الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضرالوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستـــر أكاديمـي

ميـــدان: العلوم والتكنولوجيا

شعبـــة: الري

تخصـــص: منشأت الري

م-ن إعداد الطلبـة:

1- عناد أكرم

2- خياري يزيد

الم-وضـــــوع

حساسية المياه الجوفية للملوثات الناتجة عن الهيدروكربون منشآت النفط بلدية الوادي

نوقشت في: ...../...../2025

أمام لجنة المناقشة:

الزايزعصام	رئيسا	جامعة الوادي.
زعير نجاة	مناقشا	جامعة الوادي.
ميلودي عبد المنعم	مشرفا	جامعة الوادي.

شكر

"في البداية، أحمد الله عز وجل الذي منّ علينا بإتمام هذا العمل.

أخص بالشكر الجزيل مؤطرنا القدير، السيد ميلودي عبد المنعم، الذي كان لتوجيهاته وتشجيعه الدور الأكبر في إنجاز هذا البحث. فله منا خالص التقدير والامتنان.

كما أود أن أعرب عن شكري لأعضاء لجنة المناقشة الكرام على قبولهم تقييم عملنا هذا. والشكر موصول لجميع الأ ساتذة الأفاضل الذين أثروا مسيرتنا العلمية خلال دراستنا الجامعية.

أخيرًا، جزيل الشكر لكل من ساهم، بشكل مباشر أو غير مباشر، في إنجاح هذا العمل. نشكركم بعمق، ونسأل الله لكم التوفيق والصحة والعافية."

ملخص

تعتبر المياه الجوفية مصدراً حيوياً في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل ولاية الوادي الجزائرية، التي تقع ضمن نظام الأحواض المائية الجوفية للصحراء الشمالية .(SASS) إلا أن هذه الموارد القيمة تواجه تحديات متزايدة بسبب مخاطر التلوث المختلفة. سعت هذه الدراسة إلى تشخيص جودة المياه الجوفية في منطقة الوادي وتقييم مدى تعرضها للتلوث، مع اهتمام خاص بالتغيرات في التركيب الكيميائي الناجمة عن الأنشطة البشرية والظواهر الطبيعية.

من خلال أخذ عينات من 18 بئراً وأكثر من 110 مكان وتحليلها باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (ArcGis10.7)، كشفت النتائج عن ارتفاع في التوصيلية والمواد الذائبة الكلية، بالإضافة إلى تركيزات مهمة من أيونات الكالسيوم(++Ca) ، المغنيسيوم (++Mg) ، الكلوريد Cl) –(، البيكربوناتHCO3) –(، والقلوية الكلية (TAC) في مواقع الدراسة. يشير هذا الارتفاع في البيكربونات والأيونات الأخرى إلى تغيرات في التركيب الكيميائي للمياه الجوفية.

بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الدراسة تجاوزات خطيرة في تركيزات الرصاص(Pb) ، النتراتNO3) –(، والنتريت NO2)– (للقيم الموصى بها من قبل منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب، مما يؤكد على وجود تلوث يتجاوز التغيرات في التركيب الأيوني مثل البيكربونات. نستنتج من هذه النتائج أن جودة المياه الجوفية في بلدية الوادي قد تأثرت بشكل ملحوظ بالأنشطة البشرية والظواهر الطبيعية، مما يستدعي المزيد من التحقيق في مصادر هذا التلوث وتأثيراته المحتملة .

...Résumé

Les eaux souterraines sont une ressource vitale dans les zones arides et semi-arides comme la wilaya d'El Oued en Algérie, qui fait partie du système des aquifères du Sahara nord (SASS). Cependant, ces ressources précieuses font face à des défis croissants en raison des divers risques de pollution. Cette étude visait à diagnostiquer la qualité des eaux souterraines dans la région d'El Oued et à évaluer leur exposition à la pollution, en portant une attention particulière aux changements dans la composition chimique résultant des activités humaines et des phénomènes naturels.En prélevant des échantillons de 18 puits et en les analysant à l'aide d'un système d'information géographique (ArcGis10.7), les résultats ont révélé une augmentation de la conductivité et des matières dissoutes totales, ainsi que des concentrations significatives d'ions calcium (Ca++), magnésium (Mg++), chlorure (Cl−), bicarbonate (HCO3−) et alcalinité totale (TAC) sur les sites d'étude. Cette augmentation des bicarbonates et d'autres ions indique des changements dans la composition chimique des eaux souterraines.

De plus, l'étude a révélé des dépassements graves des concentrations de plomb (Pb), de nitrates (NO3−) et de nitrites (NO2−) par rapport aux valeurs recommandées par l'Organisation mondiale de la santé pour l'eau potable, ce qui souligne la présence d'une pollution qui dépasse les changements dans la composition ionique tels que le

bicarbonate. Nous concluons de ces résultats que la qualité de l'eau souterraine dans la commune de El Oued a été fortement affectée par les activités humaines et les phénomènes naturels, ce qui nécessite une enquête plus approfondie sur les sources de cette pollution et ses impacts potentiels.

Liste des abréviations

°C : degré Celsius.

A.D.E.: Algérienne Des Eau.
A.N.R.H: Agence Nationale des Ressources Hydriques.
ACP: Analyse en Composantes Principales.
CI: Continental Intercalaire.
CT : Complexe Terminal.
D.H.W : Direction de l'hydraulique de la Wilaya
D.R.E : Direction de Ressources en Eau.
DCO: Demande Carbonique en Oxygène.
OMS : L'Organisation Mondiale de la Santé.
ONM : Office National Météorologique.
ONS : Office National de Statistique.
pH : Potentiel hydrogène.
SAA: Spectrométrie d'Absorption Atomique
SASS: Système aquifère du Sahara septentrional.
SIG : Système d'Information Géographique.
T : température.

U.N.E.S.C.O.: Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.

Sommaire

	العنوان
	شكر وتقدير ……
	الملخص……
	قائمة الاختصارات……
	فهرس المحتويات ……
	قائمة الأشكال……
	قائمة الجداول……
	مقدمة عامة
	الفصل الأول : عرض منطقة الوادي
	I. عرض منطقة الدراسة
04	I .1.الموقع الجغرافي لمنطقة الوادي
06	I.2.سكان وادي سوف
07	I.3. الوضع الاقتصادي
08	I.4 ..جيومورفولوجيا
08	2.1.لخصائص الجيولوجية لتربة منطقة سوف
08	1. 5التضاريس
09	I .2.5.الوضع الطبوغرافي
10	I.6.السياق المناخ لوادي سوف
10	I .1.6. علم المناخ
10	I .1.1.6 . درجة الحرارة
11	I .2.1. 6. التساقطات
13	I .3.1. 6. التبخر الكامن
13	I .4.1. 6. سرعة الرياح
14	I .5.1. 6. الرطوبة
15	I .6.1. الإشعاع الشمسي
15	I .2. 6. خلاصة مناخية
17	الخلاصة
	الفصل التاني :جيولوجيا وهيدرولوجيا منطقة الدراسة
19	1. الاطارالهيدروجيولجي
19	1.1 الموارد المائية في ولابة الوادي
20	1.1.1الطبقة المائية الجوفية الحرة
21	.2. 1.1طبقة المياه الجوفية للمركب النهائي
21	1 .3.1.نظام الطبقات المائية للقاري البيني:(C.I.) خزان جوفي واسع النطاق
23	
	II جيولوجية منطقة الوادي
	السياق التكتونيوالباليوجغرافي وتأثيره على تكوين الطبقات المائية

4.2.الطبقية الإقليمية لمنطقة وادي سوف خلال حقبة الحياة الوسطى (الميزوزويك)	23
II 2.1 الثلاثي	
II .3.1. الرباعي	26
III. الخلاصة	27
الفصل الثالث: الخصائص الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في بلدية الوادي	
مقدمة:	30
1- النتائج المتحصل عليها:	32
1-1 الرقم الهيدروجيني للماء:	32
2-1 الموصلية الكهربائية:(CE)	33
3-1 الأمونيوم:	34
4-1 النترات:	35
5-1 النيتريت:	36
6-1 الفوسفات:	37
7-1 المواد الصلبة الذائبة الكلية(TDS)	38
8-1 درجة الحرارة:	39
2- مؤشرات التلوث البيئي:	39
3- مؤشر جودة المياه(WQI)	39
1-3 المكونات الرئيسية لمؤشر جودة المياه:(WQI)	39
2-3 كيفية حساب:WQI	40
3-3 التطبيقات العملية ل-:WQI	40
خلاصة	42
الحلول	43
الخاتمة العامة:	44

46_45	المراجع الببليوغرافية

قائمة الاشكال	Page
الشكل 01: الوضع الجغرافي لولاية الوادي	05
الشكل 02: مخطط الكتلة لمنطقة الدراسة	06
الشكل03: حدود وادي السوف.	07
الشكل 04: الخريطة الطبوغرافية لوادي	09
الشكل 05: يوضح التغير السنوي في هطول الأمطار في منطقة سوف خلال الفترة الممتدة من عام 1978 إلى عام 2023.	12
الشكل 6 قيم التبخر الكامنة لمنطقة سوف خلال الفترة الزمنية من 1986 حتى عام 2009.	13
الشكل 07: يمثل مخطط أمبروترميك لمنطقة وادي سوف للفترة 1978-2017،	16
الشكل 08: الخريطة البيزومترية للطبقة المائية الجوفية في منطقة وادي سوف	19
الشكل 09 مقطعًا طوليًا يمثل التركيب الهيدروجيولوجي لمنطقة الصحراء الكبرى، وذلك حسب دراسة مولا أ.س. وآخرون في عام 2005.	20
الشكل 10 في النص الأصلي، والذي يمثل خريطة لموارد المياه الجوفية لمعقد المحطة الطرفية و الحوض القاري البيني(SASS., 2016) ، والذي يجب تضمينه في المذكرة إذا كان متوفرا.(	22
الشكل 11: الخريطة الجيولوجية للصحراء الشرقية الكبرى (بابا سي.م، 2005)	23
الشكل 12: العمود الطبقي للحفريات الموجودة في منطقة الواديANRH) ., (1993	27
الشكل 13: المخطط الكتلي لبلدية الوادي و نقاط أخذ العينات	31
الشكل 14: الرقم الهيدروجيني لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025	32
الشكل 15: الموصلية الكهربائية لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025	33
الشكل 16: الألمونيوم لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025	34

35	الشكل 17: النتراتلمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025
36	الشكل 18: نتريت لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025
37	الشكل 19: الفوسفات لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025
38	الشكل 20: المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025
41	الشكل 21: المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025

الصفحة	قائمة الجدوال
06	الجدول 01: توزيع المساحة وعدد السكان في منطقة الدراسة حسب البلدية DPSB)، .(2023
11	**: الجدول 02: البيانات المناخية لمنطقة وادي سوف - درجات الحرارة وهطول الأمطار (1978- 2018) (ONM, 2020).**
12	الجدول 03: الأمطار السنوية (1978 -2023) في وادي سوف: (ONM, 2023)
13	الجدول 04: بيانات مناخية لمنطقة وادي سوف - التبخر - (1986-2009) (الديوان الوطني للأرصاد الجوية، 2018"
14	الجدول رقم 5: يوضح البيانات المناخية المتعلقة بالرياح في منطقة وادي سوف خلال الفترة من عام 1993 إلى عام 2015.
14	الجدول 06: البيانات المناخية للعيش - رطوبة الهواء - (1978-2015):
15	: الجدول 07: بيانات مناخية لمنطقة وادي سوف - الإشعاع الشمسي - (1997-2009) (،2018 ONM)

Liste des tableaux

مقدمة عامة

يُمثل الماء، ضرورة للحياة ودعامة للأنشطة البشرية، تحدياً عالمياً، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة حيث يندر، وفي المناطق التي تعاني من تدهور جودته (شادن م.ه، 2014). ومع التوسع الحضري، يتزايد دور المياه في الاقتصاد، مما يستدعي الانتقال من مصادر تقليدية إلى المياه السطحية (نعمة ن. 2014). وتواجه هذه الموارد تحديات بيئية كبيرة، أبرزها تلوث المياه السطحية. ويُعد التوزيع غير المتكافئ للمياه تحدياً سياسياً واقتصادياً (رئيس م.ت، زانثوليس د. 1999)، وتشير التوقعات إلى تفاقم الإجهاد المائي في منطقة البحر الأبيض المتوسط بحلول عام 2025. ويتعرض الماء لملوثات متنوعة تهدد الصحة والبيئة (نجيسان ي.م، وآخرون 2016).

وفي منطقة وادي سوف القاحلة، يلعب الماء دوراً حاسماً، لكنه يواجه تحديات كبيرة بسبب التلوث الناتج عن الأنشطة الصناعية والزراعية والتخلص غير السليم من النفايات وتسرب المواد الكيميائية وتصريف مياه الصرف الصحي غير المعالجة (غزالي أ.، وآخرون، 2013؛ ساكر أ. 2000). ويؤدي هذا التلوث إلى تدهور جودة المياه وتهديد الصحة العامة واستدامة الموارد المائية.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم وضع ومخاطر تلوث موارد المياه الناجم عن تسرب الهيدروكربونات في وادي سوف. ولتحقيق ذلك، سيتم تحليل بيانات جودة المياه واستخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcGis 10.7) والمؤشرات الطيفية لإنشاء خريطة لضعف المياه الجوفية للتلوث، بهدف حماية هذه الموارد والحفاظ عليها.

تعتمد الدراسة على محورين رئيسيين: **تحديد مصادر تلوث المياه وتقييم ضعف المياه الجوفية لتلوث الهيدروكربونات باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.**

تتكون المذكرة من ثلاثة فصول، يقدم **الفصل الأول** لمحة عامة عن منطقة الدراسة، بما في ذلك موقعها الجغرافي وخصائصها الديموغرافية والاقتصادية والجيومورفولوجية والتضاريس و المناخ.

يُخصص **الفصل الثاني** من هذه المذكرة لتقديم دراسة تفصيلية للخصائص الجيولوجية و الهيدروجيولوجية لمنطقة وادي سوف، بهدف فهم الإطار الطبيعي الذي تتواجد فيه الموارد المائية وتتأثر به.

أما **الفصل الثالث**، فيركز على الجانب الكيميائي المائي للدراسة. حيث يتضمن تقييماً شاملاً للخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه التي تم جمعها من نقاط مختلفة ضمن بلدية الوادي (بالقرب من محطات الوقود وبعيداً عنها). وقد تم تحليل هذه الخصائص ومقارنتها بالمعايير الجزائرية المعتمدة ومعايير منظمة الصحة العالمية لتقييم جودة المياه. وفي نهاية هذا الفصل، سيتم عرض خرائط توضح توزيع معلمات التلوث وتطورها عبر الزمن. وقد تم إنجاز جزء كبير من هذا العمل وتحليله باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) وتحديداً بيئة برنامج ArcGis.

الفصل الأول: لمحة عامة عن منطقة الدراسة

أولا ً.عرض منطقة الدراسة

1.1.الموقع الجغرافي لمنطقة وادي سوف:

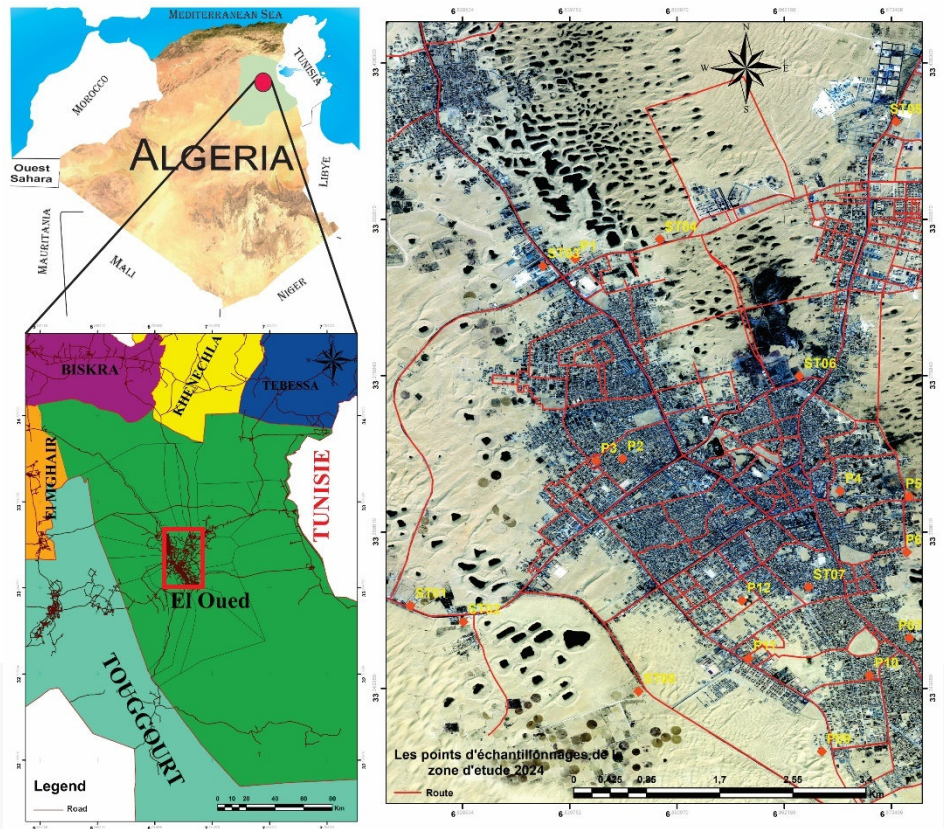
- تقع منطقة سوف، وهي جزء من ولاية الوادي، في الجنوب الشرقي الجزائري، بين خطي العرض33درجة و 34درجة شمالا ً وخطي الطول 6درجات و 8درجات شرقاً.
- تتميز بمناظر طبيعية واسعة من أشجار النخيل المحاطة بالكثبان الرملية، وتقع على ارتفاع حوالي 70 متراً فوق مستوى سطح البحر (بجاس،1992) .
- تبلغ مساحة ولاية الوادي 35,674 كم² DPSB
- تشمل منطقة وادي سوف 22 بلدية مجمعة في 10دوائر، تغطي مساحة تقارب 14,518.33كيلومتراً مربعاً (OSN,2013) .
- يشتق مصطلح "سوف"من الاسم الأمازيغي الذي يعني النهر أو الوادي .في الأصل، كان النشاط الرئيسي لسكان المنطقة هو الزراعة .نشأت كل واحة نخيل بفضل جهود كبيرة على المستويين البدني و المالي(DSA2005)

•**إلى الشمال بولايات بسكرة، خنشلة وتبسة.**هذا يعني أن ولاية الوادي تحدها من الشمال ولايات بسكرة، خنشلة وتبسة.

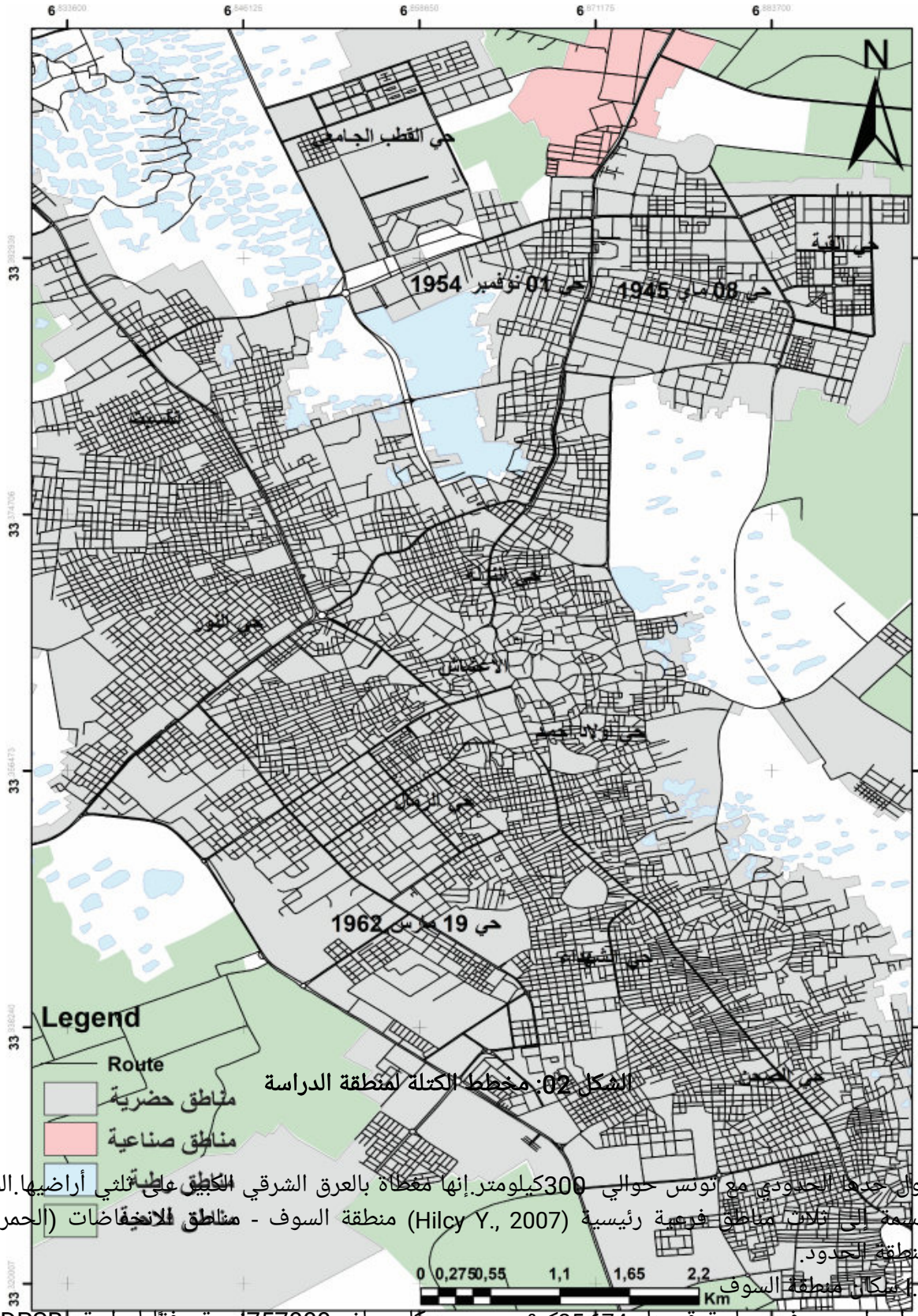
•**إلى الشرق بتونس.**هذا يشير إلى أن ولاية الوادي تشترك في حدودها الشرقية مع تونس.

