eau contribue à la formation de cours d'eau importants tels que l'oued Tafna, l'oued Isser et l'oued Mellah, faisant des Monts de Tlemcen un véritable château d'eau naturel.

la région présente un climat semi-aride avec un Hiver Tempéré.

La géologie et le climat des Monts de Tlemcen sont étroitement liés, influençant la formation des paysages, la biodiversité et les ressources en eau de la région.

# **Chapitre III : Ressources et bilan d'eau dans les Monts de Tlemcen**

## **Introduction**

Les Monts de Tlemcen constituent l'une des régions les plus arrosées de l'ouest de l'Algérie, ce qui leur vaut de jouer le rôle de château d'eau naturel pour une bonne partie des villes de la région (Collignon, 1986).

La région reçoit des précipitations plus élevées que les zones environnantes, ce qui lui confère un rôle important en tant que château d'eau naturel. Les Monts de Tlemcen sont le lieu de naissance de plusieurs cours d'eau, tels que l'oued Tafna, l'oued Isser et l'oued Mellah

### **I. Ressources superficielles :**

Les principaux oueds du bassin versant de la Tafna prennent presque tous leurs sources dans les Monts de Tlemcen :

L'étude ELMI de 1970 confirme que la transversale de Tafna, également connue sous le nom d'Oued Tafna, est la plus importante dans la wilaya de Tlemcen. Elle prend sa source à Ghar Boumaza, près de Sebdou, dans les Monts de Tlemcen. Son principal affluent est l'Oued Khemis, qui prend sa source dans les Monts de Béni-Snous.

En outre, il y a l'Oued Isser, qui prend sa source dans la vallée de Beni Smiel à Ain Isser. Parmi ses principaux affluents, on trouve l'Oued Tellout et l'Oued Chouly, également connu sous le nom d'Oued Lakhdar.

Oued Tafna : Le cours d'eau le plus important dans la wilaya de Tlemcen est l'oued Tafna. S'étendant sur environ 140 kilomètres, il prend sa source à Ghar Boumaaza, près de Sebdou, dans les Monts de Tlemcen. L'un de ses principaux affluents est l'oued Khemis, qui trouve sa source dans les Monts des Béni Snous. La rencontre de ces deux cours d'eau forme le barrage de Beni Bahdel. Ce barrage joue un rôle crucial dans la gestion des ressources hydriques de la région, fournissant de l'eau pour l'irrigation des terres agricoles et la production d'électricité.

Oued Isser : Il prend sa source à Aïn Isser, située dans la vallée de Béni Smiel, et alimente le barrage de Sidi Abdelli. Après cela, il continue son parcours pour rejoindre l'oued Tafna au nord de Remchi

Lacs et retenues d'eau : Certains monts de Tlemcen abritent des lacs et des retenues d'eau naturelles. Le barrage de Beni Bahdel, situé à la confluence de l'oued Tafna et de l'oued Khemis, est l'un des plus importants de la région. Il régule le débit des cours d'eau et permet le stockage de l'eau pour divers usages.

Le réseau hydrographique de cette région semble donc être constitué de plusieurs cours d'eau importants, tels que l'Oued Tafna, l'Oued Khemis, l'Oued Isser, l'Oued Tellout et l'Oued Chouly (ou Oued Lakhdar). Ces cours d'eau jouent un rôle essentiel dans le drainage des eaux et l'approvisionnement en eau dans la région de Tlemcen

Le réseau hydrométrique de l'A.N.R.H est assez dense et permet d'évaluer les écoulements superficiels (tab 17).

*Tableau 17 : Comparaison des volumes d'eau écoulés et les précipitation sur les Monts de Tlemcen (d'après B. COLLIGNON, 1986) .*

Stations	Surface (km <sup>2</sup> )	Pluie moy. (mm)	Coeff. Ruiss.	Lame d'eau écoulée (mm)	Déficit d'écoulement (mm)
<b>Meffrouch (49-60)</b>	90	722	32	230	492
<b>chouly (49-60)</b>	178	650	18	120	530
<b>B. behdel (49-60)</b>	1016	573	135	77	496
<b>Remchi (49-55)</b>	1860	601	19	12	489
<b>Pierre du chat (54-61)</b>	6900	459	73	33	426

On peut noter que les lames d'eau écoulées sont faibles à cause des précipitations régionalement faibles, largement reprise par l'évaporation.

