



Faculté des Sciences et Technologie  
Département des Sciences de la matière

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **MAGISTER**

Spécialité : Chimie analytique et physique

Option : Environnement - Eau

## Thème

# EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE FORAGES PAR COMPARAISON DE LEURS CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES (REGION DE TEBESSA)

Présenté par : M<sup>elle</sup> TOUAHRIA Khedidja

Directeur de mémoire : Dr. Abdelhak GHEID Pr. Université Mohamed Cherif Massaadia  
Souk-Ahras

Devant le jury :

**Président** : Dr. Y. HAMLAOUI M.C.A Université Mouhamed Cherif Massaadia/ S.A

**Examineur** : Dr. S. FRADJ M.C.A Université Cheikh Larbi Tébessi/ Tébessa

**Examineur**: Dr. Y. BERREDJEM M.C.A Université Mouhamed Cherif Massaadia/ S.A

Année Universitaire : 2013



Faculté des Sciences et Technologie  
Département des Sciences de la matière

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **MAGISTER**

Spécialité : Chimie analytique et physique

Option : Environnement - Eau

## Thème

**EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX  
DE FORAGES PAR COMPARAISON DE LEURS  
CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES  
(REGION DE TEBESSA)**

Présenté Par : M<sup>elle</sup> **TOUAHRIA Khedidja**

**Directeur de mémoire :** Dr. Abdelhak GHEID Pr. Université Mohamed Cherif Massaadia  
Souk-Ahras

**Devant le jury :**

**Président :** Dr. Y. HAMLAOUI M.C.A Université Mouhamed Cherif Massaadia/ S.A

**Examineur :** Dr. S. FRADJ M.C.A Université Cheikh Larbi Tébessi/ Tébessa

**Examineur :** Dr. Y. BERREDJEM M.C.A Université Mouhamed Cherif Massaadia/ S.A

Année Universitaire : 2013

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَالصَّلَاةَ وَالسَّلَامَ عَلَى نَبِيِّنَا مُحَمَّدٍ وَعَلَى آلِهِ وَصَحْبِهِ وَالتَّابِعِينَ

يقول الله عزّ وجل في كتابه الكريم:

«... وَإِنَّ مِنَ الْحِجَارَةِ لَمَا يَتَفَجَّرُ مِنْهُ الْأَنْهَارُ وَإِنَّ مِنْهَا لَمَا يَشَقَّقُ

فَيَخْرُجُ مِنْهُ الْمَاءُ وَإِنَّ مِنْهَا لَمَا يَهْبِطُ مِنْ خَشْيَةِ اللَّهِ...»

سورة البقرة، الآية (74)

«... وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ...»

سورة الأنبياء، الآية (30)

:

يرتكز عملنا على دراسة النوعية الفيزيوكيميائية لمياه الآبار المستغلة لإنتاج مياه الشرب على مستوى ولاية تبسة، آبار تمثل المائدة الجوفية مواقع في الولاية.

لت العينات على مستوى المخبر الجهوي للوكالة الوطنية للموارد المائية (ANRH) بقسنطينة، و قد خصت التحاليل العوامل الفيزيوكيميائية التالية : درجة الحرارة، درجة التعكر، حمضية الماء، الناقلية الكهربائية، البقايا الجافة، قساوة الماء، قاعدية الماء ونسبة الأملاح : الكالسيوم، المغنيزيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، البيكربونات والكلوريد، إضافة إلى عناصر غير مرغوب فيها : (الفوسفات، الأمونيوم، النيتريت والنترات) وعدد من المعادن الثقيلة : (الحديد، الزنك، الرصاص، الكاديوم والزرنيخ).

أثبتت نتائج تحاليل العينات أن مياه المواقع الأربعة تنتمي إلى نفس العائلة الكيميائية "كبريتية كلسية".  
التمثيلات البيانية لهذه النت " " من طرف الهيدروجيولوجيين فوجدنا أن عينات المياه تنتمي إلى نفس العائلة الهيدروكيميائية حيث أن البئر M4 (الماء الأبيض) CH2 (الشريعة) متطابقين تقريبا، نفس الشيء بالنسبة للبئرين P5 ( ) EF1 ( ).

أثبتت مقارنة التحاليل الفيزيوكيميائية مع معايير الماء الشروب أن عينات المياه قاسية. يعتبر P5 ( ) المعدنية، يتجاوز المعايير الجزائرية ومعايير منظمة الصحة العالمية بالنسبة للنترات والكبريتات والكالسيوم أما بقية العناصر فهي مقبولة. مياه البئرين EF1 CH2 مقبولة عدا النترات التي بلغت الحد الأقصى. M4 مقبول مقارنة بالمعايير وهو الأقل قساوة من بين العينات المدروسة.

سمح لنا نظام تقييم نوعية المياه الجوفية بتصنيف مياه الآبار الأربعة حسب نوعيتها وقابليتها لإنتاج الماء الشروب

:

- M4 و نوعية جيدة.
  - نوعية رديئة يمكن تحسينها بالمعالجة. CH2
  - مياه البئرين EF1 P5 ات نوعية سيئة (غير صال) ( P5 الذي تصعب معالجته.
- تعود الفروق الملاحظة بين الآبار الأربعة إلى طبيعة البيئة المحيطة بالمائدة الجوفية التي تعبرها المياه من جهة، تلوث المياه عن طريق الأنشطة البشرية الخاصة بمنطقة تبسة (الزراعة وتربية الحيوانات) من جهة أخرى.
- عمت هذه الدراسة بالتحاليل الميكروبيولوجية لتحديد مصدر النترات وتأكيد أو نفي حدوث تلوث بكتيري .
- أجريت التحاليل من طرف الجهات المعنية.

الكلمات المفتاحية: ماء شروب، تحليل فيزيوكيميائي، معايير، نظام تقييم النوعية، تصنيف المياه،

**Abstract:**

Our work has focused on the study of the physicochemical water quality of boreholes used for the production of drinking water in Tebessa. For this reason, four wells were chosen as the most representative of the groundwaters at four sites in the province.

The samples were analyzed at the regional laboratory of the National Water Resources Agency located in Constantine. The analysis covered the following physicochemical parameters:

Temperature, turbidity, water acidity, electrical conductivity, dry residue, total hardness, full title alkalinity, and the cations which are: calcium, magnesium, sodium, potassium, and the anions which are bicarbonates, sulfates and chlorides. In addition, some undesirable elements (phosphates, ammonium, nitrite and nitrate), and a number of heavy metals (iron, zinc, lead, cadmium, arsenic).

The results of analyzes of samples is shown that the waters of the four points studied had the same chemical profile "calcium sulfate". The graphs obtained during the comparison of these results with the software "Charts", used by hydrogeologists, show that water samples are been in the same hydrochemical family. In particular we remarked the symmetry of two boreholes which are M4 (El Ma El Abiod) and CH2 (Cheria), the same thing for P5 (Tebessa) and EF1 (Hammamet).

The comparison analyzes with drinking water standards shows that all water is hard. P5 drilling (Tebessa) is considered as the most mineralized point; it exceeds the standards (Algerian and WHO) for nitrates, sulfates and calcium. The other elements are acceptable. Water drilling EF1 and CH2 are acceptable with a critical dosage for nitrates. The M4 water drilling has acceptable standards settings, and it is also the lightest (less hard) water studied.

The Evaluation of the Quality of groundwater System (EQS) was used to classify the waters of four boreholes - depending on the quality and suitability for the production of drinking water- to three classes;

- Water drilling M4 is good,
- Water drilling CH2 is of poor quality but can be improved by treatment,
- Water drilling EF1 and P5 are reported poor quality (not drinking water), especially the P5 drilling seems difficult to treat. (It would be better to change it to function).

The marked differences on one side due to the nature of the subsurface environment of ground traversed by the water, on the other hand, the contamination from human activities specific of Tebessa region (agriculture and livestock).

This study was completed by a microbiological study to determine the origin of the excess nitrates and confirm or probable bacterial contamination. The analyzes were performed for three of the four water points studied (the fourth has been removed by the competent authorities).

**Keywords: boreholes, drinking water, physicochemical analysis, standards, The Evaluation of the Quality of groundwater System (EQS), to classify the waters, contamination, Tebessa.**

### Résumé :

Notre travail a porté sur l'étude de la qualité physicochimique des eaux de forages exploités pour la production de l'eau potable au niveau de la wilaya de Tébessa. Pour cela, quatre forages ont été choisis comme les plus représentatifs des nappes au niveau de quatre sites de la wilaya.

Les échantillons ont été analysés au niveau du laboratoire régional de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) situé à Constantine. Les analyses ont concerné les paramètres physicochimiques suivants :

Température, turbidité, acidité de l'eau (pH), conductivité électrique, résidu sec (TDS), titre hydrotimétrique (TH), titre alcalimétrique complet (TAC), et la minéralisation concernant les cations : calcium, magnésium, sodium, potassium, et les anions : bicarbonates, sulfates et chlorures. En plus certains éléments indésirables (phosphates, ammonium, nitrites et nitrates), et un nombre de métaux lourds (fer, zinc, plomb, cadmium, arsenic).

Les résultats des analyses des échantillons ont montré que les eaux des quatre points étudiés avaient le même faciès chimique "sulfaté calcique". Les graphes obtenus, lors de la confrontation de ces résultats par le logiciel "Diagrammes", utilisé par les hydrogéologues, montrent que les échantillons d'eaux sont été de la même famille hydrochimique et particulièrement proche deux à deux ; les forages M4 (El Ma El Abiod) et CH2 (Chéria) qui sont presque superposés parfaitement, et de même les forages P5 (Tébessa) et EF1 (Hammamet) présentent des allures similaires quoique beaucoup plus concentrée pour le forage P5.

La confrontation des analyses avec les normes de potabilité montre que toutes les eaux sont très dures. Le forage P5 (Tébessa) est considéré comme le point le plus minéralisé. Il dépasse de loin les normes (Algériennes et OMS) pour les nitrates, les sulfates et le calcium. Les autres éléments sont acceptables. Les eaux de forages EF1 et CH2 sont acceptables avec un dosage critique pour les nitrates. L'eau du forage M4 présente des paramètres acceptables par les normes, et c'est aussi la plus légère (moins dure) des eaux étudiés.

Selon la qualité et l'aptitude à la production de l'eau potable, le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ) a permis de classer les eaux de quatre forages en trois classes :

- L'eau de forage M4 est de bonne qualité,
- L'eau de forage CH2 est de qualité médiocre mais peut être améliorée par un traitement,
- Les eaux des forages EF1 et P5 sont déclarées de mauvaise qualité (eaux non potables), surtout le forage P5 qui paraît difficilement traitable. (Il serait plus indiqué de lui changer de fonction).

Les écarts marqués sont dus d'un côté, à la nature de l'environnement souterrain des nappes traversé par les eaux, de l'autre côté, à la contamination issue des activités anthropiques spécifiques de la région de Tébessa (l'agriculture et l'élevage).

Cette étude a été complétée par une étude microbiologique pour déterminer l'origine de l'excédent en nitrates et confirmer ou infirmer une contamination bactérienne probable. Les analyses sont réalisées pour trois des quatre points d'eau étudiés (le quatrième ayant été supprimé par les services compétents).

**Mots clé : Eau de forage, eau potable, analyse physicochimique, normes, système d'évaluation de la qualité (SEQ), classer les eaux, contamination, Tébessa.**



## Dédicace

*En Hommage à mon père qui aurait pu être fier de ce travail, et qui est  
toujours dans mon esprit ;*

*A ma mère qui a tout sacrifié pour m'offrir tout ce qui peut exister de bon  
et qui n'a jamais éprouvé la moindre lassitude d'être à mes cotés jusqu'à me  
voir réussir, je vous aime beaucoup ma mère, merci infiniment,*

*Que « DIEU » vous protège et vous donne tout ce qui est bon de vie ;*

*A Dr. FATEH, qui m'a aidé beaucoup tout au long du travail,*

*Que « DIEU » vous donne tous les bonheurs de vie ;*

*A mes chers enseignants Dr. BOULKHALOUA et Dr. ROUABHIA de  
l'université de Tébessa, vous resterez toujours dans nos cœurs ;*

*A mes chers frères et chères sœurs qui m'aident et m'encouragent toujours  
durant la réalisation de cette thèse, surtout Abdelaziz et Soraya, à vous  
tous merci beaucoup, je vous souhaite la joie et la victoire ;*

*A mon cher oncle Farouk qui me suit et m'aide à tous moments, merci  
infiniment, ainsi que ma grand-mère et ma tante et sa famille, je vous  
souhaite les bonheurs et la joyeuse vie ;*

*A mes chers petits Karim et Nadjah ;*

*Que « DIEU » vous donne le bon avenir ;*

*A tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à là qui ont su moi  
orienter et guider vers le droit chemin du savoir ;  
du tous mon cœur merci ;*

*A Mes dames Anissa, Asma, Baya, Karima et Ouahiba, et Mr. Tayeb ;*

*A toutes mes chères amies surtout Mes dames Dalila et Salma, M<sup>l</sup>e Souad,  
Sassia, Chafia, Assia, Nassima, Samah et Zina ;*

*A ce grand cher pays l'Algérie ;*

*A tous ceux ou celles qui ont contribué à ce travail de près ou de loin.*



**KHEDIDJA**



## *Remerciements*

*Avant tous je m'incline devant « DIEU » le tout puissant et le seul qui me donne la force, le courage, la patience et le savoir et qui m'accorder son aide d'achever cette thèse.*

*Mon grand respect et mes sincères remerciements à notre chef du magister et mon encadreur Pr. GHÉID Abdelhak pour avoir accepté de m'encadrer sur le thème et pour son aide et son assistance, ainsi que pour la confiance qu'il m'a témoignée, je vous exprime ma profonde gratitude ;*