•**إلى الغرب بولايات المغير وتقرت.**هذا يعني أن ولاية الوادي تحدها من الغرب ولايات المغير وتقرت.

•**إلى الجنوب بولاية ورقلة.**هذا يشير إلى أن ولاية الوادي تحدها من الجنوب ولاية ورقلة.



الشكل 01: الوضع الجغرافي لولاية الوادي



الشكل 02: مخطط الكتلة لمنطقة الدراسة

طول حدها الحدودي مع تونس حوالي 300كيلومتر. إنها مغطاة بالعرق الشرقي الكبير على ثلثي أراضيها. الولاية مقسمة إلى ثلاث مناطق فرعية رئيسية (Hilcy Y., 2007) منطقة السوف - منطقة الحدود.

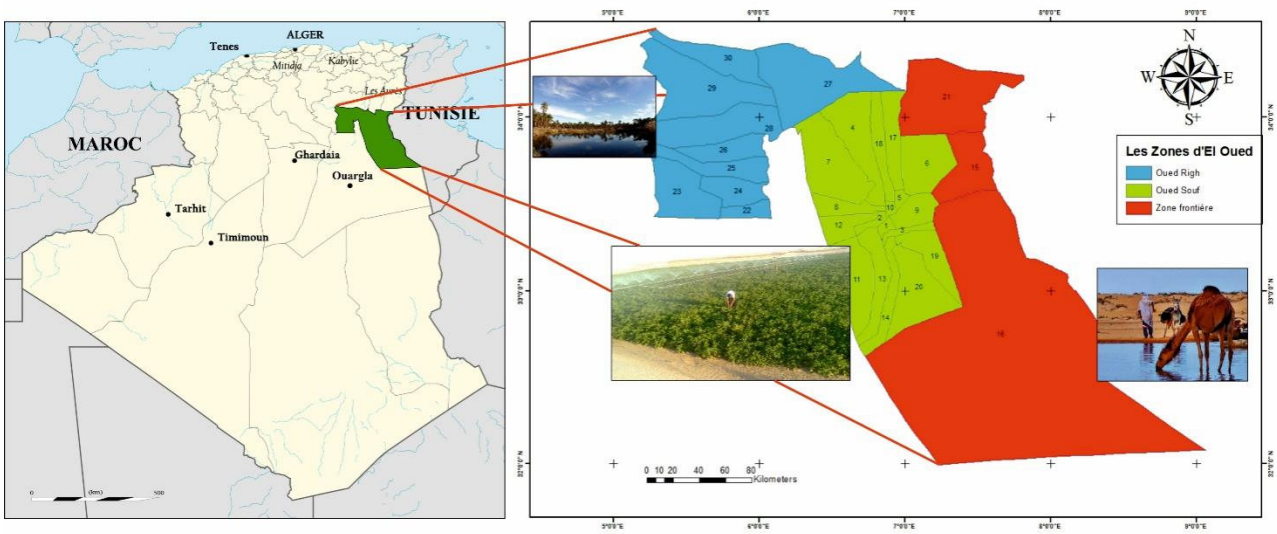
1.2. سكان منطقة السوف

تحتل وادي سوف مساحة قدرها 35,674كم² ، وبعدد سكان يبلغ 757000نسمة وفقًا لدراسة DPSB لعام 2023.

الجدول 01: توزيع المساحة وعدد السكان في منطقة الدراسة حسب البلدية DPSB)، .(2023

المنطقة		السكان (شخص)	المساحة كم²	المنطقة		سكان (شخص)	Superficie كم²
1	الوادي	205600	77.2	12	البياضة	484 05	139
2	كونين	16015	116	13	واد العلندة	944 0	712
3	رقيبة	65865	1965.6	14	بن قشة	710	2646
4	الحمراية	8185	2444	15	ميه ونسة	264	1111
5	قمار	64220	1264.4	16	الطرفاوي	125	474
6	تغزوت	20540	539,2	17	المقرن	355 70	618
7	ورماس	8340	442,8	18	سيدي عون	176 50	480
8	دبيلة	37745	78	19	الرباح	328	499,2
9	حساني عبد الكريم	35600	58	20	النخلة	199 75	700
10	حاسي خليفة	48010	1112	21	العقلة	953 0	1352
11	طالب العربي	16770	1110	22	دوار الماء	104 90	17813
المساحة الإجمالي		35674,2 Km^2		اجمالي السكان		757000شخص	

تمتد على 22بلدية، منها بلدية الوادي التي هي عاصمة الولاية وأكبر بلدية من حيث عدد السكان 205600نسمة بكثافة سكانية 2404,34نسمة/كم²، تليها بلدية رقيبة ب- 65865نسمة 29,82 (نسمة/كم²)، بينما بلدية حمراء العين 8185نسمة أقل كثافة سكانية 6,17(نسمة/كم²) . (ONS 2023)



الشكل03: حدود وادي السوف.

I.3.الوضع الاقتصادي:

1.القطاع الزراعي:

- **زراعة النخيل:**
  - إجمالي عدد النخيل:**2,500,000** نخلة تقديري
  - عدد النخيل المنتج:**183,000** نخلة (يمثل حوالي **7.32%**من إجمالي النخيل).
  - متوسط حجم الصادرات من التمور: **40,000 طن/سنة**.
- **تربية الحيوانات (إحصائيات 2016:)**
  - الأغنام: **500,000 رأس**.
  - الماعز: **153,000 رأس**.
  - الإبل: **27,300 رأس**.
  - الأبقار: **4,700 رأس**.
  - إنتاج اللحوم الحمراء: **4,700 طن/سنة**.
  - إنتاج اللحوم البيضاء: **2,240 طن/سنة**.
  - إنتاج البيض: **27,561,270 بيضة/سنة**.
  - إنتاج الحليب: **44,000,000 لتر/سنة**.
- **زراعة البطاطا: المحصول الرائد الجديد**
  - **المساهمة في الإنتاج الوطني:**تساهم ولاية الوادي بأكثر من **40%** من إجمالي إنتاج البطاطا في الجزائر، مما يجعلها **المنتج الأول على المستوى الوطني**.
  - **قيمة الإنتاج:**يمثل إنتاج البطاطا ما بين **50%إلى 70%**من **قيمة إجمالي الإنتاج النباتي** في الو لاية، مما يدل على أهميته الاقتصادية القصوى ضمن القطاع الزراعي المحلي.
  - **المساحات المزروعة:**تشير تقارير إلى أن المساحات المخصصة لزراعة البطاطا في ولاية الوادي شهدت **توسعًا كبيرًا** في السنوات الأخيرة، لتصل إلى عشرات الآلاف من الهكتارات في الموسم الواحد (لا يوجد رقم دقيق موحد هنا، ولكن الاتجاه هو النمو.(مديرية المصالح الفلاحية لولاية الوادي)
  - **الإنتاج السنوي:**نظرًا لكون الولاية المنتج الأول، فإن **حجم الإنتاج السنوي للبطاطا يقدر بمئات ا لآلاف من الأطنان)**لا يوجد رقم دقيق موحد بسبب اختلاف المواسم والسنوات، ولكن يمكن الإ شارة إلى أنه الأكبر على مستوى البلاد.(
  - **فرص العمل:**ساهم قطاع زراعة البطاطا في توفير **عشرات الآلاف من فرص العمل**، بدءًا من الزراعة والحصاد وصولًا إلى التعبئة والتغليف والنقل والتسويق.
  - **التقنيات المستخدمة:**يتميز قطاع البطاطا في الوادي بالاعتماد المتزايد على **تقنيات الري الحديثة** (كالرش المحوري والتقطير) واستخدام الأسمدة والمبيدات بشكل مكثف لتحقيق إنتاجية عالية.

I.4. الجيومورفولوجيا:

تتسم منطقة سوف بطبيعتها الرملية وتضاريسها التي تشمل كثبانًا رملية شاهقة قد تصل إلى ارتفاع 100 متر.

ويتميز سطح المنطقة بتنوعه، حيث ينقسم بشكل رئيسي إلى قسمين: الأول هو **العرق(Erg)** ، وهي المساحات الشاسعة التي تتراكم فيها الرمال لتشكل الكثبان، وتستحوذ على الجزء الأكبر من مساحة المنطقة (حوالي ثلاثة أرباعها). أما القسم الثاني فهو الصحن ، وهي مناطق منخفضة ومسطحة تشكل منخفضات مغلقة محاطة بالكثبان الرملية. غالبًا ما تكون هذه الصحون واسعة، وقد تكون ذات أرضية حصوية أو مغطاة بتكوينات قديمة من القشور الجبسية التي تعود إلى العصر الرباعي (وفقًا لمصادر الوكالة الوطنية للموارد المائية في عام 2005).

.2.1لخصائص الجيولوجية لتربة منطقة سوف

تتميز منطقة سوف، التي تمثل النطاق الجغرافي لدراستنا، بتركيبة جيولوجية سطحية فريدة تشكلت عبر العصور الجيولوجية المختلفة. وقد كشفت الملاحظات الميدانية وتحاليل التربة، كما أشار إليها زيدان م. ل. وسوفي م. (2018)، عن وجود أربعة تكوينات رئيسية تُميز هذه المنطقة:

1. **الترشة** :تُعد "الترشة" طبقة مميزة تتكون من بلورات دقيقة، مما يمنحها مظهراً صلباً شبيهاً بالحجر الرملي. وتتواجد هذه الطبقة على شكل صفائح متصلة أو كتل صلبة للغاية، ويُشير تركيبها المعدني إلى غناها ببلورات الحديد.
2. **اللوس** :تتميز طبقة "اللوس" بتركيب فريد يتألف من بلورات الجبس والحديد المرتبة في شكل صفائحي متداخل. وتوجد هذه الطبقة في صورة امتدادات مستمرة ذات مقاومة عالية للعوامل الجوية، كما تُلاحظ تشكلها في هيئة شبكات مدمجة مع الرواسب الرملية، أو كطبقات معزولة، أو حتى أعمدة ذات شكل خاص يُعتقد أنها نشأت حول بقايا جذور نباتية متحولة من الجبس.
3. **الصلصالة** :تعرف أيضاً محلياً باسم "السميدة"، وتُشبه في مظهرها "الترشة" حيث تظهر على شكل صفائح متصلة أو كتل صلبة. وتتكون هذه الطبقة أيضاً من بلورات الحديد، ولكنها تتميز بكونها أكثر دقة وتراصاً من بلورات "اللوس".
4. **التفزة** :تُمثل "التفزة" نوعاً من الحجر الرملي الأبيض ذي الصلابة النسبية. ويُشير الاستخدام المحلي لهذا النوع من الصخور كحجر للتسخين في إنتاج الجبس إلى خصائصه الفيزيائية والكيميائية المميزة.

(يُشار إلى أن المصطلحات "الترشة"، "اللوس"، "الصلصالة"، "السميدة"، و"التفزة" هي تسميات محلية متداولة بين سكان المنطقة للإشارة إلى هذه التكوينات الجيولوجية السطحية المحددة).

.2.2التضاريس والارتفاعات في منطقة سوف

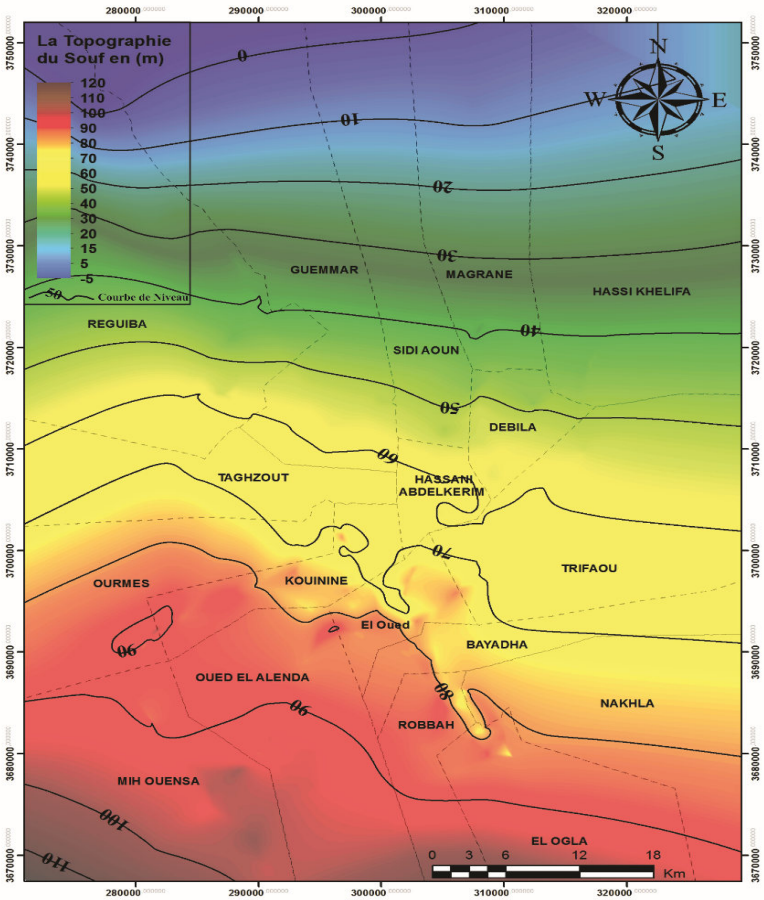
تتسم ولاية الوادي بتنوع تضاريسي ملحوظ، حيث تقسم إلى ثلاثة وحدات جيومورفولوجية رئيسية، كما وصفها (حليتيم. أ. 2011) :

1. **منطقة سوف العرق الشرقي** :تُشكل هذه المنطقة الجزء الجنوبي الشرقي والجنوبي من الولاية، وتُعد امتداداً للعرق الشرقي الكبير. وتتميز بكونها منطقة رملية واسعة، حيث تحتل الكثبان الرملية حوالي ثلا ثة أرباع مساحة الولاية، مما يُضفي عليها طابعاً صحراوياً مميزاً.
2. **وادي ريغ** :يقع إلى الغرب والجنوب من منطقة سوف، ويتكون من هضاب صخرية منخفضة الارتفاع تتخللها كثبان رملية. ويُلاحظ في هذا الجزء تناوب بين المناطق الرملية المتموجة والنتوءات الصخرية المنخفضة.
3. **المنخفضات الشطوط والسبخات** :تقع في الجزء الشرقي من الولاية وتتميز بوجود سلسلة من المنخفضات التي تحتضن العديد من الشطوط (البحيرات الملحية الضحلة). وينخفض الارتفاع العام لهذه المنخفضات تدريجياً من الجنوب والغرب نحو الشمال والشرق، ليصل إلى مستويات سالبة تحت مستوى سطح البحر في مناطق الشطوط، التي تُعد جزءاً من حوض الصحراء السفلى الشاسع (سراي أ؛ 2014). وتتكون التكوينات السطحية في هذه المنخفضات من رواسب رباعية على شكل سبخات (مسطحات ملحية) وشطوط.

2.3.الوضع الطبوغرافي العام

تُعتبر منطقة سوف جزءاً من العرق الشرقي الكبير، وتتميز بتضاريس رملية تتكون من كثبان قارية الأصل. تتراوح ارتفاعاتها بشكل عام بين 0و 100 متر فوق مستوى سطح البحر (كورني أ،1964) وبينما يقع جزء كبير من المنطقة في نطاق ارتفاعات منخفضة (مدينة الوادي نفسها ترتفع حوالي 80 متراً)، فإن السمة الجغرافية الأبرز هي وجود منخفضات واسعة، أهمها **شط ملغيغ**، الذي يصل فيه الانخفاض إلى حوالي **40 متراً تحت مستوى سطح البحر**، وهو ما يمثل أدنى نقطة على الأراضي الجزائرية.

- يُسجل **أعلى ارتفاع** في المنطقة بـلدية البياضة حي الصوالح **84مترًا** فوق مستوى سطح البحر
- بينما تُسجل **أدنى نقطة** على ارتفاع -4 أمتار في بلدية الرقيبة (فولية)، وذلك وفقاً لبيانات الوكالة الوطنية للموارد المائية (ANRH) لعام 2019.
- يبلغ **متوسط الارتفاع** في المنطقة حوالي 61 متراً، مع ميل واضح للانخفاض التدريجي نحو الشمال، ليصل إلى حوالي 25 متراً تحت مستوى سطح البحر في منطقة الشطوط التي تحتل أدنى أجزاء حوض الصحراء السفلى الشاسعANRH) ، .(2005



الشكل 04: الخريطة الطبوغرافية لوادي

2.4. المناخ في منطقة سوف

يُمثل المناخ عنصراً بالغ الأهمية في تحديد الخصائص البيئية والجيومورفولوجية لمنطقة سوف، محور دراستنا. وباعتبارها جزءاً من الجزائر، التي تقع ضمن ثلاث مناطق مناخية رئيسية تمتد من مناخ البحر الأبيض المتوسط المعتدل في الشمال إلى المناخ شبه القاحل في الهضاب الداخلية، وصولاً إلى المناخ القاحل الذي يُميز الصحراء الكبرى، فإن منطقة سوف تقع ضمن النطاق الأخير. ولفهم الخصائص المناخية المؤثرة في هذه المنطقة، يعتمد

تحليلنا على البيانات المناخية المسجلة في محطة الأرصاد الجوية التابعة لمطار الوادي، والواقعة في دائرة قمار شمال المدينة، والتي يُشرف عليها الديوان الوطني للأرصاد الجوية (ONM).

2.4.1. الخصائص المناخية لمنطقة سوف

يُصنف مناخ منطقة سوف ضمن **المناخ الصحراوي الحار والجاف**، وهو ما يفرض مجموعة من التحديات والفرص على مختلف جوانب البيئة والأنشطة البشرية. ويتميز هذا المناخ بفصل صيف طويل وشديد الحرارة وقليل الأ مطار، يليه فصل شتاء معتدل نسبياً. وتعد **الرياح** من العناصر المناخية البارزة في المنطقة، حيث تهب رياح متكررة وعنيفة، تُعرف محلياً باسم **"السيروكو"**، وهي رياح حارة وجافة ومحملة بكميات كبيرة من الغبار والرمال، وتزداد وتيرتها خلال فترات معينة من السنة. بالإضافة إلى ذلك، تشهد المنطقة خلال فصل الربيع هبوب **رياح رملية** تؤثر على مدى الرؤية والأنشطة اليومية.

وقد استُخدمت البيانات المناخية الشاملة (الهطول المطري، درجات الحرارة، الرطوبة، معدلات التبخر، وغيرها) المسجلة في محطة الأرصاد الجوية التابعة للديوان الوطني للأرصاد الجوية بمطار قمار، والتي تُمثل المحطة المناخية الرئيسية والوحيدة المتاحة في منطقة الدراسة، وذلك لفترة زمنية طويلة تمتد من عام 1978 إلى عام 2018 (مديرية المصالح الفلاحية، 2014)، مما يوفر قاعدة بيانات موثوقة لتحليل الاتجاهات المناخية في المنطقة.

2.4.1.1. تحليل درجات الحرارة:

يبلغ **متوسط درجة الحرارة السنوي** في منطقة سوف **27.06 درجة مئوية**، وهو ما يُشير إلى مناخ حار بشكل عام. ويبلغ **أعلى متوسط شهري لدرجات الحرارة** في شهر يوليو **37.77 درجة مئوية**، مع تسجيل **متوسط للقيم القصوى** يصل إلى **45.31 درجة مئوية** خلال هذا الشهر، مما يُبرز شدة حرارة فصل الصيف. في المقابل، يُسجل **أدنى متوسط شهري لدرجات الحرارة** في شهر يناير بواقع **15.31 درجة مئوية**، مع **متوسط للقيم الدنيا** يبلغ **9.62 درجة مئوية**، مما يدل على اعتدال نسبي في فصل الشتاء.

وتتميز منطقة سوف بصيف **شديد الحرارة** يُضاهي في قسوته المناطق الداخلية من الصحراء الشمالية. ومن اللا فت للانتباه، وخلافاً للمناطق المناخية الأخرى، أن **الجنوب** يشهد **تبايناً كبيراً في درجات الحرارة بين النهار و الليل**. فقد تصل درجة الحرارة في الظل خلال النهار إلى **55 درجة مئوية**، بينما تنخفض بشكل ملحوظ خلال الليل لتسجل **15 أو 16 درجة مئوية** فقط. ويُعزى هذا التباين الحاد إلى الخصائص الحرارية للرمال، التي تفقد حرارتها بسرعة أكبر بكثير من الصخور أو الطين. وقد يصل هذا الفرق في درجات الحرارة اليومي إلى **30 درجة مئوية**. وعلى النقيض من ذلك، تنخفض درجات الحرارة في ليالي فصل الشتاء بشكل ملحوظ، وغالباً ما **تصل إلى ما دون الصفر المئوي**.

إن فهم هذه الخصائص المناخية، بما في ذلك ارتفاع درجات الحرارة، وقلة الأمطار، وهبوب الرياح الحارة والمغبرة، والتباين الكبير في درجات الحرارة اليومي والموسمي، يُعد **ضرورياً لتحليل**

2.4. المناخ في منطقة سوف: تحليل كمي

يُعد المناخ الصحراوي الحار والجاف السائد في منطقة سوف، محور دراستنا الواقعة ضمن النطاق المناخي للصحراء الكبرى في الجزائر، عاملا ً حاسماً في تحديد خصائصها البيئية. ويعتمد هذا التحليل الكمي للمناخ على بيانات محطة الأرصاد الجوية في مطار الوادي (دائرة قمار)، التي يُشرف عليها الديوان الوطني للأرصاد الجوية (ONM).

