

**UNIVERSITÉ CADI AYYAD MARRAKECH**  
**Faculté des Sciences et Techniques Marrakech**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de licence Sciences et  
Techniques**

**EAU et ENVIRONNEMENT**

**Intitulé :**

**CARACTERISATIONS DES EAUX  
SOUTERRAINES DE LA REGION DE  
SKOURA (OUARZAZATE, MAROC)**

**Par :**

**DERZI Mariam**

**Encadrées par :**

Mouna ELLIOUA : Responsable Qualité à la RADEEMA

Abdelfattah AZIZI : Professeur à la FSTG

Abdelfattah BENKADDOUR : Professeur à la FSTG

Soutenu le : 10 juin 2024 devant le jury composé de :

Nadia KHAMLI .....Professeur à la FSTG

Abdelfattah AZIZI.....Professeur à la FSTG

Abdelfattah BENKADDOUR: .....Professeur à la FSTG

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إِذْ أَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنَابِيعٌ  
فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ  
يَهِيَجُ فَتَرَاهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ  
لَذِكْرًا لِّأُولِي الْأَلْبَابِ

سورة الزمر الآية 21

صدق الله العظيم

# **DÉDICACE**

Nous dédions ce modeste travail à :

## **A nos très chers parents**

Qui ont toujours été là pour nous, de nous soutenir, même lorsqu'on est plongé dans l'obscurité, notre force dans les épreuves, qui nous ont donné des magnifiques modèles de labeur et de persévérance. Nous espérons que vous serez garde toujours votre tête haute, que vous êtes tous confiants et fiers. J'espère que vous trouveront dans ce travail toute notre reconnaissance et tout notre amour.

## **A nos sœurs, nos frères, nos meilleurs amis et nos,**

À tous ceux qui sont les plus proches de nous, pour votre soutien, votre aide, vos conseils, votre écoute, et même pour chaque sourire dessiné sur nos visages grâce à vous.

## **A nos professeurs,**

Votre persévérance, votre passion et votre dévouement nous ont tous inspirés. Nous apprécions votre contribution à notre éducation et vous en sommes éternellement reconnaissantes.

# **REMERCIEMENT**

Nous remercions en premier lieu ALLAH tout puissant de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour achever ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude envers Monsieur **AZIZI Abdelfattah**, professeur à la faculté des sciences et techniques, pour son soutien inestimable et son engagement tout au long de notre projet de fin d'études. Sa précieuse assistance, notamment en nous fournissant l'eau de puits indispensable à nos recherches, a été un pilier essentiel de la réussite de notre travail.

Notre remerciement s'adresse également à Monsieur **BENKADOUR Abdelfattah**, professeur à la faculté des sciences des techniques, pour vos conseils avisés qui ont guidé notre projet tout au long de son développement. Votre expertise et votre soutien ont été d'une importance capitale, nous permettant d'avancer avec confiance et assurance. Vos conseils éclairés ont été une source d'inspiration et ont grandement contribué à la réussite de notre travail. Nous vous remercions chaleureusement pour votre précieuse contribution à notre projet.

Nous souhaitons exprimer toute notre gratitude envers Madame **KHAMLI Nadia** pour avoir accepté de participer à notre projet de fin d'étude. Nous sommes reconnaissants pour le temps qu'elle a généreusement consacré à évaluer notre travail malgré ses obligations professionnelles. Sa contribution précieuse et son expertise ont grandement enrichi notre expérience.

Et finalement, nos profondes gratitude envers Madame **ELLOUIA Mouna** notre encadrant de stage, pour le soutien nous a permis de réaliser les analyses physico-chimiques nécessaires pour notre étude.

## **OUTILS DE TRAVAIL**

**ArcGIS** est une suite de logiciels dédiés aux Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), développée par la société ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). Cette suite comprend les éléments suivants :

- ArcMap : Il permet l'édition des fichiers au format géodatabase.
- ArcCatalog : Il facilite la gestion des données en fournissant un accès exhaustif aux informations sur les objets édités. Il s'agit d'un système de gestion de bases de données (SGBD).
- ArcToolbox : Il regroupe une collection d'outils de transformation des données.

**Un MNT** (Modèle Numérique de Terrain) est une représentation numérique du relief d'une zone donnée, indiquant les valeurs d'altitude. Il permet d'analyser les pentes, l'exposition et les formes de la surface topographique de cette zone géographique. C'est une ressource précieuse pour diverses applications telles que la cartographie, la planification urbaine, la gestion des ressources naturelles et l'hydrologie

**Un MSI** (Multi Spectral Imager). C'est un instrument utilisé sur les satellites Sentinel-2, qui font partie du programme Copernicus de l'Agence spatiale européenne (ESA). Le MSI capture des images haute résolution dans plusieurs bandes spectrales, allant des longueurs d'onde visibles aux proches infrarouges. Ces images sont utilisées pour diverses applications, notamment la surveillance de la couverture terrestre, de l'agriculture, de la sylviculture et des changements environnementaux. Le MSI fournit des données détaillées et précises, essentielles pour la recherche scientifique et la gestion environnementale pratique.

# SOMMAIRE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>11</b>
<b>II.</b>	<b>PRESENTATION GENERALE DE LABORATOIRE DE QUALITE D'EAU .....</b>	<b>13</b>
<b>III.</b>	<b>GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE ET LES Puits ETUDIES.....</b>	<b>15</b>
	<b>Données générales sur la zone de SKOURA</b>	
	1. Contexte géographique .....	15
	2. Contexte géologique.....	17
	3. Contexte morpho-structurale.....	19
	4. Contexte climatique .....	21
	5. Contexte hydrologique et hydrogéologique.....	22
	<b>Données générales sur les puits étudiés</b>	
	1. Echantillonnage et situation des puits de prélèvement.....	24
	2. Délimitation des bassins versants.....	26
	3. Végétation dans la zone d'étude.....	29
<b>IV.</b>	<b>METHODES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.....</b>	<b>30</b>
	a. Mesure de pH.....	30
	b. Conductivité .....	32
	c. Turbidité .....	36
	d. Dosage des chlorures .....	39
	e. Oxydabilité .....	41
	f. Détermination de l'alcalinité totale .....	45
	g. Détermination de la dureté totale.....	49
	h. Dosage des nitrates.....	52
	i. Dosage des nitrites .....	54
	j. Dosage de l'ammonium.....	58
<b>V.</b>	<b>HYDROCHIMIE ET QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES ETUDIEES.....</b>	<b>63</b>
	1. Résultats des analyses physicochimiques.....	63
	2. Interprétation des résultats des analyses physico-chimique.....	64
	3. Qualité des eaux souterrains dans la région Skoura.....	71
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>75</b>

## **LISTE DES FIGURES**

**Figure 1** : Emplacement de région Skoura

**Figure 2** : Vue panoramique de Skoura

**Figure 3** : Géologie simplifiée du la région de Skoura (Choubert, 1959 in Cappy, 2006).

**Figure 4** : Colonnes stratigraphiques synthétiques du bassin d'Ouarzazate (d'après Jossen & Filali Moutei, 1988 in Agoussine 2004).

**Figure 5** : Coupes géologiques transversales du centre du bassin d'Ouarzazate (Jossen & Filali, 1988 in Agoussine 2004).

**Figure 6** : Températures et précipitations moyennes de skoura (Site Web 1)

**Figure 7** : Réseau hydrographique d'Oued Draa dans la région Skoura (Site Web 3)

**Figure 8** : Nappe phréatique de la région Skoura (données hydrique Site Web 3)

**Figure 9** : Situation des puits dans la région Skoura.

**Figure 10** : Coupe transversale de la zone d'étude (Skoura) montrant les situations des points de prélèvement (réalisée par A. Azizi)

**Figure 11** : Les bassins versants concernent l'étude

**Figure 12** : Les bassins versants d'étude par rapport à leurs emplacements

**Figure 13** : Caractérisation du bassin versant

**Figure 14** : Carte NDVI de Skoura (15/05/2024)

**Figure 15** : pH-mètre

**Figure 16** : Conductimètre

**Figure 17** : Turbidimètre

**Figure 18** : Bain marie

**Figure 19** : Solution de permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4$

**Figure 20** : Solutions d'oxidabilite apres le titrage

**Figure 21** : Les réactifs utilisés dans le titre alcalimétrique

**Figure 22** : Titrage par l'acide chlorhydrique

**Figure 23** : Réactifs utilisés dans détermination de la dureté

**Figure 24** : Solutions après ajouter de noir ériochrome

**Figure 25** : Spectrophotomètre

**Figure 26** : Solutions prête pour mesurer les absorbances

**Figure 27** : Solutions prête pour mesurer les absorbances

**Figure 28** : Evolution de la conductivité des eaux souterraines de la région de Skoura

**Figure 29** : Evolution des concentrations de l'ion chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) des eaux souterraines de la région de Skoura

**Figure 30** : Evolution de titre alcalimétrique complet des eaux souterraines de la région de Skoura

**Figure 31** : Evolution de la dureté totale des eaux souterraines de la région de Skoura

**Figure 32** : Evolution de nitrate des eaux souterraines de la région de Skoura

**Figure 33** : Evolution de nitrite, ammonium et oxydabilité des eaux souterraine de la région Skoura

**Figure 34** : Evolution de la turbidité des eaux souterraines de la région de Skoura

# **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau 1** : Données climatique de Skoura (Site Web 2)

**Tableau 2** : Coordonnées des puits étudiés et profondeurs des eaux

**Tableau 3** : Valeurs des surfaces et perimetres des bassins d'etude

**Tableau 4** : Expression de turbidité en unité NFU

**Tableau 5** : Résultats des mesures des puits étudiées dans la région Skoura

**Tableau 6** : Analyses chimiques effectuées sur les échantillons des eaux souterraines de Skoura

**Tableau 7** : Critères de contrôle de la qualité

**Tableau 8** : Résultats des mesures et des analyses effectuées sur les échantillons par rapport à les critères de contrôle de qualité

**Tableau 9** : Plage de valeurs du titre hydrotimétrique (site Web 4)

**Tableau 10** : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

## **ABBREVIATIONS**

**AEP** : Alimentation en Eau Potable

**ED** : Eau Distillée

**EDTA** : Ethylene Diamine Tetraacetic Acid

**EUP** : Eau Ultra Pure

**FTU** : Formazine Turbidity Unit

**IP** : Indice Permanganate

**ISO** : International Organization for Standardization

**LQM** : Limite de Quantification de la Méthode

**MES** : Matières En Suspension

**ND** : Non Définie

**NM** : Norme Marocaine.

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit

**pH** : Potentiel Hydrogène

**PVC** : Polyvinyl Chloreid

**qsp** : quantité suffisante pour

**RADEEMA** : Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech

**SPC** : Sous-Produit de Chloration

**TAC** : Titre Alcalimétrique

**Tb** : Titre brut

**TH** : Titre Hydrotimétrique

**VMA** : Valeur Maximale Admissible

# **I. INTRODUCTION**

L'eau est une ressource indispensable à tous les êtres vivants sur cette planète. Il représente 70 % du poids corporel chez l'adulte et 80 % chez l'enfant.

La disponibilité de l'eau n'est pas garantie partout et sa qualité n'atteint souvent pas la qualité de l'eau potable, ce qui met en danger la santé humaine.

L'eau peut également être à l'origine de maladies telles que le choléra, la diarrhée, la dysenterie, l'hépatite A, la typhoïde et la polio (poliomyélite).

La qualité de l'eau est définie par ses propriétés chimiques, physiques, biologiques et radiologiques, qu'elle soit issue de sources de surface ou d'eaux profondes. Les critères de qualité de l'eau comprennent des aspects physico-chimiques (comme la turbidité, la température, le pH, les minéraux dissous) et microbiologiques (tels que la présence de bactéries, de virus et d'autres micro-organismes). Ces critères servent à vérifier la conformité aux normes de qualité de l'eau, qui varient selon l'usage prévu (consommation humaine, usage industriel, agricole, loisirs, etc.).

## **Objectif du présent travail :**

Notre projet de fin d'études a pour objectif d'étudier la qualité des eaux dans la région de Skoura. Il porte sur six puits dont 3 sont des puits profonds alors que les 3 autres sont des puits peu profonds. L'idée principale est de s'assurer que l'eau provenant de ces puits et qui est consommée par les habitants de Skoura soit sûre, propre et répond aux normes exigées. Il est important de garantir l'accès à une eau de qualité pour la santé et le bien-être de la communauté.

## **Démarche suivie :**

Dans notre travail, nous nous concentrerons sur les aspects physicochimiques des eaux étudiées et nous utiliserons des techniques de laboratoire pour effectuer des analyses approfondies sur les échantillons d'eau prélevés dans des six puits, trois peu profonds (entre 16 et 18 m) et les autres plus profonds (entre 50 et 70 m).

## **Présentation du mémoire :**

Outre l'introduction et la conclusion générale, notre mémoire se compose de trois parties :

- La première section est consacrée aux informations générales sur la région de Skoura
- Dans la deuxième partie, nous parlerons de l'ensemble des méthodes d'analyse utilisées
- La troisième partie est consacrée à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.

Ce projet contribuera à la prise de décisions éclairées en matière de gestion de l'eau, à la sensibilisation des communautés locales et à la protection de l'environnement.

## **II. PRESENTATION GENERALE DU LABORATOIRE DE QUALITE DE L'EAU :**

La RADEEMA s'est équipée d'un laboratoire de contrôle de potabilité des eaux distribuées dans la Wilaya de Marrakech depuis avril 1997, ce laboratoire est situé au complexe hydraulique Sidi Moussa sur une superficie de 300 m<sup>2</sup>.

Le laboratoire d'analyse d'eau potable assure la surveillance et le contrôle de la qualité de l'eau distribuée par la régie.

En 2013 le service laboratoire a été accrédité pour la réalisation des analyses physico-chimiques suivants : **pH; turbidité; conductivité; TH; nitrates et nitrites.**

En 2018 le service laboratoire a ajouté à sa portée d'accréditation les paramètres chlorures et TAC.

En 2021 le service a réussi son accréditation pour l'essai détermination de l'indice **permanganate** et pour le nouveau domaine (prélèvement au robinet d'eau).

En 2023 le laboratoire a élargi sa portée d'accréditation en lui ajoutant le dosage de l'ammonium

Le laboratoire d'analyse d'eau potable assure un contrôle régulier de la qualité de l'eau a :

- L'entrée du système d'approvisionnement de la RADEEMA.
- À l'intérieur du réseau de distribution.
- Lors de la mise en service de nouveaux ouvrages de distribution
- Dans les cas des réclamations des consommateurs auprès du client (Département Exploitation eau) sur l'altération de la qualité de l'eau.

Les analyses s'effectuent conformément aux normes en vigueur, selon un programme des points de prélèvement proposé par le département exploitation eau (SL O EN 03) et dans le respect des clauses du contrat d'interface (SL O EN 02) signé par le client et le chef du service laboratoire.

**Les différents paramètres analysés par le laboratoire d'analyse d'eau potable sont axés comme suit :**

### **a- Les paramètres bactériologiques :**

- ✓ Dénombrement des micro-organismes revivifiables
- ✓ Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes par filtration
- ✓ Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux par filtration
- ✓ Recherche et dénombrement des spores de micro-organisme anaérobies sulfito- réducteurs par filtration.

#### **b- Les paramètres physico-chimiques :**

- ✓ Dosage du désinfectant résiduel.
- ✓ Mesure de la Température
- ✓ Mesure du pH
- ✓ Mesure de la Turbidité
- ✓ Mesure de la conductivité
- ✓ Dosage des sulfates
- ✓ Détermination des chlorures
- ✓ Détermination de l'oxydabilité au permanganate de potassium
- ✓ Détermination de l'alcalinité totale
- ✓ Détermination de la dureté totale
- ✓ Dosage des nitrates
- ✓ Dosage des nitrites
- ✓ Dosage de l'ammonium

### III. GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE ET LES Puits ETUDIÉS

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble de données géologiques, hydrologiques, climatiques, etc., qui concernent la zone de Skoura où les échantillons d'eau ont été prélevés.

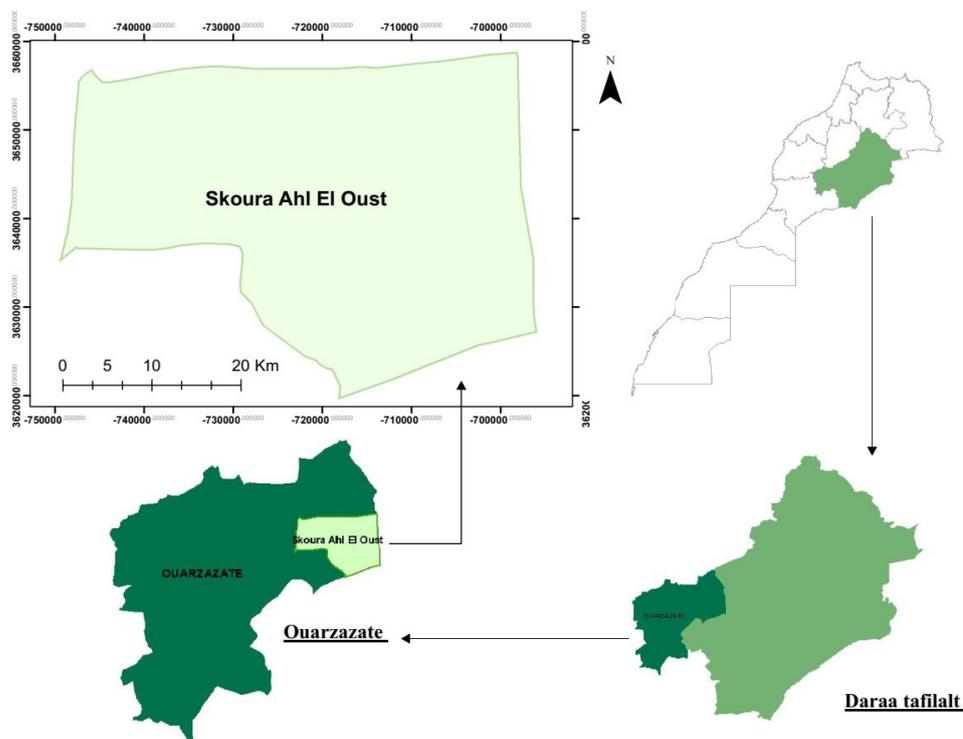
#### Données générales sur la zone de SKOURA :

##### 1- Contexte géographique :

Dans ce contexte, nous avons identifié deux aspects importants pour cette étude : la localisation géographique de la région de Skoura et son aspect socio-économique.