*Je suis très reconnaissante au Dr. FATEH Samoun de l'université de Tébessa pour son suivi, ses conseils, sa patience et ses grands efforts au niveau de la wilaya de Tébessa tout au long du travail malgré toutes les difficultés, ma grande gratitude ;*

*J'adresse mes grands remerciements à mon jury que j'ai l'honneur de soutenir ma thèse devant eux : M<sup>r</sup>. HAMLAOUI, M<sup>me</sup>. BENREDJEM et Mr. GHÉID de l'université de S. Ahras et M<sup>r</sup>. FRADJ de l'université de Tébessa; Je remercie infiniment Pr. GHÉFAJFIA Omar de l'université de Tébessa, pour son aide, ses informations et ses conseils ;*

*Mes chaleureux remerciements également à D<sup>r</sup>. HAZOURLI et D<sup>r</sup>. LOUHI de l'université Annaba, ainsi que M<sup>r</sup>. LOUAABDIA et M<sup>r</sup>. SLATNI Je profite de l'occasion pour remercier vivement, tous ceux ou celles qui ont contribué à ce résultat de près ou de loin et particulièrement ;*

✓ *L'équipe des laboratoires de l'ANRH (Entenne Régionale de l'est) à Constantine surtout M<sup>me</sup> BENLHRACHE Mounira et M<sup>me</sup> Nadia pour leur assistance et leur aide, ainsi que laboratoire de contrôle de qualité FETHALLAH à Tébessa surtout M<sup>r</sup>. Oualid ;*

*Qui ont réalisé les analyses physicochimiques et bactériologiques et me donné des informations très intéressantes ;*

- ✓ *Les services et les laboratoires des eaux de la wilaya, parmi lesquels :*
- *M<sup>r</sup>. BEN TAYEB ; directeur de l'hydraulique ;*
  - *M<sup>r</sup>. MOUSTFAOUI, Mmes Souad, Fatma et Loubna (Service de forages) ;*





- *Mr. MAATALLAH et Mr CHERGUI du laboratoire ADE ;*
  - *L'ingénieur Toufik de l'ANRH- Tébessa ;*
  - *De l'Algérienne des eaux (unité des techniques et matériels) ;*
- Mr. ZAROUG AMMAR et Mr. Nabil qui m'a aidé à l'échantillonnage et la sortie au terrain pour visiter presque tous les forages de Tébessa et Ain Chabro et prendre des idées sur l'état de l'eau dans la région ;*
- *L'équipe de l'Algérienne des eaux secteurs El Ma El Abiod et Chéria ;*
  - *Les équipes de station de Ain Chabro- Hammamet et le centre de pompage de Ain Zaroug.*
- ✓ *Tous mes remerciements et mes salutations à :*
- *Mes enseignants de Souk Ahras et Tébessa surtout M<sup>me</sup> BATOUCHÉ ainsi que ;*
  - *M<sup>me</sup>. Anissa (Secrétaire de rectorat) ;*
  - *Mr. Tayeb et M<sup>me</sup> Baya (Post- Graduation) ;*
  - *M<sup>me</sup> Asma (Faculté de sciences et technologie) ;*
  - *Toute l'équipe de la bibliothèque de l'université de Souk Ahras surtout (Mes dames Soumia et Houda) ;*
  - *Toute l'équipe de la bibliothèque de biologie présidée par Mr. Taher ainsi que les techniciens et les techniciennes du laboratoire de biologie de l'université de Tébessa en l'occurrence Mr. Ali, M<sup>lle</sup> Souad ;*
  - *N'oublie pas M<sup>me</sup> Dalila merci beaucoup ;*
  - *Bibliothèques de l'université Sidi Ammar (Annaba), merci beaucoup ;*
  - *Bibliothèques de l'université Youcef BEN KHADDA (Alger) et HAOUARI Boumedién (Bab Zouar) surtout Mr. Djelloul ;*
- ✓ *Du tout mon cœur je remercie ma famille surtout mon oncle Farouk, mes chères amies : Dalila de l'université Sétif, Assia et Chafia de l'université Annaba et Fatima de l'université Bab Zouar et Sara (Bouzerraia) ;*
- A mes collègues de la promotion surtout Nassima et Samah.*

*A vous tous MERCI.*

**TOUAHRIA KHEDIDJA**



## LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
1	Répartition de l'eau sur le globe terrestre	5
2	Consommation moyenne en eau par habitant et par an pour certains continents (en m <sup>3</sup> )	7
3	Quantité d'eau renouvelable par personne et par an pour quelques pays, projections en m <sup>3</sup> ;	7
4	Bilan annuel de l'eau sur le globe terrestre	9
5	Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines	13
6	Quelques valeurs de porosités de différentes roches	19
7	Indices pouvant signaler différents types de puits	29
8	Classification des eaux selon la dureté totale (en °f)	33
9	Critères et paramètres d'altération des eaux souterraines	36
10	Les différentes classes de qualité d'eau	37
11	Les différentes classes d'aptitude pour la production d'eau potable selon le Système d'Evaluation de la Qualité des eaux souterraines (SEQ -Eaux souterraines- BRGM)	38
12	Classement des qualités des eaux selon les usages et les niveaux de dégradation	38
13	Les pesticides les plus utilisés en Algérie dans le milieu agricole	49
14	Répartition des agents pathogènes responsables de diarrhée dans les pays en voie de développement (OMS, 1992)	51
15	Temps d'infiltration moyen et coefficients de solubilité dans l'eau de différents produits dans un aquifère alluvial	54
16	Découpage administratif de la Wilaya de Tébessa	57
17	Consommation journalière de la wilaya de Tébessa	58
18	Intérêt hydrogéologique et hydrochimique des formations géologiques de la plaine d'El Ma El Abiod	73
19	La perméabilité et l'intérêt hydrogéologique et hydrochimique des formations géologiques de Chéria	76
20	Géologie et intérêt hydrogéologique de région d'étude	77
21	Equivalents chimiques de quelques éléments usuels	88
22	Tableau de fiabilité des analyses et des faciès chimiques des échantillons	95
23	Enrichissement en nitrates de la nappe d'eau souterraine	111
24	Principales origines des NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub>	111
25	Teneurs en nitrates et activités anthropiques	112
26	Comparaison des analyses avec les normes de potabilité	114-115
27	Les paramètres et les altérations de SEQ de l'eau	118
28	Détermination de classes (de qualité et d'aptitude à la production d'eau potable) des eaux de forages échantillonnés.	121
29	Classement des forages échantillonnés selon la classe de qualité	122

## LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
1	Répartition de l'eau dans le globe terrestre	4
2	Nombre de pays et d'habitats en pénurie d'eau au cours des prochaines décennies	5
3	Eau douce renouvelable (m <sup>3</sup> /an/personne)	6
4	Cycle de l'eau	10
5	Les bassins hydrographiques en Algérie	15
6	Les deux grandes nappes du Sahara	16
7	Etat de l'eau dans les zones saturée et non saturée (aquifère)	17
8	Différents types d'eau dans une roche	20
9	Vitesse de déplacement de l'eau dans divers matériaux géologiques	22
10	Eaux souterraines	22
11	Rivière souterraine	23
12	Perméabilité des différentes roches	24
13	Vue en coupe de différentes formations aquifères	26
14	Aquifères karstiques	27
15	Principaux terrains aquifères dans leur cadre géologique avec indication de l'importance des débits que l'on peut attendre des ouvrages de captage	27
16	Différents aquifères et la variabilité des vitesses d'écoulement	28
17	Aquifères et puits	29
18	Rejet direct des eaux usées dans le karst	41
19	Sources de contamination des eaux souterraines	42
20	Pollution par les engrais	45
21	Minéraux de sulfate	46
22	Pollution d'une nappe libre par rejet d'huile de vidange sur le sol	50
23	Propagation d'un polluant dans le sol et dans une nappe en fonction de sa densité	53
24	Carte administrative de la wilaya de Tébessa et la position de la zone d'étude	58
25	Répartition avec limites naturelles des plaines de la zone d'étude	60
26	Vue Satellitaire de la plaine d'El Ma El Abiod montrant les Oueds existants	63
27	Position et appartenance des éléments de la zone d'étude	64
28	Réseau hydrographique de la région d'étude	64
29	Esquisse géologique de la région d'étude	65
30	Coupes géologiques de la plaine de Tébessa	66
31	Coupe hydrogéologique à travers la plaine de la Merdja (Tébessa)	67
32	Carte d'inventaire des points d'eau existants dans la région Tébessa-Hammamet	69
33	Coupes géologiques de la plaine d'El Ma El Abiod	70
34	Carte d'inventaire des points d'eau existant dans la plaine d'El Ma El Abiod	72
35	Coupe hydrogéologique à travers la plaine d'El Ma El Abiod	72
36	Structures géologique et hydrogéologique du système aquifère de la plaine d'El Ma El Abiod	73

37	Coupe géologique du plateau de Chéria	74
38	Esquisse hydrogéologique du plateau de Chéria	74
39	Carte d'inventaire des points d'eaux dans le plateau de Chéria	75
40	La géomorphologie de la zone d'étude et la relation aux limites entre les nappes étudiées	77
41	Les échantillons d'eau de forages	79
42	Photos des forages échantillonnés	80
43	Photos satellitaires des quatre forages échantillonnés	82
44	Turbidimètre	83
45	SP10 SKALAR (ANRH- Constantine)	84
46	DR2000 (ANRH- Constantine)	84
47	Spectrophotomètre UV/Visible (ANRH- Constantine)	84
48	Auto-analyseur SKALAR (ANRH- Constantine)	85
49	ICP (avec Bouteilles d'argon et d'azote, Compresseur, Refroidisseur, Ordinateur) (ANRH- Constantine)	86
50	Différentes origines de pollution des eaux souterraines à la wilaya de Tébessa	94
51	Confrontation des analyses des quatre sites étudiés par diagramme de Piper	96
52	Confrontation des analyses des quatre sites étudiés avec indication des zones chimiques	97
53	Confrontation des TDS des quatre analyses	98
54	Confrontation des cations des quatre analyses	99
55	Confrontation des anions des quatre analyses	100
56	Confrontation des analyses des quatre échantillons par diagramme de Shoeller Berkaloff	101
57	Confrontation des analyses des quatre sites étudiés par diagramme de Stiff	102
58	Confrontation des analyses des eaux des forages CH <sub>2</sub> et M <sub>4</sub> par diagramme de Piper	102
59	Confrontation des analyses des eaux des forages CH <sub>2</sub> et M <sub>4</sub> avec valeurs TDS	103
60	Confrontation des analyses des eaux des forages CH <sub>2</sub> et M <sub>4</sub> : anions avec TDS	104
61	Confrontation des analyses des eaux des forages CH <sub>2</sub> et M <sub>4</sub> : cations avec TDS	104
62	Confrontation des analyses de CH <sub>2</sub> et M <sub>4</sub> par diagramme de Schoeller	105
63	Confrontation des analyses de P <sub>5</sub> et EF <sub>1</sub> par diagramme de Schoeller	106
64	Devenir des nitrates, nitrites et composés N-nitroso dans l'organisme	110
65	Flacons stériles de 250 ml et glacière	126
66	Flambage de robinet par un briquet	126
67	Les cinq échantillons d'eau	126
68	Matériels utilisés au laboratoire des analyses microbiologiques	127-128
69	<i>Staphylococcus aureus</i> (les cinq échantillons) du forage M <sub>4</sub> (El Ma El Abiod)	131

## LISTE DES ANNEXES

N°	Titre	Page
1	Normes de qualité des eaux de consommation humaine Algériennes et internationales (OMS, Européennes) comportant les paramètres physicochimiques et microbiologiques	142
1	1- Normes Algériennes	142
1	a- Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine : paramètres avec valeurs limites et maximales	143- 144
1	Paramètres avec valeurs indicatives	145
1	b- Normes microbiologiques des eaux potables	145
1	2- Normes de qualité de l'eau potable (OMS, 2006)	146-149
1	3- Normes de qualité de l'eau potable (Communautés Européennes, 1998)	150-151
2	Répartition des altitudes sur la zone étudiée	152
3	Colonne stratigraphique de la région de Tébessa	153
3	Colonne stratigraphique de la région de Hammamet	154
4	Carte piézométrique de la nappe de Tébessa, Mars 2011	155
4	Carte piézométrique de la nappe d'El Ma El Abiod, Mars 2004	155
4	Carte des conditions aux limites de système aquifère d'El Ma El Abiod	155
4	Carte piézométrique de la nappe de Chéria, Février 2005	156
4	Carte des conditions aux limites du système aquifère du Chéria	156
5	Les coupes géologiques et la situation géographique des forages étudiés	157-161
5	Coupe géologique du forage P <sub>5</sub> (Tébessa)	157
5	Coupe géologique du forage EF <sub>1</sub> (Ain Chabro- Hammamet)	158
5	Coupe géologique du forage M <sub>4</sub> (El Ma El Abiod)	159
5	Coupe géologique du forage CH <sub>2</sub> (Chéria)	160
5	Situations géographiques des forages étudiés	161
6	Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des forages	162
6	a- Analyses physicochimiques (ANRH Est – Constantine) de quatre forages échantillonnés le 19/03/2013	162-165
6	b- Analyses bactériologiques (Laboratoire FETHALLAH – Tébessa) des forages échantillonnés : P <sub>5</sub> (Tébessa) et CH <sub>2</sub> (Chéria) : le 20/05/2013 ; M <sub>4</sub> (El Ma El Abiod) : le 29/05/2013	166-171
6	c- Milieux de culture utilisés au laboratoire FETHALLAH des analyses microbiologiques	172
7	Tableaux de vérification de validité des analyses et de classement chimique des eaux échantillonnées	173-174
8	Valeurs des radicaux des forages étudiés (%)	175
9	Diagrammes individuels des eaux du forage P <sub>5</sub> (Tébessa)	176
10	Diagrammes individuels des eaux du forage EF <sub>1</sub> (Ain Chabro- Hammamet)	177
11	Diagrammes individuels des eaux du forage M <sub>4</sub> (El Ma El Abiod)	178
12	Diagrammes individuels des eaux du forage CH <sub>2</sub> (Chéria)	179
13	Carte des nitrates de la plaine de Merdja, janvier et juillet 2001	180
13	Carte des nitrates du plateau de Chéria, (mg/l) septembre 2005	181

## LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

**AEP** : Alimentation en Eau Potable

**AEP (commune)** : Eau Potable générée par la commune

**AEP (ANRH)** : Eau Potable générée par la direction de l'eau de la wilaya

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

**ANRH Tébessa** : Hydraulique de la wilaya de Tébessa

**BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et minières (Délégation de l'environnement) France

**CE** : Communauté Européenne, **UE** : Union Européenne

**CI** : nappe du Continentale Intercalaire

**CMA** : Concentration Maximale Admissible

**CT** : nappe du Complexe Terminal

**Dj** : Djebel

**DJA** : Dose Journalière Admissible

**EC** : Conductivité électrique

**°F** : degré Français

**Meq** : milliéquivalent

**MES** : Matières En Suspension

**NG** : Niveau Guide

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit

**NW-SE** : Nord Ouest - Sud Est

**OMS** : Organisation Mondiale de Santé

**Rh** : Réserve hydrologique

**Ru** : Réserve d'eau utilisable

**SEQ** : Système d'évaluation de la qualité

**S/R** : bactéries Sulfito-Réductrices

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet

**TDS** : Solides Dissous Totaux

**TH** : Titre Hydrotimétrique

**ZNS** : Zone Non Saturée

**ZS** : Zone Saturée

## SOMMAIRE

<b>Résumé (arabe).....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>II</b>
<b>Résumé (français).....</b>	<b>III</b>
<b>Dédicace.....</b>	<b>IV</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>V</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>VII</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Liste des annexes.....</b>	<b>X</b>
<b>Liste des abréviations et symboles.....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>01</b>

## PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

### CHAPITRE I : L'EAU DANS LE MONDE (Cas de l'ALGÉRIE)

I- L'eau dans le monde.....	04
I-1- Situation de l'eau sur terre.....	04
I-2- Crise mondiale de l'eau.....	05
I-2-1- La rareté de l'eau et la crise mondiale.....	05
I-2-2- La crise mondiale de l'eau : causes et conséquences.....	06
II- Notions de cycle de l'eau.....	07
II-1- dans l'atmosphère.....	08
II-2- Dans le sol.....	08
II-3- Le bilan hydrologique.....	09
III- Sources d'approvisionnement en eau.....	10
III-1-Eaux atmosphériques.....	10
III-2- Eaux superficielles .....	11
III-2-1- Rivières.....	11
III-2-2- Lacs.....	12
III-3- Eaux souterraines.....	12
III-4- Eaux saumâtres.....	14
IV- Les ressources hydriques en Algérie.....	14

IV-1- Les ressources au Nord du pays.....	15
IV-2- Les ressources au Sud Algérien.....	16

## **CHAPITRE II : LES STRUCTURES SOUTERRAINES**

I- L'eau dans le sol.....	17
II- Les différents compartiments du sol.....	17
III- Notions générales et définitions.....	18
III- 1- Les données physiques du sol.....	18
III-1-1- Sol.....	18
III-1-2- Porosité.....	18
III-2- Les états de l'eau dans le sol.....	20
III-3- La mobilité de l'eau dans le sol.....	20
III-3-1- La perméabilité.....	20
IV - Aquifère et nappe d'eau souterraine.....	22
IV -1- Définition de l'eau souterraine.....	22
IV -2- Définition de l'aquifère.....	23
IV -3- Caractéristiques des roches réservoirs.....	23
IV -4- Différents types d'aquifères.....	25
IV -4-1- Les aquifères homogènes.....	25
IV -4-2- Les aquifères hétérogènes.....	25
IV -4-3- Aquifère à nappe semi-captive.....	26
IV -5- Modes de captage des eaux souterraines.....	28
IV -5-1- Le puits.....	28
IV -5-2- Le forage.....	28

## **CHAPITRE III : QUALITE DES EAUX**

I- Qualité de l'eau.....	30
II- L'eau potable.....	30
III- Les normes.....	30
IV - Paramètres de qualité de l'eau.....	31
IV -1- Les paramètres organoleptiques.....	31
IV -2- Les paramètres physico-chimiques naturels.....	32
IV -2-1- Température.....	32
IV -2-2- pH.....	32

IV -2-3- Dureté.....	32
IV -2-4- Conductivité.....	33
IV -2-5- Minéralisation.....	34
IV -3- Les paramètres concernant les substances indésirables.....	34
IV -4- Les paramètres concernant les substances toxiques.....	34
IV -5- Les pesticides et produits apparents.....	34
IV -6- Les paramètres microbiologiques.....	35
V- Evaluation de la qualité des eaux souterraines.....	35
V-1- Définition de l'évaluation de la qualité de l'eau.....	35
V-2- Définition de l'altération.....	35
V-3- Indice de qualité de l'eau.....	37
V-4- Classes de qualité des eaux.....	37

#### **CHAPITRE IV : POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES**

I- Définition de la pollution des eaux souterraines.....	39
II- Vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions.....	39
II-1 Définition.....	39
II-2- Facteurs de vulnérabilité.....	40
II-3- Vulnérabilité de différents types des nappes aux pollutions.....	40
III- Principaux types de polluants.....	41
III-1- Définition de polluant.....	41
III-2- Différentes catégories de polluants.....	42
III-2-1- Les polluants physiques.....	43
III-2-2- Les polluants chimiques.....	43
III-2-3- Les polluants microbiologiques.....	51
IV - Transfert des polluants dans les eaux souterraines.....	52
IV -1- Les transferts physiques.....	52
IV -1-1- La migration horizontale des polluants dans les nappes aquifères.....	53
IV -1-2- Facteurs influençant la pollution.....	54
IV -2- Les transferts chimiques.....	55
IV -3- La biotransformation.....	56
IV -3-1- La biodégradation.....	56
IV -3-2- Le transport colloïdal.....	56

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE (TEBESSA)**

I- Généralités de la wilaya.....	57
I-1- Le découpage administratif.....	57
I-2- Besoins en eaux de la wilaya.....	58
I-3- Climatologie de la wilaya.....	59
II- La zone d'étude.....	59
II-1- Position géographique.....	59
II-2- Géomorphologie de la zone d'étude.....	59
II-2-1- La plaine de Tébessa.....	60
II-2-2- La plaine de Hammamet.....	61
II-2-3- La plaine d'El Ma El Abiod.....	61
II-2-4- Le plateau de Chéria.....	61
II-3- Hydrographie.....	62
II-3-1- Tébessa- Hammamet.....	62
II-3-2- El Ma El Abiod.....	62
II-3-3- Chéria.....	63
II-4- Etude géologique.....	65
II-5- Litho-stratigraphie et conséquences hydrogéologiques.....	66
II-5-1- Tébessa- Hammamet.....	66
II-5-2- El Ma El Abiod.....	70
II-5-3- Chéria.....	73

### **CHAPITRE II : MOYENS ET METHODES**

I- Choix des positions des forages.....	78
II- Méthode d'échantillonnage.....	79
III- Les analyses.....	82
IV - Moyens utilisés.....	83

### **CHAPITRE III : CHIMIE DES EAUX**

I- La minéralisation de l'eau.....	87
II- La classification des eaux selon leur composition chimique.....	87
II-1- Vérification de la fiabilité des analyses et classement des échantillons.....	87

II-2- Faciès chimique et classification de l'échantillon analysé.....	89
II-3- Le milieu naturel et le faciès chimique.....	89
II-4- Appréciation de la qualité des échantillons.....	90
III- Principaux paramètres de potabilité.....	90
IV - Principaux types des pollutions et leurs origines.....	92
IV -1- Pollution temporaire et pollution chronique.....	92
IV -1-1- La pollution temporaire.....	92
IV -1-2- Les pollutions chroniques.....	92
IV -2- Pollution ponctuelle et pollution diffuse.....	92
IV -2-1- La pollution ponctuelle.....	92
IV -2-2- La pollution diffuse.....	92
IV -3- Pollution linéaire.....	92
IV -4- Pollutions historiques.....	92
V- Origine de la pollution.....	93
V-1- Domestique.....	93
V-2- Agricole.....	93
V-3- Industrielle.....	93
V-4-Urbaine et routière.....	93

#### **CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION**

I- Détermination des faciès chimiques en utilisant Excel.....	95
II- Confirmation par les diagrammes de Piper et Schoeller .....	95
III- La minéralisation.....	107
III-1- Origines de minéralisation.....	107
III-1-1- Le cas du forage P <sub>5</sub> .....	108
III-2- Origine des éléments indésirables.....	108
III-2-1- Les nitrates.....	108
III-2-2- Origine des nitrates dans les eaux.....	111
IV - Interprétation des échantillons aux valeurs inquiétantes.....	113
IV -1- Le forage EF <sub>1</sub> .....	113
IV -2- Le forage P <sub>5</sub> .....	113
V- Confrontation des résultats des échantillons avec les normes nationales et internationales.....	114
VI- Détermination des classes de qualité des paramètres.....	117

VI-1- Méthode d'évaluation de la qualité des eaux.....	117
VI-2- Evaluation de la qualité des échantillons d'eaux par confrontation des résultats avec le tableau des classes de la qualité.....	118
VI-2-1- Altération minéralisation.....	118
VI-2-2- Matières azotées.....	119
VI-2-3- Altération nitrates.....	120
VI-3- Classement des sites échantillonnés selon la qualité de l'eau.....	122
VII – Synthèse.....	123
VIII- Propositions.....	124

### **EPILOGUE**

Etude bactériologique.....	125
I- Objectif.....	125
II- Echantillonnage.....	125
III- Analyse.....	127
IV- Matériels utilisés.....	127
V- Les bactéries recherchées dans les échantillons de l'eau.....	128
V-1- Bactéries aérobies à 22°C et 37°C.....	128
V-2- Coliformes.....	128
V-3- Streptocoques.....	129
V-4- Staphylocoques.....	130
V-5- Salmonelles.....	130
V-6- Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices et <i>Clostridium S/R</i> .....	130
VI- Résultats.....	131
VII- Propositions.....	132

<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>133</b>
---------------------------------	------------

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>134</b>
---	------------

<b>ANNEXES.....</b>	<b>142</b>
---------------------	------------

# **INTRODUCTION**

## **GENERALE**

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'eau est un élément vital pour l'homme, les animaux et les plantes sur la planète. Après la ruée vers l'or et la fièvre du pétrole, l'homme a pris conscience de l'importance de cette denrée inodore, sans transparence et sans goût. L'homme vient de se rendre compte que la ressource qui lui paraissait inépuisable serait bientôt insuffisante. En effet, l'évolution de la vie sur terre a pris un aspect tel que la démographie croissante, demande une alimentation en eau croissante et une alimentation -tout court- croissante qui nécessite un élargissement continu des horizons industriels et agraires de plus en plus avides d'eau.

Non seulement, l'homme prélève de plus en plus d'eau pour sa consommation propre, pour satisfaire les besoins de l'industrie et l'irrigation des terres cultivées, mais encore, il en pollue par quantités non négligeables.

A l'échelle mondiale, la question de l'approvisionnement en eau devient chaque jour de plus en plus, préoccupante. Déjà précaire dans certaines régions du globe, la situation ne fera que s'aggraver dans les années à venir [19]. Aujourd'hui, plus de deux milliards d'hommes n'ont pas accès à l'eau potable, et le développement accéléré ne fait qu'accroître une demande mal ou pas satisfaite [91].

Les eaux souterraines sont considérées comme la principale source des eaux potables, elles constituent plus de 95 % des ressources disponibles en eaux douces et près du tiers de la population mondiale en est alimenté en eau potable. Rien qu'en Asie, elles alimentent plus d'un milliard de personnes en eau potable. En Europe, ceux qui en sont alimentés sont estimés à 65% de l'approvisionnement public provient de sources d'eaux souterraines [84].

Il n'y a pas longtemps, les gestionnaires de l'eau n'avaient que la recherche et l'exploitation avant la distribution, maintenant la protection et le suivi de la qualité sont devenus, avec le traitement des eaux, des éléments importants dans les charges des fournisseurs d'eau qu'ils soient étatiques ou privés.

De nombreuses recherches sont focalisées sur les ressources en eaux dans les zones semi-arides, où les contraintes climatiques et leurs conséquences sur les nappes donnent une dimension plus importante et imposent une gestion plus rationnelle.

En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré. Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les ressources sont limitées et la pollution ne cesse de gagner de volume. Sur la cote, la surexploitation accentue irrémédiablement l'intrusion d'eau saline, tandis qu'à l'intérieur du pays, les bilans hydriques négatifs augmentent la profondeur

des zones non saturées et diminuent les réserves en eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous jacentes [1].

L'eau potable est rationnée dans la plupart des villes d'où apparaît l'incapacité de satisfaire les besoins de première nécessité (en eau potable, d'industrie, d'irrigation, transport ...). Seules quelques grandes villes peuvent se permettre d'avoir une piscine (dont le renouvellement se fait au détriment des besoins précités) ou autres loisirs à base d'eau. Les jets d'eau fonctionnels, qui enjolivaient nos villes, se font de plus en plus rares.