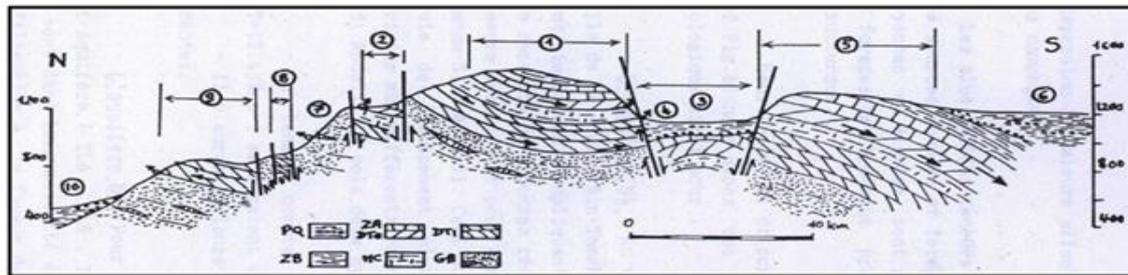
## II. Ressources souterraines :

### a. Principales formation aquifères :

Voici une liste des principales formations aquifères présentes dans la région des Monts de Tlemcen en Algérie :

1. Le système aquifère du Continental Terminal : Cette formation se compose de roches calcaires et sableuses qui se trouvent à la base des Monts de Tlemcen. Elle constitue l'une des principales sources d'eau souterraine de la région.
2. Le système aquifère des calcaires du Crétacé : Cette formation est constituée de calcaires datant du Crétacé. Elle se trouve généralement dans les parties supérieures des Monts de Tlemcen et est connue pour sa capacité de stockage d'eau significative.
3. Les aquifères du Jurassique : Les formations géologiques du Jurassique dans les Monts de Tlemcen comprennent des calcaires, des dolomites et des marnes qui peuvent servir d'aquifères.
4. Le système aquifère des grès de l'Ordovicien inférieur : Cette formation se compose de grès qui peuvent retenir et transmettre de l'eau souterraine dans la région.

5. Le système aquifère des grès du Cambrien : Les grès du Cambrien peuvent également constituer une formation aquifère dans certains secteurs des Monts de Tlemcen.



- |  |   |
|--|---|
| <p>1) Le karst perché du synclinal du Merchiche</p> <p>2) Le karst perché du Meffrouch.</p> <p>3) Le fossé de Sebduo dépourvu d'aquifère superficiel.</p> <p>4) Source jaillissant au niveau des vallées qui suivent les grands fossés.</p> <p>5) Le Djebel Lato, un exemple de karst à flux Souterrain dirigé vers les Hautes plaines</p> | <p>6) Les hautes plaines dépourvues d'aquifères superficiel</p> <p>7) La forêt de Zarifet s'étend sur les grès de Boumediene Quelques petites sources jaillissent, souvent à la faveur des bancs calcaires.</p> <p>8) Le petit fossé de Mansourah, avec un aquifère très transmissif mais une alimentation très réduite.</p> <p>9) Le Djebel Teffâtisset : ce karst s'envoie progressivement sous les dépôts miocène quelques kilomètres plus à l'Est.</p> <p>10) Plaines à recouvrement marneux miocène.</p> |
|--|---|

Figure 12: Coupe Transversale des Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères de la région (in COLLIGNON, 1986)

Figure 12 : coupe transversale des Monts de Tlemcen illustrant les principaux type d'aquifères de la région (in COLLIGNON, 1986)

Les formations qui peut stocker une quantité significative d'eau :

- **Les dolomies de Terny :**

Se caractérisent par leur nature plus micritique. Elles possèdent également de nombreuses passées stromatolithiques qui favorisent les processus de dissolution. Les dolomies de Terny présentent une structure granulaire avec des pelitoïdes, ce qui les rend plus homogènes.

- **Les dolomies de Tlemcen :**

Occupent une grande partie de la région des massifs de Tlemcen. Ces formations rocheuses sont principalement constituées de dolomite, une roche sédimentaire riche en carbonate de calcium et de magnésium. Les dolomies de Tlemcen sont souvent caractérisées par leur aspect diaclasé, c'est-à-dire qu'elles présentent de nombreuses fissures et fractures. De plus, elles sont fortement karstifiées, ce qui signifie qu'elles ont subi une dissolution chimique par l'eau, formant ainsi des réseaux de cavernes et de passages souterrains caractéristiques du paysage karstique.

- **Les grès Tortonien :**

Ces formations de grès du Tortonien sont souvent utilisées comme réservoirs potentiels d'eau souterraine en raison de leur porosité et de leur perméabilité, qui leur permettent de stocker et de transmettre l'eau, ils ont une perméabilité d'interstices.