En étudiant la localisation, nous pourrions avoir une meilleure compréhension de la position géographique de Skoura et de son environnement. Quant à l'aspect socio-économique, il nous permettra d'avoir un aperçu de la vie économique des habitants de cette région, en nous fournissant des informations sur leurs activités économiques et leur mode de vie.

##### a- Localisation :

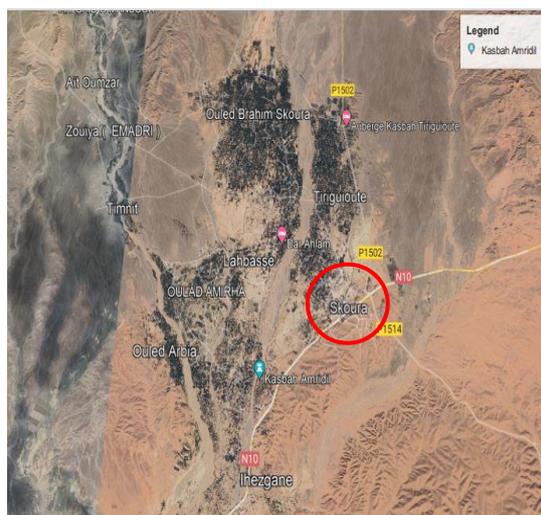


**Figure 1 : Emplacement de la région Skoura**

La région de Skoura, située dans le **bassin de Draa au Sud du Maroc**, est une importante palmeraie de 2700 hectares. Ses coordonnées sont **31° 03' 37,77" Nord, 6° 33' 20,35" Ouest**, avec une altitude qui atteint 1220m (Fig. 1 et 2).

La région de Skoura est limitée à l'Est par la route régionale menant à **Toundoute**, qui se trouve à environ 30 km au Nord.

À l'Ouest, elle est bordée par la route nationale N10 qui relie **Ouarzazate**, située à environ 40 km au Nord-Est, à **Errachidia**, qui se trouve à environ 270 km Nord Est.



**Figure 2 : vue panoramique de Skoura**

## **b- Aspect socio-économique :**

La région de Skoura présente un aspect socio-économique très intéressant, avec une population de 29 517 habitants (recensement de 2015), la présence de 56 douars et 2000 foyers

### **Activité hors agriculture :**

En dehors de l'agriculture, il y a peu d'opportunités économiques dans la région de Skoura. La plupart des activités se concentrent dans la construction des maisons et d'infrastructures, comme les routes, les puits et les ponts.

Les ouvriers spécialisés dans le bois, le béton, le carrelage, l'électricité et la plomberie sont très sollicités.

Ces activités complètent l'agriculture et contribuent au développement de la région.

### **Agriculture :**

La commune de Skoura comprend :

- Une coopérative d'huile qui supervise la production locale d'huile d'olive ;
- Une fromagerie.

En ce qui concerne la répartition et la taille des exploitations (selon les données de 1980 :

- La superficie cultivée est de 2.700 hectares ;
- Le nombre d'exploitations est de 2.562 ;
- En général, les exploitations sont très petites ;
- 55% des exploitations ont une superficie inférieure à 0,5 hectare ;
- 74% des exploitations ont une superficie inférieure à 1 hectare.

La répartition des terres est inégale :

- 55% des agriculteurs exploitent 15% de la superficie totale ;
- 2% des agriculteurs exploitent 25% de la superficie totale.

Dans la région de Skoura, on observe une fragmentation des propriétés. En moyenne, chaque exploitation est divisée en 13 parcelles. Cela indique que les propriétés sont généralement très fragmentées.

## 2- Contexte géologique :

La région de Skoura, située au sud-est du bassin d'Ouarzazate, présente une géologie complexe et diversifiée. Elle est limitée par le Jbel Saghro au sud-est et par la nappe de Toundoute au nord.

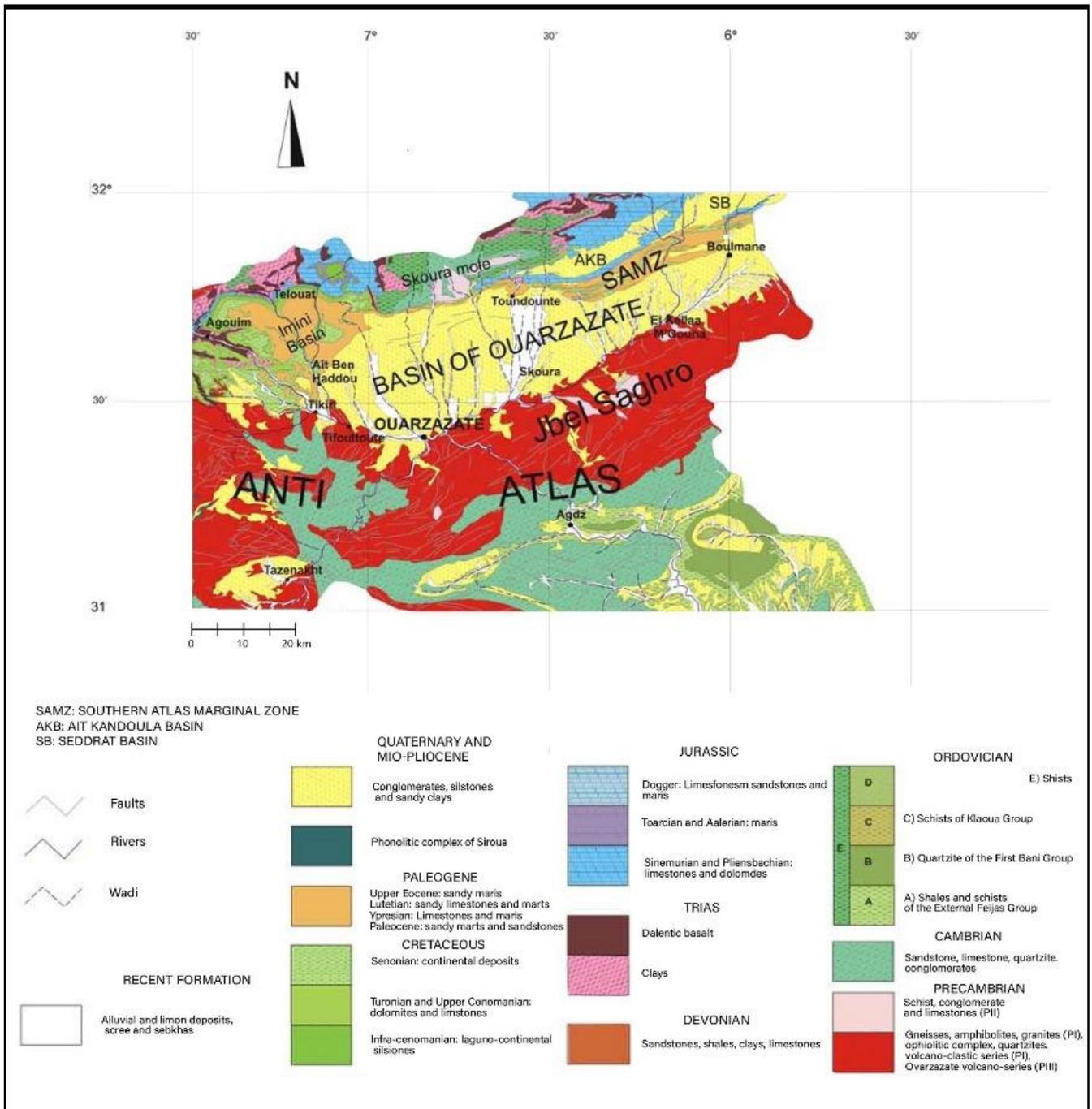
En ce qui concerne les formations géologiques, la région de Skoura est principalement caractérisée par deux formations (Fig. 3 et 4) :

1. **Quaternaire et Mio-Pliocène** : Cette formation comprend des roches telles que les conglomérats, les silts stones et les argiles sableuses. Ces roches sont généralement associées à des environnements de dépôt fluviaux et deltaïques, ce qui pourrait indiquer une activité hydrologique importante dans le passé.

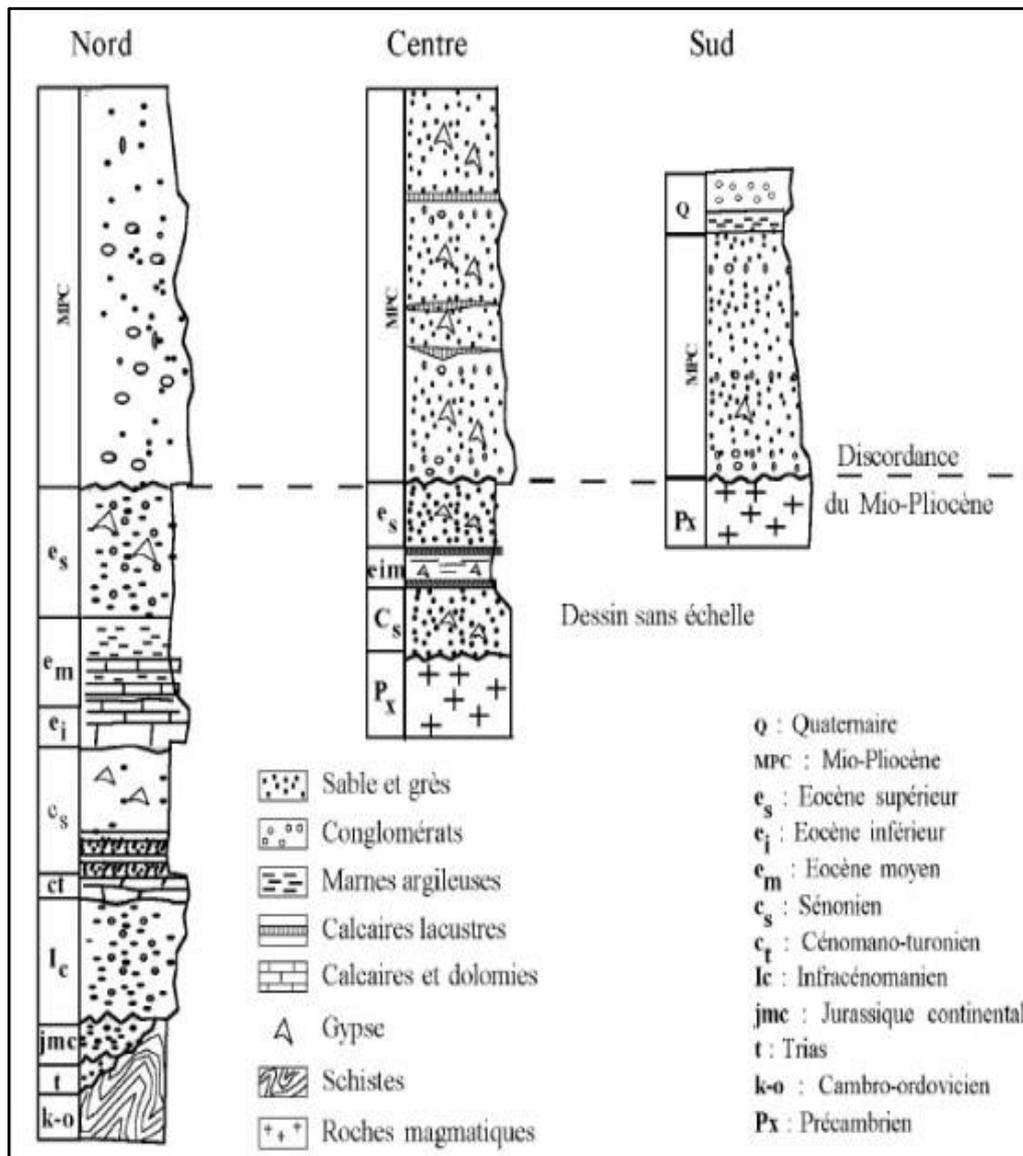
2. **Précambrien** : Cette formation comprend des roches telles que les gneiss, les amphibolites, les granites et les quartzites. Ces roches sont généralement associées à des environnements tectoniques actifs, ce qui pourrait indiquer une histoire géologique complexe.

Ces deux séries sont particulièrement épaisses, atteignant plusieurs milliers de mètres en général.

En outre, la région de Skoura est entourée par d'autres âges géologiques, notamment le Cambrien, le Silurien (Gothlandien), le Permo-Trias et le Lias (inférieur).



**Figure 3 : Géologie simplifiée du la région de Skoura (Choubert, 1959 in Cappy,2006)**

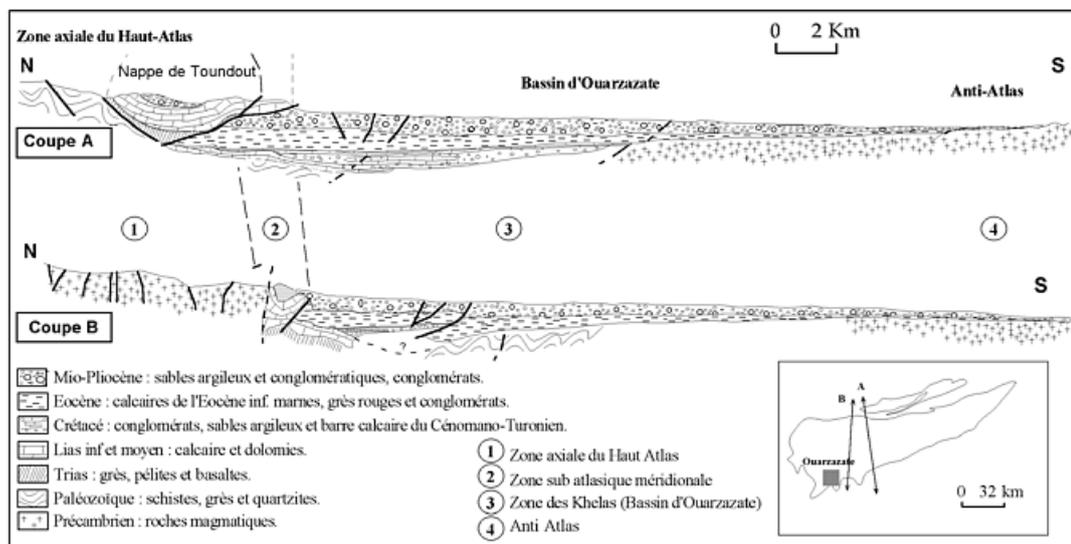


**Figure 4 : Colonnes stratigraphiques synthétiques du bassin d'Ouarzazate (d'après Jossen & Filali, 1988 in Agoussine 2004).**

### 3- Contexte morpho-structural :

Le bassin d'Ouarzazate, où se situe la zone d'étude de Skoura, est une dépression relativement étroite, avec une altitude variante entre 1100 mètres et 1500 mètres. Son centre, rempli par des sédiments néogènes et quaternaires, forme une plaine traversée par des cours d'eau (Agoussine 2004). Dans cette fosse, quatre zones peuvent être distinguées (Fig. 5) :

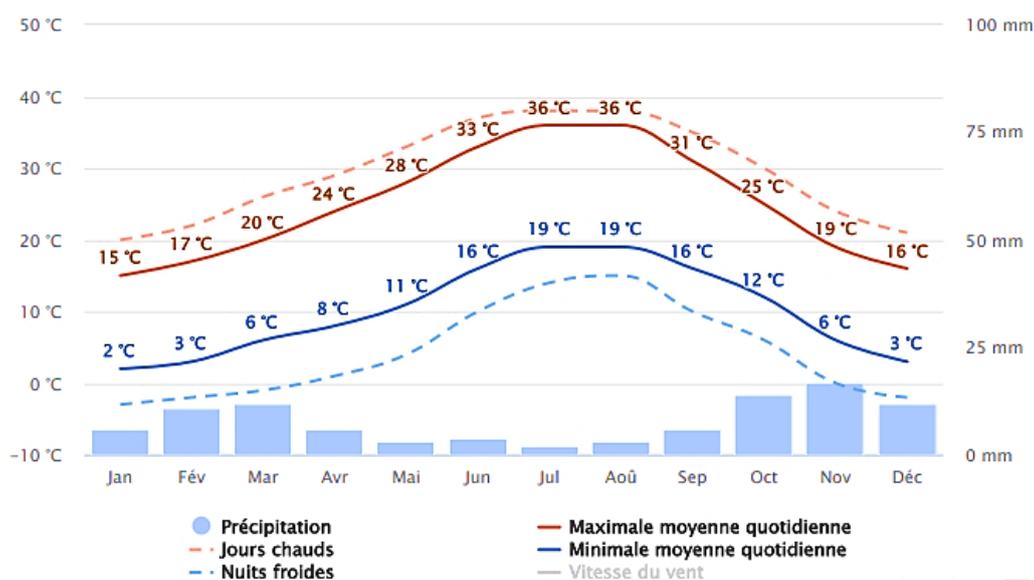
- **La Zone axiale**, correspondant aux reliefs élevés de l'Atlas, composée d'un socle rigide et d'une épaisse couche mésozoïque de plus de 2000 mètres, caractérisée par des structures de type horsts et grabens ; elle est limitée au sud par l'Accident sud-atlasique.
- **La Zone sub-atlasique méridionale**, ou bordure sud de l'Atlas, constituée de collines formées par des terrains fortement déformés et chevauchés vers le sud, reposant sur des dépôts néogènes et quaternaires ; dans la région de Toundout, cette déformation est due à une activité tectonique gravitaire liée au soulèvement de l'Atlas depuis le Crétacé supérieur.
- **La Zone des Khelas** (bassin d'Ouarzazate), correspondant à des plateaux s'étendant sur de vastes plaines de dépôt, composés de formations néogènes ; ces formations, localement impliquées dans les plis de la bordure sud de l'Atlas, prennent une forme tabulaire vers le sud, où elles sont entaillées par des cours d'eau et recouvertes par des dépôts quaternaires.
- **L'Anti Atlas**, représentant une région stable constituée de roches précambriennes et paléozoïques, sur lesquelles reposent en discordance des couches de sédiments récents.



**Figure 5 : Coupes géologiques transversales du centre du bassin d'Ouarzazate (Jossen & Filali, 1988 in Agoussine 2004).**

#### 4- Contexte climatique :

Skoura est doté d'un climat désertique. Tout au long de l'année, Skoura connaît une absence quasi-totale de précipitations (Fig. 6). La zone d'étude est située dans l'hémisphère nord de notre planète. Le début de l'été commencé vers la fin du Juin et se termine vers le Septembre. La saison est caractérisée par une séquence de mois chauds, à savoir : Juin, Juillet, Aout, Septembre. La période la plus favorable pour une visite est celle des mois de Septembre, Octobre et Novembre.