Quelques tentatives de dépollution et protection des nappes assignées à la production d'eau potable, initiées par des chercheurs, lorsqu'ils sont écoutés, montrent un espoir de redressement mais en attendant que cela prenne de l'ampleur, l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité.

Plusieurs experts en la matière prévoient, si aucune mesure n'est prise, l'épuisement des réserves d'eaux souterraines de certains pays dont l'Algérie. Le phénomène dépendant de plusieurs paramètres variables (démographique, exode rurale, extension urbaine, évolution industrielle et agricole, ...). L'insuffisance en eau évoluera en crise de l'eau dans les prochaines années [87].

Un rapport de l'Unesco rendu public dans ce contexte indique que les ressources hydriques sont estimées à 43 mille milliards de mètres cubes, dont 4 mille milliards sont utilisés chaque année, cependant la consommation de l'individu varie entre 100m<sup>3</sup> et 5000m<sup>3</sup> par an, et dans ce cadre, l'Algérie est classée parmi les pays les plus pauvres, avec moins de 700m<sup>3</sup> [87].

Le déficit hydrique des zones à climat semi aride touche la wilaya de Tébessa qui en plus présente un environnement de plus en plus polluant pour les eaux. Tébessa possède un potentiel hydrique souterrain important et un réseau hydrique qui couvre de vastes superficies, mais, les eaux souterraines sont surexploitées et les quelques ouvrages de surfaces (dont la plupart ne sont que de petite retenues) sont en grande partie ensevelies. En l'absence de barrages d'eau efficaces, tous les besoins en eau de la wilaya de Tébessa sont satisfaits par prélèvement dans l'eau souterraine.

Les apports liquides lors de ces dernières décennies de sécheresse n'ont pas permis une réalimentation suffisante des nappes de la région ce qui augmente le taux de salinité et pourrait altérer la qualité de l'eau. A cela s'ajoute les autres types de pollution surtout agricole et urbaine vu les activités anthropiques les plus marquées de la région [4].

Par un souci de suivi au sujet de la qualité de l'eau des forages assignés à la production d'eau potable, dans le but de participer à assurer une alimentation saine à la population de l'une des wilayas du pays, l'objet de l'étude est de comparer la qualité, principalement de la potabilité, des eaux issues des forages de la région de Tébessa.

Pour ce faire, des échantillons ont été prélevés en des points d'eau choisis relativement représentatifs, et analysés. Les résultats issus d'un laboratoire renommé pour sa fiabilité ont servi à une étude comparative des caractéristiques avec les normes de qualité d'une part et entre elles d'autre part, pour déterminer aussi bien la qualité de potabilité des ponctuelles des eaux des forages échantillonnés que celles extrapolées des nappes auxquelles ils appartiennent. Pour une meilleure exploitation et un traitement qui se voudrait sélectif selon l'élément indésirable à bannir, afin de préserver ce qui est plus précieux encore ; la santé des citoyens.

Notre étude comporte deux parties, chacune est divisée en quatre chapitres, l'une constitue la partie bibliographique renfermant les chapitres suivants :

Chapitre 1 : L'eau dans le monde (cas de l'Algérie) ;

Chapitre 2 : Les structures souterraines ;

Chapitre 3 : La qualité des eaux ;

Chapitre 4 : La pollution des eaux souterraines ;

La deuxième partie est expérimentale, subdivisée en quatre chapitres qui sont :

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude (Tébessa) ;

Chapitre 2 : Moyens et méthodes utilisés dans notre travail ;

Chapitre 3 : Chimie de l'eau ; ce chapitre affiche surtout les représentations graphiques (diagrammes) et la confirmation des résultats, de calculs et de raisonnement, par la méthode informatique (logiciels) ;

Chapitre 4 : Interprétation des résultats et les propositions de solution.

Et enfin;

Conclusion

**PARTIE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

# **CHAPITRE I**

## **L'eau dans le monde**

**(Cas-de-l'Algérie)**

## I- L'eau dans le monde :

### I-1- Situation de l'eau sur terre :

L'eau recouvre plus de 70% de la surface du globe terrestre. Sous ses trois états ; solide, liquide et gazeux, l'eau a un volume d'environ 1,4 milliards de km<sup>3</sup>.

Cependant 97% de cette eau sont salée (mers et océans) et difficilement valorisables pour les activités humaines [72, 79 et 96].

Les trois quarts des 3% restants estimés à 36 millions de km<sup>3</sup> d'eau douce, constituent les glaciers qui sont très peu accessibles. Le quart restant comprend essentiellement les eaux souterraines (moins de 1% de l'eau totale du globe) et une infime partie forme les eaux de surface contenues dans les lacs d'eau douce et les rivières (soit 0,01% de l'eau du globe). C'est cette dernière proportion qui peut être directement exploitée par l'homme [72 et 79].

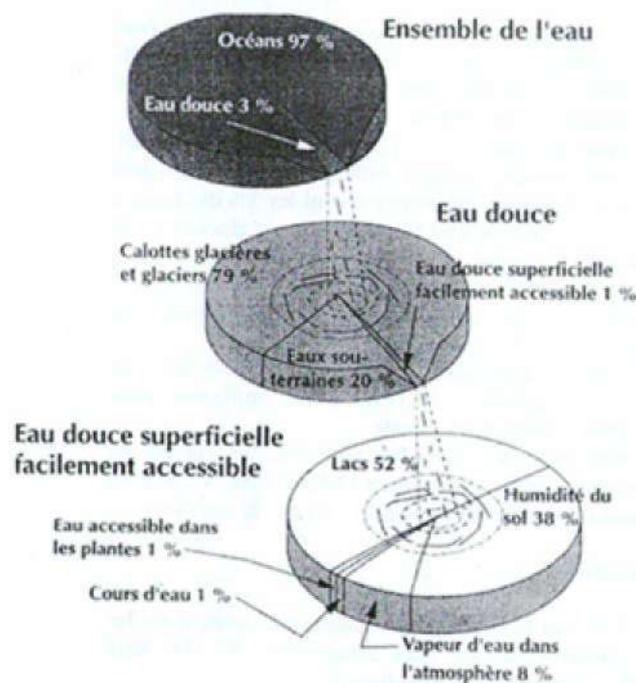
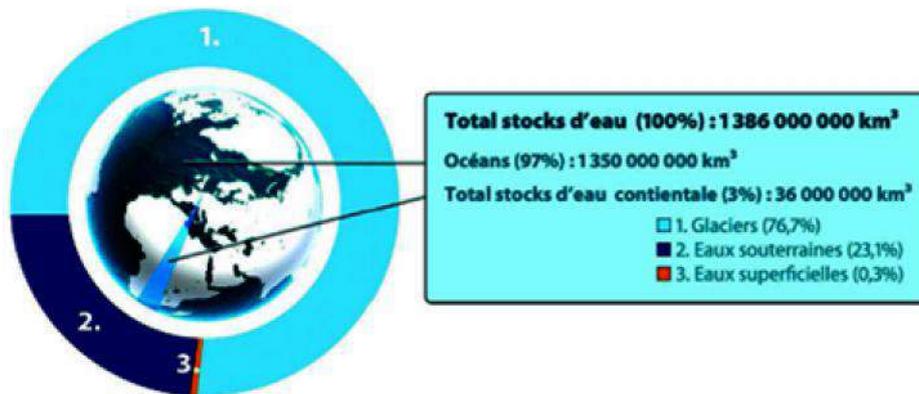


Fig 1 : Répartition de l'eau dans le globe terrestre [79 et 96]

**Tab 1 : Répartition de l'eau sur le globe terrestre [96]**

Répartition des eaux continentales	Km <sup>3</sup>
Glaciers	27 500 000
Eaux souterraines	8 200 000
Humidité des sols	70 000
Lacs d'eau douce	100 000
rivières	1 700
Mers intérieures	105 000
atmosphère	13 000
biosphère	1 100

## I-2- Crise mondiale de l'eau :

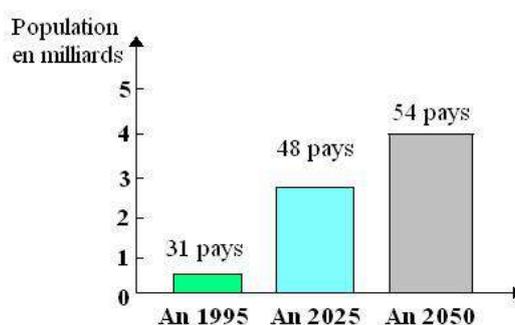
### I-2-1- La rareté de l'eau et la crise mondiale :

L'eau est la plus cruciale des ressources de la terre. Elle est essentielle pour assurer la vie, la sécurité alimentaire, l'hygiène individuelle et collective, l'énergie, le transport, en d'autres termes la quasi-totalité des activités humaines [79].

A la fin du 21<sup>ème</sup> siècle, la quantité d'eau douce disponible par habitant serait inférieure au quart de ce qu'elle était en 1950 en Afrique, et inférieure au tiers en Asie et en Amérique latine [79].

Depuis bientôt 40 ans un tiers de la population mondiale connaît une pénurie chronique d'eau surtout dans les régions arides et semi arides (pays d'Afrique du Nord, Afrique subsaharienne et certaines régions du moyen Orient) [72].

Certains rapports indiquent qu'à partir de l'an 2025, la quasi-totalité des pays en développement seront concernés par les pénuries d'eau. A l'échelle mondiale, les ressources en eau sont en nette diminution, quoiqu'elle varie selon les régions et le degré de développement. Au Maghreb par exemple, on passe en moyenne de 2430 m<sup>3</sup>/an en 1960 à 670 m<sup>3</sup>/an en 2025 [79].



**Fig 2 : Nombre de pays et d'habitats en pénurie d'eau au cours des prochaines décennies [79]**

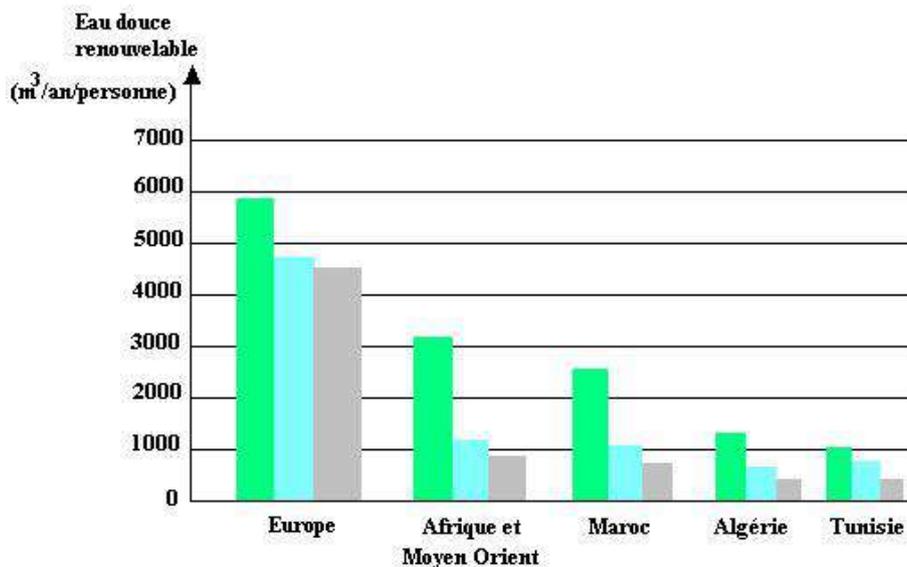


Fig 3 : Eau douce renouvelable (m<sup>3</sup>/an/personne) [79]

### I-2-2- La crise mondiale de l'eau : causes et conséquences

Les gouvernements et les sociétés du monde entier sont concernés par ce problème, que plusieurs phénomènes aggravent jour après jour :

1- La croissance démographique (plus de 6 milliards) et l'augmentation de la consommation humaine d'eau dans le monde est d'environ 12,5 à 14 billions de m<sup>3</sup>/an divisée comme suit :

L'agriculture (62%), l'industrie (24%) et (14%) pour la consommation domestique. Avec l'accès de plus en plus facilité à l'eau potable, la demande moyenne annuelle en eau sera bientôt de l'ordre de 64 milliards de m<sup>3</sup> par an. Lorsque la demande en eau dépassera la quantité des ressources disponibles, on assistera à un stress hydrique [72, 79 et 99].

2- Le changement climatique qui induit dans certaines régions à des précipitations moins abondantes et de plus en plus irrégulières, ce qui touchera les trois secteurs qui utilisent de l'eau.

3- en plus de cette grande consommation dans divers secteurs, l'eau récupérée sera polluée par différents déchets. Le manque de stations d'épuration et de traitement de l'eau dans les pays sous développés diminue encore les ressources en eau de qualité. L'eau est répartie inégalement à travers le monde [72 et 79]. Depuis de nombreuses années, certains pays, où la pluviométrie est devenue insuffisante, puisent leur eau dans les réserves souterraines, mais le plus souvent ces prélèvements d'eau des nappes sont plus importants que leur recharge [79].

Donc le manque d'eau se fait ressentir de plus en plus sur notre planète, en provoquant des graves conséquences telles que la sécheresse, les épidémies, la désertification... [79].

L'homme commence à prendre conscience de l'importance de l'enjeu qui n'est autre que sa vie. Le développement des nations ne peut être arrêté, mais une stratégie mondiale quand à l'utilisation de l'eau devrait être mise sur pied. Selon une étude des nations unies, l'eau que certains appellent déjà l'or bleu, pourrait bien devenir d'ici une cinquantaine d'années une denrée plus précieuse que le pétrole [99].