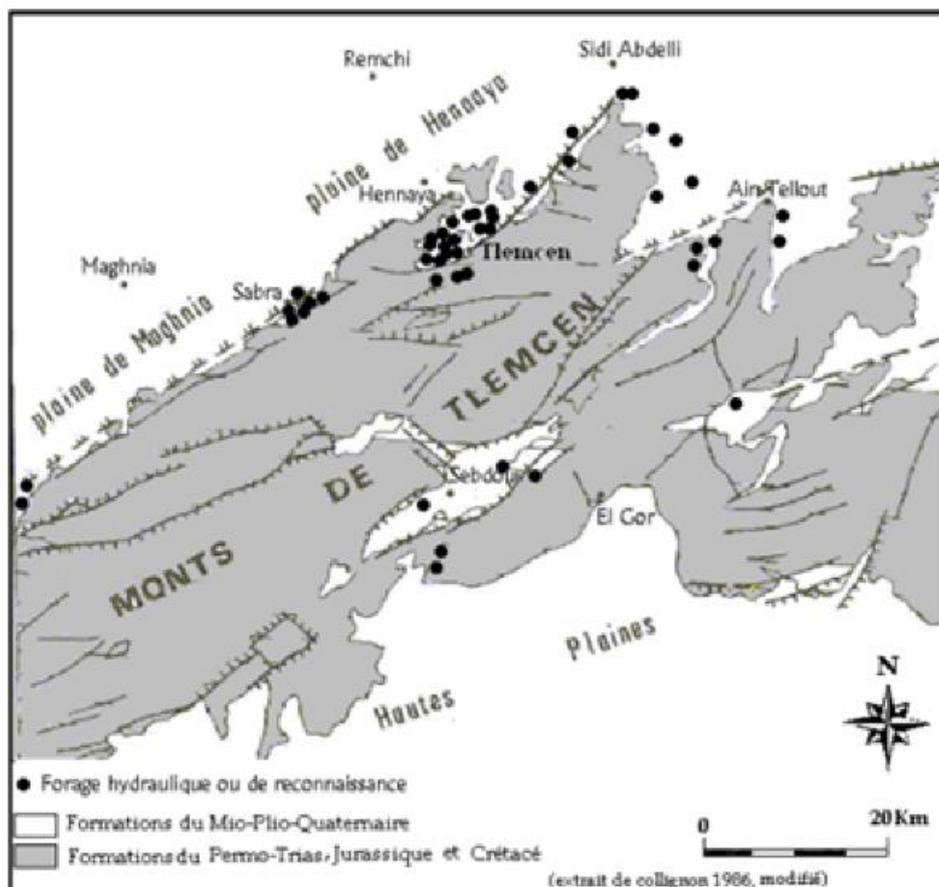
- **Les conglomérats du Miocène inférieur :**

En raison de leur nature fortement fissurée, les conglomérats du Miocène inférieur peuvent avoir une faible capacité de rétention d'eau et de stockage souterrain. Les fissures et fractures présentes dans ces roches peuvent faciliter le mouvement de l'eau, ce qui entraîne une infiltration et un drainage rapides, limitant ainsi la formation de réservoirs d'eau significatifs.

- **Les grès de Boumediene :**

Leur potentiel en eau souterraine, les grès de Boumediene peuvent avoir une certaine porosité et perméabilité, ce qui leur permet de stocker et de transmettre l'eau. Cependant, il est important de noter que la disponibilité et la productivité de l'eau souterraine dans ces grès peuvent varier en fonction de la lithologie, de la structure géologique et des conditions hydrogéologiques spécifiques à chaque zone.

**b. Forages (fig.13):**



*Figure 13 : plans de situation des forages à travers les Monts de Tlemcen*

Il apparaît bien que les dolomies de Tlemcen sont nettement dominantes car elles sont souvent visées par le prospecteur.

Les forages les plus profonds ont atteint 497 m dans le groupement de Tlemcen, 400 m sur les piedmonts Est et jusqu'à 700 m dans la zone frontalière. Ainsi on constate que 46 % des forages

sont à une profondeur comprise entre 0 m et 200m, 27 % entre 200 et 300 m et enfin 27 % sont à une profondeur supérieure à 300 m

**c. Sources :**

Dans la région de Tlemcen, les sources appartiennent à la catégorie des sources d'émergences qui prennent naissance à la faveur des failles qui peuvent jouer un rôle d'écran imperméable avec les pincements marneux des marno-calcaires de Raourai ou des Grès de Boumédienne (S. M. HAYANE, 1983).

En réalité, la plupart de ces sources sont alimentées par des impluviums calcaréo-dolomitique et représentent 95% du débit évacué (B. COLLIGNON, 1986).