**Figure 6 : Températures et précipitations moyennes de skoura (Site Web 1)**

La ligne rouge continue représente la "température maximale moyenne quotidienne", indiquant la moyenne des températures maximales pour chaque jour de chaque mois à Skoura. De même, la ligne bleue continue représente la "température minimale moyenne quotidienne", montrant la moyenne des températures minimales pour chaque jour de chaque mois. Les lignes en pointillés, bleues et rouges, illustrent les jours chauds et les nuits froides, en représentant respectivement la moyenne de la journée la plus chaude et de la nuit la plus froide de chaque mois au cours des 30 dernières années.

Juillet se distingue comme le mois le plus aride, n'ayant que 1 mm de précipitations. En revanche, octobre enregistre les précipitations les plus abondantes, avec une moyenne de 16 mm.

En juillet, la température moyenne atteint 36°C, faisant de ce mois le plus chaud de l'année. En revanche, janvier se démarque par les températures les plus basses, qui ont une valeur moyenne.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	No- vembre	Dé- cembre
Température moyenne (°C)	7.6	9.4	13.3	17.3	21.1	25.9	29.2	28	23.4	18.3	11.9	8.5
Température minimale moyenne (°C)	0.9	2.3	5.5	9.1	12.9	17.2	20.3	20	15.9	11.5	5.5	2.2
Température maximale (°C)	14.7	16.5	20.6	24.5	28.2	33.2	36.4	35	30.2	24.6	18.4	15.1
Précipitations (mm)	8	13	13	4	4	3	1	3	8	16	13	9
Humidité(%)	41%	38%	32%	27%	24%	20%	16%	20%	28%	37%	45%	47%
Jours de pluie (jrée)	1	2	2	1	1	0	0	1	1	2	2	1
Heures de soleil (h)	9.0	9.6	10.5	11.5	12.3	12.7	12.5	11.9	11.0	10.0	9.2	8.6

Data: 1991 - 2021 Température minimale moyenne (°C), Température maximale (°C), Précipitations (mm), Humidité, Jours de pluie. Data: 1999 - 2019: Heures de soleil

### **Tableau 1 : Données climatique de Skoura (Site Web 2)**

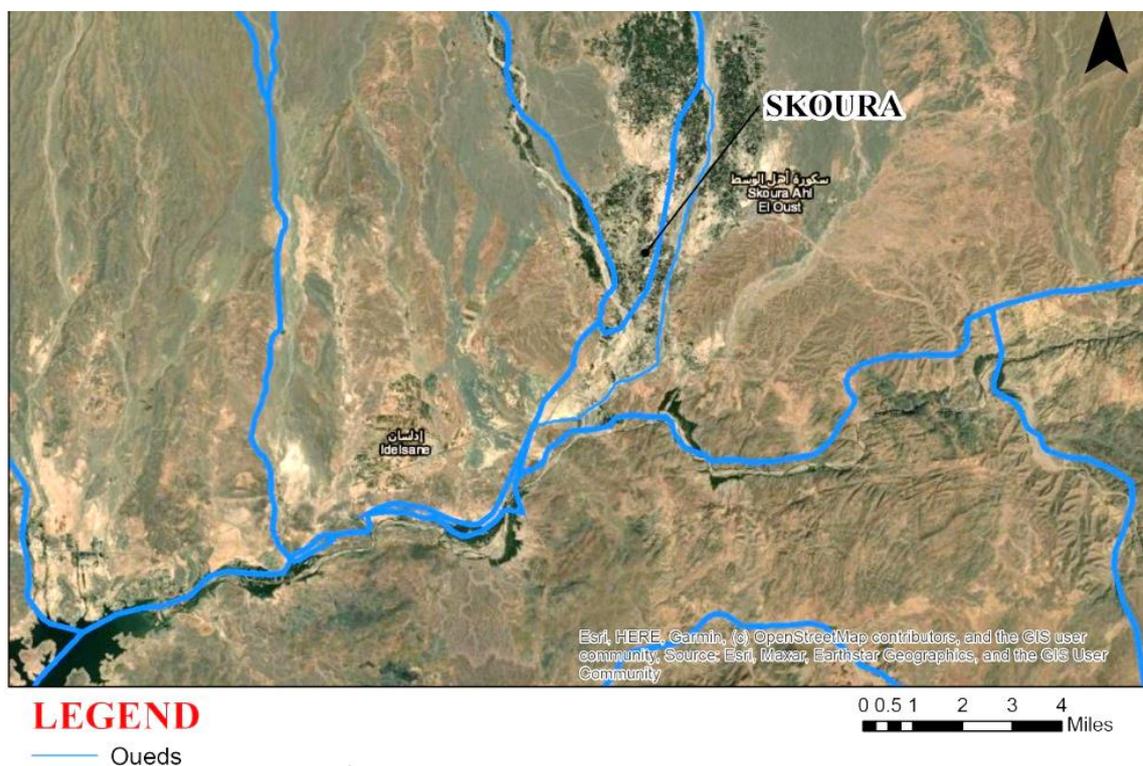
L'amplitude des précipitations varie de 15 mm entre le mois le plus sec et le plus humide. Quant à la variation des températures sur une année, elle est désignée sous le terme de fluctuation de température. D'après les observations, décembre enregistre le taux d'humidité relative le plus élevé, atteignant environ 47 %. En revanche, juillet affiche le taux le plus bas, autour de 16 % (Tab. 1)

## **5- Contexte hydrologique et hydrogéologique :**

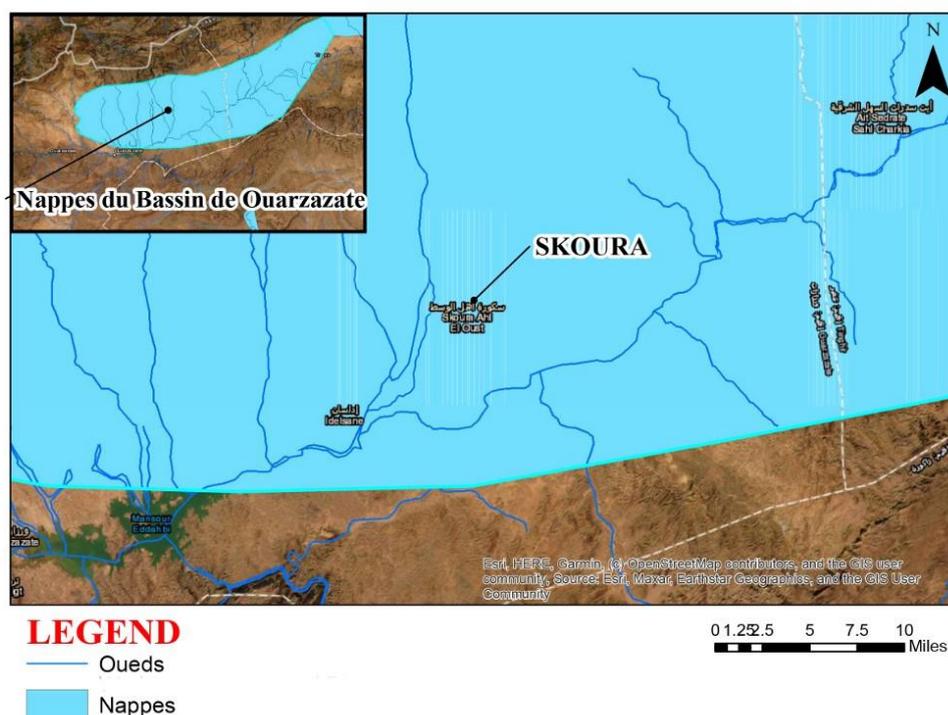
La figure 7 représente l'ensemble du réseau hydrographique qui marque la région de Skoura et les zones avoisinantes. Les principaux oueds de la zone sont : Oued Emdri, oued Boujhila et oued Lhajjaj.

Le bassin d'Ouarzazate renferme deux systèmes aquifères qui suscitent un intérêt potentiel pour l'exploitation des ressources hydriques souterraines, du fait de leur accessibilité et de leur capacité volumique (Fig. 8), ce sont (Boummane 2009) :

- Les nappes profondes et semi-profondes, composées de calcaires du Lias, du Dogger et du Cénomano-Turonien, ainsi que les formations marines comprenant des grès coquilliers et des niveaux calcaires, séparés par des horizons marneux-carbonatés et des formations détritiques grossières datant du Paléocène et de l'Eocène, sont toutes susceptibles de servir de réservoirs aquifères.
- La nappe phréatique des formations quaternaires et mio-pliocènes se compose en fait d'un ensemble de nappes alluviales. Ces nappes trouvent leur débouché vers l'aval dans l'oued Draâ et ses affluents.



**Figure 7 : Réseau hydrographique d'Oued Draa dans la région Skoura (Site Web 3)**



**Figure 8 : Nappe phréatique de la région Skoura (données hydrique Site Web 3)**

## Données générales sur les puits étudiés

Cette étude porte sur Six (6) échantillons d’eaux souterraines, prélevés durant l’hiver 2024, entre le 21 et 28 Janvier 2024.

### 1- Echantillonnage et situation des puits de prélèvement

Les sites de prélèvement sont répartis dans différentes zones dans la région Skoura (Fig. 9). Au total six (6) échantillons d’eaux souterraines ont été prélevés et le tableau 2 regroupe les coordonnées des puits et leur profondeur. Les six puits sont tous équipés de pompes qui sont situées à différentes profondeurs :

Référence du puits	Coordonnées	Profondeur Du puits (m)	Profondeur de l’eau (m)	Profondeur Après 8h de pompage (m)	Profondeur de la Pompe (m)
AZ/AB	31°1'58.82"N, 6°35'57.56"O	50	13	20	44
AZ/AL	31°1'55.33"N, 6°35'43.57"O	70	18	25	48
AZ/TH	31°2'12.99"N, 6°35'33.10"O	16	12	16 après 30 min	16
HA/KH	31°4'49.09"N, 6°33'16.63"O	17.8	14	-	17.8
AZ/YO2	31°1'45.37"N, 6°44'24.09"O	16	-	-	16
AM/CA	31°1'27.96"N, 6°37'2.31"O	70	12	-	40

**Tableau 2 : Coordonnées des puits étudiés et profondeurs des eaux**

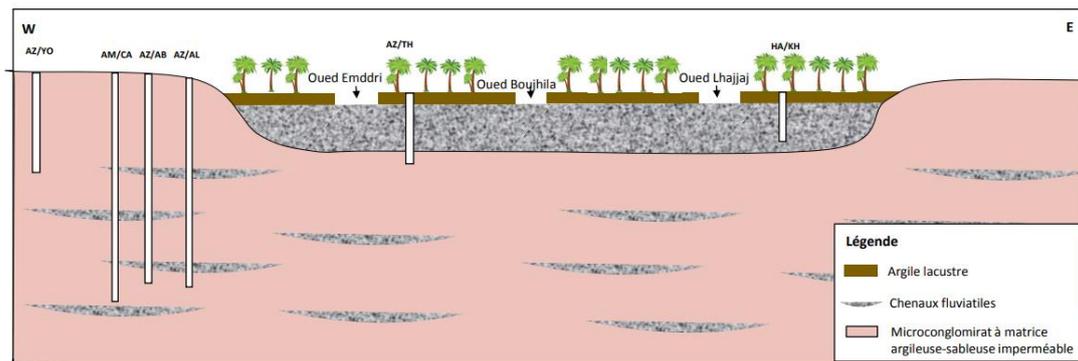
La figure 9, montre l'emplacement des puits d'où proviennent les six échantillons d'eau analysés.

Comme il est indiqué sur les figures 9 et 10, on observe quatre prélèvements situés dans la palmeraie Skoura, un à cotée d'Oued Emdri (AZ/YO, AM/CA, AZ/AB et AZ/AL) à l'Ouest, et l'autre (HA/KH) est proche d'Oued Hajjaj à l'Est.

Le dernier puits (AZ/TH) est situé entre l'oued Emdri et oued Boujhila.



**Figure 9 : Situation des puits dans la région Skoura.**



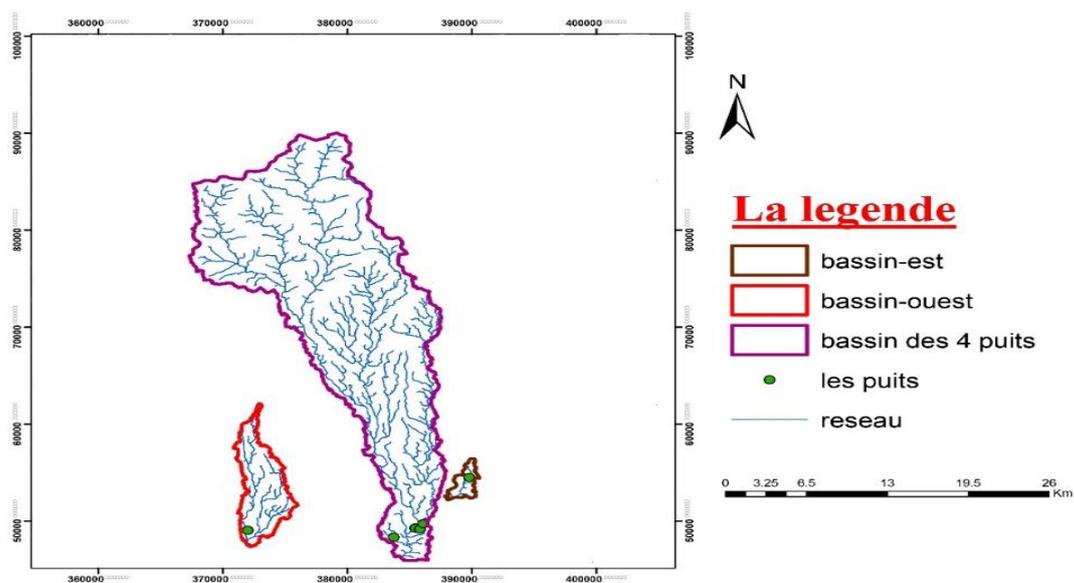
**Figure 10 : Coupe transversale de la zone d'étude (Skoura) montrant les situations des points de prélèvement (réalisée par A. Azizi)**

A partir de la figure 9 et le tableau 2 on observe bien qu'on avait deux niveaux de profondeur des eaux étudiées. Les eaux des 3 puits AM/CA, AZ/AB et AZ/AL sont

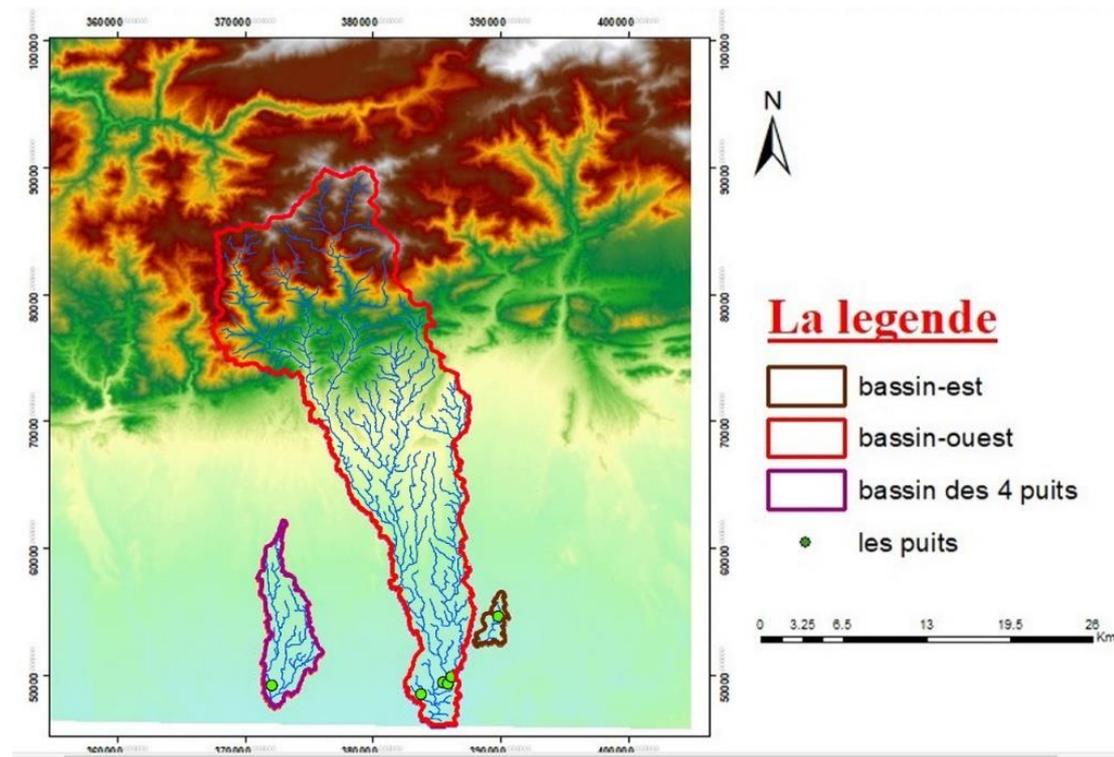
plus profondes (situées entre 40 et 70 m) que les trois autres (AZ/YO2, AZ/TH et HA/KH) qui sont peu profonds (profondeur entre 16 et 17,8 m).

## 2- Délimitation des bassins versants :

Concernant l'étude des eaux prélevées, il faut d'abord voir les bassins qui contiennent les puits des prélèvements. Ceci pour avoir une idée de l'emplacement des puits, et pouvoir répondre aux questions concernant leurs positions en amont ou en aval du bassin. La délimitation des bassins va nous permettre également de voir la structure et la taille de ses bassins et de comparer les caractéristiques des puits qui sont dans le même bassin et ceux qui sont dans des bassins isolés.



**Figure 11 : les bassins versants concerné par cette étude**



**Figure 12 : les bassins versants d'etude part rapport a leurs emplacements**

Les études hydrogéologiques faites dans la région montrent l'existence de trois (3) bassins versants (fig. 11 et 12).

Le premier est un grand bassin (bassin des 4 puits) situé au centre, contenant quatre (4) puits (AM/AC, AZ/AB, AZ/AL, AZ/TH). Trois puits (AZ/AB, AZ/AL, AZ/TH) sont situés près de l'aval, tandis que le quatrième (AM/AC) peut être considéré en partie en amont.