**Tab 2: Consommation moyenne en eau par habitant et par an pour certains continents (en m<sup>3</sup>) [79]**

	Volume moyen d'eau consommée en m <sup>3</sup>
Afrique	50
Europe	600
Amérique du nord	2200

**Tab 3: Quantité d'eau renouvelable par personne et par an pour quelques pays, (projections en m<sup>3</sup>) [79]**

Pays	1990	2025	2050
Algérie	690	378	309
Maroc	1151	689	585
Tunisie	540	328	279
Belgique	1698	1624	1679

## II- Notions de cycle de l'eau :

Le cycle de l'eau ou cycle hydrologique traduit l'évolution de l'eau entre ses différentes phases : liquide, solide et gazeuse, à travers les différents compartiments du système climatique : atmosphère, océans, lacs, fleuves, glaciers...etc [25]. Ce qui évoque la permanence des échanges entre l'eau du sol et l'eau atmosphérique par le jeu combiné de l'évaporation et des précipitations [17].

Ces échanges s'effectuent à l'échelle de la planète et sont réalisées via des flux verticaux (les précipitations, l'évaporation, la transpiration des végétaux, l'infiltration dans les sols, la percolation vers terrains profonds) et des flux horizontaux (les écoulements superficiels dans le réseau hydrographique et souterrains dans les aquifères, les courants marins, la composante horizontale du mouvement des nuages) [25].

Le cycle de l'eau, dans son ensemble, regroupe deux branches bien distinctes, couplées entre elles : le cycle de l'eau dans l'atmosphère d'une part et dans le sol d'autre part.

La partie atmosphérique du cycle est la plus visible (nuages, précipitations ...), elle est caractérisée par une circulation rapide de l'eau, essentiellement sous forme vapeur (le temps moyen de résidence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est de l'ordre de 8 jours).

Par contre, le cycle de l'eau dans le sol se passe essentiellement en phase liquide, il est marqué par une vitesse de circulation relativement lente [39].

### **II-1- Dans l'atmosphère :**

On peut considérer, arbitrairement, que le cycle hydrologique commence par l'évaporation de l'eau à partir des océans, des mers, des étendues d'eau (douce ou salée), du sol, de la végétation, des animaux sous l'effet de l'énergie solaire qui fait passer l'eau de l'état liquide à l'état gazeux [6 et 39].

Avec l'altitude, la vapeur d'eau refroidit et se condense en gouttelettes qui vont former les nuages, ces derniers sont entraînés par le vent vers des régions propices où sous l'effet de la gravité les gouttelettes grossies retombent sur le sol sous forme d'eau, de neige ou de grêle (état liquide ou solide) selon les caractéristiques physiques du milieu. Cette étape est la précipitation [6, 82 et 85].

Environ 10% des précipitations tombant sur la terre proviennent de la transpiration des végétaux, le reste est dû à l'évaporation [82].

### **II-2- Dans le sol :**

Parvenue à la surface du sol, une partie des précipitations s'écoule vers le réseau hydrographique et de là vers les étendues d'eau superficielles qu'elle alimente : c'est le ruissellement de surface [6 et 86].

Une autre partie, estimée en moyenne à 1/4 du volume des précipitations pénètre dans le sol, c'est l'infiltration (les paramètres qui régissent ce phénomène seront abordés au chapitre suivant). Sous la terre, l'eau peut traverser de grandes profondeurs pour atteindre les couches aquifères aptes à contenir de l'eau [6 et 83].

La circulation souterraine de l'eau dépend de la texture et de la structure des différents horizons du sol, de l'état de surface (existence de croûtes porosité et capacité d'infiltration du sol) [39].

Une troisième partie va s'évaporer directement ou être absorbée par les plantes et ensuite être libérée dans l'atmosphère par transpiration, le phénomène global est appelé l'évapotranspiration [83]. La vapeur d'eau ainsi formée retourne vers l'atmosphère pour se condenser, reconstituer les nuages qui transportés par les vents et peuvent engendrer des précipitations. Le cycle de l'eau est ainsi fermé [6].

### II-3- Le bilan hydrologique :

De ce qui précède, le bilan hydrologique peut s'exprimer par l'équation suivante :

$$P = E + R + I, \text{ dont :}$$

P : précipitations totales ;

E : évaporation + transpirations des plantes ;

R : ruissellement de surface ;

I : infiltration [6].

**Tab 4 : Bilan annuel de l'eau sur le globe terrestre [6]**

		Océans	Continents
<b>Superficie</b>	(km <sup>2</sup> )	361300000	148800000
Précipitations	(km <sup>3</sup> /an)	458000	119000
Evaporation	(km <sup>3</sup> /an)	505000	72000
Ecoulements vers la mer :			
Rivières	(km <sup>3</sup> /an)		44800
Eaux souterraines	(km <sup>3</sup> /an)		2200
<b>Total</b>	(km <sup>3</sup> /an)		47000

Il y'a un équilibre entre l'évaporation et les précipitations ; à la surface des océans les précipitations sont moins importantes que l'évaporation mais ce déficit est compensé par l'apport des fleuves et des nappes adjacentes. Sur les continents, l'eau est stockée de façon transitoire dans différents réservoirs : superficiels (lacs, fleuves, glaciers....), dans le sol (à quelques mètres de profondeur) et dans les réservoirs souterrains (nappes des aquifères) [17 et 25].

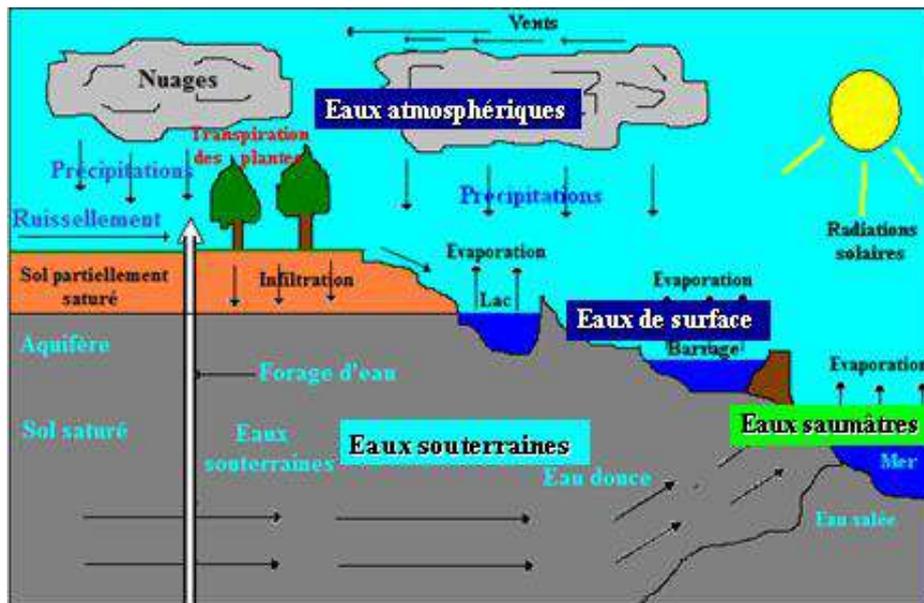


Fig 4 : Cycle de l'eau [6]

### III- Sources d'approvisionnement en eau :

Sous le terme eaux, sont rassemblées celles qui coulent et celles qui stagnent à la surface du sol ou dans les réservoirs profonds [18]. La réserve d'eau destinée à l'alimentation de la population, peut être d'origine superficielle ou souterraine [55 et 79].

On distingue quatre sources principales d'eaux brutes :

- Les eaux atmosphériques ; précipitations
- Les eaux de surfaces ; barrages, lacs, rivière...
- Les eaux souterraines ; nappes phréatiques ou profondes
- Les eaux saumâtres ; mers, océans

Les eaux de surface et les eaux souterraines sont les plus exploitées, ce n'est qu'en cas de nécessité (insuffisance) que les autres sources sont sollicitées [36].

#### III-1-Eaux atmosphériques :

L'eau atmosphérique est généralement recueillie sous forme d'eau de pluie (neige) [86], elle est habituellement de qualité acceptable, tant pour l'alimentation humaine que pour les autres usages domestiques [36, 85 et 86].

C'est une eau très douce car elle ne contient pas de sels dissous tels que : calcium, magnésium, fer, manganèse. Elle est saturée en oxygène, azote et en dioxyde de carbone [36 et 86].

Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques [36 et 85] constituées divers polluants :

- Gazeux : tels que : CO, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, provenant des foyers de combustions industrielles et domestiques. Les gaz constitués à partir d'azote et de soufre sont responsables de l'acidité de certaines pluies dont le pH peut descendre jusqu'à 4,0 [36].
- Minéraux qui peuvent être naturels (poussières du sol dans l'air) ou artificiels (fumée d'usines).
- Radioactifs : les explosions nucléaires ont envoyé des isotopes radioactifs en haute atmosphère qui sont transportés par les vents sur de très longues distances et retombent ensuite avec la pluie.
- Organiques : tels que les bactéries [86].

### III-2- Eaux superficielles :

Elles englobent toutes les eaux qui se trouvent à la surface des continents qu'elles soient en mouvement ou immobiles. Leur origine peut être une nappe qui affleure (cas d'une source de ruisseau), ou les eaux de ruissellement après précipitations [55].

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement préalable. En effet, la composition chimique dépend de la nature des terrains parcourus par l'eau dont elle dissout les éléments constitutifs. Elle se charge aussi en gaz dissous (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) par échange à l'interface eau-atmosphère. On y observe aussi une importante concentration de matières en suspension. Aux abords des centres urbains ces eaux sont souvent chargées de polluants hydrosolubles qui peuvent affecter les rivières, les fleuves et même les eaux des nappes relativement profondes [79].

#### III-2-1- Rivières :

En plus des eaux de pluies, les rivières sont alimentées par les nappes souterraines qu'elles drainent [86].

Dans la partie amont d'un cours d'eau, les eaux sont souvent moins polluées [36 et 85]. Par contre, la partie aval est caractérisée par une contamination relativement élevée (bactéries, virus, matières toxiques, matières en suspension issues de pollution domestique, agricole et industrielle...) [36 et 85].

### III-2-2- Lacs :

Les lacs, bassins naturels retenant les eaux, ont les caractéristiques suivantes :

- Une faible turbidité de l'eau car les matières en suspension se décantent.
- Une contamination bactérienne peu importante par l'effet combiné de la sédimentation et des longs séjours de l'eau.
- Accroissement de certains sels nutritifs comme le phosphore et l'azote suite à la prolifération d'algues et de plantes aquatiques [36 et 85].

### III-3- Eaux souterraines :

Les eaux souterraines des nappes phréatiques sont contenues dans les espaces interstitiels des terrains poreux et dans les fissures des roches compactes [79].

Les nappes phréatiques sont importantes dans l'approvisionnement en eau douce, elles constituent les plus grandes réserves d'eau potable. Une nappe phréatique sort naturellement à la surface du sol sous forme de source ou elle est extraite par forage de puits [79].

Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont présentées ci-dessous :

- Débit généralement constant, contrairement à celui des rivières.
- Température constante par effet tampon du sol, (à l'abri des variations journalières et saisonnières solaires et de l'atmosphère).
- Faible Coloration (matières organiques ou colloïdales en solution peu importantes) [36, 55 et 85].
- Faible Turbidité (filtration naturelle du sol et sous sol).
- Dureté souvent élevée (les roches contiennent des métaux bivalents (Mg, Ca, Mn...)).
- Composition chimique plus stable et plus riche en sels minéraux. Les eaux souterraines ont longtemps été synonymes d'eaux propres et répondent naturellement aux normes de la potabilité, elles sont considérées comme des eaux pures protégées par le sol contre les activités humaines, et souvent d'une grande pureté bactériologique [55], mais actuellement elles sont devenues de plus en plus susceptibles de pollution par infiltration [79].

Lorsqu'une nappe souterraine est polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle parce que les polluants présents dans l'eau sont également fixés et adsorbés par les roches et les minéraux du sous sol [55].

**Tab 5 : Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines [55]**

<b>Caractéristique</b>	<b>Eau de surface</b>	<b>Eau souterraine</b>
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues,..) sauf dans les eaux très douces	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
CO <sub>2</sub>	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité
H <sub>2</sub> S	Généralement absent	Souvent présent
NH <sub>4</sub>	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur généralement modérée	Souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	Ferrobactéries fréquentes

### III-4- Eaux saumâtres :

Pour subvenir aux besoins toujours croissants en eau douce, on peut recourir au dessalement des eaux saumâtres (15000 mg/l de sels dissous) ou des eaux de mer (25000 mg/l) et même plus) [36 et 79].

Le dessalement de l'eau de mer a été envisagé depuis de nombreuses années et actuellement, il s'est généralisé dans de nombreux pays. En Algérie, il constitue depuis les années 2000, une solution techniquement possible et inévitable notamment pour les besoins domestiques des villes côtières.

Ces procédés sont nombreux, on peut citer :

- 1 / La distillation qui est basée sur l'évaporation et la condensation de cette vapeur.
- 2 / La réfrigération qui sépare les cristaux de glace de la saumure.
- 3/ L'osmose inverse, utilisé en Algérie, est une technique par laquelle on filtre l'eau à travers une fine membrane qui ne laisse pas passer les sels minéraux sous pression.
- 4/ L'électrodialyse qui sépare les anions des cations pour diminuer la quantité de sel dans l'eau [79].

Ces deux dernières techniques sont coûteuses à cause de leur technicité et l'énorme quantité d'énergie requise [36].

Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous, cette salinité varie dans la plupart des mers de 33000 à 37000 mg/l [85].

### IV- Les ressources hydriques en Algérie :

En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté. Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou superficielle, les ressources sont limitées [1].