**III. Propriétés hydrodynamique :**

**Calcaires et Dolomies du Lias et di Dogger :**

Les ouvrages qui traversent les formations ont souvent de bons débits spécifiques :

*Tableau 18 : propriétés transmissives et épaisseur (d'après B. COLLIGNON, 1986).*

Sondage	Épaisseur Lias. Dogger	Dont calcaire	Q/s l/sm	Q l/s	Résidus sec g/l	Remarque
S1	220	210	40	80	0.5	Exploité
S2	180	180	-	-	-	Aquifère non testé
S3	235	235	-	-	-	Aquifère non testé
El Abed	40	40	-	15	3	Exhaure de la mine
Kef	232	83	0.03	?	32	Essai rudimentaire

Q = Débit - Q/s = débit spécifique

**Grès de Boumediene :**

La perméabilité de ces grès est médiocre. Ce qui est certainement une conséquence de la présence de nombreux banc argileux

*Tableau 19 : Propriétés transmissives des Grès de Boumediene (d'après B. COLLIGNON, 1986).*

Ouvrage	EP. Grès (m)	EP. Calc. (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	Q/s (l/n.m)	Q expl. (l/s)
Tl4	67	30	1,5.10 <sup>-4</sup>	2.10 <sup>-6</sup>	0,5	3
Tl5	88	12	-	-	0,2	6
He3	190	0	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-7</sup>	0,1	5
M3	76	0	1,4.10 <sup>-3</sup>	1,8.10 <sup>-5</sup>	0,04	1
B24	38	0	8.10 <sup>-5</sup>	2.10 <sup>-6</sup>	0,5	6

Cal : calcaire

K : Perméabilité

Q/s : débit spécifique

T : Transmissive

Q : Débit

Q exp : débit d'exploitation

### Dolomies de Tlemcen :

Ces mesures sont entachées de fortes incertitudes car il est souvent difficile de délimiter précisément l'extension des systèmes karstique

*Tableau 20 : Coefficient d'emménagement des dolomies de Tlemcen (d'après B. COLLIGNON, 1986).*

Ouvrage	Lithologie	Coeff. D'emménagement
<b>Tl<sub>6</sub></b>	Dolomies	9
<b>Bm<sub>1</sub></b>	Dolomies	1.8 à 3
<b>Sab<sub>1</sub>/sab<sub>2</sub></b>	Cal. + dolomies	2 à 7
<b>Sab<sub>3</sub>/sab<sub>4</sub></b>	Cal. + dolomies	0.6 à 1.5
<b>Bh<sub>2</sub></b>	dolomies	1.5

Cal. : Calcaire

### Grès Miocènes :

Les conglomérats de base du miocène sont principalement développés près des reliefs

*Tableau 21 : Le Miocène dans les forages hydrauliques (d'après B. COLLIGNON, 1986)*

Ouvrage	Ep. miocène (m)	Ep. Grès (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	Q/S (l/sm)
<b>Sab<sub>1</sub></b>	37	3	Stérile	-	-
<b>Sab<sub>3</sub></b>	93	0	Stérile	-	-
<b>Tl<sub>5</sub></b>	320	130	5.10 <sup>-4</sup>	4.10 <sup>-6</sup>	10
<b>Sa<sub>3</sub></b>	80	50	10 <sup>-3</sup>	2.10 <sup>-5</sup>	11
<b>Sab<sub>2</sub></b>	92	30	-	-	-
<b>M3</b>	132	50	-	-	-
<b>B<sub>24</sub></b>	185	0	Stérile	-	-
<b>He<sub>3</sub></b>	80	80	stérile	-	-

T : transmissivité

Q : débit

K : perméabilité

Q/s : débit spécifique

### Plio-quatenaire :

Le complexe alluvionnaire s'étend sur une surface de 14 km<sup>2</sup>. Un échantillon de quatre puits a permis de calculer les paramètres hydrodynamiques

*Tableau 22 : propriétés transmissives dans le plio-quatenaire (d'après S.M. HAYANE, 1983).*

Puits	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)
<b>P<sub>11</sub></b>	2,81.10 <sup>-4</sup>	4,92.10 <sup>-5</sup>
<b>P<sub>22</sub></b>	1,64.10 <sup>-3</sup>	-
<b>P<sub>32</sub></b>	3,39.10 <sup>-3</sup>	-
<b>P<sub>19</sub></b>	0,91.10 <sup>-3</sup>	-

T : transmissivité

K : perméabilité

## CONCLUSION

Les formations à forte capacité de rétention souterraine ce sont les formations perméables représentées par les séries calcaréo-dolomitiques du jurassique supérieur, les grès tortoniens, les conglomérats du Miocène inférieur et ceux de la plaine d'Hennaya et les travertins.