Le bassin-Est est plus petit et alimente un seul puits (HA/KH) en aval.

Enfin, le bassin-ouest, de taille moyenne, contient le premier prélèvement en amont (AZ/YO).

### **Propriétés géométriques des Bassin versants :**

#### **Surface :**

Le calcul de la surface se fait grâce à la délimitation du bassin sur ArcGIS ou à l'aide d'un planimètre.

#### **Périmètre :**

Le périmètre d'un bassin versant, mesuré à l'aide d'un curvimètre ou à l'aide de logiciel ArcGis, il correspond à la ligne qui définit sa limite extérieure, c'est-à-dire la ligne de crête des montagnes qui l'entourent.

Dans la zone d'étude on a trois bassins versant, pour voir leurs différentes formes on a calculé le périmètre (P) et la surface (S). Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

	<i>Bassin des 4 puits</i>	<i>Bassin Ouest</i>	<i>Bassin Est</i>
<i>S (km)</i>	394.285101	36.489963	5.610413
<i>P (km)</i>	136.486	39.936	14.680302

**Tableau 3 : Valeurs des surfaces et perimetres des bassins d'etude**

**NB** : Dans ce cas on a utilisé logiciel ArcGiS.

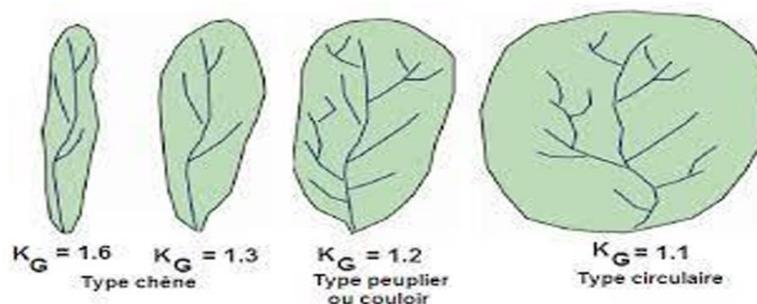
**L'indice de Gravius (compacité KG) :**

Cet indice est utilisé pour déterminer la forme de bassin, et pour cela on utilise la relation suivante :

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

A : surface du bassin en km<sup>2</sup>

P : périmètre de bassin en km



**Figure 13 : Caractérisation du bassin versant**

Après le calcul de KG on a trouvé que :

- Le bassin 4 puits est neuf 9 fois plus long que large puisque  $KG = 1.9$
- Le bassin Est  $KG = 1.7$  donc le bassin est 7 fois long que large
- Le dernier bassin ouest  $KG = 1.8$  donc le bassin est 8 fois long que large

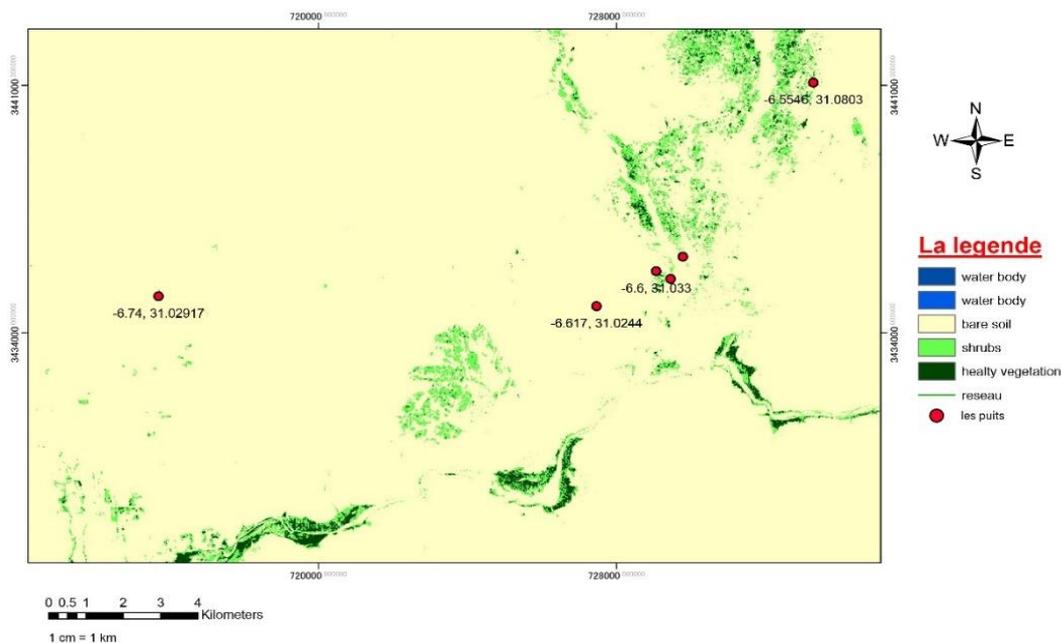
Les trois bassins avaient un  $KG > 1.5$ , alors avait une forme allongée

### 3- Végétation dans la zone d'étude : Skoura

La palmeraie de Skoura s'étend sur 25 km<sup>2</sup>, abritant une multitude de palmiers dattiers ainsi que des jardins luxuriants d'oliviers, d'amandiers et de grenadiers. Cette région est un exemple impressionnant de la végétation abondante caractéristique des oasis du sud.

L'irrigation y est assurée par l'oued Skoura, utilisant principalement le système traditionnel des khetaras. Malgré les défis posés par la sécheresse, l'oasis de Skoura bénéficie de l'apport de ses deux rivières saisonnières, qui maintiennent la végétation luxuriante. Grâce à des puits alimentés par l'énergie solaire, l'irrigation est assurée tout au long de l'année.

#### Carte de vegetation de Skoura



**Figure 14 : Carte NDVI de Skoura (15/05/2024)**

## IV. METHODES D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Ce travail est dédié à l'étude de la qualité des eaux souterraines dans la région de Skoura. Pour ça, on a fait des analyses sur les eaux de différents puits. Avant de pouvoir interpréter les résultats de ces analyses, il est important de comprendre les matériaux et les méthodes utilisés dans cette étude.

Dans ce chapitre, on va examiner en détail les équipements et les techniques utilisés au cours de cette étude. Ceci permettrait d'avoir une meilleure compréhension des méthodes de prélèvement et d'analyse, et de garantir la fiabilité des résultats obtenus.

### a. Mesure du potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre de l'activité des ions hydrogène dans une solution.

La détermination de pH revient à la mesure d'une différence de potentiel d'une cellule électrochimique à l'aide d'un pH-mètre approprié.

Le pH d'un échantillon dépend de la température en raison de l'équilibre de dissociation.

La mesure est utile pour évaluer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

**Les mesures on été effectuées selon** la Norme Marocaine **ISO 10523 2012 IC.03.7.009** adoptées par les services de la RADEEMA.

**Afin d'avoir des mesures fiables les précautions suivantes ont été prises en considération :**

- Les tensions supplémentaires dans l'électrode de pH peuvent être la cause des mesurages incorrecte. Les opérations des d'étalonnage / réglage et de mesurage doivent être réalisées dans les mêmes



**Figure 15 : pH-mètre utilisé lors de la mesure**

conditions afin de minimiser cette interférence

- Le vieillissement et les sédimentations sur les membranes de l'électrode peuvent entraîner une diminution apparente de la pente de l'électrode de PH
- Les matières en suspension dans les échantillons peuvent entraîner des erreurs significatives de mesurées. Dans ce cas laisser l'échantillon se déposer dans un récipient complètement plein et ferme, puis réaliser des mesurages dans le surnageant limpide.

**De point de vue d'appareillage on a besoin des matériaux suivants :**

- Le pH-mètre utilisé possède les caractéristiques suivantes :
  - Résistance entrée  $>10^{12} \Omega$
  - Résolution de la lecture de la valeur du pH est de 0.01 ou supérieur.
- L'affichage de pH-mètre doit permettre de lire :
  - La valeur du pH ou la tension
  - La pente de l'électrode de pH
  - La température de l'électrode de pH
- Electrode mixte
- Sonde de température séparée ou intégrée dans l'électrode de pH permettant de mesurer la température avec une incertitude totale ne dépassant pas  $0.5^{\circ}\text{C}$  (les écarts

**Pour les réactifs on utilise :**

- Eau distillée ou désionisée dont la conductivité est inférieure à  $1\mu\text{S/cm}$  ou eau ultra (pour dilution et rinçage).
- Electrolyte de référence : préparer la solution de KCl à  $3.00 \text{ mol/l}$  ( $224 \text{ g/l}$ ). Utilisées pour le remplissage des électrodes, en utilisant l'eau déjà préparée pour les dilutions ou l'eau ultra pure.

- Des solutions tampons de référence prêtes à l'emploi (solution tampon pH 4, solution tampon pH 7, solution tampon pH 10 ou 9) **ces solutions doivent être certifiées.**

**Dans la partie des modes d'opérateurs, les Solutions tampons et les échantillons doivent avoir le plus possible Les mêmes températures au moment de la mesure.**

### **1. Mesure du pH :**

Une fois le pH-mètre étalonné, laver l'électrode à l'eau distillée et avec l'échantillon puis l'immerger dans l'échantillon. Agiter doucement, attendre la stabilisation de la valeur du pli avant de la relever.

Noter la température de mesure.

Il est recommandé de mesurer le pH des échantillons dans le flacon d'échantillonnage et dans les mêmes conditions que durant l'étalonnage.

### **2. Expression des résultats :**

Les mesures sont exprimées en unité de pH avec 1 décimale près. Noter les températures de mesure. Une deuxième décimale n'est raisonnablement indiquée que lorsque la composition de la solution à analyser est similaire à celle des solutions tampons.

### **b. Mesure de conductivité :**

La conductivité électrique ou la conductance spécifique ( $\gamma$ ) d'une eau est fonction de la concentration totale en ions, de leur nature, de la température de la solution et de sa viscosité.

Ça détermination directe, à l'aide d'un instrument approprié de la conductivité électrique des solutions aqueuses. C'est une mesure du courant conduit par les ions présents dans l'eau.

Elle dépend de : La concentration en ions, la nature des ions, la viscosité de la solution et la température de la solution.

La température de référence à laquelle sont exprimés les résultats des mesures est de 25°C.

**Les mesures ont été effectuées selon** la Norme Marocaine **ISO 7888 2001** (IC : NM.03.7.011) **adoptées par les services de la RADEEMA**

**Afin d’avoir des mesures fiables les précautions suivantes ont été prises en considération :**

- Des électrodes souillées peuvent affecter les mesures de la conductivité. Il faut procéder à l'entretien de la cellule de mesure et au contrôle de la constante de mesure par les solutions étalons de KCl d'une façon régulière.
- L'accumulation des bulles d'air sur les électrodes pendant le réchauffement de l'échantillon à 25°C.
- Le CO<sub>2</sub> et l'ammoniac de l'atmosphère peut altérer la mesure pour des eaux dont la conductivité électrique est inférieure à 10 µS/cm



**Figure 16 : Conductimètre utilisé lors de la mesure**

**De point de vue d'appareillage on a besoin des matériels suivants :**

- Instrument pour le mesurage de la conductivité.
- Electrodes (en cas d'électrode combiné la sonde de température doit être étalonnée à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  et  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ).
- Balance analytique.
- Bain thermostaté réglable à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ .
- Thermomètre étalonné à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  et  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

**NB** : Si le laboratoire procède à l'étalonnage en externe du conductimètre par un organisme accrédité pour cet équipement, il n'aura pas besoin d'étalonner le bain marie et le thermomètre à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ .

**Pour les réactifs on utilise :**

- Eau ultra pure pour préparation des solutions et des dilutions, la conductivité de cette eau doit être inférieure ou égale à  $1 \mu\text{S}/\text{cm}$  à  $25^{\circ}\text{C}$ .
- Solution étalons de chlorure de potassium KCl : le chlorure de potassium utilisé doit être préalablement séché à l'étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  pendant 2 heures et refroidi en dessiccateur.
  - Solution de KCl 0,1 mol/l, la conductivité électrique de cette solution à  $25^{\circ}\text{C}$  est de  $12900 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
  - Solution de KCl 0,02 mol/l, la conductivité électrique de cette solution à  $25^{\circ}\text{C}$  est de  $2770 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
  - Solution de KCl 0,01 mol/l, la conductivité de cette solution à  $25^{\circ}\text{C}$  est de  $1410 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
  - Solution de KCl 0,005 mol/l, la conductivité de cette solution à  $25^{\circ}\text{C}$  est de  $720 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
  - Solution de KCl 0,0025 mol/l la conductivité de cette solution à  $25^{\circ}\text{C}$  est de  $360 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
  - Solution de KCl 0.001 mol/l, la conductivité de cette solution à  $25^{\circ}\text{C}$  est de  $147 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
  - Solution de KCl 0.0005 mol/l, la conductivité de cette solution à  $25^{\circ}\text{C}$  est de  $74 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Les solutions étalons (KCl 0,02 mol/l, KCl 0,01 mol/l, KCl 0,005 mol/l, KCl 0,0025 mol/l, KCl 0.001 mol/l et KCl 0.0005 mol/l) doivent être préparées juste avant leur emploi. L'eau utilisée pour la préparation des solutions étalon de faible concentration doit être rendue exempte de dioxyde de carbone par ébullition.

- Tous les réactifs utilisés doivent être de qualité reconnue.

**NB :**

**KCl utilisée pour la préparation des solutions étalons doit être de qualité analytique reconnue.**

**Le choix des concentrations des solutions étalons dépend de la gamme des conductivités électriques à mesurer.**

**Dans la partie des modes d'opérateurs on a vu les éléments suivants :**

**1-Préparation de l'appareil :**

- Vérifier l'étalon 1408  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (certifié).
- S'assurer que la constante de la cellule de mesure utilisée est appropriée à la gamme de mesure.

**2-Etalonnage du conductimètre :**

La vérification en interne du conductimètre s'effectue selon la procédure interne "SL S2 Pr 04"

**3-Mesure de la conductivité des échantillons :**

Placer la cellule de mesure dans un récipient contenant l'échantillon à examiner et relever les valeurs de conductivité électriques et qui sont données à 25°C. (Conductimètre avec sonde compensatrice de température)

**NB :**

Si l'appareil de mesure n'est pas équipé d'un dispositif de compensation de température deux possibilités se présentent :

- Corriger de la conductivité électrique obtenue à 0°C par le facteur de correction de température approprié  $f_{25}$  (voir tableau des facteurs de correction).

- Amener l'eau à analyser à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$  pour avoir des mesures de conductivité de haute précision. En utilisant un bain thermostaté et un thermomètre.

#### 4-Expression des résultats :

Le résultat doit être exprimé en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $25^{\circ}\text{C}$  avec référence à la norme **ISO 7888** et à la méthode de correction de température utilisée au cas où les mesurages ne sont pas effectués à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ .

### c. Turbidité :

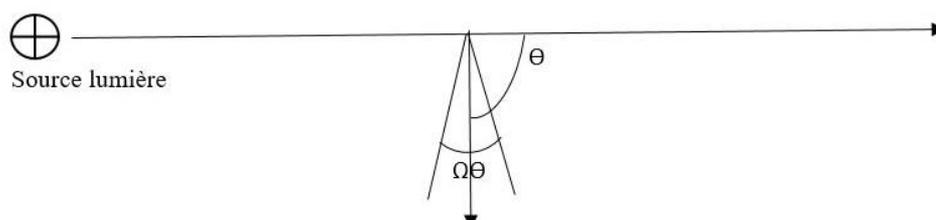
La détermination de la turbidité des eaux destinées à la consommation humaine.

La turbidité est une réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes

La turbidité mesurée est exprimée en unités de turbidité **néphélométrique (NTU)**. Elle est généralement comprise entre 0,05 NTU et 400 NTU.

La méthode de mesure de la turbidité décrite dans ce mode opératoire c'est la néphélométrie qui se base sur la mesure de l'intensité du rayonnement diffus. Ce dernier dépend de la longueur d'onde du rayonnement incident, de l'angle de mesure, ainsi que de la forme, des caractéristiques optiques et de la distribution granulométrique des particules en suspension dans l'eau.

Lors du mesurage du rayonnement diffus, la valeur mesurée dépend de l'angle de mesure  $\Theta$  et de l'angle d'ouverture du rayonnement arrivant sur le récepteur  $\Omega\Theta$ . L'angle  $\Theta$  est formé par la direction du rayonnement incident et la direction du rayonnement diffus mesuré.



Les mesures ont été effectuées selon Norme Marocaine NM ISO 7027-1  
version 2019

**De point de vue d'appareillage on a besoin des matériels suivants :**

- Un turbidimètre pour mesurage néphélogométrique (néphélogomètre)
- Flacon propre en verre ou en plastique



**Figure 17 : Turbidimètre utilisé lors de la mesure**

**Les réactifs utilisés sont les suivants. :**

**1-Eau de dilution** (pour la préparation des solutions d'étalonnage de formazine)

Tremper une membrane filtrante ayant une taille de pores de 0,45  $\mu\text{m}$  pendant 1 h dans 100 ml d'eau distillée. Filtrer 250 ml d'eau distillée sur la membrane filtrante et éliminer cette eau. Faire passer un volume de 2 L d'eau distillée sur la membrane à deux reprises et conserver cette eau pour la préparation des suspensions de formazine.

**Ou bien utiliser de l'eau ultra pure pour la préparation des solutions de formazine.**

**2-Solution étalon de turbidité**

Pour le réglage de l'appareil des solutions étalons de turbidité à la formazine (1000 FNU ; 10 NTU et 0.02 NTU), seront utilisées.

**NB :** Ces étalons doivent être certifiés (les certificats doivent être si possible raccordés à un organisme d'accréditation)

Pour l'étalonnage de l'appareil on prépare extemporanément les 5 solutions étalon suivantes :

- **Suspension de formazine 10 FNU** : diluer 10 ml de la solution étalon 100 FNU dans une fiole jaugée de 100 ml en utilisant l'eau de dilution déjà préparée ou l'eau ultra pure.
- **Suspension de formazine 7.5 FNU** : diluer 7.5 ml de la solution 100 FNU dans une fiole jaugée de 100 ml en utilisant l'eau de dilution déjà préparée ou l'eau ultra pure.
- **Suspension de formazine 5 FNU** : diluer 5 ml de la solution 100 FNU dans une fiole jaugée de 100 ml en utilisant l'eau de dilution déjà préparée ou l'eau ultra pure.
- **Suspension de formazine 2.5 FNU** : diluer 2.5 ml de la solution 100 FNU dans une fiole jaugée de 100 ml en utilisant l'eau de dilution déjà préparée ou l'eau ultra pure.
- **Suspension de formazine 1 FNU** : diluer 10 ml de la solution 10 FNU préparée dans une fiole jaugée de 100 ml en utilisant l'eau de dilution déjà préparée ou l'eau ultra pure.