La pollution des ressources en eau commence à des proportions inquiétantes notamment au Tell. La disponibilité en eau déjà faible risque de l'être davantage du fait de cette pollution par des eaux usées, également des pollutions chimiques (industrie et agriculture) [21]. Il faut remarquer que la plupart des nappes souterraines en Algérie sont largement mobilisées et souvent surexploitées, ce qui entraîne un déséquilibre de leurs bilans hydrologiques et une détérioration de la qualité de l'eau [79].

Certaines nappes qui se trouvent en bordure du littoral sont totalement dégradées par l'avancée des biseaux salés par exemple :

Bas de Chlef et d'Oran à l'Ouest,

Sébaou, Mazafran, Nador, Elhachem au centre.

Djendjen, Soummam, Zitoun, Taher à l'Est [80].

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques regroupant 17 bassins versants (fig 5). Les ressources ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantités ou de leur nature (eaux superficielles ou souterraines), elles dépendent du climat [70 et 72].

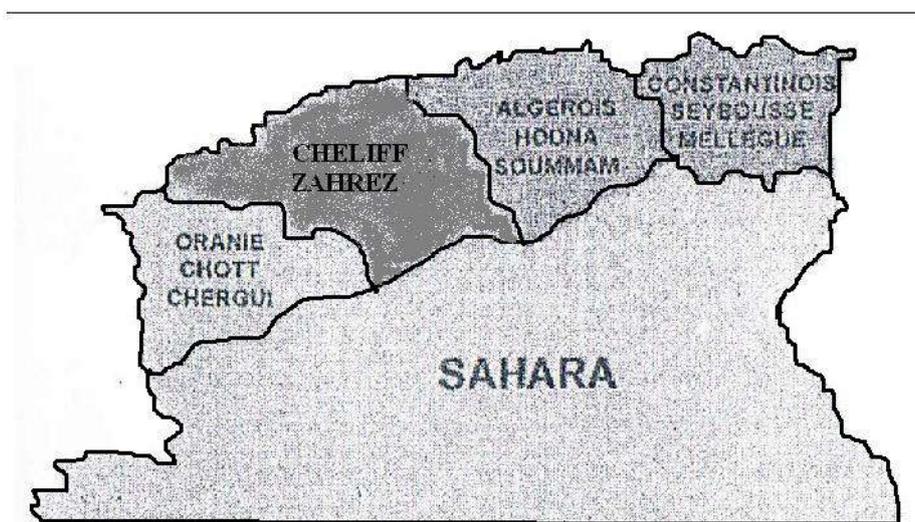


Fig 5 : Les bassins hydrographiques en Algérie [79]

Les potentiels en eau du pays sont estimés à un peu moins de 20 milliards  $m^3$ /an, divisées en ressources renouvelables au Nord du pays tant pour les eaux superficielles que pour les nappes souterraines, et difficilement -ou non- renouvelables au Sud [21 et 70]. Ces ressources sont peu abondantes et correspondent globalement à 12,4 milliards de  $m^3$ /an pour les eaux superficielles et 2,8 milliards de  $m^3$ /an d'eaux souterraines (dont 800 millions de  $m^3$  dans le sud (ressources renouvelables) [21].

#### IV-1- Les ressources au Nord du pays :

Les ressources mobilisées totales sont destinées de 55,3% à l'irrigation (2,1 milliards de  $m^3$ ), de 34,2% à l'AEP (1,3 milliards de  $m^3$ ) et 10,5% à l'industrie (0,4 milliards de  $m^3$ ), ils concernent au total 126 nappes principales [21].

La lithologie de l'Algérie du nord est essentiellement marneuse qui donne des séries peu ou pas perméables, par ailleurs la réalimentation naturelle des nappes est très faible, en conséquence, le Nord de l'Algérie est défavorisé en eaux souterraines [1].

#### IV-2- Les ressources au Sud :

La disponibilité en eau est importante grâce à deux grandes nappes, qui s'étendent au-delà des frontières Algériennes (en Tunisie et en Libye) (fig 6); la nappe du Complexe Terminal (CT) et la nappe du continentale intercalaire (CI) dite "albiennne" [21] constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde et renferment d'importantes réserves (de l'ordre de 60 000 milliards de m<sup>3</sup> dont 30 000 à 40 000 milliards m<sup>3</sup> sont situées en Algérie) [78], mais en raison du très faible taux de renouvellement, les potentialités exploitables sont très limitées (5 milliards m<sup>3</sup>/an) dont 56% pour CI et 44% pour CT [21, 78 et 79].

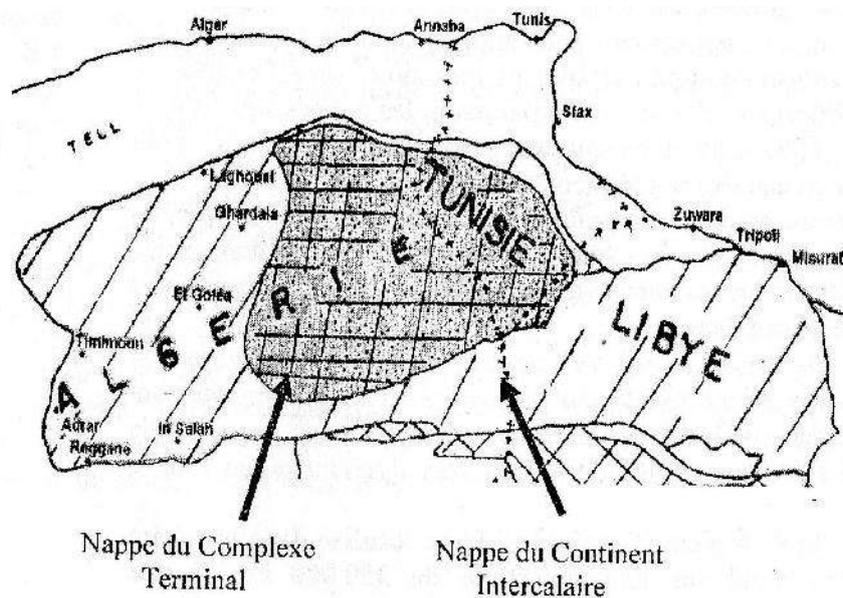


Fig 6 : Les deux grandes nappes du Sahara [79]

La nappe CT se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350000 km<sup>3</sup> à une profondeur entre 100 et 500mètres, elle couvre de grandes surfaces dans Tidikelt, El Menéa et Ghardaïa. La nappe CI s'étend dans le Sahara septentrional à une profondeur de 1000 à 1500mètres. Elle couvre une surface d'environ 7000 km<sup>2</sup> dans le Sahara et l'espace frontière entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye [78 et 79].

# CHAPITRE II

## Les structures souterraines

### I- L'eau dans le sol :

La partie des précipitations qui pénètre dans le sol constitue les réserves qui permettent le maintien de l'alimentation en eau de la végétation lorsque les précipitations se font rares [17].

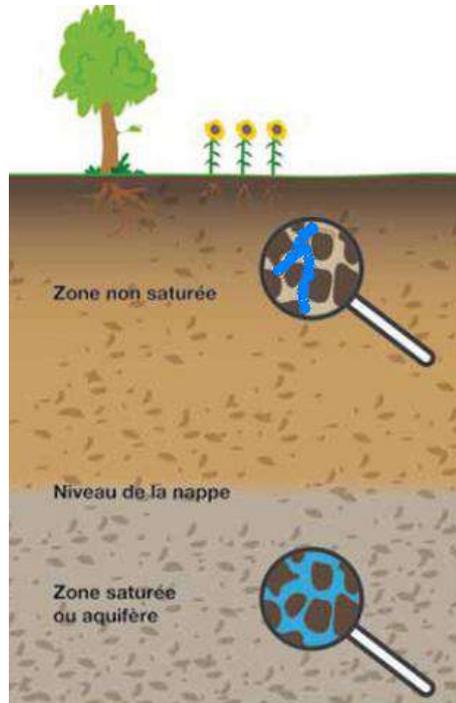


Fig 7 : Etat de l'eau dans les zones saturée et non saturée (aquifère) [7]

### II- Les différents compartiments du sol :

Dans un système aquifère on distingue trois niveaux principaux :

- Le compartiment de surface ou zone d'évaporation.
- Le compartiment dit intermédiaire, ou encore zone d'aération [17].
- Le compartiment de profondeur ou zone saturée.

Dans le compartiment de surface l'eau retenue n'est présente que sous forme d'humidité [17 et 54].

L'eau y constitue la réserve utilisable "Ru" et correspond à la quantité d'eau maximale que les plantes sont susceptibles d'y prélever par leurs racines en fonction de leurs besoins [17 et 74].

La teneur en eau peut y être très faible quelques pourcents du volume total des vides. Parfois elle est considérable et atteint jusqu'à  $300 \text{ l/m}^3$  dans la craie [54].

Dans le compartiment intermédiaire, non soumis ou très faiblement à l'évaporation et à l'extraction racinaire, l'eau circule vers la profondeur (percolation) [17].

Ces deux premiers compartiments constituent la zone non saturée du sol ; une partie de l'eau qui s'infiltré y est retenue, ce qui lui confère une certaine humidité.

Dans les pores de la zone non saturée, l'eau se présente sous forme de gouttelettes qui partagent l'espace avec de l'air [54]. L'autre partie de l'eau poursuit son cheminement vers les profondeurs, sous l'effet de la gravité [17].

La zone de saturation est limitée à sa partie inférieure par un niveau imperméable ou de faible perméabilité ; dans cette zone l'eau s'accumule et remplit tous les pores du sol. L'eau s'y déplace horizontalement sur des épaisseurs et en quantités très variables [17 et 54]. C'est cette eau souterraine qui alimente les cours d'eau et emplissent les puits, elle constitue la réserve hydrologique "Rh" [17].

Dans les terrains non consolidés, les pores peuvent contenir quelques centaines de litres / m<sup>3</sup>, cette valeur peut chuter jusqu'à quelques litres seulement si la roche est compacte [54].

### **III- Notions générales et définitions:**

#### **III- 1- Les données physiques du sol :**

Le sol est composé de trois phases :

Solide (éléments de roche), gazeuse (l'air dans la zone non saturée) et liquide (l'eau dans la zone saturée).

L'eau et l'air occupent les vides du sol d'une façon antagoniste selon des conditions de réalimentation de la nappe [17].

##### **III-1-1- Sol :**

Le sol est constitué de particules rocheuses entre lesquelles se trouvent des espaces dont la taille et l'agencement dépendent de la texture et la structure de ce sol :

- La texture d'un sol : c'est les dimensions des grains (granulométrie des particules).
- La structure : c'est l'agencement des particules du sol (son architecture).

L'ensemble des espaces (pores interstices, fissures ...) qui résultent de la granulométrie et de l'architecture constitue la porosité du sol [17].

##### **III-1-2- Porosité :**

La porosité est une caractéristique statique des terrains, elle détermine les conditions de stockage et de circulation de l'eau, elle se définit par l'aptitude des roches à retenir l'eau et s'exprime par le coefficient de porosité qui est le rapport entre le volume des vides et le volume total de l'échantillon ( $V_v/V_t$ ) [10].

Si elle peut être liée à la sédimentation, elle est dite primaire. Si, elle a été acquise ultérieurement par dissolution partielle des roches elle est dite secondaire [54].

**Tab 6 : Quelques valeurs de porosités de différentes roches [54]**

Roches	Porosité totale (en %)	Porosité efficace (en %)
Granites et gneiss fissurés	0,1 à 3	0 à 2
Schistes, ardoises, micaschistes	1 à 8	0 à 2
Basaltes fissurés	10 à 15	8 à 10
Calcaires fissurés	5 à 15	2 à 10
Craie	4 à 37	2 à 5
Grès fissurés	4 à 40	2 à 15
Alluvions	30 à 45	2 à 20
Lits de galets	25 à 30	20 à 25
Sables	25 à 50	5 à 30
Limons et Löss	43 à 53	2 à 15
Argiles	40 à 55	0
Argiles gonflantes et vases	Jusqu'à 90	/
Sols labourés	45 à 65	variable

**III-1-2-1- Porosité totale :**

C'est la quantité d'eau que le sol peut contenir à saturation c'est-à-dire remplissage de tous les vides. Elle s'exprime :

$$n = V_v / V_t \cdot 100 \text{ dont :}$$

n : Porosité totale en %

$V_v$  : Volume des vides

$V_t$  : Volume de l'échantillon [17].

**III-1-2-2- Porosité efficace :**

C'est la part de la porosité qui permet l'écoulement libre de l'eau (eau libre ou gravitaire ou gravifique), elle s'exprime :

$$n_e = V_e / V_i \cdot 100 \text{ dont :}$$

$n_e$  : Porosité efficace en%

$V_e$  : Volume d'eau gravitaire

$V_i$  : Volume de l'échantillon [17].

### III-2- Les états de l'eau dans le sol :

Selon les liaisons de l'eau et du sol, on distingue trois types d'eau définis par leur mobilité :

#### - L'eau gravitaire :

C'est l'eau qui circule librement dans la macroporosité du sol et descend vers le bas, sous l'effet de la gravité. Elle alimente les ouvrages de captage et les sources. C'est l'eau mobilisable [17 et 74].

#### - L'eau de rétention capillaire :

C'est la fraction d'eau ( $R_h$ ) qui peut se déplacer dans les pores et les interstices par capillarité. Elle est, en grande partie, extraite par les racines pour assurer l'alimentation de la végétation durant les saisons sèches [17].

#### - L'eau liée ou adsorbée :

C'est la fraction de l'eau maintenue autour des grains du sol attirée fortement à ses surfaces par des forces supérieures à celles de la gravité. Elle forme une pellicule d'environ  $0,1\mu$  d'épaisseur, elle est immobile et hors d'atteindre de la succion racinaire [17 et 74].