Les principaux oueds du bassin versant de la Tafna prennent presque tous leurs sources dans les Monts de Tlemcen

La plupart des sources dans les monts de Tlemcen sont alimentées par des impluviums calcaréo-dolomitiques, ce qui constitue une caractéristique géologique distinctive de la région. En effet, ces formations géologiques spécifiques jouent un rôle majeur dans l'alimentation des sources, contribuant à environ 95% du débit total évacué.

Il est important de noter que la disponibilité, la productivité et la qualité de ces formations aquifères peuvent varier d'une zone à l'autre. Des études hydrogéologiques plus détaillées et des données locales spécifiques peuvent être nécessaires pour une évaluation précise de chaque formation aquifère et de son potentiel en eau souterraine.

# **Chapitre IV : Évaluation des ressources en eau des aquifères karstiques**

### Introduction :

L'évaluation des ressources en eau des aquifères karstiques représente un défi en raison de la nature complexe de ces systèmes.

La réserve permanente fait référence à la quantité d'eau stockée dans les aquifères souterrains et les lacs, qui peut être utilisée de manière durable sur le long terme

D'autre part, la réserve renouvelable désigne la quantité d'eau qui est régulièrement réapprovisionnée par les précipitations, les rivières et les recharges souterraines. Elle représente la capacité d'un système hydrologique à se régénérer naturellement.

### I. Évaluation de la réserve permanente (tab.23):

Les mesures correspondent à des prélèvements dans l'aquifère du plus de 10.000 m<sup>3</sup> d'eau et les meilleurs résultats concernent des systèmes où l'on pompe plus de 100.000 m<sup>3</sup>.

Les observations ont porté sur 10 à 1000 jours d'exploitation selon les ouvrages.

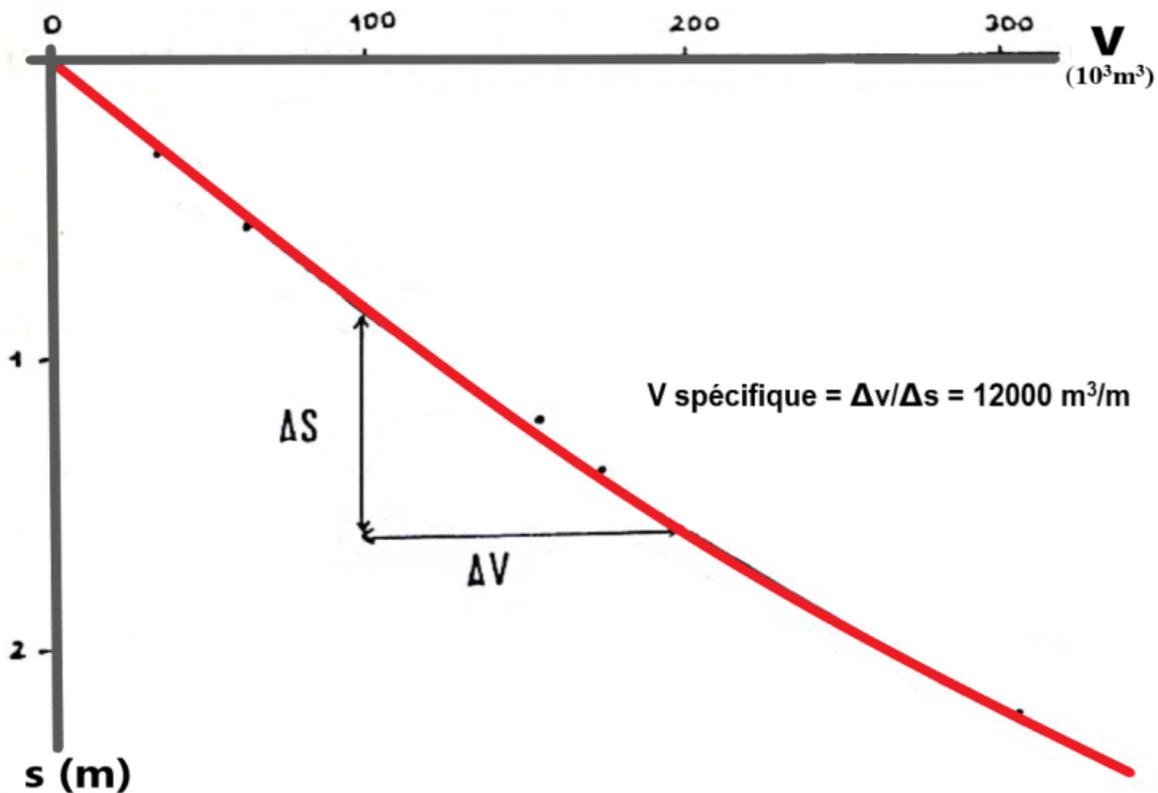


Figure 14 : exemple de la relation linéaire entre le volume prélevé et le rabattement à long terme dans le forage SABRA, exploité à 69 l/s ( d'après B. COLLIGNON, 1986 ).