**Dans la partie des modes d'opérateurs sont réalisées chaque quatre mois ou en cas de besoin :**

**Des solutions de formazine certifiées raccordées au SI sont aussi utilisées pour l'étalonnage du turbidimètre selon une procédure « SL S2 PR 07 ».**

#### **1. Traitement de l'échantillon**

- Homogénéiser l'échantillon avant d'en remplir une cuve propre.
- Essuyer les parois et le fond de la cuve et s'assurer de l'absence de bulles d'air dans l'échantillon.
- Effectuer rapidement la mesure.

#### **2. Expression des résultats**

La mesure de la turbidité est exprimée en unité néphélométrique formazine de la manière suivante :

<b>Gamme de turbidité FNU</b>	<b>Arrondir à X FNU près</b>
Turbidité < 1FNU	0.01
1 FNU ≤ Turbidité < 10 FNU	0.1
10 FNU ≤ Turbidité < 40 FNU	1

**Tableau 4 : expression de turbidité en unité NFU**

### **d. Dosage des chlorures :**

Le dosage des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaine par méthode volumétrique.

Cette méthode est applicable à toutes les eaux.

Les chlorures sont dosés en milieu acide par le nitrate mercurique en présence de la diphenylcarbazonne comme indicateur

**Les mesures on été effectuées selon** la norme Marocaine relative aux eaux d'alimentation humaine **NM.03.7.024**

**Afin d'avoir des mesures fiables les précautions suivantes ont été prises en considération :**

Les sulfites, les ions ferriques, les ions chromates interfèrent à une concentration supérieure à 10 mg/l. les sulfites sont éliminés par addition de quelques gouttes d'eau oxygénée à 30%.

**En termes d'appareillage, les équipements nécessaires sont les suivants :**

- Burette d'une capacité de 25 ml.
- La verrerie courante du laboratoire.

**Les réactifs utilisés sont les suivants :**

**1- Eau distillée**

**2- Indicateur du pH**

- Peser 0.5g de la diphenylcarbazonne, puis 0.05g du bleu de bromophénol. Les introduire dans une fiole jaugée de 100 ml en utilisant un entonnoir.
- Ajouter 80 à 90 ml d'alcool 95°, puis agiter jusqu'à dissolution complète.
- Laisser reposer un quart d'heure à la température du laboratoire.

- Compléter avec de l'alcool au trait de jauge, puis mélanger.
- Conserver la solution dans un flacon brun (solution stable 6 mois)

### **3- Solution d'acide nitrique N/3**

Préparer de préférence 500 ml de la solution d'acide nitrique N/3

### **4- Solution étalon de chlorure de sodium N/10**

Dans une fiole jaugée de 200 ml dissoudre 1.17g dans un peu d'ED puis compléter jusqu'à 200 ml.

### **5- Solution de nitrate mercurique N/10**

#### **- Préparation de la solution**

Peser 17.13g du nitrate mercurique, l'introduire dans une fiole jaugée de 1000ml, ajouter 50ml d'ED et 1 ml d'acide nitrique concentré. Agiter jusqu'à dissolution complète du nitrate mercurique. Quand la solution est limpide compléter avec l'ED jusqu'à 1000ml

**NB : Tous les produits chimiques utilisés doivent être de qualité analytique reconnue.**

**Dans les modes d'opérateur on a vu deux parties l'une est le traitement des échantillons et l'autre pour l'expliquer les résultats :**

#### **1- Traitement de l'échantillon**

- Introduire dans un Erlenmeyer 100.0 ml de l'échantillon après avoir homogénéisé le contenu du flacon.
- Ajouter 0.5 ml de l'indicateur de pH
- Ajouter l'acide nitrique N/3 goutte à goutte jusqu'à obtention d'une couleur jaune foncé. Ajouter un excès de 3 gouttes d'acide nitrique.
- Titrer avec la solution de nitrate mercurique jusqu'au virage du jaune au violet.

#### **2- Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 100 ml la teneur de l'eau en chlorures exprimés en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Chlorure}] = \text{Tb} \times 3.55 \times 10$$

**Tb** : est le nombre de millilitres de nitrate mercurique utilisé pour le dosage.

Le résultat est exprimé avec deux chiffres après la virgule.

**NB : si  $\text{Tb} \geq 10$  ml il faut procéder à la dilution**

### e. Détermination de l'oxydabilité :

L'indice permanganate **IP** d'une eau est la concentration en masse d'oxygène équivalente à la quantité d'ions permanganate consommée quand un échantillon d'eau est traité par le permanganate dans des conditions définies.

La détermination de l'indice permanganate des eaux destinées à la consommation humaine et à usage domestiques, aux eaux potables et aux eaux de piscine. Ce mode opératoire est applicable à des eaux dont l'oxydabilité est incluse entre 0.5 mg/l et 10 mg/l.

La méthode est applicable à des eaux dont la concentration en chlorures est inférieure à 300 mg/l

La technique utilisée pour déterminer l'oxydabilité est chauffage d'un échantillon dans un bain d'eau bouillante en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et d'acide sulfurique pendant une période donnée (10 mn). Réduction d'une partie de permanganate par les matières oxydables de l'échantillon et détermination de l'excès de permanganate par addition d'un excès d'une solution d'oxalate, suivie par un titrage de l'oxalate en excès par le permanganate.

**Les mesures ont été effectuées selon** : La norme Marocaine **ISO 8467 v.2012** adoptées par les services de la RADEEMA.

**On utilise les appareillages suivants pour déterminer l'indice de permanganate** :

- Bain-marie
- Erlenmeyer de 250 ml ou tubes à essai.
- Burette d'une capacité de 10 ml graduée en 0.02 ml prés.



**Figure 18 : Bain marie**

- Fioles jaugées de 25 ml ; 100 ml ; 500 ml et de 1000 ml de capacité.
- Pipettes de 5ml, 10ml ; 25 ml et 50 ml.

### Les réactifs utilisés :

- **Eau distillée ED** (dont la consommation en  $\text{KMnO}_4$  ne dépasse pas 0.1 ml) ou **eau ultra-pure**

- **Solution de Permanganate de potassium**

- Préparation de la solution mère de  $\text{KMnO}_4$  20 mmol/l (N/10) (**stable 6 mois à l'obscurité**)

Dissoudre environ 1,6 g de permanganate de potassium dans de l'eau distillée et diluer à 500 ml chauffer la solution à une température de 90°C à 95°C pendant deux heures, refroidir et stocker pendant au moins 2 jours. Décantier la solution claire puis stocker dans un flacon brun.

- Préparation de la solution fille de  $\text{KMnO}_4$ , 2 mmol/l (N/100) (**stable 3 mois à l'obscurité**)

Dans une fiole jaugée de 1000 ml introduire à l'aide d'une fiole jaugée 100 ml de la solution mère, compléter au volume et homogénéiser.

- **Acide sulfurique concentré (densité = 1.84g/ml) 18 mol/l**

- Acide sulfurique 7.5 mol/l

Ajouter lentement et sous agitation continue 210 ml de l'acide sulfurique 18 mol/l à 250 ml d'eau. Laisser refroidir et diluer à 500 ml.

- Acide sulfurique 2 mol/l

Ajouter lentement et sous agitation continue 110 ml d'acide sulfurique 18 mol/l à environ 500 ml. Ajouter lentement la solution de permanganate de potassium 2 mmol/l jusqu'à persistance d'une coloration rose pâle. Laisser refroidir et compléter avec de l'eau à 1 l.

- **Solution d'oxalate de sodium**



**Figure 19 : Solution de permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4$**

**a- Préparation de la solution mère d'oxalate de sodium 0.05 mol/l (stable 6 mois à l'obscurité)**

Dissoudre 3.35 g d'oxalate de sodium ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), déjà séché à  $120^\circ\text{C}$  pendant 2 heures, dans de l'ED, puis ramener à 500 ml dans une fiole jaugée.

**b- Préparation de la solution fille d'oxalate de sodium 5 mmol/l (stable 2 semaines)**

Introduire 10 ml de la solution mère d'oxalate de sodium dans une fiole jaugée de 100 ml puis compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau.

**NB :**

**Tous les produits chimiques utilisés doivent être de qualité « pour analyse ».**

**Les volumes des solutions préparées dépendent de la consommation de ces dites solutions.**

**Dans la section des modes d'opérateurs, les éléments suivants ont été examinés :**

Vérifier que toute la verrerie utilisée dans le mode opératoire soit parfaitement propre. Diluer les échantillons dont l'IP est élevé de façon à ce que :

$$0.5 \text{ mg/l} \leq I_{\text{Mn}} \leq 10 \text{ mg/l.}$$

**1- Traitement de l'échantillon**

Transférer à l'aide d'une pipette ou fiole  $25 \text{ ml} \pm 0.25 \text{ ml}$  dans un Erlenmeyer. Ajouter  $5 \text{ ml} \pm 0.5 \text{ ml}$  d'acide sulfurique 2 mol/l et mélanger en agitant doucement. Placer l'erlenmeyer dans le bain d'eau bouillante (température entre  $96^\circ\text{C}$  et  $98^\circ\text{C}$ ) pendant  $10 \text{ min} \pm 2 \text{ min}$ . Ajouter  $5 \text{ ml} \pm 0.05 \text{ ml}$  de la solution étalon de permanganate de potassium 2 mmol/l et démarrer le chronométrage. Après  $10 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$  ajouter  $5 \text{ ml} \pm 0.05 \text{ ml}$  de la solution étalon d'oxalate de sodium 5 mmol/l et attendre que la solution se décolore. Titrer pendant que la solution est encore chaude avec la solution de permanganate de potassium 2 mmol/l jusqu'à une coloration rose pâle persistante pendant environ 30 s. Noter le volume (TB) de la solution de permanganate consommé.



**Figure 20 : solutions d'oxidabilite apres le titrage**

## **2-Traitement du blanc**

Effectuer parallèlement à la détermination, un essai à blanc en utilisant 25 ml d'eau ultra pure au lieu de l'échantillon. Noter le volume  $V_{EB}$  de la solution de permanganate consommée. Conserver la solution titrée pour l'étalonnage de la solution de permanganate.

## **3-Etalonnage de la solution de permanganate de potassium**

A la solution titrée conservée de la détermination du blanc ajouter  $5 \text{ ml} \pm 0.05 \text{ ml}$  de la solution d'oxalate de sodium  $5 \text{ mmol/l}$ . réchauffer si nécessaire la solution à  $80^\circ\text{C}$  et titrer avec de la permanganate  $2 \text{ mmol/l}$  jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante pendant environ 30 s. Noter le volume  $V_{ET}$  de la solution de permanganate consommé.

## **4-Expression des résultats**

Calculer l'indice de permanganate  $I_{Mn}$  exprimé en  $\text{mg d'O}_2$  par litre par l'expression suivante :

$$I_{Mn} = \frac{TB - V_{EB}}{V_{ET}} \times f$$

Avec :

**I<sub>Mn</sub>** : L'indice Permanganate

**V<sub>EB</sub>** : Le volume en ml de KMnO<sub>4</sub> consommé dans le dosage du blanc.

**T<sub>B</sub>** : Le volume en ml de KMnO<sub>4</sub> consommé dans le dosage de l'échantillon.

**V<sub>ET</sub>** : Le volume en ml de KMnO<sub>4</sub> consommé pour l'étalonnage.

**f** : est le facteur en mg/l utilisé pour recalculer l'oxygène et pour tenir compte du volume d'échantillon utilisé, dans le cas présent *f* est égale à 16.

## **f. Détermination de l'alcalinité totale :**

L'alcalinité est la capacité quantitative des milieux aqueux à réagir avec les ions hydrogène.

L'alcalinité totale ou TAC correspond à la détermination des hydrogénocarbonates, des carbonates et des hydroxydes présents dans l'eau.

L'alcalinité composite correspond à la totalité des hydroxydes et à la moitié de la teneur en carbonate d'une eau.

La détermination titrimétrique de l'alcalinité des eaux dont la concentration d'alcalinité est comprise 0.4 mmol/l et 20 mmol/l.

Pour les échantillons contenant des concentrations supérieures d'alcalinité il faut procéder à des dilutions.

La détermination de l'alcalinité totale est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution acide étalonnée au point de virage pH4.5

**Les mesures on été effectuées selon** : La norme Marocaine **ISO 9963-1** version **2001** adoptées par les services de la RADEEMA

Les matières en suspension sous forme de carbonate peuvent interférer avec l'analyse. Cette interférence peut être réduite par filtration avant le titrage.

### **De point de vue d'appareillage on a besoin des matériels suivants :**

- Burette de précision d'une capacité de 10 ml graduée en 0.02 ml
- La verrerie courante du laboratoire. «

## Les réactifs utilisés :



**Figure 21 : les réactifs utilisés dans le titre alcalimétrique**

**1- Eau distillée**, exempte de concentrations interférentes en acide ou en base, et de conductivité inférieure à  $1\mu\text{S}/\text{cm}$  (Eau ultra pure).

**2- Solution d'indicateur de vert de bromocrésol-rouge de méthyle**

Dissoudre  $0.200\text{g} \pm 0.005$  de vert de bromocrésol et  $0.015\text{g} \pm 0.002\text{g}$  de rouge de méthyle dans  $100\text{ml} \pm 4\text{ml}$  d'éthanol (à v/v > à 90%). Conserver dans un flacon brun.

**3- Carbonate de sodium** (solution étalon à  $0.025\text{mol}/\text{l}$ )

Sécher  $4\text{g}$  de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) à  $250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$  pendant  $4\text{h}$ . laisser refroidir dans un dessiccateur. Dissoudre  $2.65\text{g} \pm 0.20\text{g}$  (m pesée à  $0.001\text{g}$  près) dans l'eau et diluer dans une fiole volumétrique à  $1000\text{ml}$ . (**Solution stable pendant au moins un mois si elle est conservée au réfrigérateur entre  $4^\circ\text{C}$  et  $8^\circ\text{C}$** )

**4- Acide Chlorhydrique  $0,10\text{mol}/\text{l}$**

Diluer un volume de  $X\text{ml} \pm 0.1\text{ml}$  d'acide chlorhydrique à  $1000\text{ml}$ .

Avec :  $X = (100 * M) / (d * V_r)$  avec :

- M est la masse molaire de l'acide chlorhydrique utilisé.
- d est la densité notée sur le flacon d'acide chlorhydrique utilisé.

- $V_r$  est le volume réel du produit noté sur le flacon d'acide chlorhydrique utilisé.

Cette solution doit être étalonnée par la solution étalon de carbonate de sodium au moins une fois par semaine.

a. Détermination du titre de l'HCl :

Introduire à l'aide d'une pipette  $25.0 \text{ ml} \pm 0.1 \text{ ml}$  ( $V_1$ ) d'une solution de carbonate de sodium à  $0.025 \text{ mol/l}$  dans une fiole erlenmeyer de  $250 \text{ ml}$ , ajouter  $75 \text{ ml} \pm 5 \text{ ml}$  d'eau et  $0.1 \text{ ml} \pm 0.02 \text{ ml}$  de solution indicatrice de vert de bromocrésol-rouge de méthyle. Titrer avec une solution d'acide chlorhydrique à  $0.10 \text{ N}$  jusqu'à disparition de la couleur bleu verdâtre. Noter le volume  $V_2$  en millilitres d'acide consommé.

b. Détermination à blanc :

En utilisant  $100 \text{ ml} \pm 5 \text{ ml}$  d'eau effectuer une détermination à blanc en suivant le même protocole décrit ci-dessus (paragraphe a). Noter le volume  $V_3$

c. Calcule du titre de l'acide chlorhydrique

Le titre de l'HCl préparé est donné par la formule suivante :

$$c(\text{HCL}, 1) = \frac{mV_1}{53.00(V_2 - V_3)}$$

Avec :

$c(\text{HCl}, 1)$  : est la concentration réelle exprimée en mol/l de la solution d'acide chlorhydrique.

$m$  : est la masse en g de carbonate de sodium prise pour la préparation de la solution étalon.



**Figure 22 : Titrage par l'acide chlorhydrique**

**V1** : est le volume en ml de la solution étalon de carbonate de sodium prise pour le titrage.

**V2** : est le volume en ml de la solution d'acide chlorhydrique consommée lors du titrage de la solution étalon de carbonate de sodium.

**V3** : est le volume en ml de la solution d'acide chlorhydrique consommée lors du titrage à blanc

#### **5- Acide Chlorhydrique 0,02 mol/l**

Introduire 100 ml  $\pm$  1 ml d'une solution d'acide chlorhydrique 0.1 mol/l dans une fiole de 500 ml diluer au volume avec de l'eau et bien mélanger cette solution doit être préparée extemporanément.

Le titre de cette solution (**HCl,2**) préparée est donné par la formule suivante :

$$c(\mathbf{HCl,2}) = 0.2 * c(\mathbf{HCl,1})$$

#### **6- Solution de thiosulfate de Na<sup>+</sup> N/10**

Dissoudre 2.5g  $\pm$  0.2g de thiosulfate de sodium pentahydraté (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O) dans 100 ml  $\pm$  5 ml d'eau. Conserver dans un flacon brun au réfrigérateur pendant 6 mois au maximum.

**NB** : Tous les produits chimiques utilisés doivent être de qualité « pour analyse »

**Dans la section des modes d'opérateurs, les éléments suivants ont été examinés :**

##### **1. Traitement de l'échantillon**

- Introduire dans un Erlenmeyer 100.0 ml  $\pm$  1 ml (volume V4) de l'échantillon
- Ajouter 0.05 ml de thiosulfate de sodium si l'échantillon contient du chlore libre.
- Ajouter 0.1 ml  $\pm$  0.02ml de solution indicatrice de vert de bromocrésol-rouge de méthyle.
- Titrer avec l'acide chlorhydrique jusqu'au changement de couleur de vert-bleu à gris. Si l'alcalinité se situe dans la gamme 4 mmol/l à 20 mmol/l utiliser la

solution d'acide chlorhydrique 0.1 mol/l. Si l'alcalinité se situe dans la gamme 0.4 mmol/l à 4 mmol/l utiliser la solution d'acide chlorhydrique 0.02 mol/l.

- Noter le volume V5 en millilitres d'acide consommé.