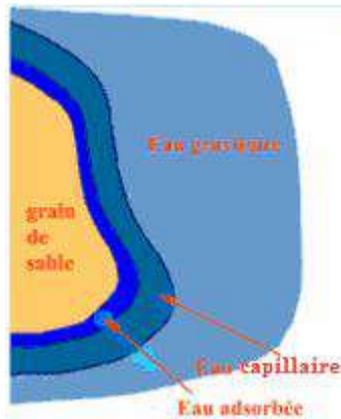


Fig 8 : Différents types d'eau dans une roche [74]

### III-3- La mobilité de l'eau dans le sol :

Dans le sol, l'eau a tendance à se déplacer à la fois du haut vers le bas et des zones les plus humides vers les zones les plus sèches.

#### III-3-1- La perméabilité :

C'est l'aptitude d'un terrain aquifère à se laisser traverser par l'eau, elle dépend de la dimension des vides et de leur liaison (continuité). Les sables, les graviers, les karsts sont perméables. Par contre, les argiles, les calcaires à grains fins et les roches cristallines non fissurées ne le sont pas [52].

La perméabilité d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau qui le traverse, elle est quantifiée par la loi de Darcy :

$$Q = K \cdot S \cdot H / h$$

Q : débit (en m<sup>3</sup>/s)

K : perméabilité (en m/s)

S : section de la colonne de sol (en m<sup>2</sup>)

H : hauteur de la colonne d'eau (en m)

h : hauteur de la colonne du sol (en m) [22].

La température influe sur la perméabilité. On admet que la température varie avec la profondeur d'environ 1°C tous les 33 mètres. Cette valeur considérée comme constante pour chaque lieu, est appelée le gradient géothermique. Ainsi en lieu où la température en surface est de 20°C, on trouvera à 200mètres une température de 26°C [10].

Dans un terrain aquifère et suite à un pompage, le mouvement de l'eau vers le forage sollicité s'effectuait surtout horizontalement à travers une section verticale de la couche aquifère. Ce qui permet d'énoncer la définition suivante de la perméabilité (ou coefficient de perméabilité):

$$K = Q / S \cdot i$$

K : perméabilité (m/s)

Q : débit (m<sup>3</sup>/s)

S : section traversée (m<sup>2</sup>)

i : gradient hydraulique (nombre sans unité)

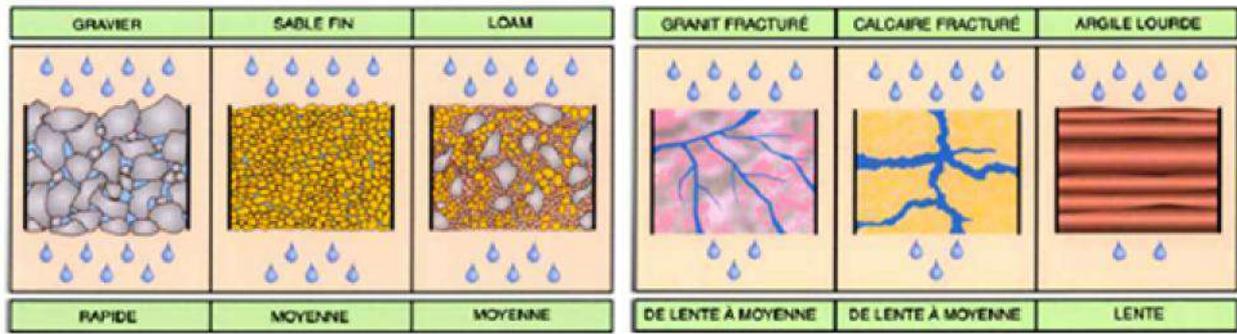
$$Q = S \cdot V \Rightarrow K = S \cdot V / S \cdot i$$

V : vitesse de l'eau (cm/s, m/s ou m/jour)

$$\Rightarrow K = V / i \quad / T^\circ = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

L'unité de perméabilité est le darcy dont : 1 darcy = 10<sup>-3</sup> cm/seconde [10].

Le darcy se définit comme : « la perméabilité d'un système qui permet l'écoulement de 1cm<sup>3</sup> d'eau en une seconde à travers une section de 1cm<sup>2</sup>, à 20°C » [86].



**Fig 9 : Vitesse de déplacement de l’eau dans divers matériaux géologiques [48]**

En hydrogéologie, on distingue deux types de perméabilité :

**III-3-1-1- Perméabilité en petit :**

Qualifie les terrains poreux où l’eau percole lentement mais régulièrement, ces terrains possèdent un fort pouvoir filtrant [86].

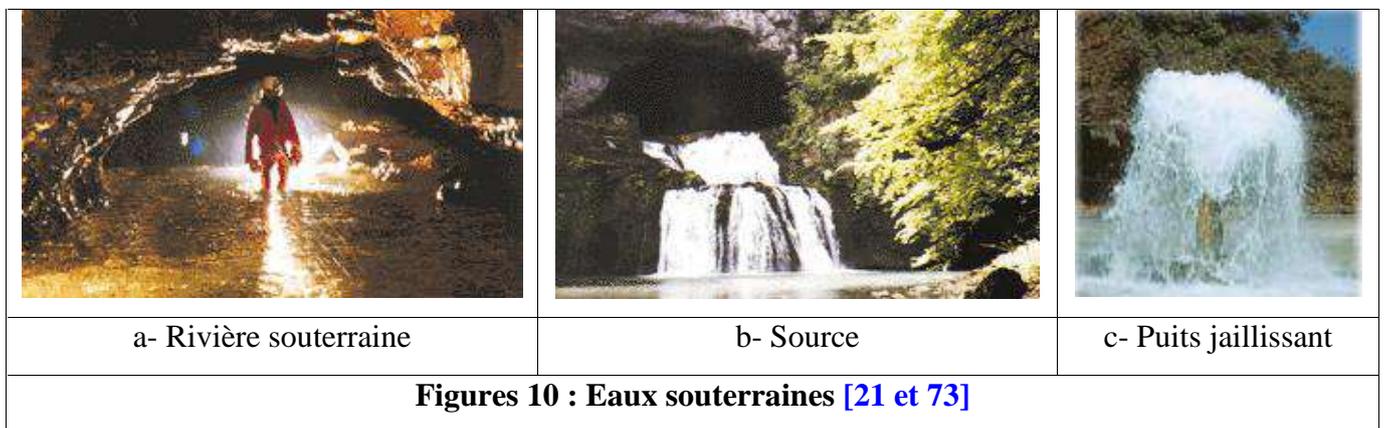
**III-3-1-2- Perméabilité en grand :**

Elle caractérise les terrains fissurés où l’eau circule parfois dans de véritables réseaux souterrains, généralement karstifiés mais où il n’existe pas de pouvoir filtrant [86].

**IV- Aquifère et nappe d’eau souterraine :**

**IV-1- Définition de l’eau souterraine :**

C’est l’eau qui existe dans les pores et les fissures des roches et sédiments sous la terre, elle est alimentée naturellement à partir de la surface grâce aux infiltrations issues des précipitations ou d’eaux provenant des rivières. Les eaux souterraines sont contenues dans des couches aquifères [64].



#### IV-2- Définition de l'aquifère :

C'est un mot composé de deux parties du latin ; "aqua" : signifie eau, et "fer" : signifie qui porte, c'est-à-dire la roche qui contient de l'eau [17 et 29].

L'aquifère est une formation géologique souterraine constituée de roches essentiellement sédimentaires [17], poreuses ou fissurées possédant une perméabilité suffisamment conductrice d'eau, pour permettre un écoulement souterrain significatif et le captage de quantités appréciables d'eau [19, 22 et 73].

Les aquifères sont limités à leur partie inférieure par une base imperméable (étanche d'où il ne sort aucun flux) appelé "substratum". Leur partie supérieure peut être libre (en contact avec l'atmosphère) ou recouverte d'une autre couche de terrain imperméable appelée "toit" [54, 86 et 93].

Un aquifère est constitué de :

1 / une zone non saturée (zone d'infiltration), dont les vides sont occupés par de l'air et occasionnellement parcourus par de l'eau.

2/ une zone noyée ou saturée dont tous les vides sont remplis d'eau. Cette eau contenue dans la roche prend le nom de la nappe [14 et 17].

Les aquifères les plus productifs constitués de sable et de gravier sont habituellement vastes et profondes et alimentés par les eaux de pluie qui s'infiltrent dans le sol [48].

\* **Aquitard** : par opposition à l'aquifère, c'est une couche constituée de matériaux peu perméables, notamment d'argile, ou de schiste argileux, qui oppose une résistance au passage de l'eau [48].



Fig 11 : Rivière souterraine [73]

#### IV-3- Caractéristiques des roches réservoirs :

Les matériaux favorables à la formation d'aquifères sont les grès et les sables, les graviers et les alluvions, les roches carbonatées fissurées, les basaltes récents [15].

Les roches réservoirs sont caractérisées par les vides qu'elles contiennent, on identifie deux types de vides : les pores et les fissures.

- **Les pores** ou interstices : ce sont des vides de petites dimensions, toujours inférieures au dixième de millimètre, ménagés par la coalescence de grains de formes et de grosseurs variables : grains de silice d'un sable, galets et particules de limons d'une formation alluviale.
- **Les fissures** sont des fentes plus ou moins étroites, allongées, dont les microfissures sont d'une largeur inférieure à 0,25 mm [15 et 74].

Ces deux types de vides permettent de distinguer deux grandes catégories de roches réservoirs :

- **Les roches meubles, ou non consolidées** : qui présentent uniquement des pores (roches poreuses : graviers, sables, sables argileux et argiles) ;
- **Les roches compactes, ou consolidées** : où les fissures dominent (calcaire, grès, basalte et granite) [15 et 74].

Dans les roches compactes carbonatées, comme les calcaires, l'action chimique (dissolution des carbonates) et mécanique des eaux est importante, peu à peu, elle rend les fissures plus larges jusqu'à réaliser des cavités souterraines. C'est la karstification donnant naissance à des réseaux aquifères [15].

Toutefois, les roches compactes peuvent renfermer des pores dont le rôle n'est pas négligeable (craie) [74].

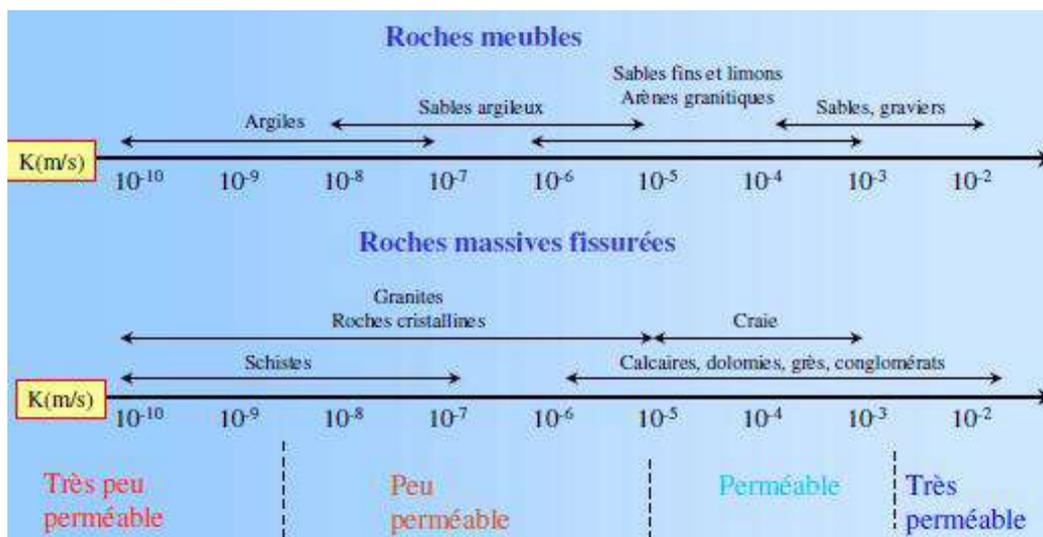


Fig 12 : Perméabilité des différentes roches [21]

#### **IV-4- Différents types d'aquifères :**

Les aquifères sont limités à leur partie supérieure par un toit et à leur partie inférieure par un substratum. Suivant la perméabilité de la limite supérieure, on distingue trois types d'aquifères :

##### **IV-4-1- Les aquifères homogènes (continus, poreux non confinés à nappe libre) :**

La formation aquifère n'est pas saturée sur toute son épaisseur, il existe entre la limite supérieure de la zone saturée (appelée surface de la nappe) et la surface du sol une zone non saturée [17, 30 et 74].

Ces aquifères sont habituellement les moins profonds, on les retrouve souvent près de la surface du sol, ils sont les plus accessibles. Ils sont constitués de roches meubles (sables, graviers, ...). Alors, ils ont une perméabilité d'interstices avec une vitesse de percolation lente et régulière [13, 31, 48 et 74].

Le niveau supérieur de la nappe (appelé niveau piézométrique) se trouve toujours sous le niveau du sol [17 et 86], et à la pression atmosphérique. Il s'établit uniquement en fonction de la perméabilité du terrain à travers lequel pénètre l'eau d'infiltration [86]. Cette nappe peut être très vulnérable aux pollutions [13].

Parmi ces nappes, on peut citer :

- nappe phréatique :

Du grec "phrear" c'est-à-dire puits.

C'est la première nappe rencontrée lors du creusement d'un puits, elle est assez proche de la surface pour être facilement accessible aux activités humaines [17 et 86]. L'inconvénient de la nappe phréatique est qu'elle est pratiquement polluée (aux bords des sites urbains). Elle fournit rarement une eau potable sans traitement préalable [86].