2.4.1. المعايير المناخية لمنطقة سوف: نظرة كمية

تظهر البيانات المناخية المسجلة خلال الفترة الممتدة من عام 1978 إلى عام 2018 (مديرية المصالح الفلاحية، 2014) الخصائص الكمية التالية لمناخ منطقة سوف:

- **متوسط درجة الحرارة السنوي:27.06 درجة مئوية.**
- **درجات الحرارة في شهر يوليو (الأكثر حرارة):**
  - **متوسط درجة الحرارة:37.77 درجة مئوية.**
  - **متوسط القيم القصوى:45.31 درجة مئوية.**
- **درجات الحرارة في شهر يناير (الأكثر برودة):**
  - **متوسط درجة الحرارة:15.31 درجة مئوية.**
  - **متوسط القيم الدنيا:9.62 درجة مئوية.**
- **التباين الحراري اليومي:** قد يصل إلى **30 درجة مئوية** في المناطق الجنوبية خلال فصل الصيف، حيث ترتفع درجة الحرارة نهاراً إلى **55 درجة مئوية** في الظل وتنخفض ليلا ً إلى **15-16 درجة مئوية**.
- **درجات الحرارة الشتوية الدنيا:** غالباً ما تنخفض إلى **أقل من 0 درجة مئوية** خلال الليل.

I.6.1.2. الهطول

الشهر	درجة الحرارة (C°)			هطول (ملم)
	T_{min}	T_{max}	T_{moy}	
جانفي	9,62	20,76	15,31	14,61
فيفري	11,51	24,41	18,08	5,30
مارس	15,69	29,52	22,76	8,40
افريل	19,49	34,26	27,02	7,69
ماي	24,37	38,85	31,76	4,56
جوان	28,52	43,52	36,16	1,48
جويلية	30,03	45,31	37,77	0,26
اوت	30,18	44,98	37,67	1,87
سيبتمبر	26,79	40,67	33,85	5,80
اوكتوبر	21,89	34,89	28,53	6,82
نوفمبر	15,87	27,10	21,38	7,51
ديسمبر	10,32	20,98	15,76	6,41
المتوسط	**20,36**	**33,77**	**27,06**	***70,70**

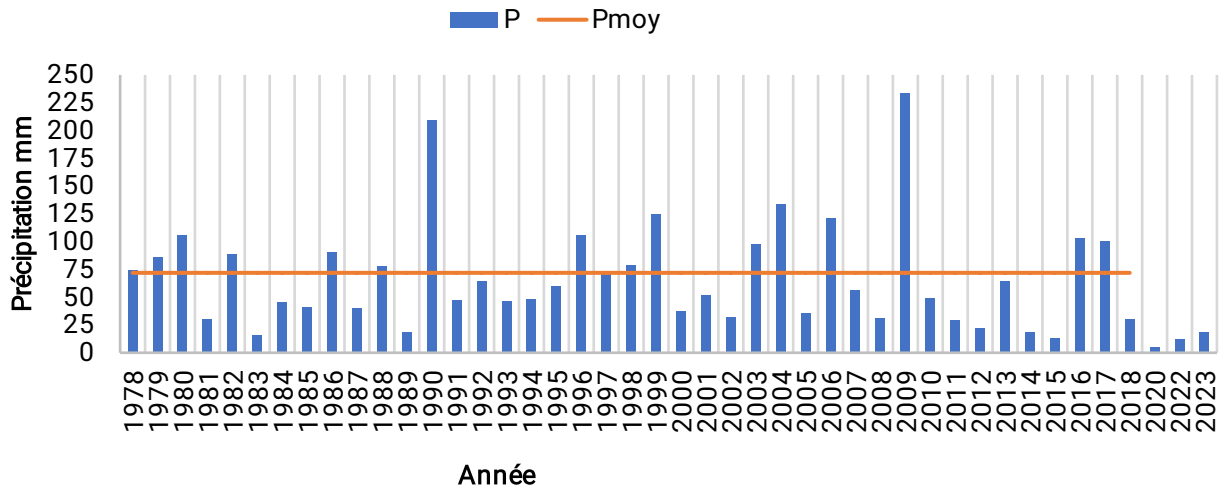
الجدول 02: البيانات المناخية لمنطقة وادي سوف - درجات الحرارة وهطول الأمطار (ONM, 2020) (1978-2018) .

الهطولات ضعيفة وغير منتظمة جداً، والمعدل السنوي للمنطقة هو 70.70 ملم/سنة.

الجدول 03: الأمطار السنوية (1978 -2023) في وادي سوف: (ONM, 2023)

السنوات	Pi(ملم)	السنوات	Pi(ملم)	السنوات	Pi(ملم)	السنوات	Pi(ملم)	السنوات	Pi(ملم)	السنوات	Pi(ملم)
1978	73,8	1986	90,2	1994	48,3	2002	32	2010	49	2018	30
1979	86	1987	40	1995	60,1	2003	97,9	2011	29	2020	5
1980	106	1988	77,9	1996	105,4	2004	133,5	2012	22	2022	11,8
1981	29,9	1989	18,5	1997	72,2	2005	35,7	2013	64	2023	18,6
1982	88,4	1990	209	1998	79,1	2006	121,3	2014	18		
1983	15,9	1991	47,6	1999	124,3	2007	56,3	2015	13		
1984	45	1992	64	2000	37,3	2008	31,4	2016	103,2		
1985	40,6	1993	46,5	2001	52	2009	233,7	2017	100,1		
P moy (1978-2023)										65,07 ملم	

يوضح الجدول والرسم البياني التغيرات السنوية في هطول الأمطار خلال الفترة الممتدة من عام 1978 إلى عام 2023 في محطة القياس المحددة. تشير البيانات إلى تباين كبير في كمية الأمطار الهاطلة على مدار هذه السنوات، حيث سجلت أدنى قيمة لها في عام 2015 بواقع 13 ملم، بينما بلغت أعلى قيمة لها 233,7 ملم في عام 2009. وعلى الرغم من هذا التذبذب، فإن متوسط هطول الأمطار السنوي (المعامل المطري السنوي) لهذه الفترة يبلغ 65,07 ملم.



الشكل 05: يوضح التغير السنوي في هطول الأمطار في منطقة سوف خلال الفترة الممتدة من عام 1978 إلى عام 2023.

2.4.2.الهطول المطري في منطقة سوف: تحليل كمي

تتميز أنماط الهطول المطري في منطقة سوف بتقلبها وعدم انتظامها. ووفقاً للبيانات المسجلة في محطة الأرصاد الجوية بقمار، فقد شهدت المنطقة خلال فترة الرصد **24عاماً** بكميات هطول مطري **أقل من المتوسط**، بينما سجلت **17عاماً** بكميات هطول مطري **أعلى من المتوسط**.

وعلى الرغم من هذا التباين، فإن الهطول المطري يُعتبر مرضياً بشكل عام في منطقة سوف، حيث تتركز معظم الأمطار خلال الفترة الممتدة من **أكتوبر إلى فبراير**. وعادة ما تكون الأمطار خفيفة إلى معتدلة، إلا أنها قد تتحول في بعض الأحيان إلى سيول جارفة، كما حدث في شهر **يناير 2009** حيث سجلت المحطة كمية هطول مطري

بلغت **146مليمتر**.

2.4.3.التبخر الكامن:

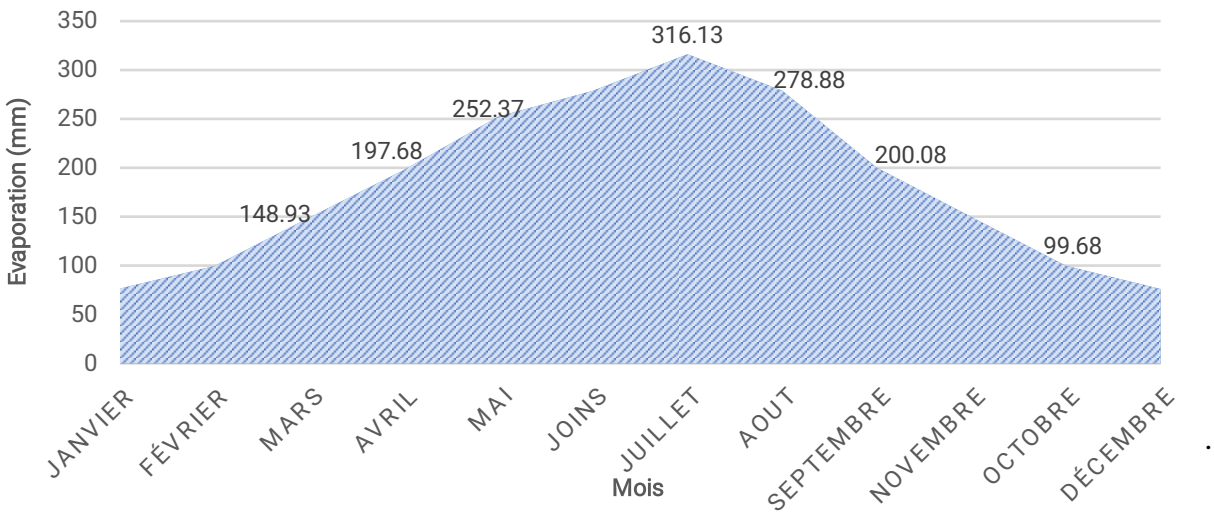
تظهر المسطحات المائية (كالسبخات والشطوط) الواقعة في المناطق القاحلة معدلات تبخر عالية جداً، وذلك لتضافر مجموعة من العوامل المناخية المواتية للتبخر. وتشمل هذه العوامل ارتفاع **درجة حرارة الهواء** خلال الفصول الجافة، وشدة **الإشعاع الشمسي** المستمر تقريباً على مدار العام، والوجود الكبير **للرياح الجافة** ذات السرعة العالية، خاصة خلال فصلي الخريف والربيع (ريميني ب؛ 2005). وتصل **حجم المياه المفقودة عن طريق التبخر** إلى أقصى معدلاتها خلال شهر **يوليو**.

الجدول 04: بيانات مناخية لمنطقة وادي سوف - التبخر - (1986-2009) (الديوان الوطني للأرصاد الجوية، 2018"

الشهر	جانفي	فيفري	مارس	افريل	ماي	جوان	جويلية	اوت	سبتمبر	نوفمبر	أوكتوبر	ديسمبر	متوسط
التبخر (ملم)	76,47	99,55	148,93	197,68	252,37	278,76	316,13	278,88	200,08	149,64	99,68	76,00	2174,16 *

* الإجمالي السنوي

يُعد التبخر عاملا ً مناخياً هاماً في منطقة سوف، حيث يصل إلى مستويات كبيرة نظرًا لتوفر الظروف الفيزيائية المثالية التي تساعد على حدوثه. ويبلغ متوسط التبخر السنوي في المنطقة 2174,16 ملم (وفقًا لبيانات الديوان الوطني للأرصاد الجوية لعام 2018).



الشكل 6 قيم التبخر الكامنة لمنطقة سوف خلال الفترة الزمنية من 1986 حتى عام 2009.

يسجل شهر يوليو أعلى معدلات التبخر بمتوسط 316,13 ملم، في حين يشهد شهر ديسمبر أدنى هذه المعدلات ب - 76 ملم (ONM،2020).

1.6.1.4.سرعة الرياح:

الجدول رقم 5: يوضح البيانات المناخية المتعلقة بالرياح في منطقة وادي سوف خلال الفترة من عام 1993

إلى عام 2015.

الشهر	جانفي	فيفري	مارس	افريل	ماي	جوان	جويلية	اوت	سبتمبر	نوفمبر	اكتوبر	ديسمبر	المتوسط
رياح(كلم/ ساعة)	21,13	27,17	31,78	37,83	38,83	38,09	33,22	29,52	29,96	21,17	19,52	19,78	29

2.4.4.الرياح في منطقة سوف: تحليل كمي ونوعي

تعد الرياح ظاهرة مناخية أخرى تلعب دوراً ملحوظاً في جوانب مختلفة من الحياة في منطقة سوف. وبالرجوع إلى الجدول المناخي (المشار إليه في النص الأصلي)، يُلاحظ أن الرياح تهب بشكل متكرر على مدار العام. وتسجل أعلى سرعات للرياح خلال الفترة الممتدة من شهر أبريل حتى شهر سبتمبر، حيث تصل السرعة القصوى إلى **38.83كيلومترا في الساعة** خلال شهر مايو.

وكما هو الحال لدى خبراء الأرصاد الجوية، يمتلك سكان منطقة سوف أيضاً تصوراتهم الخاصة عن الرياح وتسمياتهم المحلية لها. فالريح الغربية ("الغربي" باللغة العربية) تعتبر ذات تأثير قليل الأهمية. وعلى النقيض من ذلك، فإن الريح الشرقية ("البحري")، والتي يمكن تسميتها ب- "الريح البحرية"، تجلب البرودة خلال فصل الصيف.

ومن الجدير بالذكر أن فترة الربيع تشهد أقوى هبوب لرياح الرمال. وتكون هذه الرياح محملة بالرمال المنقولة بفعل الرياح، مما يمنح السماء لوناً أصفراً وقد تستمر لمدة تصل إلى ثلاثة أيام متتالية، بسرعات تتراوح ما بين **أكثر من 150 إلى 180 كيلومترا في الساعة** .وتتميز هذه الرياح بارتفاع درجة حرارتها بسبب تأثير رياح "الشيهيلي" أو "السيروكو"، التي تكون عنيفة في بعض الأحيان وتهب من الجنوب، وبشكل أكبر من الجنوب الغربي(Sarray A.; 2014)

2.4.5.الرطوبة: تحليل كمي

تمثل الرطوبة كمية بخار الماء الموجودة في الهواء، باستثناء الماء السائل والجليد (لطيفي س، 2018). وتتميز منطقة الوادي بانخفاض نسبة الرطوبة في الهواء؛ حيث يبلغ **متوسط الرطوبة النسبية السنوي 47.59%** .وتشهد هذه الرطوبة تغيراً ملحوظاً تبعاً للفصول. فخلال فصل الصيف، تنخفض نسبة الرطوبة بشكل كبير لتصل إلى **31.34%**خلال شهر يوليو؛ ويعزى هذا الانخفاض إلى تأثير التبخر الشديد والرياح الحارة. أما في فصل الشتاء، فترتفع نسبة الرطوبة لتصل إلى متوسط أقصى يبلغ **65.95%**في شهر ديسمبر.

الشهر	جانفي	فيفري	مارس	افريل	ماي	جوان	جويلية	اوت	سبتمبر	نوفمبر	اوكتوبر	ديسمبر	المتوسط

الرطوبة (%)	63,95	54,76	48,68	42,84	38,21	34,03	31,34	34,39	44,87	52,66	59,39	65,95	**47,59**

الجدول 06: البيانات المناخية للعيش - رطوبة الهواء - (1978-2015):

2.4.6.الرطوبة والإشعاع الشمسي في منطقة سوف: تحليل كمي

تتميز منطقة سوف بانخفاض نسبة الرطوبة في الهواء، حيث يبلغ **المتوسط السنوي للرطوبة النسبية 47.59%**، وتشهد هذه النسبة تغيراً ملحوظاً تبعاً لفصول السنة (الديوان الوطني للأرصاد الجوية، 2018.(

أما بالنسبة للإشعاع الشمسي، فإن تحليل متوسطاته الشهرية يُظهر أن سطوع الشمس يصل إلى أقصى قيمه خلال شهر **يوليو** بمتوسط **352.59ساعة** .ويُسجل أدنى متوسط للإشعاع الشمسي خلال شهر **ديسمبر** بواقع **225.92 ساعة**.

وتتميز منطقة الوادي بتعرضها لإشعاع شمسي مرتفع على مدار العام، حيث يبلغ المتوسط السنوي **3371.15 ساعة**، وهو ما يؤدي إلى قدرة تبخر عالية جداً في المنطقة (خشعان س؛ 2007.(

: الجدول 07: بيانات مناخية لمنطقة وادي سوف - الإشعاع الشمسي - (1997-2009) (ONM2018،)

الشهر	جانفي	فيفري	مارس	افريل	ماي	جوان	جويلية	اوت	سبتمبر	نوفمبر	اكتوبر	ديسمبر	المتوسط
الاشعاع الشمسي(ساعة)	236,37	247,08	278,39	281,92	308,20	342,09	352,59	329,06	271,82	259,20	238,52	225,92	**3371,15***

2.4.7. تأثير الإشعاع الشمسي والتركيب المناخي العام لمنطقة سوف

يُساهم انخفاض الغطاء السحابي في منطقة سوف بشكل ملحوظ في زيادة كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض. ونتيجة لذلك، يرتفع تأثير التجفيف في المنطقة بشكل ملحوظ، حيث يؤدي هذا الإشعاع الشمسي القوي إلى زيادة درجة حرارة السطح والهواء، كما أشار إلى ذلك أوزندا (1983).

2.5. الخلاصة المناخية: نحو فهم متكامل

بناءً على تحليل البيانات المناخية المتوفرة لمنطقة سوف، يمكن استخلاص صورة شاملة للظروف المناخية السائدة من خلال دراسة التفاعلات المعقدة بين الهطول المطري ودرجات الحرارة والعناصر المناخية الأخرى. ولفهم هذه التفاعلات بشكل أفضل، سيتم تطبيق أدوات تحليلية متخصصة لتحديد الأنماط المناخية المؤثرة في المنطقة.

2.5.1. مخطط أمبروترميكفاوسن: تحديد الفترات الرطبة والجافة

سيتم استخدام مخطط أمبروترميكفاوسن كأداة بيانية رئيسية لتوضيح العلاقة بين متوسطات درجات الحرارة الشهرية وكميات الهطول المطري الشهرية على مدار العام. وسيُساعد هذا المخطط في تحديد الفترات التي يسود فيها عجز مائي (فترات جافة) أو فائض مائي (فترات رطبة) في منطقة الدراسة، وهو أمر بالغ الأهمية لفهم التوازنات المائية وتأثيرها على [اذكر جوانب دراستك، مثل: الغطاء النباتي، والزراعة].

2.5.2. طريقة إمبرجر: تصنيف المناخ السائد

ولتصنيف المناخ السائد في منطقة سوف بدقة، سيتم تطبيق طريقة ل. إمبرجر (1955)، التي تعتمد على حساب معامل مطري (Q) يأخذ في الحسبان كلا ً من متوسط كمية الأمطار السنوية ومتوسطات درجات الحرارة القصوى والدنيا خلال الأشهر الأكثر حرارة والأكثر برودة على التوالي. وتعد هذه الطريقة ملائمة بشكل خاص لتصنيف مناخ مناطق حوض البحر الأبيض المتوسط والمناطق ذات الخصائص المناخية المشابهة، وستُساعد في تحديد النمط المناخي المحدد لمنطقة سوف وتأثيره على [اذكر جوانب دراستك، مثل: أنواع التربة، والأنشطة البشرية].

$$Q_3 = 3{,}43\ P\ /\ M\text{-}m$$

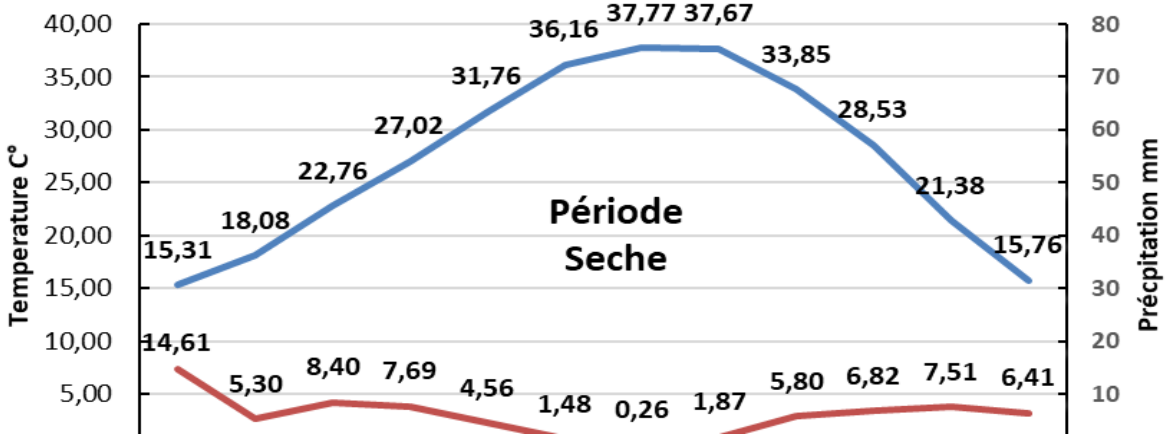
Q: يُمثل **معامل الأمطار لإمبرجر** .(Quotient pluviométriqued'Emberger)وهو قيمة عددية تُستخدم لتحديد نوع المناخ بناءً على العلاقة بين الهطول المطري ودرجات الحرارة.

P: يرمز إلى **متوسط الهطول المطري السنوي** ويُقاس بوحدة **المليمتر** .**(mm)** يُمثل هذا المتغير إجمالي كمية الأ مطار التي تهطل في المنطقة خلال سنة كاملة، ويُعد من المؤشرات الرئيسية لتحديد مدى رطوبة أو جفاف المناخ.

M: يشير إلى **متوسط القيم القصوى لدرجات الحرارة في الشهر الأكثر حرارة** ويُقاس بوحدة **الدرجة المئوية** .**(°C)**يعكس هذا المتغير أقصى درجات الحرارة التي تصل إليها المنطقة خلال أشد شهور السنة حرارة، ويُستخدم لتقييم شدة الحرارة الصيفية.

m: يرمز إلى **متوسط القيم الدنيا لدرجات الحرارة في الشهر الأكثر برودة** ويُقاس بوحدة **الدرجة المئوية** .**(°C)** يُمثل هذا المتغير أدنى درجات الحرارة التي تنخفض إليها المنطقة خلال أبرد شهور السنة، ويُستخدم لتقييم شدة البرودة الشتوية.