### Interprétation hydrogéologique :

Lors des forages réalisés dans les Monts de Tlemcen, on observe une diminution progressive et linéaire du niveau de la nappe phréatique, ce qui indique une réelle vidange de l'ensemble de l'aquifère. Ce phénomène de vidange linéaire se produit rapidement après le début du pompage, souvent en moins d'une journée. Ainsi, l'effet du pompage se propage rapidement jusqu'aux limites de l'aquifère, qui se trouvent généralement à quelques kilomètres de distance.

Il existe une relation de proportionnalité entre le rabattement (la diminution du niveau de la nappe) et le réservoir cylindrique, où le volume de stockage ne varie que peu avec la profondeur (selon B. COLLIGNON, 1988). Le volume des réserves en eau exploitables par le forage peut être calculé en multipliant le volume spécifique de l'aquifère par le rabattement maximal techniquement et économiquement acceptable (tableau 23).

*Tableau 23 : Estimation des réserves permanentes à partir de l'observation piézométrique dans les forages exploités (d'après B. COLLIGNON, 1986)*

Forage	N.S. (m)	Profondeur Maxi expl- oitable (m)	Effet capacité (m)	de $\Delta s$ $\Delta t$ cm/jour	V spéc. $10^3 \text{ m}^3/\text{m}$	V perm. Expl. $10^6 \text{ m}^3$
As <sub>1</sub>	65	190	15	7	38	4.2
Bh <sub>1</sub>	143	280	5	8.5	30	4
Bh <sub>2</sub>	72	280	10	5.5	92	18
Bm <sub>1</sub>	75	200	7.2	5	65	8
F <sub>2</sub>	17	110	40	-	-	-
Sab <sub>1</sub>	82	130	2.3	3.2	220	10
Sab <sub>3</sub>	98	160	15	3.3	140	11
Tl <sub>3</sub>	36	110	35	2.2	100	4
Tl <sub>6</sub>	10	88	0.25	5.6	105	7.8
Hassi derman	24	40	0	1.6	270	4.3
Sabra	67	145	4.1	4.2	120	9.5

V spéc. : Volume spécifique

V perm. : Volume permanent

N.S. : niveau statique

Il est important de noter que ces observations ne sont possibles qu'en dehors des périodes de fortes précipitations. Pendant ces périodes, les phénomènes de recharge se produisent et peuvent empêcher la vidange de l'aquifère.

Afin de réaliser des prélèvements d'eau à grande échelle, il est nécessaire d'avoir des forages bien conçus, interconnectés avec l'aquifère par un système de canaux. Environ 60 % des ouvrages implantés dans la région répondent à ces critères.

### II. Évaluation de la réserve renouvelable (tab.24):

Le volume d'eau apporté à l'aquifère au cours d'une année, par le biais de divers processus tels que l'infiltration directe et les pertes dues aux aquifères voisins, peut être estimé.

Pour déterminer les apports lors des épisodes pluvieux, deux méthodes sont utilisées. La première consiste à observer à quelle hauteur le point représentant la recharge maximale est situé par rapport à la droite de vidange. La seconde méthode consiste à exprimer en termes de volume l'écart horizontal entre les droites de vidange linéaire pour deux années successives.

Les réserves renouvelables, qui représentent les apports moyens à l'aquifère, sont calculées en se référant à une année moyenne et en comparant les données à d'autres systèmes hydrologiques pour lesquels des données à long terme sont disponibles.

Selon B. COLLIGNON, les écoulements observés en 1985-86 représentent entre 40 % et 60 % des écoulements de l'année moyenne. Par analogie, il a estimé que les recharges observées pour les aquifères karstiques des Monts de Tlemcen correspondent à environ la moitié des apports annuels moyens (tableau 24).

Il est important de souligner que cette estimation est provisoire et devra être affinée dès que des données supplémentaires seront disponibles.