## 2. Expression des résultats

Le titre alcalimétrique complet (TAC), ou l'alcalinité totale exprimée en millimoles par litre est donné par la formule suivante :

$$\text{TAC} = c(\text{HCl}) \times V5 \times 10$$

Avec :

**TAC** : l'alcalinité totale en mmol/l

**c(HCl)** : la concentration réelle exprimée en mol/l de la solution d'acide chlorhydrique utilisée.

**V5** : le volume, en millilitres, de la solution d'acide chlorhydrique consommé pour atteindre le virage (à pH 4.5).

## g. Détermination de la dureté totale :

La Dureté totale d'une eau est la concentration totale en ions calcium, magnésium et autres cations bivalents et trivalents présentés dans cette eau.

Le calcium et le magnésium présents dans l'eau sont complexés par L'EDTA.

Le noir ériochrome T est utilisé comme indicateur pour la détermination de la dureté totale, il donne en présence des ions calcium et magnésium une coloration violette.

**Les mesures on été effectuées selon :** La norme Marocaine NM.03.7.020 adoptées par les services de la RADEEMA

La présence de certains cations dans l'eau tels que le fer, le manganèse, le cuivre et le plomb peut causer une interférence dans l'analyse, ce qui impose l'emploi d'inhibiteur de ces interférents.

**On utilise les appareillages suivants pour déterminer la dureté totale :**

- Four pasteur
- Mortier
- Burette d'une capacité de 25 ml, graduée en 0.05 ml.
- La verrerie courante du laboratoire.
- Balance de précision

### **Les réactifs utilisés :**

#### **1- Eau distillée**

#### **2- Solution tampon**

Dissoudre 54g de chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dans un peu d'eau, ajouter 350 ml d'ammoniaque concentré et compléter au litre avec de l'eau distillé

#### **3- Noire ériochrome T (indicateur)**

Broyer au mortier de porcelaine 100 g de chlorure de sodium jusqu'à obtention d'une poudre très fine puis ajouter 1g de noire ériochrome T. broyer jusqu'à homogénéisation.

#### **5- Solution complexométrique de l'EDTA 0.02 M**

##### **a. Préparation de la solution de l'EDTA**

Dissoudre 7.445 g de sel disodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique avec de l'ED, puis ramener à un litre dans une fiole jaugée. Conserver la solution dans un flacon en polyéthylène et en vérifier le titre de temps à autre.

##### **b. Préparation de la solution étalon de référence $\text{CaCO}_3$ 0.02 mol/l**

**NB : il est préférable de préparer 250 ml au lieu de 1l de la solution de  $\text{CaCO}_3$  à fin d'éviter toute dissipation du produit**

Sécher une quantité (environ 1 g) de carbonate de calcium pur pendant 2h à  $150^\circ\text{C}$ .

En introduire 0,5.005 g dans une fiole conique de 250 et humidifier avec de l'eau.



**Figure 23 : Réactifs utilisés dans détermination de la dureté**

Ajouter goutte à goutte de l'HCl à 4 mol/l jusqu'à ce que tout le carbonate soit dissous.

Eviter l'excès d'acide.

Ajouter 50ml d'ED et porter à ébullition pendant quelques minutes pour éliminer le dioxyde de carbone. Refroidir et ajouter quelques gouttes de l'indicateur au rouge de méthyle, puis ajouter une solution ammoniacale à 3 mol/l jusqu'à ce que la solution devienne orange.

Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 250 ml et compléter au volume avec de l'eau distillé. Le titre de cette solution est de 0.02mol/l.

### **5- Inhibiteur des interférents**

Dissoudre 5.00 g de sulfure de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) dans 100 ml d'eau distillée. Conserver la solution à l'abri de l'air dans un flacon bien fermé. Ajouter 1 ml du réactif dans la prise d'essai.

**NB : Tous les produits chimiques utilisés doivent être de qualité « pour analyse »**

**Dans les modes d'opérateur on a vu deux parties l'une est le traitement de l'échantillon et l'autre est l'expression les résultats :**

#### **1. Traitement de l'échantillon**

- Introduire dans un Erlenmeyer 100.0 ml de l'échantillon après avoir homogénéiser le contenu du flacon.
- Ajouter 5 ml de la solution tampon
- Ajouter une petite spatule d'indicateur de noir ériochrome T
- Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge au bleu.

Si la tombé de la burette dépasse 20 ml, il faut diluer l'échantillon.

Si la tombé de la burette est inférieure à 2 ml, il faut refaire le dosage en utilisant un volume plus important.



**Figure 24 : Solutions après ajouter de noir ériochrome**

## 2. Expression des résultats

La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH), exprimé en °F est donnée par la formule suivante :

$$\text{TH} = a \times 2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Avec **a** est le nombre de ml d'EDTA utilisé pour le dosage.

Dans le cas où le volume a été dilué en tenir compte dans le calcul des résultats.

Le résultat est exprimé avec deux chiffres après la virgule.

## **h. Dosage des nitrates :**

Le dosage des nitrates dans les eaux destinées à la consommation humaine, par mesure spectrophotométrique avec l'acide sulfosalicylique.

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrique.

Pour le nitrate on a basé sur la référence : RODIER L'analyse de l'eau, 9eme édition (page 327)

Les éléments qui peuvent interférer dans cette analyse sont les suivants :

- La turbidité qui peut être éliminée par filtration sur membrane de porosité 0.45µm à condition que ces membranes ne contiennent pas de nitrates.
- Le fer interfère au-delà de 5mg/l ce qui n'est pas le cas pour les eaux potables distribuées par la RADEEMA (selon les analyses T2C).
- L'interférence avec les nitrites est éliminée par l'utilisation de l'azoture de sodium.

**On a besoins des appareillages suivants :**

- Spectrophotomètre d'absorption moléculaire
- Capsule à évaporation de 60 ml environ
- Bain-marie
- La verrerie courante du laboratoire.
- Balance de précision

**Les réactifs utilisés :**

**1- Solution de salicylate de sodium à 1% (à renouveler toutes les 24 heures)**

**2- Acide sulfurique concentré (d=1.84)**

**3- Acide acétique concentré**

**4- Solution d'hydroxyde de sodium**

Hydroxyde de sodium .....200 g

EDTA..... 50 g

Eau ultra pure.....qsp1000 ml

Dissoudre NaOH dans 800 ml d'eau ultra pure, ajouter l'EDTA. Après dissolution et refroidissement transvaser la solution dans une fiole jaugée ajuster le volume au 1.

Conserver la solution dans un flacon de polyéthylène

**5- Solutions d'azoture de sodium**

Azoture de sodium..... 50 mg

Eau ultra pure.....qsp 100 ml

**6- Solution mère étalon d'azote nitrique à 100 mg/l** (à renouveler tous les deux mois)

Nitrate de potassium anhydre. ....722 mg

Eau ultra pure.....qsp 1000 ml

**7- Solution fille étalon d'azote nitrique à 5 mg/l**

Au moment de l'emploi, amener 50ml de la solution mère étalon à 1000 ml avec de l'eau ultra pure

**NB : Tous les produits chimiques utilisés doivent être de qualité pure pour analyse.**

**Dans les modes d'opérateurs, nous avons identifié deux sections distinctes : l'une concerne le traitement de l'échantillon et l'autre la présentation des résultats.**

### **1. Traitement de l'échantillon**

Dans une capsule à évaporation introduire 10 ml de l'échantillon à analyser (pour des teneurs en nitrate supérieure à 44.3 mg/l opérer une dilution). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Poursuivre le dosage comme pour les solutions étalons. Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau ultra pure.

Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

### **2. Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 10 ml la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en mg/l d'eau (tenir compte de la valeur lue pour le témoin).

**Pour obtenir la teneur en mg/l de nitrates  $\text{NO}_3^-$  multiplier le résultat lu sur la courbe par 4.43.**

Pour les échantillons dilués il faut tenir compte du facteur de dilution.

### **i. Dosage des nitrites :**

En milieu acide (pH=1.9) les nitrites réagissent avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'acide ortho phosphorique pour former un complexe de coloration rose, avec le dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane, susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 540 nm.

Cette méthode est applicable au dosage des nitrites jusqu'à une concentration de 0.25 mg/l d'azote en utilisant le volume maximale (40 ml) de prise d'essai.

**Les mesures ont été effectuées selon :** La norme Marocaine **ISO 6777** version **1999** adoptées par les services de la RADEEMA

Les éléments qui peuvent interférer dans cette analyse sont les suivants :

- Les hydrogénocarbonates interfèrent au-delà de 300 mg/l
- La couleur
- Le chlore

**Les appareillages qui utilisés dans cette analyse sont suivantes :**

- Spectrophotomètre permettant des mesurages à une longueur d'onde de 540 nm équipé de cuve de 10 ml et 40 ml
- La verrerie courante du laboratoire.
- Balance analytique



**Figure 25 : Spectrophotomètre**

**NB : toute la verrerie doit être soigneusement lavée avec une solution d'acide chlorhydrique à 2 mol/l. et rincée abondamment à l'eau distillée.**

**Les réactifs utilisés :**

**1- Eau ultra pure**

**2- Acide orthophosphorique solution à 15 mol/l**

**3- Solution d'acide Orthophosphorique à 1,5mol/l**

Diluer 25 ml d'acide orthophosphorique 15 mol/l dans 150 ml  $\pm$  25 ml d'eau distillée. Homogénéiser et refroidir à la température ambiante. Transférer dans une

fiolle jaugée de 250ml et compléter au volume avec de l'eau distillée. Conserver la solution dans un flacon brun **elle est stable 6 mois.**

#### **4-Réactif coloré (préparé 50 ml pour éviter de dissiper les produits)**

Dissoudre  $2,00 \pm 0,025$  g d' amino-4 bène sulfonamide  $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$  dans un mélange formé de 5 ml d'acide ortho phosphorique 15 mol/l et de  $25 \pm 2,5$  ml d'eau distillée dans un bécher.

Dissoudre  $0,1 \pm 0,001$  g de Dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane ( $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2 \cdot 2\text{HCl}$ ) dans la solution obtenue.

Transférer dans une fiolle jaugée de 50 ml et compléter au volume avec l'eau distillée, bien homogénéiser. **Conserver la solution dans un flacon en verre brun à une température entre 2 et 5°C elle est stable 1 mois.**

#### **5-Solutions étalons de nitrites**

##### **- Solution mère étalon à 100 mg/l d'azote**

Dissoudre 0,4922 g (+0.0002 g) de nitrite de sodium (préalablement séché 2 heures à l'étuve à 105°C) dans 750 ml d'eau distillée transférer dans une fiolle jaugée de 1000 ml. Puis compléter jusqu'au trait de jauge, conserver la solution dans un flacon brun entre 2 et 5°C. **Cette solution est stable au moins 1 mois.**

##### **- Solution fille étalon à 1mg/l d'azote**

Au moment de l'emploi, diluer au 1/100 la solution mère étalon. **Cette solution ne se conserve pas.**

**NB : Tous les produits chimiques utilisés doivent être de qualité analytique reconnue.**

**Dans les modes d'opérateur on a vu deux parties l'un est le traitement de l'échantillon et l'autre est l'expression des résultats :**

#### **1. Traitement de l'échantillon**

- Dans une fiolle jaugée de 50 ml introduire successivement :

Eau à analyser .....40±2 ml

Réactif coloré..... 1 ml

Homogénéiser en faisant tourbillonner et compléter au volume avec de l'ED.

Homogénéiser et laisser reposer au moins 20 min (le pH à ce stade doit être de  $1.9 \pm 0.1$ ) puis mesurer l'absorbance à 540 nm en utilisant des cuves d'épaisseur appropriées. Pour l'essai à blanc utiliser l'eau distillée traitée comme les échantillons.



**Figure 26 : Solutions prête pour mesurer les absorbances**

**NB : La prise d'essai 40 ml convient pour la détermination de concentration de nitrite jusqu'à 0.25 mg/l d'azote, pour des concentrations de nitrite plus élevées utiliser des prises d'essais plus petites.**

## **2. Expression des résultats**

Calculer l'absorbance corrigée  $A_r$  de la solution d'essai par la formule suivante :

$$A_r = A_s - A_b$$

Avec :

$A_s$  est l'absorbance mesurée de la solution d'essai

$A_b$  est l'absorbance de l'essai à blanc

**Il est essentiel que les valeurs de  $A_s$   $A_b$  soit mesurées dans des cuves de même épaisseur pour un échantillon particulier.**

A partir de l'absorbance corrigée  $A_r$ , déterminer au moyen de la courbe d'étalonnage pour l'épaisseur de cuve appropriée, la masse correspondante de nitrite, exprimée en  $\mu\text{g}$  d'azote.

**La concentration de nitrite, exprimée en mg/l d'azote** est donnée par la formule :  $m_n/V$  avec :  $m_n$  est la masse des nitrites exprimés en  $\mu\text{g}$  d'azote, correspondant à l'absorbance corrigée  $A_r$

$V$  est le volume en ml de la prise d'essai.

La concentration de nitrites, exprimée en mg/l de nitrite est donnée par la formule suivante :

$$(m_n/v) \times 3.29$$

## **j. Dosage d'ammonium :**

Cette méthode est applicable au dosage de l'ammonium dans l'eau potable et la plupart des eaux brutes jusqu'à une concentration de 1,288 mg/l d'ammonium en utilisant le volume maximale (40 ml) de prise d'essai.

Mesurage spectrophotométrique à la longueur d'onde de 655 nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite (généré par hydrolyse alcaline du sel dichloroisocyanurate de sodium) en présence de nitroprussiate de sodium.

Le citrate de sodium est incorporé aux réactifs pour masquer l'interférence des cations (calcium et magnésium...)

**Les mesures on été effectuées selon :** La norme Marocaine **ISO 7150-1** version **1999** adoptées par les services de la RADEEMA

### **Les appareillages qui utilisés dans cette analyse sont suivantes :**

- Spectrophotomètre permettant des mesurages à une longueur d'onde de 655 nm équipé de cuve de parcours optique compris entre 10 ml et 50 ml
- La verrerie courante du laboratoire.
- Balance analytique.

- Bain d'eau maintenant la température à  $25 \pm 1$  °C.

**NB : toute la verrerie doit être soigneusement lavée avec la solution de lavage décrite en VI-2 puis rincée abondamment avec de l'eau ultra pure ou l'eau préparée en VI-1.**

**Les réactifs utilisés sont les suivantes :**

**1- Eau exempte d'ammonium : Eau ultra pure (EUP) ou préparée par la méthode suivante :**

Faire passer de l'eau distillée à travers une colonne de résine fortement échangeuse de cations (forme hydrogène) et recueillir l'éluat dans une bouteille en verre munie d'un bouchon à fermeture hermétique. Pour la conservation ajouter 10 g de résine (forme hydrogène) à chaque litre d'éluat recueilli.

**2- Solution de lavage**

Dissoudre  $100 \pm 2$  g d'hydroxyde de potassium dans  $100 \pm 2$  ml d'eau ultra pure, refroidir puis ajouter  $900 \pm 50$  ml d'éthanol 95%. Conserver dans un récipient en polyéthylène.

Toute la verrerie doit être soigneusement lavée par emploi de cette solution puis rincée abondamment avec l'EUP

**3- Réactif coloré (préparé 100 ml pour éviter de dissiper les produits)**

Dissoudre  $13 \pm 0.1$  g de Salicylate de sodium ( $C_7H_6O_3Na$ ) et  $13 \pm 0.1$  g de Citrate tri-sodique dihydraté ( $C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$ ) dans l'EUP contenue dans une fiole jaugée de 100 ml.

Ajouter une quantité suffisante d'eau pour avoir un volume total de 95 ml, puis ajouter 0.097 g de sodium nitrosopentacyanoferrate III dihydraté dissoudre et ajuster le volume au trait de jauge.

**Conserver dans un récipient en verre brun la solution est stable 2 semaines.**

**4- Dichloroisocyanurate de sodium :**

Dissoudre  $3.2 \pm 0.01$  g d'hydroxyde de sodium dans  $50 \pm 5$  ml d'EUP, refroidir à température ambiante, puis ajouter  $0.2 \pm 0.002$  de dichloroisocyanurate dihydraté,

dissoudre le solide et transvaser dans une fiole jaugée de 100 ml puis ajuster avec l'EUP au trait de jauge.

**Conserver dans un flacon en verre brun la solution est stable 2 semaines.**

#### **5- Solution étalon d'azote ammoniacal à 1000 mg/l (1288 mg/l d'ammonium)**

Dissoudre  $3.819 \pm 0.004$  g de chlorure d'ammonium (préalablement séché à 105 °C au moins 2h) dans 800 ml d'EUP contenue dans une fiole jaugée de 1000 ml. Ajuster au trait de jauge.

**Conserver dans un flacon en verre brun stable au moins un mois.**

#### **6- Solution fille étalon d'azote ammoniacal à 100 mg/l (128.8 mg/l d'ammonium)**

Prélever 10 ml de la solution mère d'azote ammoniacal (1000 mg/l), l'introduire dans une fiole jaugée de 100 ml et ajuster au trait de jauge par l'EUP. **(Conserver dans un flacon en verre brun la solution est stable une semaine)**

#### **7- Solution fille étalon d'azote ammoniacal à 1 mg/l (1.288 mg/l d'ammonium)**

Prélever 2 ml de la solution fille d'azote ammoniacal à 100 mg/l, l'introduire dans une fiole jaugée de 200 ml et ajuster au trait de jauge par l'EUP.

**Cette solution est préparée immédiatement avant emploi.**

**NB : Tous les produits chimiques utilisés doivent être de qualité analytique reconnue.**

**Dans les modes d'opérateur on a vu deux parties l'une concerne le traitement de l'échantillon et l'autre est l'expression des résultats :**

#### **1. Traitement de l'échantillon**

Dans une fiole jaugée de 50 ml :

- Introduire  $40 \pm 1$  ml (prise d'essai maximale pour une concentration en ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  allant jusqu'à 1.288 mg/l.
- Ajouter  $4.00 \pm 0.05$  ml de réactif coloré et homogénéiser
- Ajouter  $4,00 \pm 0.05$  ml de la solution dichloroisocyanurate de sodium et homogénéiser. (Le pH de la solution doit être de  $12.6 \pm 0.1$ )
- Complété au trait repère avec de l'EUP. Agiter vigoureusement la fiole et la placer dans le bain d'eau maintenu à  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Après au moins 60 min, retirer la fiole du bain d'eau et mesurer l'absorbance à la longueur d'onde 655nm dans une cuve de parcours optique adéquat par référence à une cuve contenant de l'EUP.