وفقاً لمنهجية فوري وآخرون (1980)، يُنشأ مخطط أمبروترميك (الذي يجمع بينOmbroبمعنى مطر و Thermoبمعنى حرارة) عن طريق تمثيل الأشهر على المحور الأفقي (الفواصل)، وتمثيل كل من الهطول المطري ("P")ودرجات الحرارة ("T") على المحور العمودي (التراتيب). ويُراعى عند إنشاء هذا المخطط مضاعفة مقياس درجة الحرارة مقارنة بمقياس الهطول المطري، أي أن يكون مقياس الهطول ."P = 2T" وتُحدد الفترات القاحلة على المخطط بالمناطق التي تكون فيها منحنى درجة الحرارة أعلى من منحنى الهطول المطري.



الشكل 07: يمثل مخطط أمبروترميك لمنطقة وادي سوف للفترة 1978-2017،

يُظهر المناخ في منطقة سوف تشابهاً مع مناخ بقية مناطق الصحراء الكبرى، حيث يتميز ببيئة صحراوية تتسم بغطاء نباتي ضعيف، وجو جاف، ونقص في المياه السطحية، وعدم انتظام في هطول الأمطار (ناجاه أ؛ 1971). وتنقسم السنة المناخية في منطقة سوف إلى فترتين متميزتين: فترة جافة وفترة رطبة. وتجدر الإشارة إلى أن الفترة الجافة تستمر طوال العام تقريباً، وهذا الاتجاه سائد منذ عقد من الزمن، وتحديداً خلال السنوات العشر الأخيرة (1978 إلى 2017) التي شملتها الدراسة المناخية المذكورة.

2.5.2.معامل الأمطار الحراري :(Quotient pluviothermique) تصنيف المناخ باستخدام معادلة ستيوارت المعدلة

لتصنيف المنطقة من الناحية البيومناخية، تم استخدام معادلة ستيوارت (1969) المعدلة لتناسب الظروف المناخية في الجزائر، والتي تأخذ الشكل التالي:

$$Q2=3.43\times(M-m)P$$

حيث أن:

1. Q2: معامل الأمطار الحراري لإمبرجر (تم تعديل التسمية هنا لتتوافق مع النص الأصلي الذي يشير إليه بـ Q2).
2. P: متوسط الهطول المطري السنوي (بالمليمتر).
3. M: متوسط درجات الحرارة القصوى للشهر الأكثر حرارة (بالدرجة المئوية).
4. m: متوسط درجات الحرارة الدنيا للشهر الأكثر برودة (بالدرجة المئوية).

وبتطبيق هذه المعادلة على بيانات منطقة الدراسة:

- P=70.70 مليمتر
- M=49.4 درجة مئوية
- m=3 درجة مئوية

وبالتعويض في المعادلة:

$$Q2=3.43\times(49.4-3)70.70=3.43\times46.470.70=3.43\times1.5237=5.22$$

واستناداً إلى مخطط إمبرجر المناخي(climagrammed'Emberger) ، يُصنف مناخ منطقة الدراسة بأنه **مناخ صحراوي من النوع شديد الجفاف (hyper-aride) ذو شتاء معتدل**، وذلك لأن قيمة Q2 تساوي 5.22 وتقع ضمن النطاق المحدد لهذا النوع من المناخ في تصنيف إمبرجر.

الخلاصة

تتبوأ ولاية الوادي موقعاً استراتيجياً هاماً في قلب منطقة سوف، حيث تحتضن وديان سوف وفرانتير وشطوط

الثلاثة، مما أكسبها دوراً محورياً تاريخياً وجغرافياً في المنطقة. وباعتبارها نقطة وصل مركزية في العرق الشرقي الكبير، فإن ولاية الوادي تلعب دوراً حيوياً في تسهيل الحركة التجارية والثقافية بين مختلف مناطق الجنوب الشرقي الجزائري.

وعلى الصعيد السياحي، تعد ولاية الوادي، وخاصة واحات سوف ذات الخصائص الفريدة، وجهة ذات أهمية متزايدة في السياحة الصحراوية الجزائرية، لما تتمتع به من جاذبية طبيعية وثقافية مميزة.

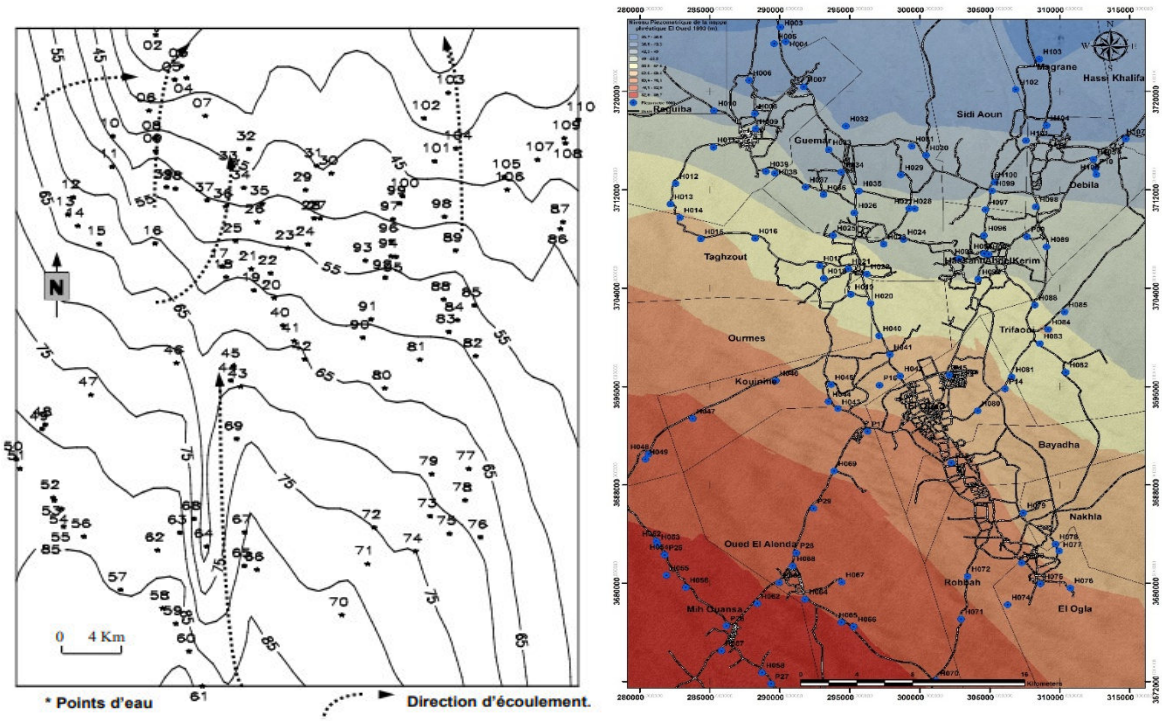
وعلى الصعيد الاقتصادي، تعد الولاية مركزاً نشطاً يجمع بين الأنشطة الزراعية التقليدية، والصناعات الناشئة، و الحرف اليدوية الأصيلة، مما يُضفي عليها طابعاً اقتصادياً متنوعاً. ويُشكل المناخ القاحل الذي يسود المنطقة، و الذي يتميز **بمتوسط درجة حرارة سنوي مرتفع يبلغ 27.06 درجة مئوية** و**معدل هطول أمطار سنوي منخفض يقدر بـ 65.07 مليمتر**، عاملا ً محدداً للبيئة الطبيعية والأنشطة البشرية فيها. ومع ذلك، فإن هذه الظروف المناخية الفريدة توفر أيضاً فرصاً للتنمية الاقتصادية والسياحية المتخصصة التي تتكيف مع هذه الخصائص.

وبشكل عام، تقدم هذه الخصائص الجغرافية والاقتصادية والمناخية، بما في ذلك البيانات الكمية المحددة، **لمحة عامة شاملة** عن ولاية الوادي، المنطقة التي تمثل محور هذه الدراسة، وتسلط الضوء على المقومات والتحديات التي تميزها.

الفصل الثاني:
جيولوجيا وهيدرولوجيا منطقة الدراسة

الإطار الهيدروجيولوجي

تضم منطقة سوف ثلاث تكوينات مائية جوفية متميزة تشكل جزءًا لا يتجزأ من التجمع الصحراوي الشمالي الشاسع. في الأسفل، نجد طبقة "الكونتيننتال إنتركالير (Continental Intercalaire) "المكونة من الرمال و الحجر الرملي، يليها "المركب الطرفي (Complexe Terminal) "الذي يتميز بترسبات طينية ورملية، بينما تقع في الأعلى الطبقة المائية الجوفية الرملية .(Cornet A, 1964) تكشف الخريطة البيزومترية للطبقة المائية الجوفية عن اتجاه عام لتدفق المياه من الجنوب نحو الشمال الغربي (شط ملغيغ وشط مروان)، ونحو الشمال الشرقي (شط الجريد).



الشكل 08: الخريطة البيزومترية للطبقة المائية الجوفية في منطقة وادي سوف

شهد مستوى المياه الجوفية في هذه الطبقة تغيرات كبيرة بمرور الوقت. وخلال العقد الأخير، استمر في الارتفاع بشكل ملحوظ، وبلغ مستويات مقلقة بشكل خاص خلال العامين الماضيين. وقد أدت هذه الزيادات الكبيرة إلى تكوين برك مائية حقيقية في مناطق "الغوط"، مما تسبب في موت آلاف النخيل أو وضعها على طريق الانقراض (Nadjah A., 1971)."

1.1.مصادر المياه في ولاية الوادي

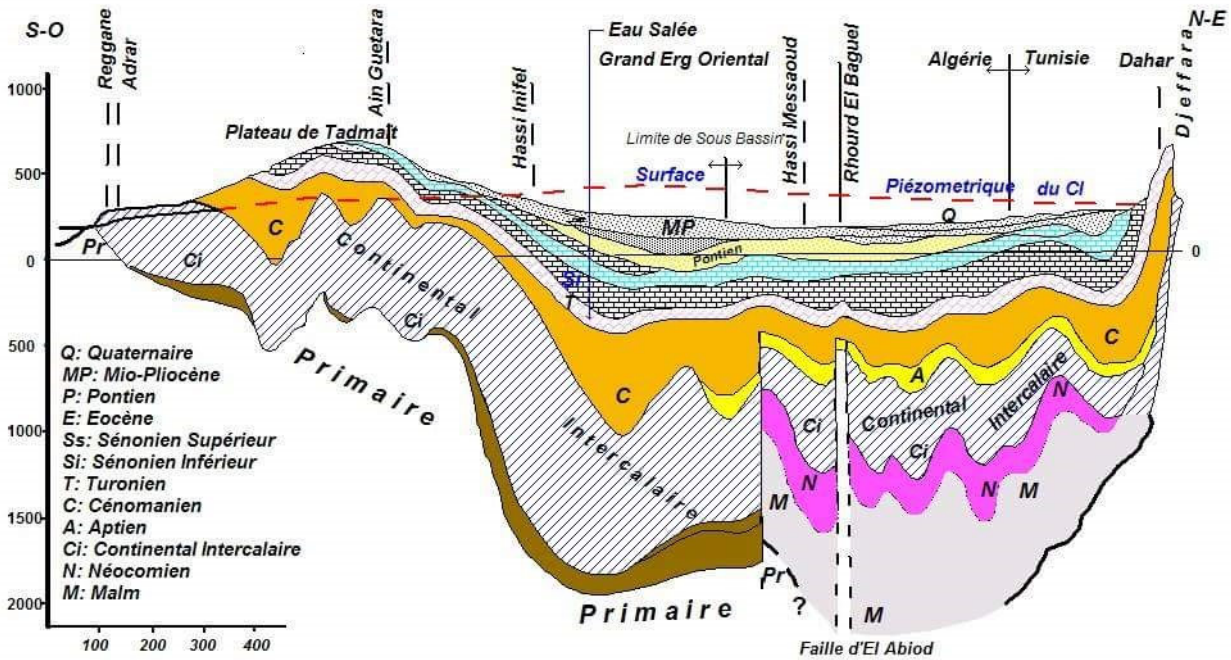
3.1.التغيرات في مستوى المياه الجوفية وتأثيرها على النخيل

شهد مستوى المياه الجوفية في منطقة الدراسة تقلبات كبيرة عبر الزمن. وخلال العقد الأخير، لوحظ ارتفاع مستمر في هذا المستوى، وصل إلى أبعاد مقلقة بشكل خاص خلال العامين الماضيين. وقد أدت هذه الزيادات الكبيرة إلى تشكل تجمعات مائية حقيقية على مستوى "الغوط" (الأحواض المنخفضة التي تزرع فيها النخيل)، مما تسبب في هلاك آلاف النخيل أو وضعها على حافة الانقراض (ناجاه أ.، 1971.(

3.2.موارد المياه في ولاية الوادي

تعتمد ولاية الوادي بشكل حصري على المياه الجوفية كمصدر وحيد لمواردها المائية، مما يجعل تعبئة هذه الموارد أمراً بالغ الأهمية. وقد حددت مديرية الموارد المائية بولاية الوادي إمكانات موارد المياه الجوفية على النحو التالي (تود د.ك. ومايز ل.و. 2005(:

- **الطبقة المائية الجوفية السطحية (Nappe phréatique):** 130 مليون متر مكعب.(hm3)
- **الطبقات المائية الجوفية العميقة (Nappes profondes):** 4.90 مليار متر مكعب(hm3) ، موزعة ك التالي:
  - 2.7مليار متر مكعب للطبقة القارية.(CT)
  - 2.2مليار متر مكعب للطبقة البينية.(CI)
- **المجموع الكلي:** 4.90 مليار متر مكعب (وفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة – الفاو).



الشكل 09 مقطعًا طوليًا يمثل التركيب الهيدروجيولوجي لمنطقة الصحراء الكبرى، وذلك حسب دراسة مولا أ.س. وآخرون في عام 2005.

3.2.1. الطبقة المائية الجوفية السطحية(Nappe phréatique)

تُعرف "الطبقة المائية الجوفية السطحية" في علم الجيولوجيا بأنها طبقة من المياه الجوفية تقع تحت سطح الأ رض. ويمكن تعريفها بأنها طبقة من الصخور أو مواد التربة التي تكون فيها الفراغات مشبعة بالمياه. وقد توجد هذه الفراغات بين جزيئات الصخور أو في تجاويف كبيرة داخلها.

غالباً ما ترتبط الينابيع والنوافير بالطبقات المائية الجوفية السطحية، حيث تتدفق المياه بشكل طبيعي إلى السطح نتيجة للضغط. وتتميز هذه الطبقة بكونها مشبعة بالمياه باستمرار على مدار العام وقد تتفاعل مع طبقات مائية جوفية أخرى ذات تراكيب طبقية مختلفة.

تمثل الطبقة المائية الجوفية السطحية المنتشرة في جميع أنحاء منطقة سوف بشكل أساسي الجزء العلوي من التكوينات القارية التي ترسبت في نهاية العصر الرباعي. وتقع على أعماق متفاوتة تتراوح بين 10 و 60 متراً.

ونظراً لأهميتها الحيوية، تعد هذه الطبقة المصدر الرئيسي للمياه في واحات النخيل، ويتم استغلالها بشكل أساسي من خلال **31,000بئر تقليدي**، وفقاً للدراسات الاستقصائية التي أجرتها مديرية المصالح الفلاحية في عام 2014 (مديرية المصالح الفلاحية، 2014).

تتميز حركة المياه في هذه الطبقة بالسرعة النسبية في جميع أنحاء منطقة سوف، خاصة في المناطق التي تتميز بوجود عدسات طينية تؤثر على نفاذية الرمال.

تتغذى الطبقة المائية الجوفية السطحية في منطقة سوف بشكل رئيسي من المياه المستخدمة من قبل السكان، بما في ذلك مياه الري والمياه الصناعية والمياه المنزلية. ويتمثل المصدر الرئيسي لهذه المياه في الطبقات المائية الجوفية العميقة لمعقد المحطة الطرفية والمعقد القاري البيني (كوت م؛ 1998).

.3.2.2طبقة المركب النهائي (Nappe du complexe terminal)

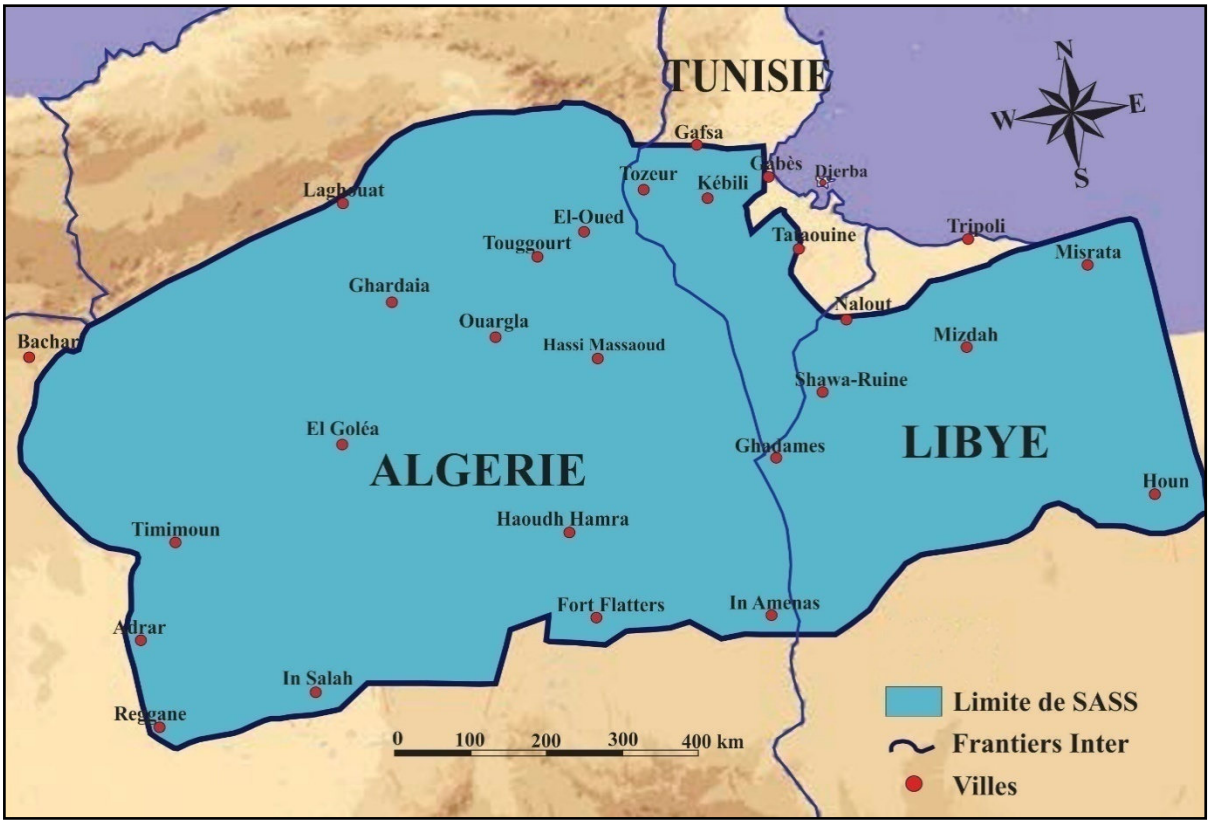
تتميز تكوينات معقد المحطة الطرفية بتجانسها الكبير. وهي تشمل الطبقات النفاذة من الحجر الجيري السينونيوالميوبليوسين. وفي الواقع، يمكن تمييز ثلاثة تجمعات مائية رئيسية داخلها، تفصل بينها محلياً طبقات شبه نفاذة أو غير نفاذة. وتمثل هذه التجمعات الثلاثة بالحجر الجيري والدولوميت من العصر السينونيوالأيوسين السفلي، وبالرمال والأحجار الرملية والحصى من العصر البونتي، وبالرمال من عصر الميوسين. ويتراوح عمق معقد المحطة الطرفية بين 100 و 600 متر، ويبلغ متوسط سمكه حوالي 300 متر (بايبيغاي وآخرون، 2011). ويتم استغلال هذه الطبقة من خلال 129 بئراً عميقاً في جميع أنحاء الولاية. ووفقاً لجرد الآبار والدراسات الاستقصائية حول معدلات التدفق المستخرجة في ولاية الوادي، يُظهر بعض هذه الآبار خاصية التدفق الارتوازي الطفيف في الجزء الشمالي (الوكالة الوطنية للموارد المائية، 1999.(

3.2.1طبقة القاري النهائي (Nappe du Continental Intercalaire - C.I)

يُشير مصطلح "C.I" إلى التكوينات القارية التي تعود إلى العصر الطباشيري السفلي، والتي تُمثل الفترة القارية البينية الواقعة بين دورتين رسوبيتين: التراجع البحري الذي أعقبه تقدم بحري في العصر الطباشيري العلوي. ويشغل الحوض القاري النهائي (C.I) الفاصل الطبقي الممتد من قاعدة العصر الترياسي إلى قمة العصر الألبي.

يُعتبر الخزان المائي للحوض القاري النهائي ذا أهمية كبيرة نظراً لامتداده الواسع (أكثر من 700,000 كيلومتر مربع) وسمكه المتوسط الذي يصل إلى عدة مئات من الأمتار (مديرية الموارد المائية؛ 2005). وتكمن الأهمية الرئيسية لهذا النظام المائي في احتوائه على كميات كبيرة من المياه التي تم تخزينها خلال الفترات المطيرة من العصر الرباعي، والتي يمكن استغلالها حالياً. ولا يزال هذا الخزان يتلقى تغذية طبيعية من مياه الأمطار حتى يومنا هذا، وبالتالي يتميز بنظام هيدروليكي يتضمن تغذية وتدفق ومجموعة من المخارج.