*Tableau 24 : Évaluation des réserves renouvelables à partir des remontées s observées au cours d'hiver 1985-86 et du volume spécifique, déterminé lors de l'étiage 1985 (d'après B COLLIGNON, 1986)*

Forage	V spéc. ( $10^3 \text{ m}^3 \text{ m}$ )	S 85-86 (m)	Rech. 85-86 ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Réserve renouvelable ( $10^6 \text{ m}^3$ )
Az <sub>1</sub>	38	1.1	0.04	0.08
Sab <sub>1/2</sub>	220	5	1.1	2.2
Sab <sub>3/4</sub>	140	2.7	0.38	0.8
Tl <sub>6</sub>	105	1.7	0.18	0.4
Derman	270	4	1.1	2.2
Sabra	120	3.2	0.38	0.75

Il est important de noter que les estimations des réserves permanentes et renouvelables obtenues à l'aide des méthodes présentées ici ne s'appliquent pas nécessairement à l'ensemble de l'aquifère tel qu'il est représenté dans la cartographie géologique. Ces estimations se limitent plutôt à la partie de l'aquifère qui est efficacement connectée au forage.

L'efficacité de la connexion entre le forage et l'aquifère dépend de plusieurs facteurs, tels que la perméabilité des formations géologiques, la présence de fractures ou de fissures favorables à l'écoulement de l'eau, et la proximité du forage par rapport aux zones de recharge de l'aquifère.

## Chapitre IV Évaluation des ressources en eau des aquifères karstiques

Ainsi, les estimations des réserves en eau souterraine ne peuvent être généralisées à l'ensemble de l'aquifère, mais se réfèrent spécifiquement à la partie de l'aquifère qui est directement accessible et alimentée par le forage en question.

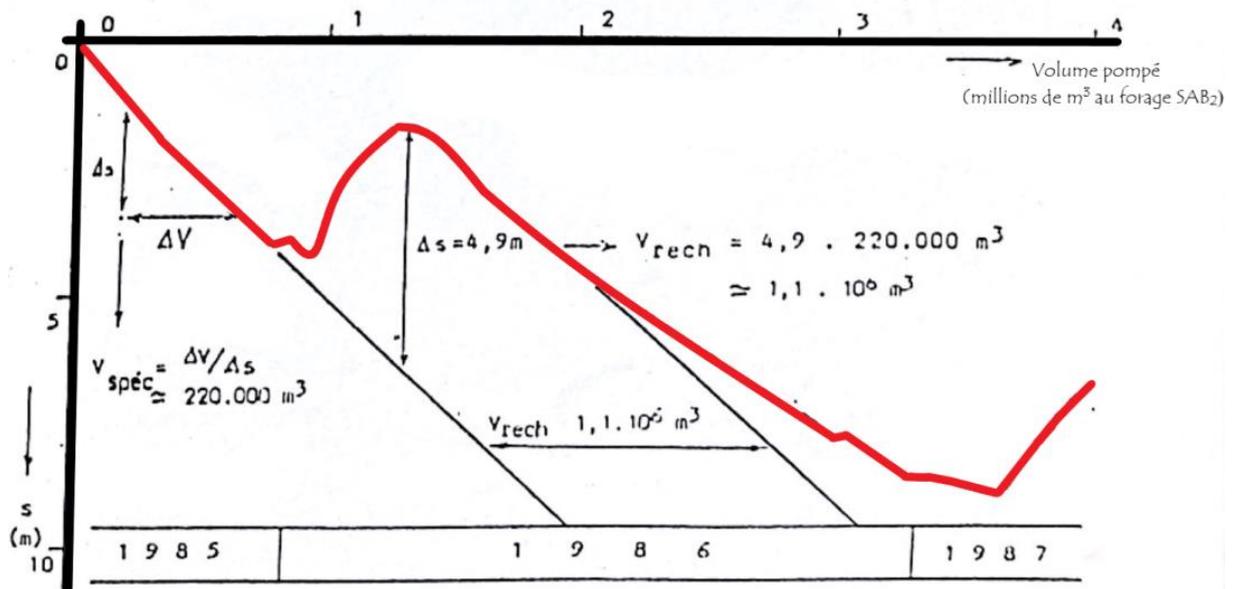


Figure 15 : évolution pluriannuelle du niveau statique au forage SAB2 .

### CONCLUSION

La méthodologie proposée offre une approche permettant d'estimer les ressources en eau des aquifères karstiques avec une précision d'environ 10 % pour les réserves permanentes à 200 Mm<sup>3</sup>/an et d'environ 20 % pour les réserves renouvelables, (l'eau stockée dans les 100 premiers mètres d'aquifère) ont été évaluées à 6 300 Mm<sup>3</sup> (Bensaoula, et al., 2019 (sous presse)). Cela constitue un stock très considérable (plus de 15 fois le volume stockable dans les barrages selon les données fournies par B. COLLIGNON). Ces estimations provisoires fournissent une base solide pour évaluer les disponibilités en eau souterraine dans la région des Monts de Tlemcen.