Pour l'essai à blanc utiliser  $40 \pm 1$  ml d'EUP et traiter comme pour les échantillons.



**Figure 27 : solutions prête pour mesurer les absorbances**

**NB : La prise d'essai 40 ml convient pour la détermination de concentration en ammonium jusqu'à 1.288 mg/l d'ammonium, pour des concentrations d'ammonium plus élevées utiliser des prises d'essais plus petites.**

**Les échantillons contenant des matières en suspension doivent être décantés avant prélèvement de la prise d'essai.**

## **2. Expression des résultats**

Calculer l'absorbance corrigée  $A_r$  de la solution d'essai par la formule suivante :

$$A_r = A_s - A_b$$

Avec :

$A_s$  est l'absorbance mesurée de la solution d'essai

$A_b$  est l'absorbance de l'essai à blanc

**Il est essentiel que les valeurs de  $A_s$   $A_b$  soit mesurées dans des cuves de même épaisseur pour un échantillon particulier.**

**La concentration d'azote ammoniacal, exprimée en mg/l est donnée par la formule  $m_n/v$**

Avec :

$m_n$  est la masse en  $\mu\text{g}$  d'azote ammoniacal correspondant à l'absorbance corrigée  $A_r$

$V$  est le volume en ml de la prise d'essai.

La concentration en ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  exprimée en mg/l d'ammonium  $\text{NH}_4^+$  est donnée par la formule suivante :  $(m_n/v) \times 1,288$

## **V. HYDROCHIMIE ET QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES ETUDIEES**

### **1. Résultats des analyses physicochimiques**

Dans cette partie, sont consignées les différentes mesures et analyses effectuées sur les échantillons d'eau étudiés.

Le tab.5 regroupe les mesures des paramètres **pH**, **turbidité** et **conductivité**. Alors, que dans le tab.6 regroupe les analyses du **Titre Alcalimétrique Complet (TAC)**, du **Titre Hydrotimétrique (TH)**, des concentrations en ion **chlorure (Cl<sup>-</sup>)**, en **nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**, en **nitrite (NO<sub>2</sub>)**, **ammonium** ainsi que **l'oxydabilité**.

Référence	Profond des puits	<b>PH</b>	<b>Turbidité (FNU/NTU)</b>	<b>Conductivité (µs/cm)</b>
AM/CA	40	6,50 à 15,6 °c	665,0	2880
AZ/TH	16	7,27 à 15,6 °c	25,3	1451
AZ/YO2	16	7,39 à 16,9 °c	1,3	3770
AZ/AB	44	6,87 à 16 °c	137,0	1845
AZ/AL	48	7,27 à 16 °c	58,8	2160
HA/KH	17.8	6,71 à 16,6 °c	51,8	2250

**Tableau 5 : Résultats des mesures des puits étudiées dans la région Skoura**

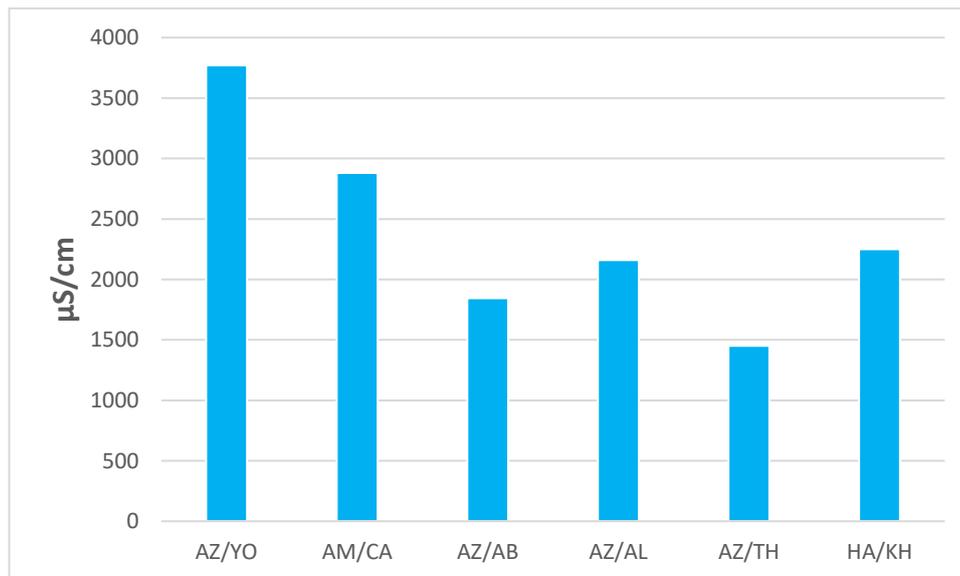
Référence	<b>TAC (mmol/L)</b>	<b>TH (°F)</b>	<b>Chlorure mg/L</b>	<b>Nitrate (mg/l)</b>	<b>Nitrite (mg/l)</b>	<b>Ammonium (mg/l)</b>	<b>Oxydabilité (mg O2 /l)</b>
AM/CA	25,60	122,0	156,20	3,10	0,008	0,104	0.14
AZ/TH	5,32	37,8	191,70	0,00	0,003	0,060	0.22
AZ/YO2	5,40	142,0	497,00	11,91	0	0,01	0.24
AZ/AB	15,10	70,5	106,50	5,18	0.006	0.028	0.16
AZ/AL	5,00	51,5	408,25	9,34	0.013	0,023	0.34
HA/KH	16,60	79,5	142,00	6,11	0.021	0,033	0.18

**Tableau 6 : Analyses chimiques effectuées sur les échantillons des eaux souterraines de Skoura.**

## 2. Interprétation des résultats des analyses physico-chimiques :

Cette partie est dédiée à la compréhension des processus contrôlant la qualité des eaux dans la région de Skoura et faire des comparaisons et des interprétations de la chimie des eaux provenant des différents puits :

### Conductivité :



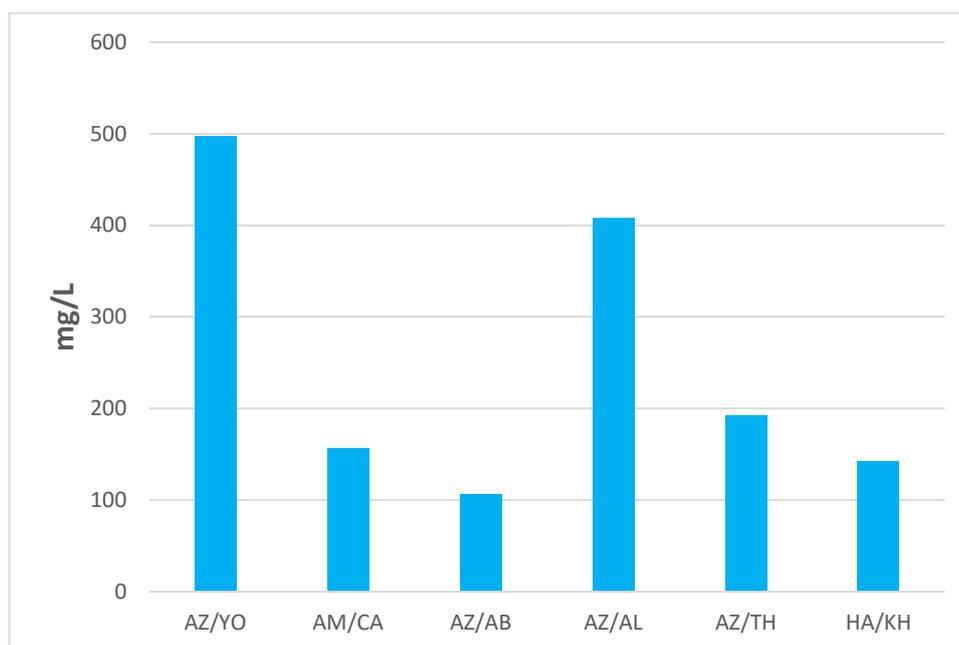
**Figure 28 : Evolution de la conductivité des eaux souterraines de la région de Skoura**

Les valeurs de la conductivité observées (Fig. 28), sont toutes supérieures à 1000  $\mu\text{S/cm}$  (soit environ 700 mg/l) et peuvent aller jusqu'à 3700  $\mu\text{S/cm}$  (soit environ 2.6 g/l). Ce sont des minéralisations, relativement, élevées. Ceci serait lié au fait que ces eaux sont souterraines. Les sources souterraines peuvent traverser des formations géologiques riches en différents minéraux, ce qui entraîne une dissolution plus ou moins complète de certains minéraux. Les différences de conductivités pourraient être liées à une différence du nature lithologique de la roche réservoir.

### Potentiel d'Hydrogène pH :

Les données du tableau 5 révèlent une variation des valeurs de pH entre 6,5 et 7,4. Ces valeurs montrent que les eaux sont relativement neutres. Cette constatation suggère une stabilité dans le niveau de pH de l'eau dans les puits, indiquant ainsi un environnement aquatique globalement équilibré dans la région.

## Chlorure :



**Figure 29 : Evolution des concentrations de l'ion chlorure (Cl<sup>-</sup>) des eaux souterraines de la région de Skoura**

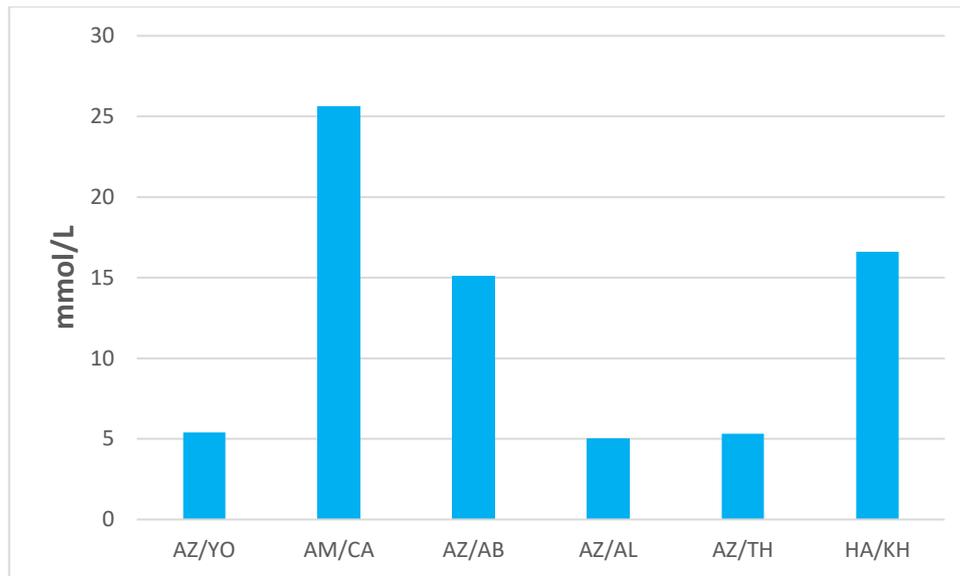
L'ion chlorure (Cl<sup>-</sup>), est un ion conservé qui est, généralement, associé à la présence de dépôts évaporitiques contenant des halites. D'après la fig. 18, on remarque que :

Les puits AZ/YO et AZ/AL se distinguent par leur concentration en chlorures, atteignant respectivement environ 497 mg/L et 408,25 mg/L des valeurs nettement plus élevées que celles des autres puits.

En revanche, les puits AM/CA, AZ/AB et HA/KH affichent des concentrations relativement basses, avec respectivement 156,2 mg/L, 106,5 mg/L et 142 mg/L, soit une moyenne d'environ 130 mg/l. Par ailleurs, l'eau du puits AZ/TH, présente une concentration est modérée de l'ordre de 191,7 mg/L.

Les concentrations élevées en chlorures observées dans les puits AZ/YO et AZ/AL pourraient être le résultat de divers facteurs, tels que des interactions avec des formations géologiques riches en chlorures, des intrusions d'eaux souterraines salées.

## Titre Alcalimétrique Complet :



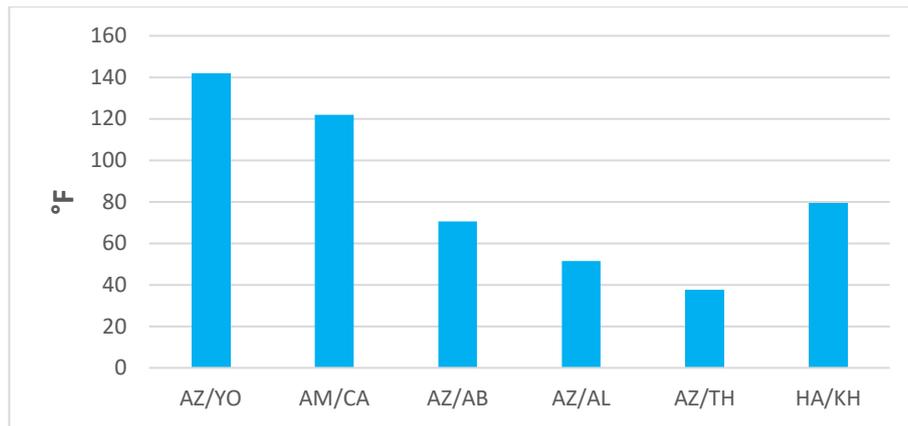
**Figure 30 : Evolution de titre alcalimétrique complet des eaux souterraines de la région de Skoura**

Le Titre alcalimétrique complet (l'alcalinité totale) indique la concentration totale des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), des carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), et dans certains cas les hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ).

Les données disponibles (Tab. 6 et Fig. 30) révèlent que, sauf pour le puits AM/CA (25 mmol/L = 1 561,6 mg/L), la plupart des eaux ont des concentrations d'alcalinité totale relativement faibles à moyennes (entre 5mmol/L = 305 mg/L et 16,6 mmol/L = 1012 mg/L)

La concentration élevée de l'alcalinité totale au niveau de puit AM/CA est attribuée à la dissolution des roches des roches carbonatées, comme le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) et la dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) dans l'eau, qui libérant des ions bicarbonate et carbonate. Ainsi qu'à l'utilisation de produits chimiques agricoles. En effet, certains engrais contiennent des carbonates ou des hydroxydes qui peuvent contribuer à augmenter l'alcalinité de l'eau.

### **Dureté totale :**



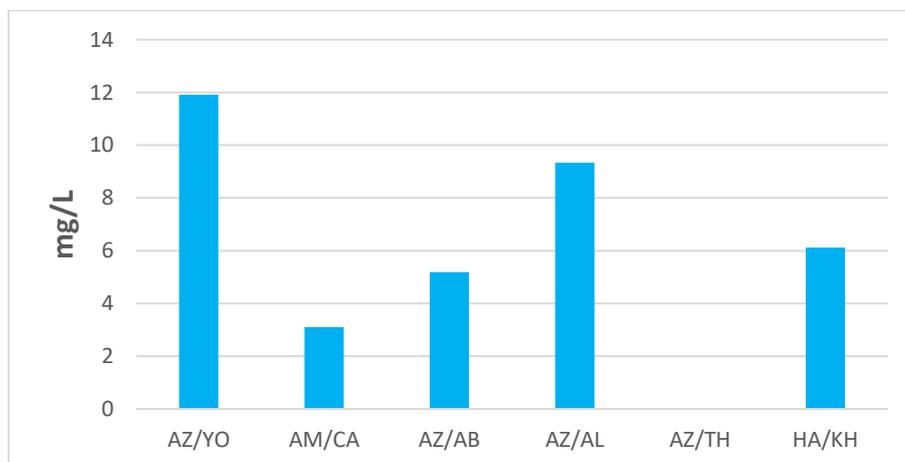
**Figure 31 : Evolution de la dureté totale des eaux souterraines de la région de Skoura**

La dureté totale est une mesure de la concentration totale des ions de calcium et de magnésium dissous dans l'eau.

La figure 31 montre que le puits AZ/YO a la concentration la plus élevée (142 °F = 1420 mg/L) par rapport aux autres puits. En revanche le puits AZ/TH enregistré la valeur la plus faible (37,8 °F = 378 mg/L) qui est situé en pleine de la vallée Emdri.

Les concentrations élevées de la dureté totale (TH) au niveau des puits AZ/YO et AM/CA est expliquée par la présence des roches riches en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et carbonate de magnésium ( $\text{MgCO}_3$ ), notamment le calcaire et la dolomie, ou les précipitations qui traversent les sols et les roches dissolvent les minéraux, les transportant vers les eaux souterraines.

**Nitrate :**



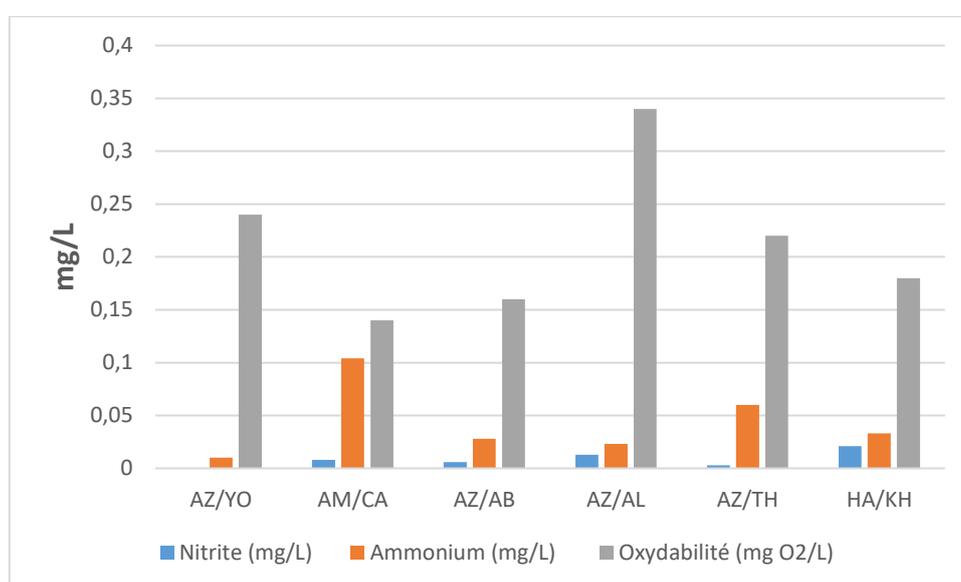
**Figure 32 : Evolution de nitrate des eaux souterraines de la région de Skoura**

L'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) est un ion qui est généralement associé à l'activité humaine (utilisation de fertilisants azotés et production du fumier organique).