يتجاوز السمك الكلي للخزان 250 متراً في معظم الأجزاء الشمالية من الصحراء الكبرى، ويصل إلى 1000 متر في الشمال الغربي. ويظهر الحوض القاري النهائي على السطح في الجزء الجنوبي والجنوبي الغربي، بينما ينحدر باتجاه الشمال الشرقي(2005) ,.Baba C.M



الشكل 10 في النص الأصلي، والذي يمثل خريطة لموارد المياه الجوفية لمعقد المحطة الطرفية والحوض القاري البيني(SASS., 2016) ، والذي يجب تضمينه في المذكرة إذا كان متوفراً.(

3.3.نظرة عامة على جودة مياه الطبقة المائية الجوفية السطحية

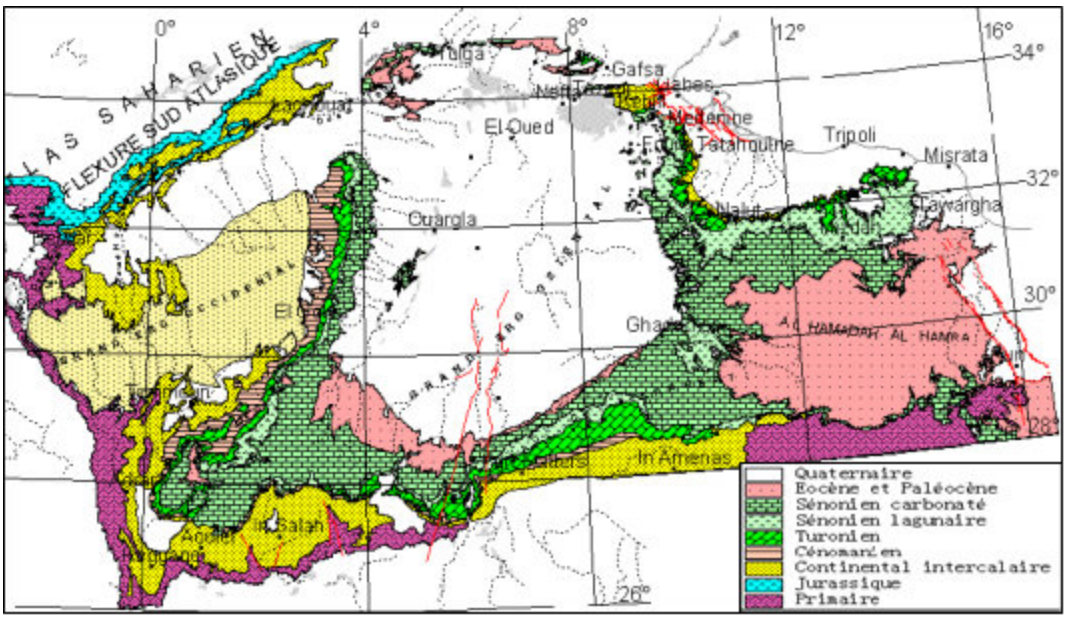
تظهر مياه الطبقة المائية الجوفية السطحية في منطقة سوف تدهوراً كبيراً في جودتها الكيميائية، حيث تتميز بمعدلات تمعدن عالية جداً وفقاً لدراسة (مولا وآخرون؛ 2005). وتعد الأنماط الكيميائية السائدة من النوع الكبريتي والكلوريديالصوديومي، وهي أنماط نموذجية للمناطق المتبخرة، وتنتشر بشكل واسع في جميع أنحاء الوادي.

يُعتبر وجود النترات في المياه الجوفية مؤشراً عاماً على التلوث ذي الأصل الزراعي، والذي ينجم أيضاً عن النيتروجين العضوي في التربة والمياه العادمة المنزلية غير المعالجة (بيتا ب وغنية ف. 2020). ويبلغ المعيار المحدد من قبل منظمة الصحة العالمية لتركيز النترات في مياه الشرب 45 ملغ/لتر. ووفقاً لهذا المعيار، تتجاوز معظم مناطق الدراسة الحد المقبول لمياه الشرب. أما المناطق القليلة التي يكون فيها تركيز النترات أقل من 45 ملغ/لتر فهي المزارع المروية بواسطة آبار في منطقة الضاوية وفولية وهبة، حيث يتم تخفيف النترات بمياه الطبقات العميقة. وبالمثل، في المناطق الرطبة المغطاة بالقصب وعند مصب تصريف مياه الوادي، يتم استهلاك النترات بواسطة القصب، وقد سمحت بعض النقاط المحددة بتحقيق إزالة نيتروجين كافية (كوت م؛ 1998.(

السياق التكتونيوالباليوجغرافي وتأثيره على تكوين الطبقات المائية

في السياق المحدد لمنطقة وادي سوف، ساهمت الظروف التكتونية والباليوجغرافية (الجغرافية القديمة) في نشأة سلسلة رسوبية تتميز بتنوع صخري (ليثولوجي)، مع بقائها نسبياً ثابتة ومنتظمة ومتجانسة مكانياً وعبر الزمن. وقد كانت هذه الخصائص مواتية لتكوين عدة طبقات مائية جوفية في منطقة وادي سوف وفي منطقة الصحراء

السفلى بأكملها. وتظهر هذه الطبقات المائية سلوكاً هيدروديناميكياً متغيراً اعتماداً على خصائصها الصخرية(2003 ؛ONA). ويضم الحوض الشرقي للصحراء السفلى، الواقع بين مرتفعات المزاب وتضاريس الدهار، نظاماً مائياً يُعتبر بشكل عام مستقلا ً عن الحوض القاري البيني (غندوز وآخرون؛ 1992).



الشكل 11: الخريطة الجيولوجية للصحراء الشرقية الكبرى (بابا سي.م، 2005)

4.2.الطبقية الإقليمية لمنطقة وادي سوف خلال حقبة الحياة الوسطى (الميزوزويك)

استناداً إلى دراسات كورني (1964) وبيل (1968) ومقاطع الحفر المستخلصة من الآبار، تختلف أعماق الطوابق الجيولوجية من منطقة إلى أخرى. وبالاعتماد على سجلات حفر الألبيان التي أجرتها الوكالة الوطنية للموارد المائية (1993) في منطقة وادي سوف، نورد فيما يلي أهم الطبقات المتكررة في هذه المنطقة، مرتبة من الأقدم إلى الأحدث:

4.2.1.تكوينات حقبة الحياة الوسطى (الميزوزويك(OSS., 2003)

تتكون هذه الحقبة من عدة طبقات:

4.2.1.1.العصر الترياسي (من 248 إلى 213 مليون سنة مضت(

يُمثل الترياسي الطاغي، الذي يقع بشكل متنافر فوق تكوينات حقبة الحياة القديمة، بترسبات طينية رملية وبحيرية (ملح وأنهيدريت.)

4.2.1.2.العصر الجوراسي (من 213 إلى 144 مليون سنة مضت)

يتكون الجوراسي، المتطور على نطاق واسع في الإقليم الترياسي، من رسوبيات بحرية وبحيرية، ويبدأ بمستوى دولوميتي مميز ومنتشر، يُعرف باسم الأفق B.

4.2.1.3.العصر الطباشيري (من 144 إلى 65 مليون سنة مضت)

يتواجد الطباشيري في جميع أنحاء الرصيف الصحراوي، ويتضمن سحنات رملية طينية في القاعدة تتطور نحو قطب كربوني أساسي في الأعلى.

4.2.1.3.1. الطباشيري السفلي

4.2.1.3.1.1. الباريمي

يتم التقاط هذا الطابق بواسطة جميع آبار الحوض القاري البيني التي تم حفرها في هذه المنطقة؛ ويُظهر تتابعاً صخرياً من تناوب الأحجار الرملية مع مرور طبقات طينية وأحياناً تداخلات من الحجر الجيري الدولوميتي، كما توجد أيضاً رمال مع وجود صوان. ويبلغ متوسط سمك هذا الطابق حوالي 200 إلى 230 متراً.

4.2.1.3.1.2. الأبتي

يتكون هذا الطابق بشكل رئيسي من تكوينات دولوميتيةومارلية وطينية كلسية. ووفقاً للمقاطع الجيولوجية لآبار الحفر التي أجريت في المنطقة، فإن الأبتي هو الطابق الوحيد الذي لا يتجاوز سمكه 30 متراً.

4.2.1.3.1.3. الألبي

يتكون هذا الطابق من تناوب المارل والأحجار الرملية والرمال والحجر الجيري مع مرور طبقات من الصوان و الطين. ويتكون الحد السفلي من سقف طبقة الأبتي، بينما يتميز حده العلوي بظهور سحنات طينية كربونية. ووفقاً لمقاطع حفر آبار الألبيان، يتراوح سمك هذا الطابق من 100 إلى 150 متراً؛ وفي أماكن أخرى قد يصل إلى 200 متر.

4.2.1.3.1.4. الفراكوني

يُمثل هذا الطابق منطقة انتقالية بين الألبي الرملي والسينوماني الطيني الكربوني. ويتكون بشكل رئيسي من تناوب غير منتظم لطبقات طينية دولوميتية. كما تُظهر وجود طين رملي وطبقات نادرة من الحجر الرملي ذي الأ سمنت الكلسي. وفي منطقة الدراسة، يتراوح سمك هذا الطابق بين 250 و 300 متر. ونظراً لأهمية مستوياته الطينية، فإنه يشكل غطاءً مهماً للألبي. ويُلاحظ وجود تكوينات بحرية (حجر رملي كلسي مارل) تعكس وجود بيئة بحرية عميقة تمتد من الباريمي إلى الفراكوني.

4.2.1.3.2. الطباشيري الأوسط

4.2.1.3.2.1. السينوماني

أظهرت جميع الآبار التي تم حفرها في هذه المنطقة أن هذا الطابق يتكون من تناوب الدولوميت والحجر الجيري الدولوميتيوالماريالدولوميتي والطين والأنهيدريت. ويلعب هذا الطابق دور حاجز غير منفذ. أما بالنسبة لحدود هذا الطابق، فيمكن القول إن الحد السفلي يتميز بظهور المتبخراتوالدولوميت التي تميزه بوضوح، بينما يتميز الحد العلوي بظهور المتبخرات والحجر الجيري المطابق للحد السفلي للتوروني.

4.2.1.3.2.2. التوروني

يُمثل هذا الطابق قاعدة معقد المحطة الطرفية. ويتكون بشكل عام من صخور كربونية، تشمل أحجار جيرية دولوميتيةودولوميت دقيقة التبلور متراصة مع تداخلات من الأحجار الجيرية التورونية وأحياناً المارل. وتُظهر آبار الحفر في المنطقة بوضوح أن سمكه يختلف من مكان إلى آخر، وقد يتجاوز أحياناً 650 متراً.

4.2.1.3.3. الطباشيري العلوي

4.2.1.3.3.1. السينوني

تظهر معظم الدراسات الجيولوجية التي أجريت عبر الصحراء الجزائرية أن السينوني يتكون من مجموعتين مختلفتين تماماً من حيث السحنة: إحداهما تقابل السينوني البحيري الواقع في القاعدة، والأخرى تقابل السينوني الكربوني في الأعلى.

4.2.1.3.3.1.1. السينوني البحيري

يتميز الحد السفلي لهذا الطابق الفرعي بوضوح. ويتكون السينوني البحيري من سحنة متبخرة مع طين يسهل تمييزه عن طين التوروني. ويتكون أيضاً من الأنهيدريت والأحجار الجيرية الدولوميتية والطين، وخاصة طبقات الملح الصخري الضخمة التي يقارب سمكها 150 متراً. ويتزامن الحد العلوي لهذا التكوين مع سقف آخر تداخل للأ نهيدريت.(OSS., 2003)

4.2.1.3.3.1.2. السينوني الكربوني

يتكون هذا الطابق الفرعي الثاني من دولوميت وأحجار جيرية دولوميتية مع تداخلات من المارل الطيني، ويتكون الجزء الأكبر منه من أحجار جيرية متشققة. وقد يتجاوز سمكه أحياناً 300 متر. وتجدر الإشارة أيضاً إلى وجود استمرارية صخرية بين السينوني الكربوني والأيوسين السفلي، حيث يتكونان من أحجار جيرية ذات طبيعة مماثلة مع وجود النومولايت.

4.3. حقبة الحياة الحديثة (الثلاثي والرباعي) (بابا سي م.، 2005)

تتكون هذه الحقبة من طبقتين: الأيوسينوالميوبليوسين (جزء من معقد المحطة الطرفية)، بالإضافة إلى الرباعي.

4.3.1. الأيوسين

يتكون من رمال وطين، وأحياناً توجد جبس وحصى. وفي هذه المنطقة، يكون الأيوسينكربونياً في قاعدته (الأ يوسين السفلي)، بينما يتميز الجزء العلوي منه بطين من النوع البحيري (الأيوسين الأوسط). ويتراوح سمك هذا ا لأفق بين 150 و 200 متر.

4.3.2. الميوبليوسين (جزء من معقد المحطة الطرفية)

يستقر هذا الطابق بشكل متنافر على كل من حقبة الحياة الأولية من جهة، وعلى الطباشيري السفلي و التورونيوالسينومانيوالأيوسين من جهة أخرى، وينتمي إلى المجموعة المعروفة باسم معقد المحطة الطرفية .(C.T)وتظهر معظم مقاطع حفر الآبار التي تخترق هذا الأفق أن الميوبليوسين يتكون من تتابع لطبقات رملية وطينية رملية متناوبة مع تداخلات جبسية وطبقات من الحجر الرملي. وعلى امتداد الصحراء الشرقية، يفصل بيل وديمارجن هذا الأفق إلى 4 مستويات:

4.3.2.1. المستوى الطيني:

يتميز بسمكه القليل ويتواجد فقط في المنطقة الوسطى من الصحراء الشرقية. ويشكل طين قاعدة الميوبليوسين، إلى جانب طين الأيوسين البحيري، حاجزاً قليل النفاذية بين طبقات السينوني-الأيوسينالكربوناتية وطبقة البونتي الرملية.

4.3.2.2. المستوى الرملي الحجري:

يُعتبر الأكثر أهمية من الناحية الهيدروجيولوجية، ويحافظ سمكه على استقراره تقريباً على امتداد الصحراء

الشرقية. وفي قاعدته، توجد أحياناً حصى، بينما يصبح الجزء العلوي منه غنياً بالطين تدريجياً. ويُرتبط بهذا المستوى الأفق المائي الرئيسي لمعقد المحطة الطرفية.

4.3.2.3. المستوى الطيني:

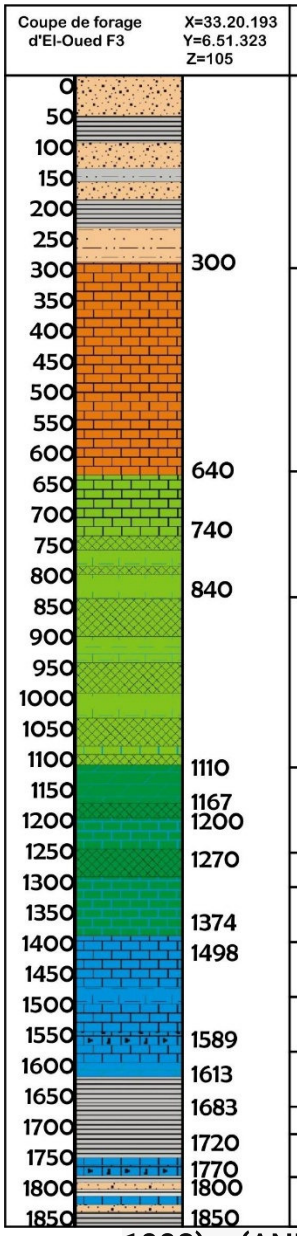
لا يمثل أهمية كبيرة من الناحية الهيدروجيولوجية، ويحتوي هذا المستوى على عدسات رملية قد تشكل المستوى الرابع (الرملي) للميوبليوسين.

4.3.2.4. المستوى الرملي:

يُمثل هذا المستوى الأفق المائي الثاني لمعقد المحطة الطرفية، ومن الناحية الهيدروجيولوجية، تظهر هذه المستويات الرملية أهمية كبيرة لأنها تتوافق تقريباً مع طبقة رمال معقد المحطة الطرفية. واستناداً إلى مقاطع حفر الآبار، يمتد هذا المستوى من الشمال إلى الجنوب، ويُلاحظ أن سمك الميوبليوسين المكون من الطين والرمل والحجر الجيري يتناقص من الشمال إلى الجنوب.

4.4. العصر الرباعي:

تُمثل هذه الطبقة بالكثبان الرملية الحديثة. وتوجد فيها أحجار رملية بيج أو بيضاء، ورمال ناعمة إلى متوسطة الحبيبات بلون البيج، بالإضافة إلى رقائق من الجبس. وتشكل التكوينات الرباعية الغطاء السطحي، وتتركز بشكل رئيسي في المناطق المنخفضة. وتغطي هذه التكوينات جزءاً كبيراً من الصحراء السفلى وتتكون من مواد طينية وهوائية. وعادة ما توجد الطبقات المائية الجوفية السطحية داخل هذه المستويات. ووفقاً لدراسة الظروف المناخية والتكوينات الجيومورفولوجية في هذه المنطقة، فإن عملية تكوين التربة ليست نشطة جداً بسبب قلة الأمطار والغطاء النباتي المحدود للغاية. وتتأثر عملية تكوين التربة بشدة بالطبيعة الصخرية للعناصر التحتية (الوكالة الوطنية للموارد المائية، 2009).



Description géologique	Etages
Alternance d'argile parfois sableuse et de sable hétérogène à intercalation de gypse	Mio-pliocène
Alternance de calcaire fissuré et de calcaire massif	Eocène
Alternance de marne gris- verdâtre et de calcaire gris, compact et dur ; Alternance de dolomie beige compact d'hanydrite blanche et de calcaire argileux	Sénonien Carbonaté
Anhydrite blanche, massive dure avec passage de dolomie gris claire et intercalation de calcaire	Sénonien Lagunaire
Dolomie beige microcristalline compacte, dure, avec passage de calcaire peu dolomitique	Turonien
Anhydrite massive et calcaire argileux à passages de marne	Cénomanien
Anhydrite avec passage de calcaire, de dolomie et de marne	
Anhydrite avec passage de calcaire, marne et dolomie avec intercalation d'argile	
Calcaire gris clair argileux à passage de dolomie compact, parfois microcristalline	Vraconien
Marne grise à passage d'argile gris-vert, intercalation de silex, à faible passage de grés calcaire	Albien
Dolomie, calcaire, marne	Aptien
Argile brune rouge à intercalations de grés	Barrémien
Grés, dolomie, calcaire et sable, intercalation de silex	

الشكل 12: العمود الطبقي للحفريات الموجودة في منطقة الوادي(ANRH) ., (1993)

لخلاصة (الجيولوجيا والهيدروجيولوجيا): إطار طبيعي لتوزيع المياه الجوفية

تمثل منطقة الوادي جزءاً من حوض رسوبي واسع في الصحراء الشمالية، يمتد على حوالي 780,000 كيلومتر مربع، ويتميز ببنية جيولوجية على شكل حوض سنكليني غير متماثل. ويتكون هذا الحوض من تتابع رسوبي متكامل يمتد من العصر الطباشيري السفلي وصولا ً إلى العصر الرباعي. وتشير الفوالق التكتونية في وسط المنطقة، خاصة في التكوينات الجبسية والطينية، إلى تأثير القوى الأرضية على البنية الجيولوجية.

ويتميز الأساس الصخري للمنطقة بطبقات غير منفذة من الجبس والطين، تعمل كحاجز طبيعي. وتستقر فوق هذا ا لأساس تكوينات فتاتية سطحية ذات نفاذية متفاوتة، تشكل الخزانات المائية الجوفية، والتي تتراوح طبيعتها بين الرملية والحجرية الرملية. وقد كشفت الدراسات الطبقية عن وجود تتابع من الطوابق الجيولوجية (الباريمي، الأ بتي، الألبي، الفراكوني، السينوماني، التوروني، السينوني، الأيوسين، الميوبليوسين)، حيث تلعب طبقتي السينومانيوالأيوسين دور الطبقات الكتيمة التي تحد من حركة المياه بين الخزانات المختلفة.

يتكون النظام الهيدروجيولوجي في منطقة الوادي من ثلاث طبقات مائية جوفية مترابطة: الطبقة الحرة (السطحية)، وطبقة معقد المحطة الطرفية (CT)، وطبقة الحوض القاري البيني (CI). وبينما اعتمدت الزراعة التقليدية في واحات النخيل تاريخياً على الطبقة السطحية، فإن الاستغلال المكثف لهذه الطبقة أدى إلى تحديات بيئية تستدعي تبني ممارسات أكثر استدامة. وفي الوقت الحاضر، تعد طبقتي معقد المحطة الطرفية والحوض القاري البيني ذات أهمية متزايدة في تلبية الطلب المتنامي على المياه نتيجة للنمو السكاني والتوسع الزراعي، وتشكلان أساساً لضمان استدامة إمدادات المياه في المنطقة على المدى الطويل. وفهم هذا الإطار الجيولوجي و الهيدروجيولوجي ضروري لتقييم

الفصل الثالث: الخصائص الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في بلدية الوادي

مقدمة:
يعد النظام المائي في وادي الوادي المصدر الرئيسي لتوفير مياه الشرب والري الزراعي، في سياق من الضغوطات المائية المتزايدة بفعل ندرة المياه السطحية وتناقص كميات الأمطار. إن انخفاض احتياطات هذا النظام يعد حقيقة لا يمكن إنكارها، وهو ما تؤكده الانخفاضات الكبيرة التي تم تسجيلها في مختلف مناطق المنطقة على مدار العشر سنوات الماضية. علاوة على ذلك، فقد تأثرت جودة هذه الموارد المائية وأصبحت تشكل حالياً مصدر قلق رئيسي لإدارة المياه وللسكان المحليين. وقد تجسد هذا التدهور في الجودة من خلال ارتفاع معدلات بعض العناصر الفيزيائية والكيميائية التي تتجاوز في بعض الأحيان المعايير الوطنية (المعايير الجزائرية) أو الدولية (معايير منظمة الصحة العالمية) المتعلقة بمياه الشرب. ويعد هذا التدهور في الجودة نتيجة لعدة عوامل، لا سيما تلك المتعلقة بتكثيف الأنشطة الزراعية واستخدام الأسمدة، وكذلك انتشار تصريفات المياه العادمة غير المعالجة و المكبات العشوائية.

قمنا بتنفيذ هذا المشروع بالتعاون مع **الوكالة الوطنية للحوض الهيدروغرافي للصحراء**، والذي يندرج ضمن إطار المراقبة المستمرة للمياه الجوفية في ولاية الوادي بشكل كامل. يهدف هذا المشروع إلى تحليل مستوى المياه الجوفية في المناطق المختلفة من ولاية الوادي، وخاصة في منطقة وادي سوف التي تم اختيارها كنموذج لدراسة توزيع المياه الجوفية في المنطقة الصحراوية.