Une collecte de données plus approfondie et spécifique à la région permettra de raffiner ces estimations et de mieux évaluer les ressources en eau souterraine.

### CONCLUSION GENERALE

Les Monts de Tlemcen offrent un paysage géologiquement diversifié et un climat distinctif qui en font une région remarquable sur le plan géographique. Les formations géologiques variées, notamment les roches sédimentaires du Crétacé supérieur, de l'Éocène, de l'Oligocène, du Miocène, du Pliocène, du Trias et du Jurassique, témoignent de l'histoire complexe et fascinante de cette région.

D'après les résultats des calculs obtenus, la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. Les précipitations moyennes annuelles sont de 312.80 mm. La température moyenne mensuelle est d'environ 18 °C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds (25.90°C et 26.58°C), et Janvier est le mois le plus froid (10.86°C).

Les calculs du bilan ont fait ressortir les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle a été évaluée à environ **894.52mm**.
- L'évapotranspiration réelle annuelle est de **239.65 mm**.
- L'écoulement de surface annuel est de **13.9 mm**.
- L'infiltration annuelle est de **15.75 mm**

Les formations géologiques à forte capacité de rétention souterraine, sont les séries calcaréo-dolomitiques, les grès tortoniens, les conglomérats du Miocène inférieur et les travertins, jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des sources et la recharge des aquifères.

La méthodologie utilisée pour évaluer les ressources en eau des aquifères karstiques dans les Monts de Tlemcen a permis d'estimer avec une précision Les réserves renouvelables ont été évaluées à 200 Mm<sup>3</sup>/an (Collignon, 1986)

Les réserves permanentes exploitables (l'eau stockée dans les 100 premiers mètres d'aquifère) ont été évaluées à 6 300 Mm<sup>3</sup> (Bensaoula, et al., 2019 (sous presse)). Cela constitue un stock très considérable (plus de 15 fois le volume stockable dans les barrages). Cette réserve est bien adaptée pour faire face aux sécheresses de plus de 2 années de déficit pluviométrique

## **CONCLUSION GENERALE**

---

En somme, les Monts de Tlemcen sont un véritable trésor géologique et hydrologique. Leur importance en termes de paysages, de biodiversité et de ressources en eau ne peut être sous-estimée. Il est impératif de continuer à promouvoir une gestion durable de ces ressources, en harmonie avec la nature, afin de préserver l'intégrité écologique et de garantir un avenir durable pour les Monts de Tlemcen.

# **Références bibliographiques**

**BAHMED D., 2015.** Bilan hydrique et évaluation des ressources en eau superficielle du bassin de la Mecta. These de Doctora, Option : *Hydraulique, fac.AGC, Univ. des Sciences et de la Technologie d'Oran, 167p.*

**BENEST M. (1971) :** Importance des mouvements de coulissage et de rotation dans la mise en place de la partie occidentale de la dépression de Sebdou (Monts de Tlemcen, Algérie). Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Alger, t. 62, fasc. 1-2

**BENEST, M. et ELMY, S. (1969) :** Précisions stratigraphiques sur le Jurassique inférieur et moyen de la partie méridionale des monts de Tlemcen (Algérie). C.R. som. Soc. Géol. France, Paris, fasc.8,

**BENSAOULA F., BENSALAH M., ADJIM M., LACHACHI A. (2003) :** L'apport des forages récents à la connaissance des aquifères karstiques des monts de Tlemcen, séminaire national sur l'eau, Saida, Octobre 2003.

**BENSAOULA, F., 2007.** Etude de la karstification à partir des données de forages : le cas des monts de Tlemcen (Algérie). Karstologia, Issue 49, pp. 15-24.

**BENSAOULA .F et al. / Larhyss Journal, 10 (2012), 91-99**

**BERNARD COLLIGNON, Fouzia BENSAOULA :** Colloque international « Sécheresses, étiages et déficits en eau » Paris 11-13 décembre 2019

**COLLIGNON B. (1986) :** Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen. Thèse Doct. Nouveau régime, Univ. Avignon Tome1 – Tome2

**ELMY S. (1972) :** L'instabilité des Monts de Tlemcen et de Rhar Roubane (ouest algérien), Pendant le jurassique : interprétation paléogéographique. CR. Somm. Sc. Geol. France, PARIS, fasc. 5. p220-222.

**Halima ABLAOUI :** structure et fonctionnement de trois Emergences karstiques des monts de Tlemcen A partir des réponses hydrologiques et Hydrochimiques *Thèse magist., Univ., Oran II*

**HAYANE S.M. (1983) :** Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (Tlemcen). Thèse 3ème cycle. Univ. ORAN