D'après les données, la concentration la plus élevée (11,91) est enregistrée au niveau du puits AZ/YO. Alors que la faible concentration enregistrée au niveau du puits AZ/TH qui se trouve au centre de la vallée, à proximité de l'Oued Emdri.

Les teneurs en nitrates dans les échantillons étudiés sont relativement basses (varient entre 0 et 11,91). Cela indique une absence d'activité humaine.

### Nitrites – Ammonium - Oxydabilité :



**Figure 33 : Evolution de nitrite, ammonium et oxydabilité des eaux souterraines de la région Skoura**

Les **nitrites** ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des composés chimiques formés par l'oxydation de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ou la réduction des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) dans le cycle de l'azote.

Les teneurs en **nitrites** dans les puits étudiés sont très faibles, presque nulles (varient entre 0 mg/L et 0,021 mg/L). Cela peut s'expliquer par un processus de nitrification probablement efficace, qui convertit l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitrites puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Ainsi, les nitrites produits à partir de l'ammonium sont rapidement transformés en nitrates, empêchant leur accumulation.

L'**oxydabilité** de l'eau est une mesure de la concentration des substances organiques et inorganiques oxydables présentes dans l'eau.

Le puit AZ/AL enregistré une valeur d'oxydabilité relativement élevée par rapport aux autres puits.

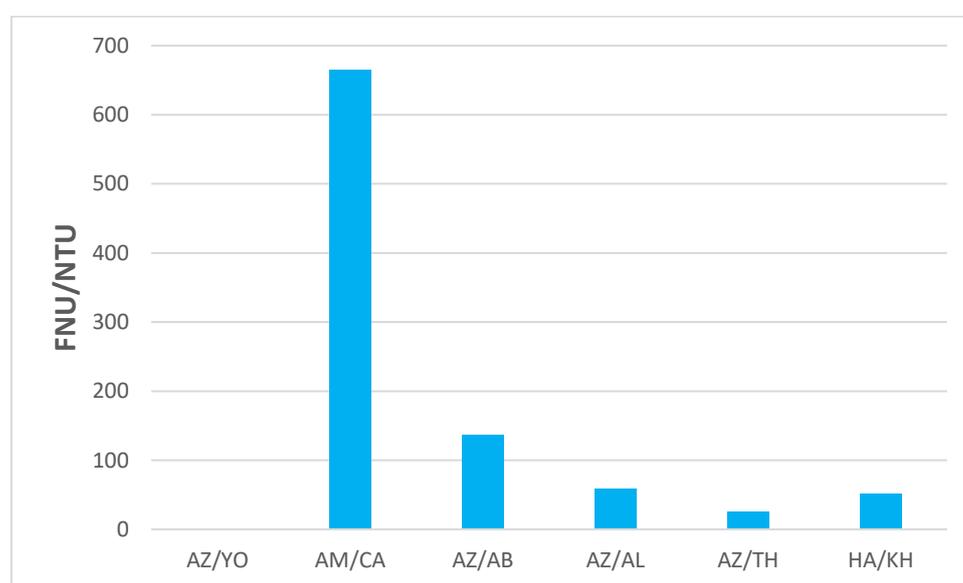
Les valeurs d'oxydabilité des échantillons étudiés sont relativement faibles (entre 0,14 et 0,34 mg O<sub>2</sub>/L). Cela indique une faible présence de matière organique d'origine naturelle proviennent de la décomposition des plantes, des feuilles, et d'autres matières végétales dans le sol qui transportés par les eaux de ruissellement dans les sources d'eau ou d'autres substances oxydables.

**L'ammonium** est un composé chimique constitué d'ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, formé par la protonation de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) avec un proton (H<sup>+</sup>).

Le puits AM/CA présente une concentration relativement élevée d'ammonium (0,104 mg/L), par rapport aux autres puits étudiés. Cependant, dans l'ensemble, les niveaux d'ammonium dans tous les puits restent relativement faibles.

Les faibles concentrations de l'ammonium suggèrent des conditions géologiques et hydrologiques favorables à la dégradation ou à la dilution de l'ammonium, ou simplement une absence de sources de pollution dans ces zones.

### **Turbidité :**



**Figure 34 : Evolution de la turbidité des eaux souterraines de la région de Skoura**

Dans ce contexte d'étude, riche en argiles, la turbidité peut être expliquée par la présence de particules en suspension provenant de diverses sources. Les données

disponibles (Tab. 5 et Fig. 34) montrent que, excepté le puits AM/CA, la majorité des eaux présentent des turbidités relativement faibles (entre 1.3 et 137 NTU).

Le puits AM/CA représentant la turbidité la plus élevée (665 NTU).

La valeur de turbidité élevée (665 NTU), enregistrée au niveau du puits AM/CA indique une forte concentration de particules fines ou de matières en suspension dans l'eau. Ces particules peuvent être associées à des activités humaines telles que l'agriculture ou probablement à l'agitation de l'eau au moment de l'échantillonnage.

**En conclusion, il est observé que le puits AZ/TH présente des valeurs faibles dans toutes les mesures et analyses effectuées. En revanche les puits AZ/YO et AM/CA présentes des valeurs élevées. Cette tendance peut être attribuée à la position géographique : le puit AZ/TH est situé au centre de la vallée, tandis que les puits AZ/YO et AM/CA se trouvent loin de la palmeraie.**

### 3. Qualité des eaux souterrains dans la région Skoura

Dans cette partie, nous examinerons en détail la qualité des eaux des puits en analysant les différents paramètres mesurés. Nous comparerons ensuite les résultats obtenus avec les normes marocaines afin d'évaluer la conformité et identifier les éventuelles sources de contamination.

- La Limite de Quantification de la Méthode (LQM) : Cette limite représente la plus basse concentration d'une substance que l'on peut quantifier avec une précision acceptable. Elle est souvent utilisée pour déterminer la sensibilité d'une méthode analytique.
- La Valeur Maximale Admissible (VMA) : Les autorités réglementaires établissent des VMA pour différents contaminants présents dans l'eau potable. Ces valeurs assurent que les niveaux de contaminants restent en dessous des seuils jugés sûrs pour la consommation humaine.

Paramètres	VMA	LQM	Incertitude sur le résultat
pH	6,5 < pH < 8,5	---	1.4 %
Turbidité en NTU	5 NTU	0.05	6.9 %
Conductivité à 25°C en mg/l	1890 mg/l (= 2700µs/cm)	1,75	1.2 %
Dureté en mg/l	---	10.00	3.9 %
Nitrates en mg/l	50 mg/L	0.22	5.1 %
Nitrites en mg/l	0.5 mg/L	0.020	6.9 %
Chlorures en mg/l	750 mg/L	3.55	6.1 % à [35.5 – 300 mg/l] 2.4 % à [300 – 750 mg/l]
TAC en mg/l	---	36.6	2.1 %
Oxydabilité en mg d'O <sub>2</sub> /l	5 mg O <sub>2</sub> /L	0.5	9.5 %
Ammonium en mg/l	0,5 mg/L	0.034	4.6 %

**Tableau 7 : Critères de contrôle de la qualité**

Réf	PH	Turbidité (NTU)	Conductivité (mg/l)	TAC (mg/l)	TH (mg/l)	Chlorure (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Nitrite (mg/l)	Ammonium (mg/l)	Oxydabilité (mg d'O <sub>2</sub> /l)
AM/CA	6,50 à 15,6 °c	665,0	2016	1561,6	1220	156,20	3,10	0,008	0,104	0.14
AZ/TH	7,27 à 15,6 °c	25,3	1015.7	324,52	378	191,70	0,00	0,003	0,060	0.22
AZ/YO	7,39 à 16,9 °c	1,3	2639	329,4	1420	497,00	11,91	0	0,01	0.24
AZ/AB	6,87 à 16 °c	137,0	1291,5	921,1	705	106,50	5,18	0.006	0.028	0.16
AZ/AL	7,27 à 16 °c	58,8	1512	305	515	408,25	9,34	0.013	0.023	0.34
HA/KH	6,71 à 16,6 °c	51,8	1575	1012,6	795	142,00	6,11	0.021	0.033	0.18

 : Dépasse le VMA (Valeur Maximal Admissible).

 : Moins de la LQM (Limite de Quantification de la Méthode).

**Tableau 8 : Résultats des mesures et des analyses effectuées sur les échantillons par rapport à les critères de contrôle de qualité**

### **Conductivité :**

Les données de tableau 7 montre que les puits AZ/YO (2639 mg/L) et AM/CA (2016 mg/L) dépassent la VMA (1890 mg/l) selon les normes marocaines, en revanche les autres puits AZ/AB, AZ/AL, AZ/TH et HA/KH restent dans l'intervalle de la potabilité.

La conductivité dépend de substances inorganiques solides dissoutes dans les solutions d'eau tel que chlorures, c'est la quantité de substance augmente la conductivité augmentera également. Cela montre que la concentration de ces substances dans les puits AZ/YO et AM/CA plus fortes par rapport aux autres puits.

### **pH :**

Les valeurs de pH mentionnées dans le tableau 8 varient entre 6.5 et 7.4, ces valeurs restent dans l'intervalle de la potabilité (Tab. 7) selon les normes marocaines. Cela est attribué à la présence des formations géologiques riches en calcaire qui peuvent neutraliser les acides et maintenir un équilibre naturel.

### **Chlorure :**

Le chlorure avait généralement une moyenne concentration dans les eaux des puits traite entre 142 et 191,7 mg/l sauf pour les deux puits AZ/YO et AZ/AL a des valeurs supérieures à 400 mg/l, ce peut causer un mauvais goût à l'eau, puisque on a connu qu'après 250 mg/l, la saveur d'eau devient plus en plus salée, mais généralement toutes les valeurs ne dépassent pas la valeur maximale admissible (VMA).

### **Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :**

Le tableau 8 montre que les concentrations de l'alcalinité totale des six puits est variées entre 300 et 1600 mg/L. Ces valeurs élevées sont attribuées à la présence des roches carbonatées, notamment le calcaire.

Pour l'eau potable, un TAC élevé n'est pas nécessairement problématique. Cependant, si le TAC est trop élevé, cela peut indiquer une dureté élevée, pouvant causer des dépôts de tartre dans les canalisations et les appareils domestiques.

### **Dureté totale :**

Les données de tableau 8 montrent que la dureté la plus faible est observée au niveau de puits AZ/TH (378 mg/L), alors que la valeur la plus forte est observée au niveau du puit AZ/YO (1420 mg/L). Cela est attribué à la présence des roches carbonatées.

Vu que tous les puits ont une dureté supérieure à 40 °F, on peut classer l'eau des puits dans la classe des eaux très dure.

<b>TH (°f)</b>	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
<b>Eau</b>	très douce	douce	plutôt dure	dure	très dure

**Tableau 9 : Plage de valeurs du titre hydrotimétrique (site Web 4)**

**Nitrate :**

Le tableau 8 montre que la concentration de nitrates dans les six puits est inférieure à la VMA (12 mg/L). De plus, le puits AZ/TH présente une concentration nulle de nitrates, ne dépassant ainsi pas la limite de quantification de la méthode (LQM). Ces faibles concentrations suggèrent que les sources de nitrates telles que les effluents industriels ou les eaux usées domestiques n'ont pas d'impact sur cette eau souterraine. Cela signifie que l'eau est de très bonne qualité en ce qui concerne les nitrates.

**Turbidité :**

D'après le tableau 8 on observe que seulement le puits AZ/YO qui est marqué par une valeur maximale admissible qui égale 5 NTU selon les normes marocaines.

<b>NTU &lt; 5</b>	<b>Eau claire</b>
<b>5 &lt; NTU &lt; 30</b>	<b>Eau légèrement trouble</b>
<b>NTU &gt; 50</b>	<b>Eau trouble</b>

**Tableau 10 : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)**

Le puits AZ/YO < 5 NTU cela indique que l'eau dans ce puits est claire, pour le puits AZ/TH qui est entre 5 et 30 (5 < 25.3 NTU < 30) cela montre que l'eau dans ce puits légèrement trouble et les autres puits contiennent une eau trouble car les valeurs de la turbidité dans ces puits AM/CA, AZ/AB, AZ/AL et HA/KH est supérieure de 50

NTU cela est liée à la présence de particules organiques diverses, d'argile, de colloïdes....

Les mesures **de nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), oxydabilité et d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)** sont majoritairement inférieures à LQM. Cela peut être expliqué par l'absence de contamination organique. Ces résultats suggèrent que les eaux des puits ont une bonne qualité en ce qui concerne les analyses de nitrites, d'ammonium et d'oxydabilité.

## **VI. CONCLUSION :**

En se basant sur les analyses physico-chimiques effectuées au laboratoire de qualité de l'eau potable de la RADEEMA, on peut conclure que la qualité de l'eau est mauvaise au niveau des six (6) puits du côté physico-chimiques (Il est nécessaire de réaliser également des analyses bactériologiques et physico-chimiques complémentaires pour déterminer de manière complète la qualité de l'eau). Cela est attribué aux formations géologiques, à la localisation géographique ou à des activités humaines telles que l'agriculture.

Généralement, le puits AZ/TH affiche les valeurs les plus basses dans presque toutes les mesures et analyses effectuées. Cela peut s'expliquer par la localisation géographique du puits, qui se trouve au cœur de l'oued Emdri. Étant alimenté par cette vallée, le puits peut bénéficier d'une filtration naturelle à travers les différentes couches de sol et de roche avant que l'eau n'atteigne le puits. Ce processus de filtration naturelle contribue à diminuer la concentration des contaminants physico-chimiques présents dans l'eau. De plus, l'eau provenant de l'oued peut se mélanger et se diluer avant d'atteindre le puits AZ/TH, ce qui aide également à réduire la concentration des contaminants dans le puits.

En revanche, les puits AZ/YO et AM/CA, situés dans la palmeraie, présentent des valeurs élevées dans presque toutes les analyses. Cette situation peut s'expliquer par la décomposition de la matière organique provenant probablement de l'activité agricole, qui libère des composés organiques et des nutriments dans le sol. Ces composés peuvent ensuite s'infiltrer dans les eaux souterraines, augmentant les niveaux de carbone organique dissous (COD) et d'autres paramètres organiques dans l'eau des puits. De plus, il pourrait y avoir d'autres sources de contamination locales, telles que des fosses septiques défectueuses, des décharges de déchets ou d'autres activités humaines comme agriculture à proximité de la palmeraie.

Afin de rendre cette eau propre à la consommation et à d'autres usages, voici quelques recommandations :

- **Installer des filtres à sable et des filtres à charbon actif** : Éliminer les particules en suspension et adsorber les composés organiques pour améliorer le goût et l'odeur.
- **Ajouter du chlore** : Désinfecter l'eau et éliminer les bactéries et virus pathogènes.
- **Encourager des pratiques agricoles durables** : Réduire l'utilisation de pesticides et d'engrais, et mettre en place des bandes tampons végétalisées pour réduire le ruissellement....

En appliquant ces recommandations, il est possible de transformer une eau initialement de mauvaise qualité en une eau propre et sûre pour la consommation et les autres usages domestiques.

## **Références bibliographiques**

- Agoussine M., Saidi M., Igmoullan B., (2004) – Reconnaissance des ressources en eau du bassin d'Ouarzazate (Sud-Est marocain). Thèse, Univ. Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques, 92 p..
- Boummane Kh., Jaffal M., Kchikach., (2009) – Etude de la structure du bassin d'Ouarzazate par sismique réflexion: Implications hydrogéologiques. Thèse, 9 P..
- Cappy S., (2006) – Hydrogeological Characterisation of the Upper Drâa Catchment : Morocco. Thèse, Univ. Bonn, 190 p..

## **Webographies**

### **Siteweb 1 :**

[Simulation de données climatiques et météorologiques historiques pour Skoura - meteoblue](#)

### **Siteweb 2 :**

[Climat Skoura سکورة: Pluviométrie et Température moyenne Skoura سکورة, diagramme ombrothermique pour Skoura سکورة \(climate-data.org\)](#)

### **Siteweb 3 :**

<https://hub.arcgis.com/maps/af42905a1f74421c9d45a9607d6a2815/explore?location=31.074925%2C-6.520011%2C11.79>

### **Siteweb 4 :**

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9\\_de\\_l%27eau](https://fr.wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_de_l%27eau)

## **ANNEXE :**

### **Normes relatives aux analyses**

<b>Numéro d'ordre</b>	<b>Référence</b>	<b>Intitulé</b>	<b>Date de version</b>	<b>N° de classeur</b>
01	03.7.001	Qualité des eaux d'alimentation humaine	2020	01
02	03.7.002	Contrôle et surveillance de l'eau dans les réseaux d'approvisionnement public	2022	01
03	NM ISO 9308-1	Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes	2019	01
04	NM ISO 6461-2	Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs (clostridia)	2007	01
05	NM ISO 6222	Dénombrement des micro-organismes revivifiable	2007	01
06	NM ISO 7899-2	Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux	2007	01
07	NM ISO 7393-2	Dosage du chlore libre et du chlore total	2019	01
08	NM 03.7.008	Détermination de la température	1989	01
09	NM ISO 10523	Détermination du pH	2012	01
10	NM ISO 7027-1	Détermination de la turbidité	2019	01
11	NM ISO 7888	Détermination de la conductivité électrique	2001	01
12	NM ISO 6777	Dosage des nitrites	1999	01
13	NM ISO 8467	Détermination de l'indice permanganate	2012	01
14	NM 03.7.020	Détermination de la dureté totale et dureté calcique	1990	01
15	NM 03.7.024	Détermination des chlorures Dosage volumétrique au nitrate mercurique	1990	01
16	NM ISO 9963-1	Détermination de l'alcalinité totale et composite	2001	01
17	NM ISO 9963-2	Détermination de l'alcalinité carbonatée	2001	01
*	Copies des pages 326-329 Rodier 9ème éd	Analyse des Nitrates	-	01

18	Copies des pages 290-293 Rodier 10 <sup>ème</sup> éd	Analyse des Nitrates	-	01
19	NM ISO 7890-3	Dosage des nitrates (partie 3)	2012	01
20	NM ISO 5667-3	Conservation et manipulation des échantillons d'eau	2016	01
21	NM ISO 3696	Eau pour laboratoire à usage analytique Spécification et méthodes d'essai	2000	01
22	NM ISO 7150-1	Dosage de l'ammonium	1999	01
23	Copie des pages 214-216 Rodier 9 <sup>ème</sup> éd	Dosage des sulfates	-	01
24	ISO 7887	Qualité de l'eau -Examen et détermination de la couleur	2012	01