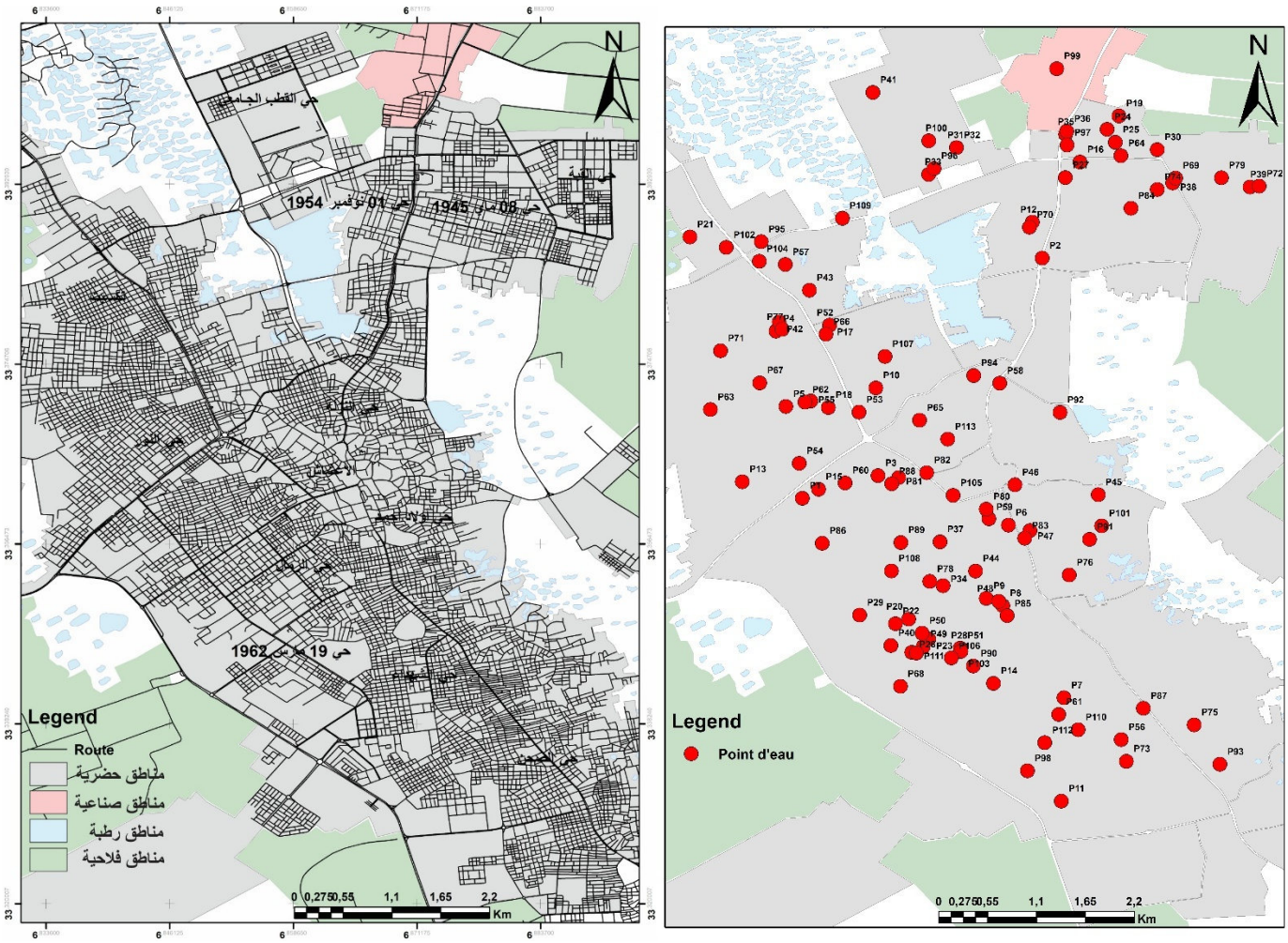
في هذا السياق، تم قياس **المستوى البيزومتري** للمياه الجوفية في كل منطقة من مناطق وادي سوف باستخدام ا لأجهزة المختصة لذلك. بالإضافة إلى ذلك، تم جمع **عدد من العينات** من المياه الجوفية في مختلف المواقع لإجراء تحاليل دقيقة للمواد والمركبات الكيميائية الموجودة في هذه المياه. تم إرسال هذه العينات إلى **مخبر وحدة تطوير الطاقات المتجددة** في **جامعة الوادي** و**مخبر الجزائرية للمياه** في ولاية الوادي لتحليل العناصر الكيميائية والمعدنية الثقيلة، والتي تشمل بشكل خاص **الرصاص** و**الكادميوم**، حيث تم تصنيفهما كعناصر شديدة السمية قد تؤثر على البيئة والصحة العامة.

ومع ذلك، عند تحليل نتائج القياسات الأولية، لاحظنا أن **جهاز القياس لنسبة المعادن الثقيلة في المياه** كان يعطي **نتائج غير منطقية** وغير متوافقة مع التوقعات العلمية. هذا دفعنا إلى الشك في دقة الجهاز، ومن ثم قمنا بإجراء **معايرة جديدة للجهاز** لضمان صحة القراءات والنتائج. رغم أن هذه المعايرة كانت ضرورية لإصلاح الأخطاء، فإننا **لم نتمكن من الاعتماد على النتائج الأولية** نظراً للأعطال التي تم اكتشافها في جهاز القياس.

وبالرغم من هذه التحديات، حاولنا جمع **عينات جديدة** من المياه لإجراء التحاليل اللازمة مرة أخرى. ومع ذلك، واجهنا **تأخيرًا** كبيرًا في العملية بسبب **نقص المنشطات الكيميائية الضرورية** لإتمام التفاعلات التحليلية في المختبر، مما حال دون إجراء التحاليل اللازمة وفقًا للمعايير المطلوبة. نتيجة لهذا، كان من المستحيل استكمال جميع التحاليل المخطط لها.

لذلك، وفي ضوء هذه المعوقات التقنية، قررنا أن نقتصر على **النتائج المتاحة** التي تم تحليلها في هذه المرحلة. هذه النتائج تُعرض وتُحلل في هذا التقرير، مع الأخذ بعين الاعتبار أن العوامل التقنية والتأخيرات التي واجهناها قد أثرت على اكتمال التحليل بشكل كامل.

بدأت **القياسات** وأخذ العينات في **منطقة وادي سوف** من **بداية شهر ماي** حتى **شهر جوان**، حيث تم تنفيذ عملية جمع العينات بشكل دوري في هذه الفترة لضمان تغطية شاملة لمختلف المناطق في وادي سوف.

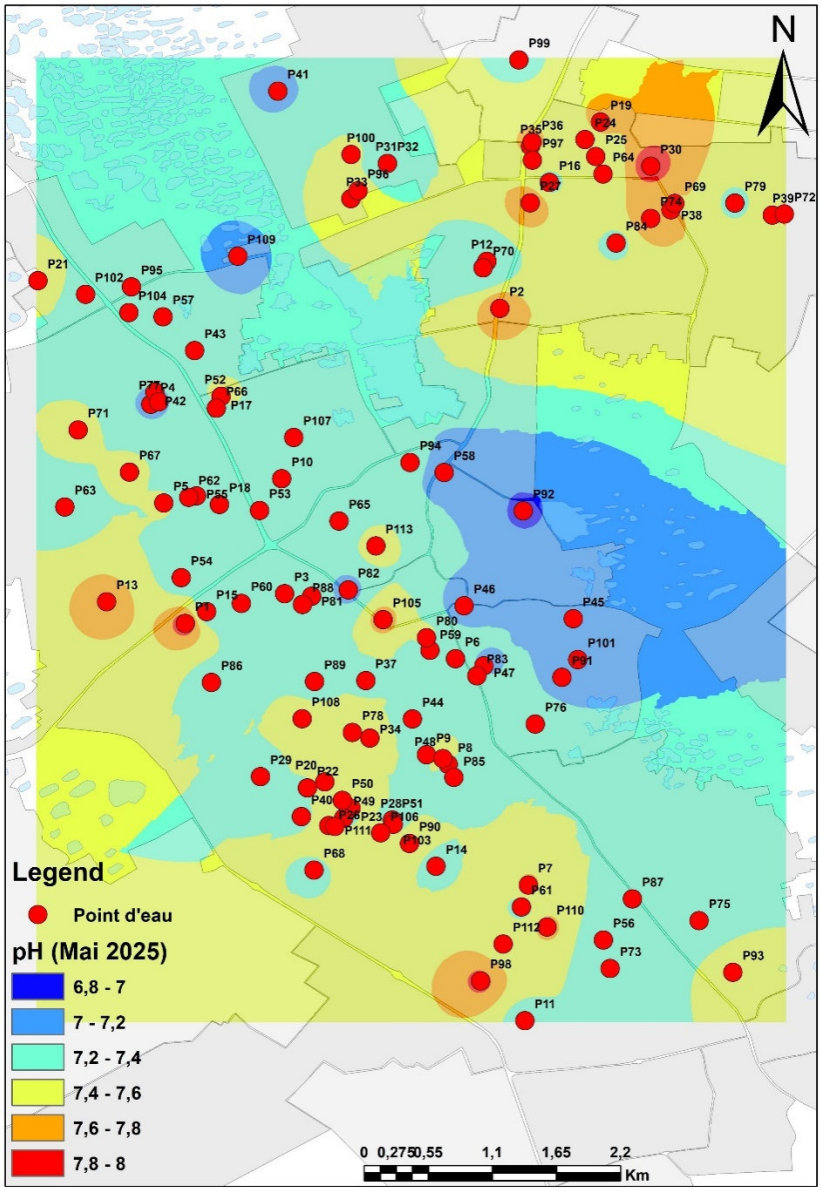


الشكل 13: المخطط الكتلي لبلدية الوادي و نقاط أخذ العينات

1- النتائج المتحصل عليها:

1-1 الرقم الهيدروجيني للماء:

يعد الرقم الهيدروجيني للماء من المعايير الحاسمة لتحديد درجة حموضته أو قاعديته. وفقًا لمنظمة الصحة العالمية، يجب أن يكون الرقم الهيدروجيني لمياه الشرب بين 6.5 و 8.5 لضمان سلامة وطعم الماء. إن أي تغيير خارج هذه النطاق قد يؤثر على طعم الماء وقد يؤدي إلى مشاكل في التآكل أو ترسب المعادن.



الشكل 14: الرقم الهيدروجيني لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025

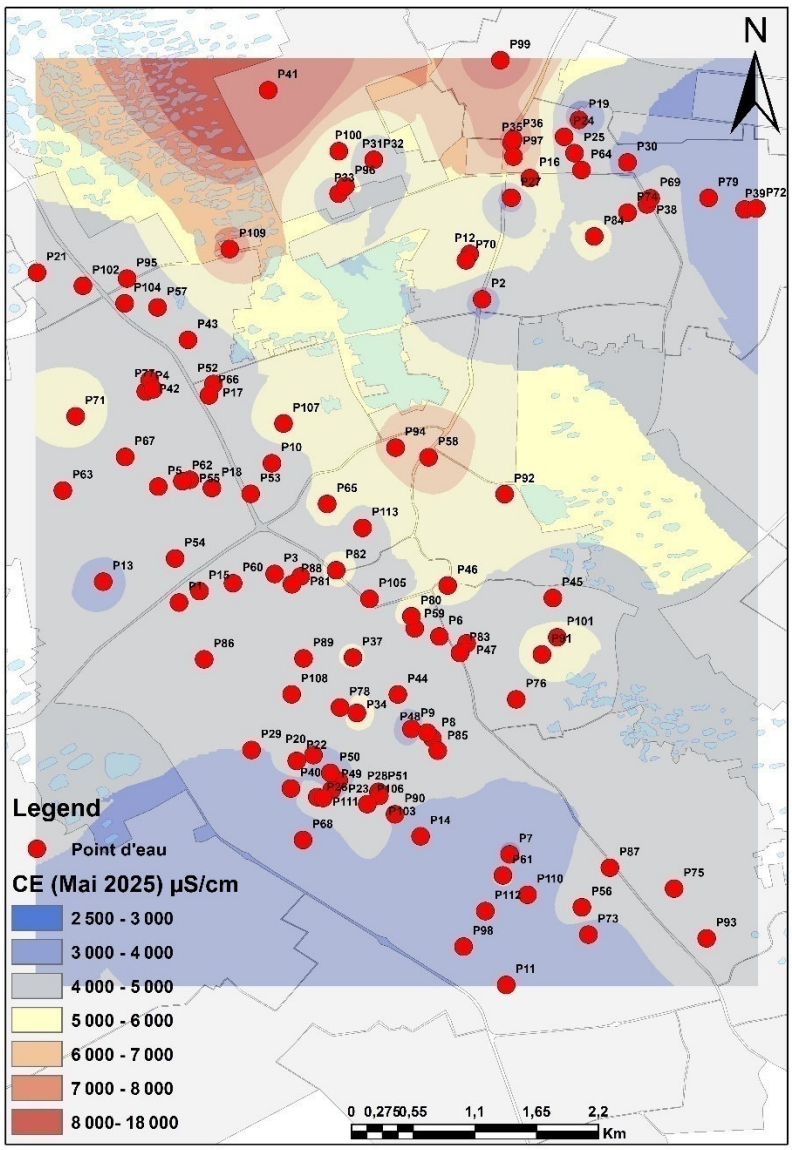
نتائج التحاليل:

- المتوسط: 7.38
- الحد الأدنى: 6.96
- الحد الأقصى: 8.06
- الانحراف المعياري: 0.22

التفسير:
القيم المقاسة للرقم الهيدروجيني تقع ضمن النطاق الموصى به من قبل منظمة الصحة العالمية، مما يشير إلى أن الماء يعد مناسباً للشرب ومستقراً كيميائيًا. لا يتطلب الأمر تدخلًا في هذا الصدد.

2-1 الموصلية الكهربائية:(CE)

تعد الموصلية الكهربائية مؤشرًا على وجود الأملاح الذائبة في الماء، مثل أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم و الصوديوم والبوتاسيوم. على الرغم من أن منظمة الصحة العالمية لا تحدد حدًا معينًا للموصلية الكهربائية، فإن الموصلية العالية قد تشير إلى تركيز مفرط للأملاح الذائبة، مما يؤثر على جودة وطعم الماء.



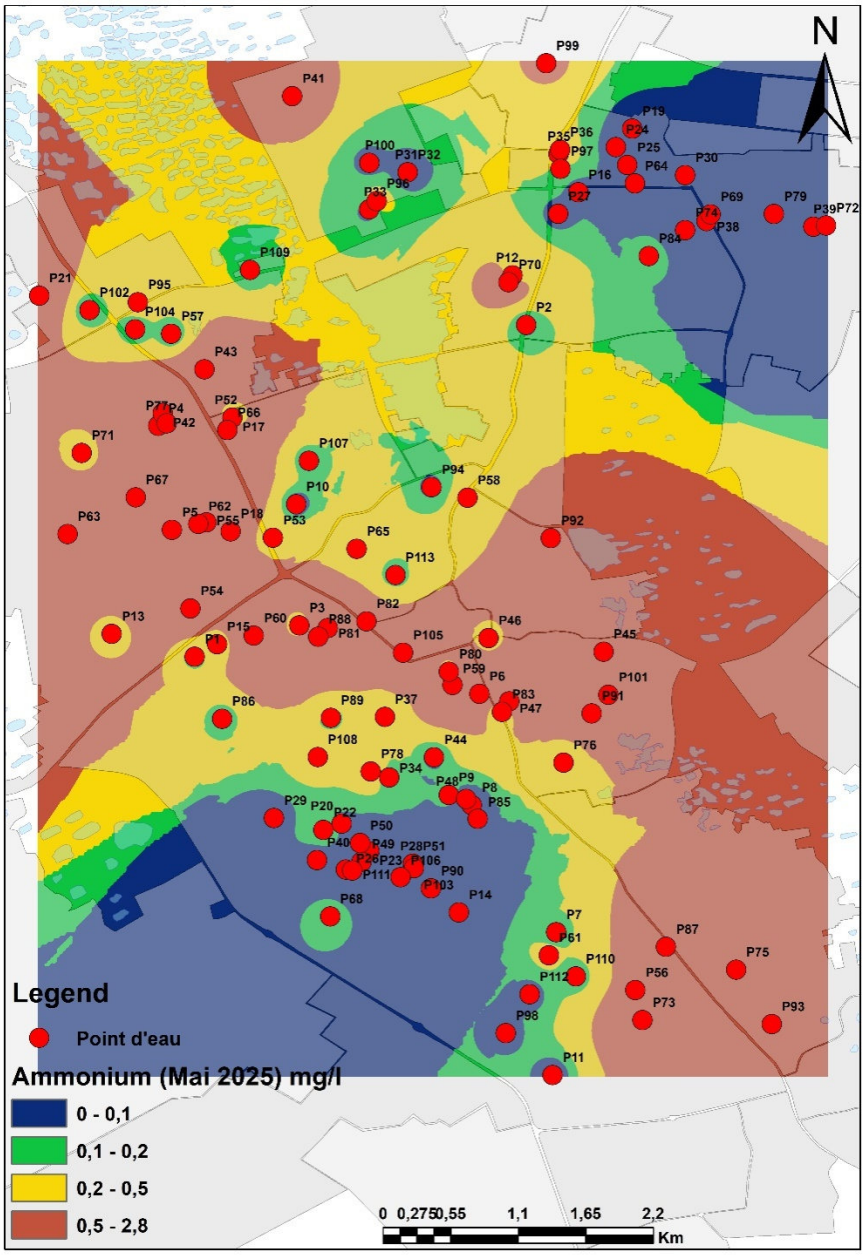
الشكل 15: الموصلية الكهربائية لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025

نتائج التحاليل:

- المتوسط: 4748.02 .
- الحد الأدنى: 2678.00
- الحد الأقصى: 18076.00
- الانحراف المعياري: 1721.34

التفسير:
تعد الموصلية الكهربائية المتوسطة مرتفعة نسبياً مقارنةً بالمعايير المعتادة لمياه الشرب، مما قد يشير إلى وجود تركيز عالٍ من الأملاح الذائبة. قد يؤثر هذا على ملوحة الماء، ومن الضروري متابعة المزيد من المعادن الذائبة لتقييم تأثيرها على جودة المياه.

3-1 الأمونيوم:
الأمونيوم (NH_4^+) هو ملوث شائع في المياه نتيجة للأنشطة الزراعية، خاصةً استخدام الأسمدة. توصي منظمة الصحة العالمية بتركيز أمونيوم أقل من 0.5 مجم/لتر لضمان سلامة المياه.



الشكل 16: الألمونيوم لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025

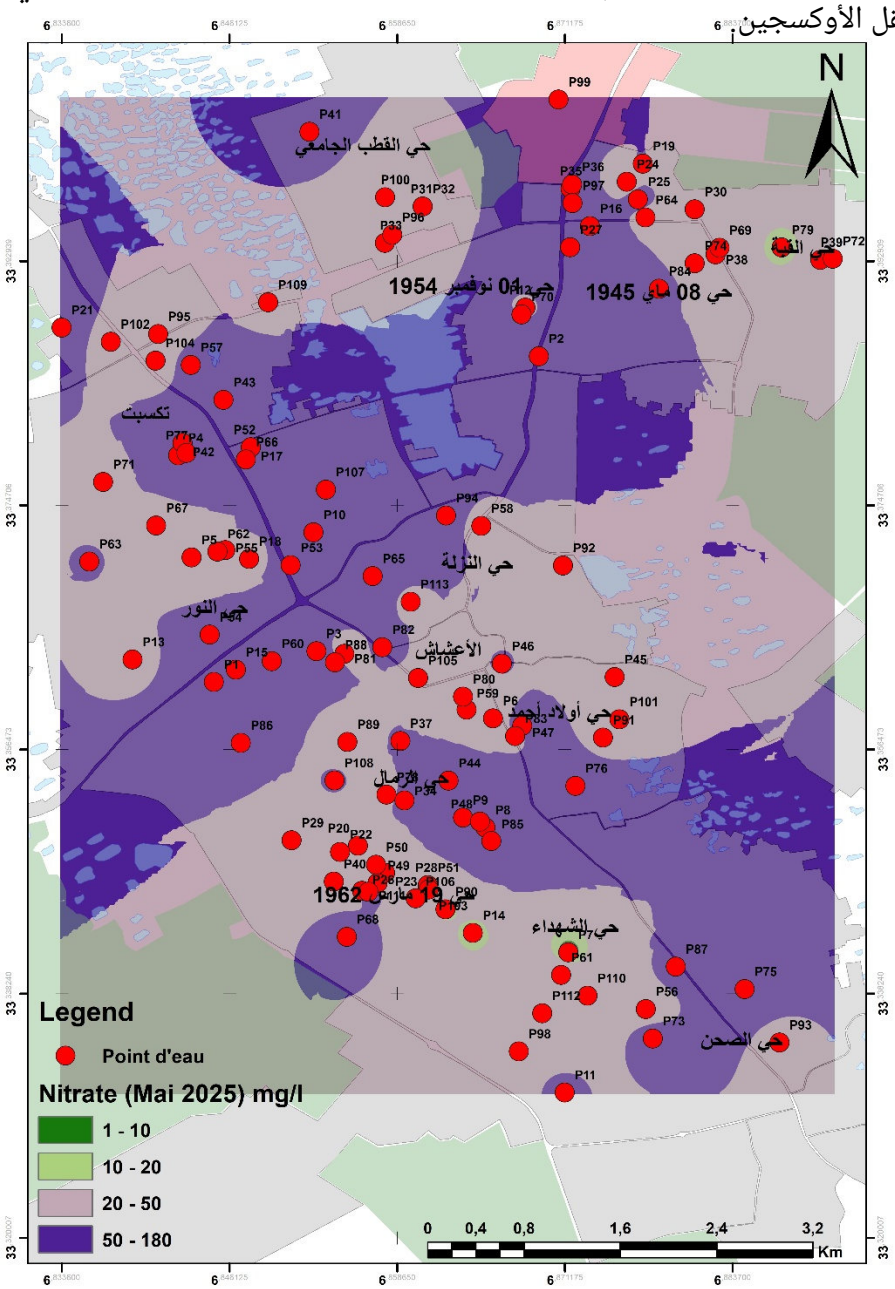
نتائج التحاليل:

- المتوسط: 0.44 مجم/لتر
- الحد الأدنى: 0.00 مجم/لتر
- الحد الأقصى: 2.85 مجم/لتر

- الانحراف المعياري: 0.63 مجم/لتر

التفسير:
تظهر النتائج أن التركيز المتوسط للأمونيوم يقع تحت الحد الموصى به من قبل منظمة الصحة العالمية. ومع ذلك، فإن بعض النقاط تظهر قيمًا مرتفعة تصل إلى 2.85 مجم/لتر، مما يتطلب مراقبة منتظمة لتجنب أي تلوث مستقبلي.

4-1 النترات:
النترات (NO_3^-) توجد في المياه نتيجة لاستخدام الأسمدة الكيميائية والأنشطة الزراعية الأخرى. توصي منظمة الصحة العالمية بحد أقصى قدره 50 مجم/لتر للنترات لتجنب مخاطر الميثيموغلوبينيميا، وهي حالة تؤثر على قدرة الدم على نقل الأوكسجين.



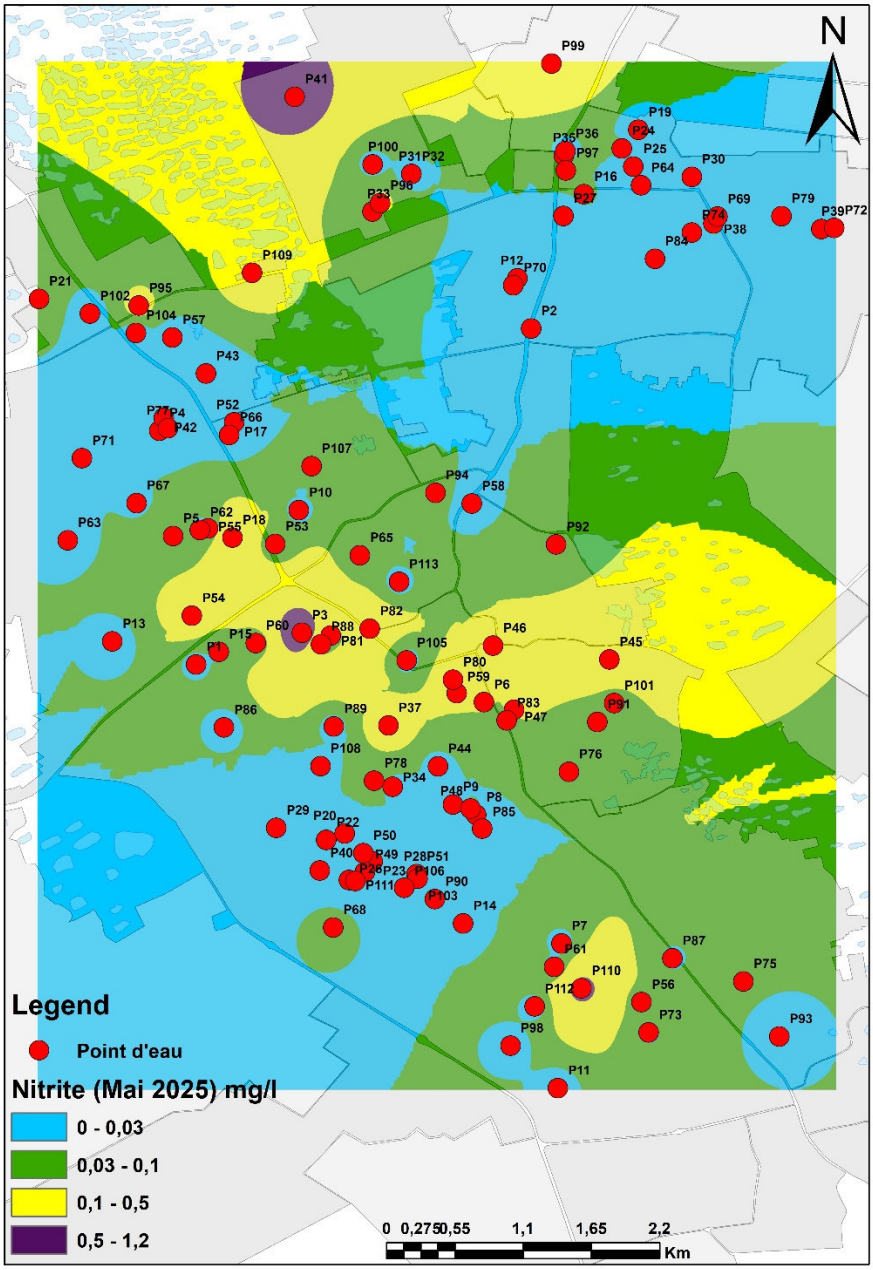
الشكل 17: النتراتلمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025

نتائج التحاليل:

- المتوسط: 52.04 مجم/لتر
- الحد الأدنى: 0.77 مجم/لتر
- الحد الأقصى: 180.40 مجم/لتر
- الانحراف المعياري: 29.86 مجم/لتر

التفسير:
تعد التركيزات المتوسطة للنترات أعلى قليلا ً من الحد الموصى به من قبل منظمة الصحة العالمية، مما يشير إلى أن جزءًا من الماء قد يمثل خطرًا صحيًا، خاصةً بالنسبة للأطفال الرضع. أما التركيزات القصوى التي تصل إلى 180.4 مجم/لتر فهي أعلى بكثير من المعيار، وتحتاج إلى اهتمام فوري.

5-1 النيتريت:
قد تنشأ النيتريت (NO_2^-) في المياه نتيجة لتحلل الأمونيوم أو النيتروجين العضوي، ويمكن أن تكون سامة عند تركيزات مرتفعة. تحدد منظمة الصحة العالمية حدًا أقصى قدره 1 مجم/لتر للنيتريت في مياه الشرب من أجل الوقاية من المخاطر الصحية، خاصة للأطفال الرضع.



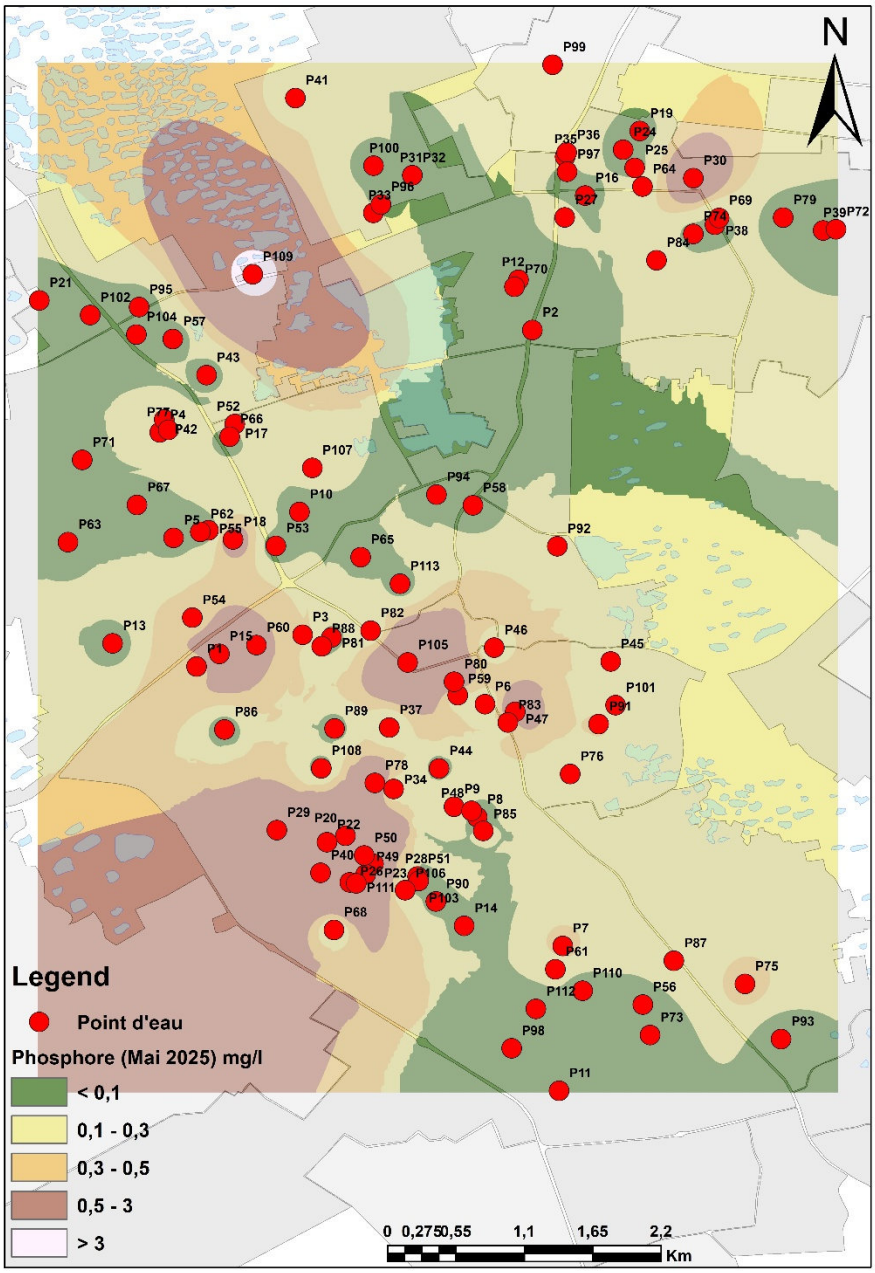
الشكل 18: نتريت لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025

نتائج التحاليل:

- المتوسط: 0.06 مجم/لتر
- الحد الأدنى: 0.00 مجم/لتر
- الحد الأقصى: 1.21 مجم/لتر
- الانحراف المعياري: 0.17 مجم/لتر

التفسير:
تعد مستويات النيتريت المقاسة أقل بكثير من الحد الحرج لمنظمة الصحة العالمية، مما يعني أن المياه تعتبر آمنة من حيث هذا المعامل. ومع ذلك، من المهم الحفاظ على متابعة مستمرة لتجنب أي تركيزات مفرطة في المستقبل.

6-1 الفوسفات:
تعد الفوسفات (PO_4^{3-})عادةً من مكونات الأسمدة الزراعية وقد تؤدي إلى التخصيب الزائد للموارد المائية. ورغم أن منظمة الصحة العالمية لا تحدد حدًا معينًا للفوسفات، يجب تقليل وجودها إلى أدنى حد ممكن لتجنب الآثار السلبية على النظم البيئية المائية.



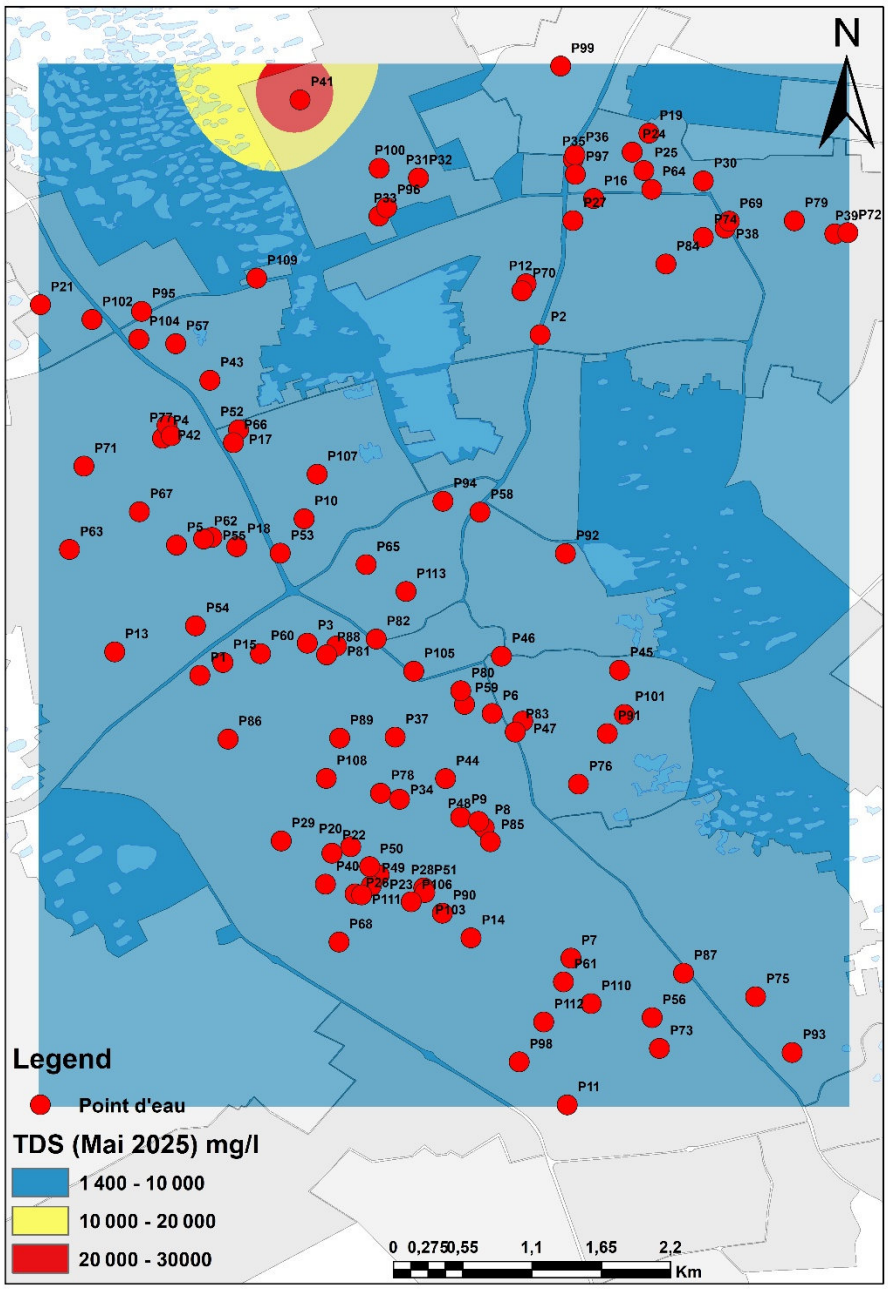
الشكل 19: الفوسفات لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025

نتائج التحاليل:

- المتوسط: 0.28 مجم/لتر
- الحد الأدنى: 0.00 مجم/لتر
- الحد الأقصى: 3.95 مجم/لتر
- الانحراف المعياري: 0.66 مجم/لتر

التفسير:
تعد مستويات الفوسفات منخفضة نسبيًا، مع تركيز متوسط يبلغ 0.28 مجم/لتر. ويبدو أن هذا مقبول من حيث جودة المياه الصالحة للشرب، رغم أنه من الضروري مراقبة النقاط التي قد تظهر فيها تركيزات مرتفعة.

7-1 المواد الصلبة الذائبة الكلية(TDS)
تقيس المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) الكمية الإجمالية للمواد الذائبة في الماء. توصي منظمة الصحة العالمية بأن تحتوي مياه الشرب على TDS أقل من 1000 مجم/لتر لضمان جودة جيدة وطعم مقبول.



الشكل 20: المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) لمياه الطبقة السطحية لبلدية الوادي في ماي 2025

نتائج التحاليل:

- المتوسط: 3197.67 مجم/لتر
- الحد الأدنى: 1424.00 مجم/لتر
- الحد الأقصى: 28243.00 مجم/لتر
- الانحراف المعياري: 2512.82 مجم/لتر

التفسير:
تعد قيم TDS أعلى بكثير من الحد الموصى به البالغ 1000 مجم/لتر من قبل منظمة الصحة العالمية. وهذا يشير إلى أن الماء يحتوي على تركيز مرتفع من المواد الصلبة الذائبة، مما قد يؤثر على طعمه وجودته العامة.

8-1 درجة الحرارة:

يمكن أن تؤثر درجة حرارة الماء على جودته الميكروبيولوجية والكيميائية. وعلى الرغم من عدم وجود معيار محدد لدرجة حرارة مياه الشرب، فإن الماء الذي تتجاوز درجة حرارته 30 درجة مئوية قد يكون غير مريح للشرب.

نتائج التحاليل:

- المتوسط: 21.23 درجة مئوية
- الحد الأدنى: 12.80 درجة مئوية
- الحد الأقصى: 29.80 درجة مئوية
- الانحراف المعياري: 3.56 درجة مئوية

التفسير:
تعد درجات الحرارة المقاسة ضمن نطاق مقبول ولا تشكل مشكلة من حيث جودة المياه. يبدو أن الماء في درجة حرارة مريحة للشرب.

الخلاصة:

تظهر تحليلات المعايير المائية أن بعض المعايير (مثل الرقم الهيدروجيني، النيتريت، الفوسفات، والأمونيوم) تلتزم بالمعايير المحددة من قبل منظمة الصحة العالمية، في حين أن معايير أخرى، مثل النترات والمواد الصلبة الذائبة الكلية، تتجاوز الحدود الموصى بها. تشكل هذه التجاوزات مبررًا لمتابعة مستمرة واتخاذ إجراءات لتحسين جودة المياه، خاصة في المناطق التي تكون فيها تركيزات النترات و TDSمرتفعة.

2- مؤشرات التلوث البيئي:
مؤشرات التلوث البيئي هي أدوات قياس تهدف إلى تقييم حالة البيئة من حيث التلوث وتحديد مدى تأثيره على الموارد الطبيعية وصحة الإنسان. تتعدد مؤشرات التلوث وتختلف حسب نوع الملوثات والمجالات التي يتم قياسها، مثل التلوث الهوائي، المائي، والضوضائي. من أبرز هذه المؤشرات هي **مؤشرات جودة المياه**، التي تعتبر من الأدوات الأساسية لتقييم تلوث المياه وجودتها، ومدى صلاحيتها للاستخدامات المختلفة مثل الشرب، الري، وصيد الأسماك. تعتمد هذه المؤشرات على قياس مجموعة من المعايير الفيزيائية، الكيميائية، والبيولوجية في المياه، مثل درجة الحموضة(pH) ، الموصلية الكهربائية، الأوكسجين المذاب، والنترات، وغيرها.

3- مؤشر جودة المياه(WQI)

يعد **مؤشر جودة المياه(Water Quality Index - WQI)** أداة شاملة لتقييم حالة المياه في الأجسام المائية المختلفة (مثل الأنهار، البحيرات، الأحواض المائية) بناءً على مجموعة من المعايير الفيزيائية، الكيميائية، و البيولوجية. يُستخدم هذا المؤشر لتوفير تقدير موحد لجودة المياه في شكل رقم واحد يمكن أن يعكس مستوى التلوث والملائمة البيئية للمياه.

1-3 المكونات الرئيسية لمؤشر جودة المياه:(WQI)

يعتمد **WQI**على عدة معايير بيئية تقيس تلوث المياه وتشمل:

1. **درجة الحموضة:(pH)**
تُحدد درجة الحموضة مدى حموضة أو قاعدية المياه. يعد **pH**من المعايير المهمة لأن التغيرات في هذه القيمة يمكن أن تؤثر على الكائنات الحية في الماء.
2. **الأوكسجين المذاب:(DO)**
يُعد الأوكسجين المذاب مؤشرًا حيويًا على صحة النظام البيئي المائي. يقلل نقص الأوكسجين من قدرة الكائنات المائية على البقاء والنمو.
3. **المواد الصلبة الذائبة الكلية:(TDS)**
تُمثل المواد الصلبة الذائبة الكلية تركيز المواد غير العضوية والعضوية المذابة في المياه. يُعتبر هذا المؤشر مؤشراً على كمية الأملاح والمعادن في المياه.
4. **النترات:(NO_3^-)**
النترات هي ملوث رئيسي ينتج عن الأنشطة الزراعية. تشير تركيزات النترات المرتفعة إلى تلوث المياه ب المغذيات، مما يؤدي إلى مشاكل مثل نمو الطحالب والحد من الأوكسجين.
5. **الفسفور:(PO_4^{3-})**
يعد الفسفور أحد العناصر المغذية الهامة التي تساهم في التحفيز الزائد لنمو الطحالب في المسطحات المائية، وهو ما يؤدي إلى ظاهرة التخصيب المفرط.(eutrophication)
6. **التركيزات الكيميائية السامة:**
مثل المعادن الثقيلة (مثل الرصاص والزئبق والكادميوم)، التي يمكن أن تضر بالحياة البرية والإنسان.

2-3 كيفية حساب:WQI

حساب مؤشر جودة المياه (WQI):

$Wp = Rw / (\sum Rw)$ ……(1)؛

حيث:

WP: وزن كل معلم.

Rw: الوزن النسبي لكل معلم.

$Sc = Ci / Si$ ……(2)؛

حيث:

Sc: حالة التركيز لكل معلم.

Ci: تمثل تركيز كل معلم (قيمة المعلم التي تم قياسها في المختبر أو في الموقع بوحدات mg/l).

Si: الحد المسموح به لكل معلم حسب معايير منظمة الصحة العالمية.

$Sli = \sum Wp \times Sc$ ……(3)؛

$WQI = \sum Sli$ ……(4)؛

مراقبة الجودة:يسمح WQI بإجراء مراقبة مستمرة لجودة المياه ويساعد في تحديد المناطق التي تحتاج إلى تدخلات لتحسين جودة المياه.

إدارة الموارد المائية:يساعد هذا المؤشر الحكومات والوكالات البيئية في وضع استراتيجيات لإدارة وحماية الموارد المائية من التلوث.

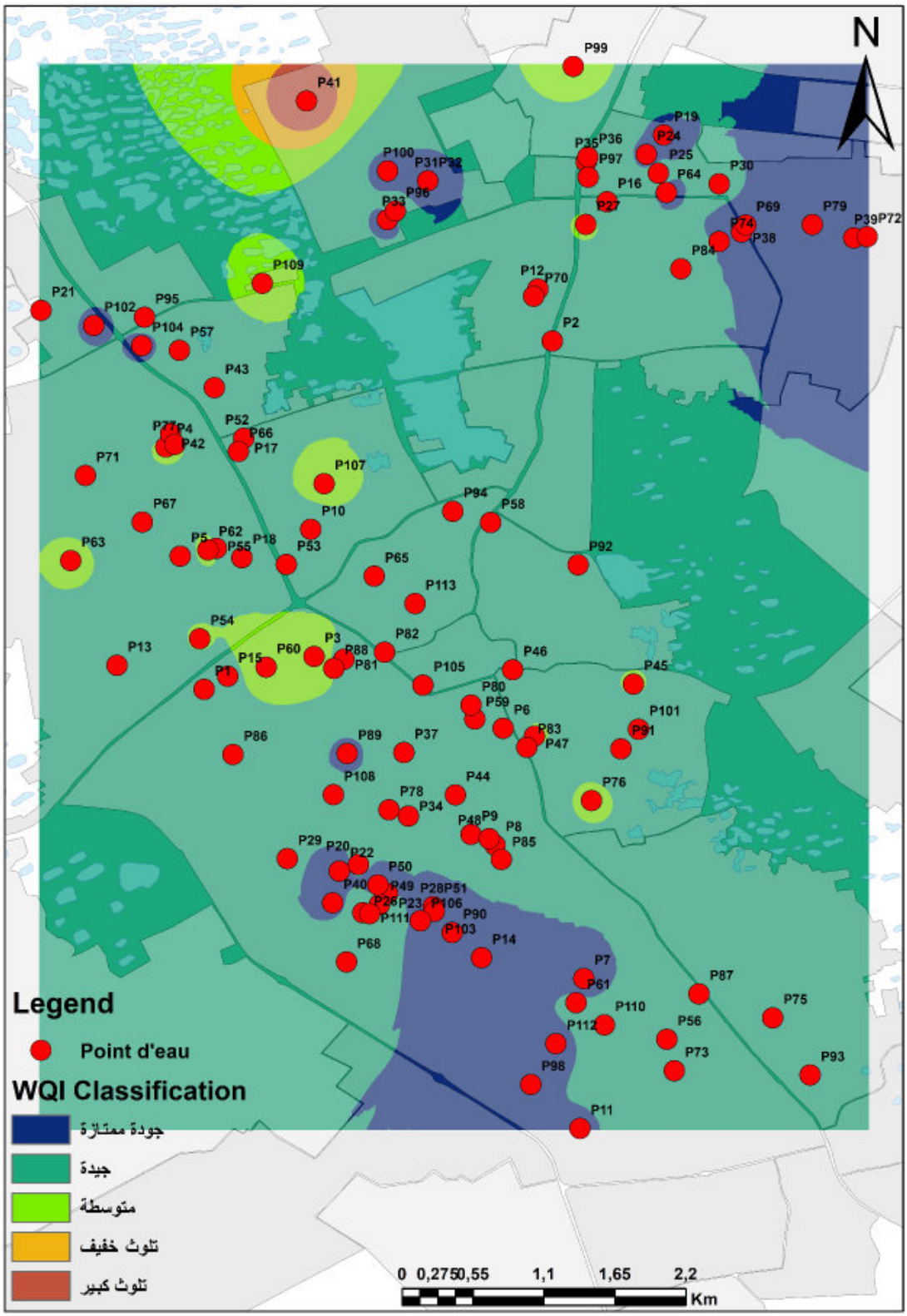
سهولة الاستخدام:يتميز WQI بسهولة تفسيره واستخدامه من قبل المسؤولين والباحثين والمجتمع المحلي. فهو يقدم تقييمًا عامًا للمياه في شكل بسيط ومفهوم.

3-3 التطبيقات العملية لـ:WQI

- **التخطيط البيئي:**يُستخدم WQI لتحديد مستويات التلوث في الأنهار أو البحيرات وتحديد مناطق التدخل.
- **إدارة الموارد المائية:**يساعد في وضع سياسات لتنظيم استهلاك المياه وحمايتها من التلوث.
- **مراقبة تأثير الأنشطة البشرية:**مثل الزراعة والصناعة، على جودة المياه.

- **تحقيق أهداف التنمية المستدامة:**حيث يعد WQI أحد الأدوات التي يمكن استخدامها لتحقيق أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة المتعلقة بالمياه.

يعتبر **WQI**أداة حيوية وشاملة في مجال تقييم جودة المياه. من خلال دمج المعايير المختلفة في مؤشر واحد، يقدم **WQI**تقييمًا سريعًا وموحدًا لجودة المياه، مما يساعد في اتخاذ قرارات مبنية على بيانات علمية دقيقة لحماية البيئة والموارد المائية.



الشكل 21: مؤشر جودة المياه(WQI) لبلدية الوادي في ماي 2025

حسب خريطة مؤشر جودة المياه (WQI) لبلدية الوادي يظهر تباين في جودة المياه إذ أن في المنطقة الجنوبية و الشمالية الشرقية أعطت نتائج التحليل جودة مياه ممتازة، و 80% من مساحة منطقة الدراسة ذو جودة جيدة مع استثناء النقطة P41 بشمال منطقة الدراسة و التي أعطت مؤشر لتلوث كبير و الذي رأيناه في كل خرائط توزيع العناصر الكيميائية بتجاوزها قيمة المعدل المسموح به، و الذي تأكدنا منه بعد زيارتنا موقع النقطة P41 بأنها كانت مكب مؤقت للنفايات المنزلية و بقايا البنايات قبل ردمها كليا.

خلاصة

في هذا الفصل، تم تقديم طريقة التحليل باستخدام برنامج ArcGIS. ArcGIS هي أداة قوية للتحليل المكاني، حيث تقدم مساعدة قيمة في تحليل مشاكل تلوث المياه. استخدام التحليلات الإحصائية، وهي تحليل المكونات الرئيسية، والذي يعطينا فكرة عن مصدر التلوث بتسرب النفط عن طريق دراسة الارتباطات الموجودة بين أنواع المعلمات المختلفة. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن مستوى النترات والنتريت (NO_2^- و NO_3^-) في مياه طبقة المياه الجوفية المفتوحة أعلى بشكل عام من المعيار الموصى به من قبل منظمة الصحة العالمية على مستوى منطقة الدراسة. وتشير نتائج دراستنا إلى أن وجود المعادن الثقيلة (الرصاص) يتجاوز معايير مياه الشرب الجزائرية في منطقة بلدية الوادي، مما يشير إلى وضع مقلق فيما يتعلق بجودة المياه ووجود تسرب هيدروكربوني في منسوب المياه الجوفية.

الحلول هي

أولا ً: الوقاية المتعلقة بالبنية التحتية لحفر الآبار والتخزين

تحدث معظم حوادث تلوث المياه الجوفية نتيجة لخلل في عزل الآبار أو تسرب من مرافق التخزين السطحية.

المعايير الصارمة لحفر آبار النفط والغاز:

العزل المزدوج (Double Casing): إلزام شركات النفط والغاز باستخدام طبقات متعددة من أنابيب التغليف و التدعيم الأسمنتي (Casing and Cementing) لعزل طبقات المياه الجوفية تمامًا عن عمود البئر الذي يحمل النفط والغاز.

اختبار سلامة الأسمنت: إجراء اختبارات ضغط صارمة للتأكد من أن الأسمنت الذي يحيط بالأنابيب قد جف وتصلب بشكل صحيح، ولا يوجد به أي مسارات يمكن أن يتسرب منها النفط إلى طبقات المياه الجوفية.

تحديد عمق المياه الجوفية: إجراء مسح هيدروجيولوجي دقيق لكل موقع حفر لتحديد عمق ومستوى المياه الجوفية لتجنب تلوثها أثناء الحفر أو التشغيل.

حماية خزانات التخزين السطحية:

نظام الاحتواء الثانوي: إلزام جميع مرافق التخزين (صهاريج التخزين، محطات الضخ) بإنشاء جدار احتواء خرساني أو حوض ترابي (Dike/Berm) حول الخزانات، يكون قادرًا على احتواء 110% من سعة أكبر خزان على الأقل.

التبطين غير المنفذ: تبطين أرضية أحواض الاحتواء بمادة غير منفذة (كأغشية البوليمر عالية الكثافة HDPE) لمنع أي تسرب صغير داخل الحوض من الوصول إلى التربة والمياه الجوفية.

⚙ ثانيا: الوقاية المتعلقة بالعمليات والإدارة

تتركز هذه الحلول على التحكم في الملوثات الرئيسية الناتجة عن عمليات الاستكشاف والإنتاج:

إدارة سوائل الحفر و"الطين" (Drilling Muds):

المعالجة الفورية: يجب أن يتم جمع سوائل الحفر (التي تحتوي غالبًا على هيدروكربونات وزيوت) في خزانات أو برك مبطنة بشكل صارم، ومن ثم معالجتها خارج الموقع في منشآت مرخصة، وعدم التخلص منها في الموقع.

استخدام سوائل حفر مائية: يفضل استخدام سوائل حفر تعتمد على الماء بدلا ً من الزيت حيثما أمكن لتقليل المخاطر البيئية.

إدارة المياه المنتجة (Produced Water) - حجر الزاوية:

سياسة "الصفر تصريف": المياه المنتجة من الآبار غالبًا ما تكون مالحة وتحتوي على كميات من النفط. يجب تطبيق سياسة منع تصريف هذه المياه على السطح نهائيًا.

إعادة الحقن العميق (Deep Well Injection): يجب معالجة هذه المياه ثم إعادة حقنها في طبقات جيولوجية عميقة جدًا وغير مستغلة للمياه الجوفية، أو استخدامها لتعزيز استخلاص النفط.

مراقبة التآكل وصيانة الأنابيب:

الحماية الكاثودية (Cathodic Protection): تطبيق أنظمة متطورة للحماية الكاثودية على جميع خطوط الأ نابيب تحت الأرض لمنع التآكل والصدأ، وهما السببان الرئيسيان لتسرب الأنابيب.

فحص الأنابيب (Pigging): الفحص الدوري لسلامة خطوط الأنابيب بواسطة أجهزة فحص ذكية (PIGs) للكشف عن أي نقاط ضعف قبل حدوث التسرب.

ثالثاً: الاستجابة السريعة ورصد المياه الجوفية

السرعة في الكشف والاحتواء هي العامل الحاسم لتقليل الضرر:

إنشاء آبار رصد بيئي: حفر آبار مراقبة (Monitoring Wells) في المواقع الحساسة وحول المنشآت النفطية للكشف عن أي وجود للهيدروكربونات في المياه الجوفية في مرحلة مبكرة جدًا قبل انتشار التلوث.

خطط استجابة للطوارئ: تطوير وتدريب فرق استجابة محلية على خطط محددة للتعامل مع تسربات المياه الجوفية، بما في ذلك تقنيات الاستخلاص السريع للنفط الطافي (Free-Product Recovery) داخل الآبار.

التوعية البيئية:

رفع الوعي البيئي بخطورة التلوث الهيدروكربوني وأثره على الصحة والبيئة.

المعالجة الحيوية الوقائية (Bio-augmentation):

في بعض الأحيان، يتم استخدام الكائنات الدقيقة المحللة للهيدروكربونات (البكتيريا الفطرية) بشكل استباقي في التربة المحيطة بالمنشآت أو الخزانات لزيادة قدرة التربة على تحليل أي تسرب بسيط أو غير مرئي قبل أن يتراكم.

الخاتمة العامة:

تم دمج منطقة الدراسة، وهي جزء من ولاية الوادي وتمتد على حوالي 500 كيلومتر مربع والتي تتميز بالكثبان الرملية التي يتراوح ارتفاعها بين 64 مترا و100 متر. تتكون هذه المنطقة بشكل أساسي من كتل الكثبان الرملية ، والمناطق الحضرية ، والغوط ، والمناطق الزراعية المروية والمسطحات المائية. ينعكس مناخها الصحراوي في فصول الشتاء الدافئة وتوازن المياه الذي يشير إلى إعادة شحن ضئيلة عن طريق هطول الأمطار .منطقة الدراسة هي جزء من حوض الصحراء الشمالية الرسوبي. أصبح تلوث المياه الجوفية مشكلة رئيسية في البلدان النامية، وخاصة في منطقة دراستنا في الوادي. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم جودة المياه في منطقة سوف وتعرضها لتأثيرات تسرب الهيدروكربونات. وهكذا، تم إجراء تحليل متعمق للتركيب الفيزيائي والكيميائي و الكيميائي الحيوي والمعدني باستخدام مطياف الامتصاص الذري للهب. كشفت النتائج عن تركيزات عالية من الرصاص (Pb) والنترات والنتريت (مؤشرات التلوث) في بلدية الوادي .تسلط هذه الدراسة الضوء على الرصاص باعتباره المصدر الرئيسي للتلوث في بلدية الوادي. الرصاص، أحد أخطر المعادن الثقيلة، ليس ضروريا لعمليات الحياة ولكن له سمية طويلة الأمد للجسم. في هذه المنطقة، من الواضح أن جودة المياه تمثل تحديا كبيرا، وتتطلب معايير صارمة لضمان صلاحيتها للشرب وفقا للمعايير الدولية قبل التوزيع، خاصة للاستهلاك البشري.

1. ANRH. (2019). *الموارد المائية لولاية الوادي*
2. Baba Sy, M. (2005). *إعادة شحن وإعادة الشحن القديمة لنظام المياه الجوفية في الصحراء الشمالية*. [أطروحة دكتوراه، جامعة تونس المنار، تونس].
3. Beggas, Y. (1992). *مساهمة في الدراسة البيولوجية البيئية لمجتمعات الحشرات في منطقة الوادي – النظام الغذائي لـ Ochrilidiatibilis*. [مذكرة مهندس زراعي، المعهد الوطني للزراعة بالحراش].
4. Belhaj, A. (2001). *الأوبئة ذات الأصل المائي في العالم*. [ملخص فني، مركز ENGREF في مونبلييه ومنظمة OIE في ليموج].
5. Besbes, M., & Jarraya, H.F. (2007). تعريف شبكة لمراقبة مستويات المياه لنظام المياه الجوفية في الصحراء الشمالية. *الجفاف*، *18*(1)، 13-22.
6. Betta, B., & Ghania, F. (2020). *توصيف المعايير الهيدرولوجية لتحديد تطور محتوى النترات في المياه الجوفية لبلدية الوادي*. [رسالة ماجستير، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي].
7. Boschet, A.F. (2002). الموارد المائية والصحة في أوروبا. *المجلة الأوروبية للهيدرولوجيا*، *33*(1)، 33-39.
8. Burford, M.A., Costanzo, S.D., Dennison, W.C., et al. (2003). ملخص للعمليات الإيكولوجية السائدة في مزارع الروبيان المكثفة والبيئات الساحلية المجاورة في شمال شرق أستراليا. *نشرة التلوث البحري*، *46*، 1456–1469.
9. Chaden, M.H. (2014). *تقييم جودة المياه في الحوض العلوي لنهر الليطاني، لبنان: مقاربة هيدروكيميائية*. [أطروحة دكتوراه، جامعة لورين].
10. Cornet, A. (1964). مقدمة في الهيدروجيولوجيا الصحراوية. *المجلة الفيزيائية والجيولوجيا الديناميكية*، *6*(1)، 5-72.
11. Cote, M. (1998). واحات مريضة بسبب كثرة المياه. *الجفاف*، *9*(2)، 123-130.
12. De Burbure, C., Buchet, J-P., Leroyer, A., et al. (2005). الآثار الكلوية والعصبية للكادميوم، الرصاص، الزئبق، والزرنيخ لدى الأطفال: أدلة على الآثار المبكرة والتفاعلات المتعددة في مستويات التعرض البيئي. *آفاق الصحة البيئية*، *114*، 584–590.
13. DHW. (2010). *دراسة حول الاستغلال والاحتياجات في المياه الصالحة للشرب بولاية الوادي*.
14. DSA. (2021).
15. بكل تأكيد، إليك ترجمة قائمة المراجع إلى اللغة العربية مع الحفاظ على أسماء المؤلفين كما هي.
16. ---

20 DPS: 2017) .(مديرية التخطيط والإحصاء).
21 DPSB: 2023) .(مديرية البرمجة والمتابعة الميزانية).

17. Faurie C., Ferra C., et Medori P., 1980 : *علم البيئة*. 168 ص. دار النشر: بايبار، باريس.
18. Fetter, C.W. (2001). "*الهيدروجيولوجيا التطبيقية*," الطبعة الرابعة، برنتيس هول.
19. Ghazali, A., et al. (2013). " أثر التلوث الصناعي والحضري على جودة المياه في منطقة سوف الجزائر))." *المجلة الدولية للعلوم البيئية والتنمية*. المجلد: 4(2)، 186-190.
20. GUENDOUZ A., REGHIS Z., MOULLA A.S., 1992. *دراسة هيدروكيميائية ونظائرية للمياه الجوفية في حوض ورقلة*. تقرير رقم 1، 65 ص، تقرير رقم 2، 30 ص.
21. Halitim.A, (2011). - *زراعة المناطق الجافة والتنمية المستدامة*، المجلة الجزائرية للبيئة الجافة، ISSN-2170-13189-3 :1 العدد ،1 المجلد ؛.
22. HillisseY, (2007). - *موسوعة نباتات منطقة وادي سوف*. 302 ص. دار النشر: الوليد؛ الوادي.
23. Kaid, Rassou.K. (2008). *دراسة التفاعلات بين المياه الجوفية والمياه السطحية في الحوض الساحلي لأواليدية*. أطروحة دكتوراه. جامعة القاضي عياض مراكش- المغرب. 214 ص.
24. Khechana S; (2007). - *دراسة الإدارة المتكاملة للموارد المائية في مدينة وادي سوف (جنوب شرق الجزائر)*. رسالة ماجستير في الهيدروجيولوجيا؛ جامعة باجي مختار عنابة؛ 134 ص؛.
25. LATIFI S; (2018). - *دراسة قابلية تأثر طبقات المياه الجوفية في منطقة قالمة وتقييم دور محطات معالجة مياه الصرف الصحي في حماية المياه*. أطروحة دكتوراه؛ جامعة باجي مختار-عنابة، كلية علوم الأرض، 133 ص.

26. **Leynaud G.** 1968. *التلوثات الحرارية، تأثير درجة الحرارة على الحياة المائية*. B.T.I. وزارة الزراعة. المجلد: 224؛ ص: 25.
27. **MOULLA, A. S., et al** (2005). " السلوك الهيدروكيميائي والنظائري لطبقة مياه جوفية صحراوية تعاني من قيود طبيعية وبشرية شديدة (حالة منطقة وادي سوف، الجزائر)." *مجلة الهيدروجيولوجيا* (2006) 14: 955-968.
28. **N'guessanYM,Wango TE, Adopo KL, et al** (2016). *الخصائص الجيوكيميائية للمياه السطحية في بيئة زراعية: حالة الأحواض المائية لغاسكونيا (منطقة ميدي بيرينيه، جنوب غرب فرنسا)*. المجلة الدولية للابتكار والدراسات التطبيقية؛ المجلد: 17، 394 ص.
29. **Nadjah A.,** 1971. *سوف الواحات*. 174 ص. دار النشر: دار الكتب، الجزائر.
30. **Nehme N** (2014). *تقييم جودة المياه في الحوض السفلي لنهر الليطاني، لبنان: مقاربة بيئية*. أطروحة دكتوراه. جامعة لورين (فرنسا)، 359 ص.
31. **ONM :** *الديوان الوطني للأرصاد الجوية*. (2023). الوادي قمار. النشرات الشهرية لرصد المعايير المناخية في ولاية الوادي من 2000 إلى 2015.
32. **ONS (Office National des Statistiques);** (2013). - *تطور التجمعات السكانية 1998-2013*، مجموعات إحصائية.
33. **OSS (Observatoire Sahara et Sahel).** 2003. *نظام المياه الجوفية في الصحراء الشمالية: الإدارة المشتركة لحوض عابر للحدود*. تقرير موجز. OSSتونس، .
34. **OZENDA P.,** 1983. *فلورا الصحراء*. 39 ص. دار النشر: المركز الوطني للبحث العلمي، باريس.
35. **Raïs MT, Xanthoulis D.** (1999). تحسين الجودة الميكروبيولوجية للمخلفات الثانوية عن طريق التخزين في الأحواض. *التكنولوجيا الحيوية، الزراعة، المجتمع والبيئة*؛ 3: ص 149–157.
36. **Ramade F.,** 2003. *عناصر في علم البيئة - علم البيئة الأساسي*. 689 ص. دار النشر: دونود، باريس.
37. **Remini B.,** 2005. *تبخر مياه بحيرات السدود في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، مثال جزائري*. مجلة لا رحيس، ISSN 1112-368004 العدد ،.
38. **Rodier J, Legube B, Merlet N et coll ,** (2009). - *تحليل المياه*، الطبعة التاسعة؛ دار النشر: دونود، باريس، 1526 ص.
39. **SAIBI.H,** 2003. *تحليل نوعي للموارد المائية في وادي سوف وأثر ذلك على البيئة، منطقة قاحلة إلى شبه قاحلة بالوادي*. مذكرة ماجستير. جامعة هواري بومدين، 160 ص.
40. **Saker, A.** (2000). "تقييم وإدارة جودة المياه في المناطق القاحلة: دراسة حالة حوض وادي ريغ، الجزائر." *إدارة الموارد المائية*، 14(6)، 423-436.
41. **Serraye A;** (2014). - *إشكالية إدارة الفوائض المائية في مدينة الوادي، الآثار البيئية والتوصيات*. مذكرة ماجستير في علم البيئة والبيئة. جامعة قاصدي مرباح. ورقلة.
42. **Todd D.K. et Mays L.W.** (2005). "*هيدرولوجيا المياه الجوفية*", وايلي، الطبعة الثالثة.
43. **Zidane M L et Soufi M;** (2018). - *دراسة هيدروجيولوجية وهيدروكيميائية لطبقة المياه الجوفية (في الوادي (جنوب شرق الجزائر (CT) للمركب النهائي)*؛ رسالة ماجستير في الهيدروجيولوجيا.