- nappe alluviale :

Les alluvions formées par les grands épandages de sable et graviers des fleuves et des rivières constituent des réservoirs [29]. Les alluvions sont très perméables, elles peuvent être très épaisses (une centaine de mètres) et constituer un important réservoir qui peut alimenter en eau les villes avoisinantes [22].

##### **IV-4-2- Les aquifères hétérogènes (discontinus, confinés à nappe captive et à perméabilité de fissures) :**

Aquifère à nappe captive est une couche complètement saturée [22] située plus profondément dans le sol, surmontée d'un aquitard ou confinées entre deux aquitards (sandwichées). Ces aquifères sont constitués de roches consolidées surtout de calcaires, mais

également de roches volcaniques, granitiques ou gréseuses à une perméabilité de fissures. Dans les massifs calcaires, les fissures sont souvent ouvertes (aquifères de type karstique), et constituent de véritables conduits souterrains dans lesquels la vitesse de circulation des eaux peut être très rapide et irrégulière [13, 31, 48 et 74].

L'eau y est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Ainsi, suite à un forage à travers le toit imperméable, l'eau remonte et peut jaillir ; le forage est dit "artésien". Ce jaillissement peut disparaître si la nappe est exploitée au point de diminuer sa pression [38].

#### IV-4-3- Aquifère à nappe semi-captive :

Dans certaines roches (craie ou grès), les deux types de perméabilité (interstices et fissures) peuvent coexister [13]. Se sont des aquifères partiellement confinés ou semi captifs dont le toit, le substratum ou les deux sont constitués par une formation hydrogéologique semi perméable. Celle-ci permet des échanges d'eau avec un aquifère superposé ou sous jacent. On parle alors d'aquifère multicouche. Ils sont souvent situés plus profondément dans le sol [48 et 93].

- plus un aquifère confiné ou partiellement confiné est profond, plus la couche de matériaux qui le recouvre est épaisse et plus cet aquifère et son eau sont protégés de contamination. [13]

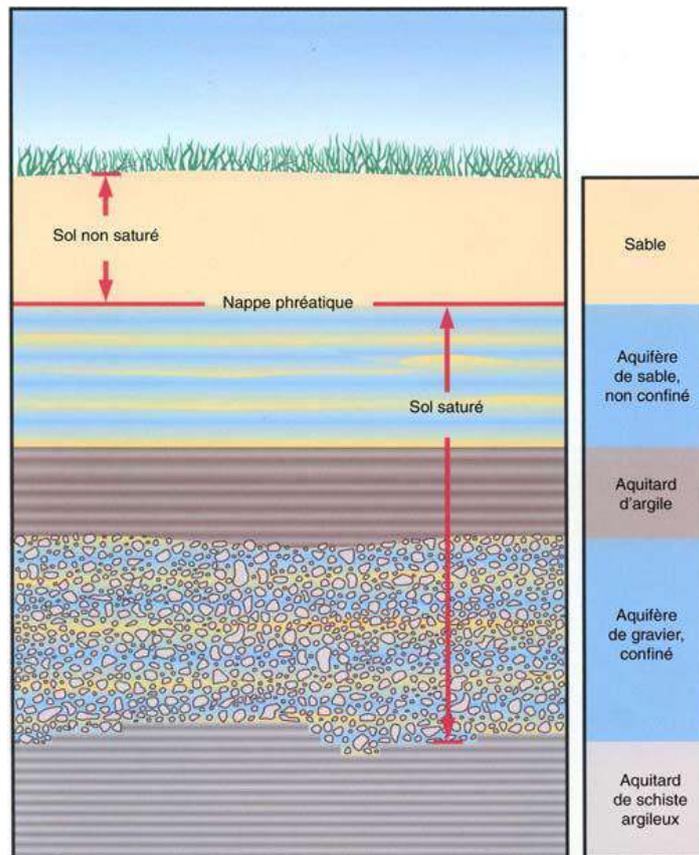


Fig 13 : Vue en coupe de différentes formations aquifères [48]

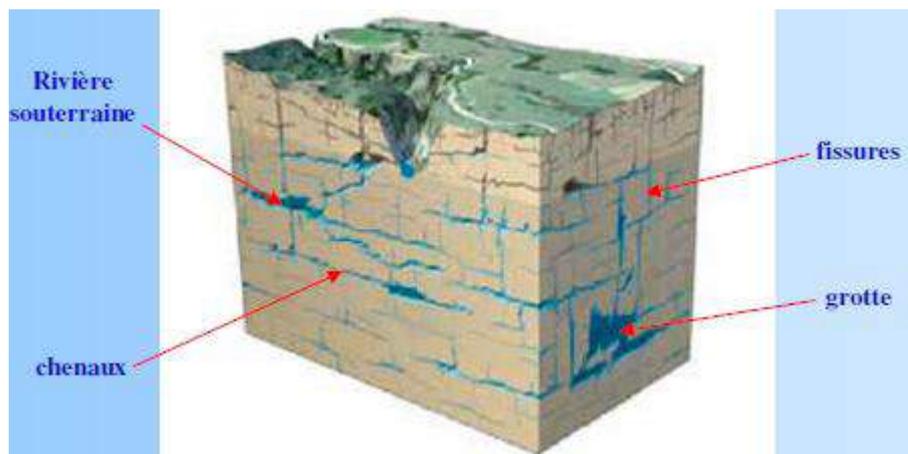


Fig 14 : Aquifères karstiques [21]

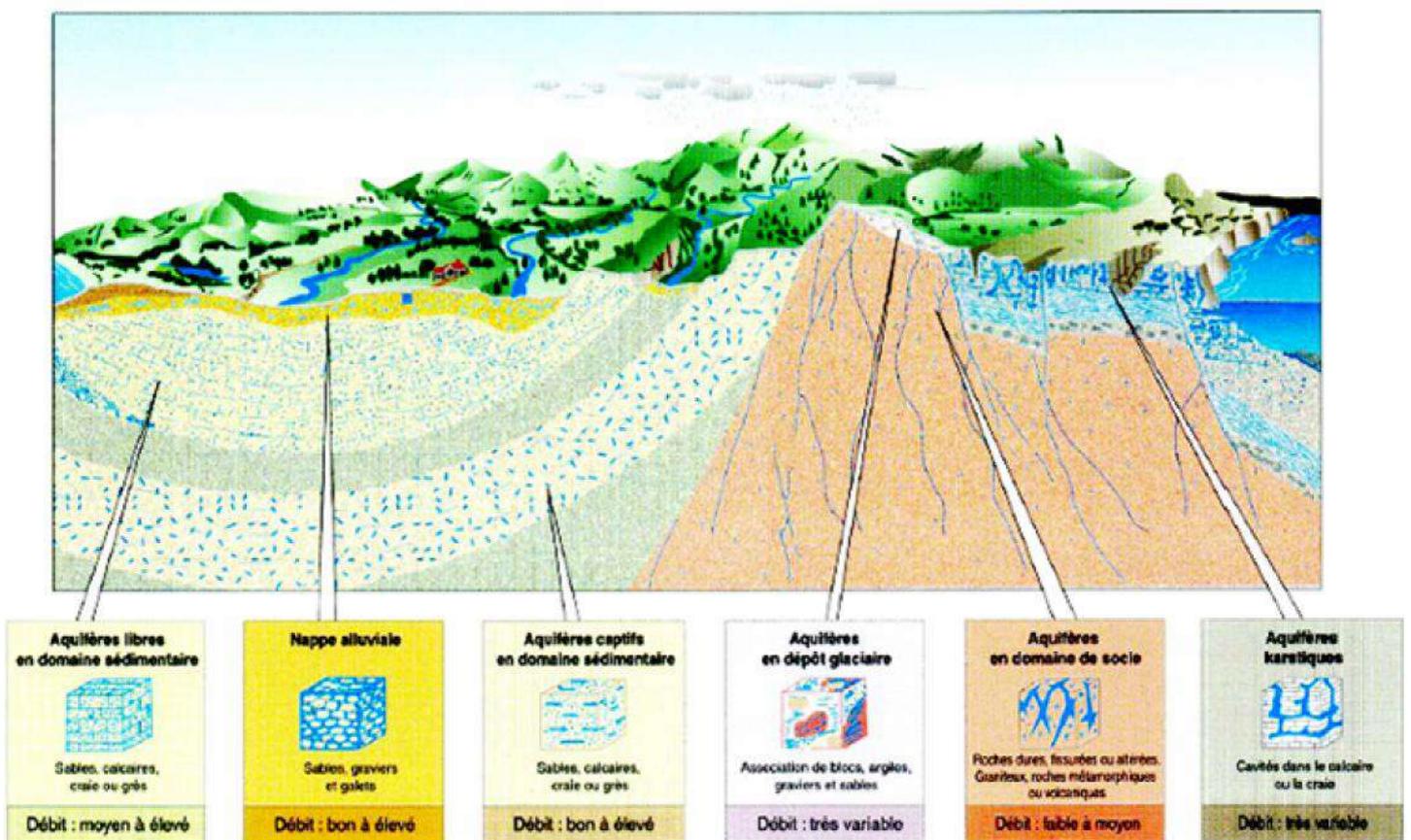
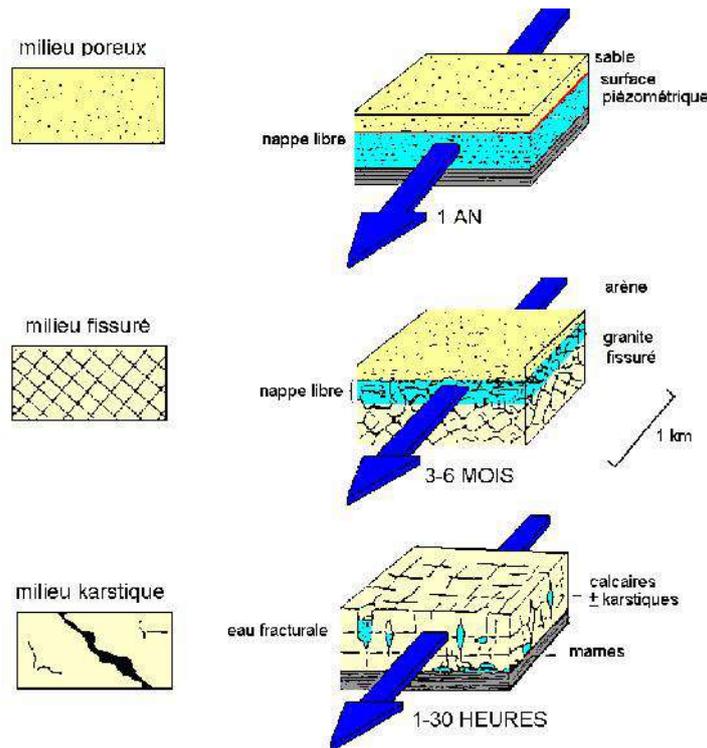


Fig 15 : Principaux terrains aquifères dans leur cadre géologique avec indication de l'importance des débits que l'on peut attendre des ouvrages de captage [54]



**Fig 16: Différents aquifères et la variabilité des vitesses d'écoulement [13]**

#### IV-5- Modes de captage des eaux souterraines :

On peut exploiter les eaux souterraines soit de manière ponctuelle, à leur émergence naturelle, grâce au captage de sources, soit par des puits et des forages répartis sur la surface du territoire où l'aquifère choisi [54].

##### IV-5-1- Le puits :

C'est un ouvrage creusé à la main, à l'aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches considérées (craie, grès...) [54], en général de profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100m), d'un diamètre supérieur à 1,2m aux parois revêtues au moins partiellement de béton ou de maçonnerie [13].

Les puits ne permettent d'exploiter que la nappe phréatique [86].

##### IV-5-2- Le forage :

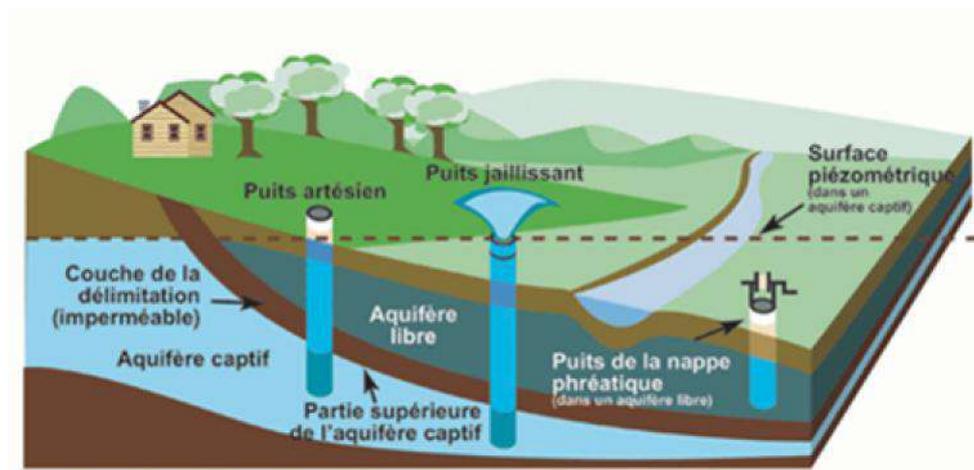
À grande profondeur, ces ouvrages s'appellent "forage". Le forage est l'ouvrage moderne le plus répandu pour l'exploitation des eaux souterraines, mais ce terme correspond à l'ensemble des opérations permettant le creusement de trous généralement verticaux [74].

Le forage peut être peu profond, comme il peut dépasser les 1000mètres. Son diamètre est généralement plus faible que celui du puits et sa paroi est protégée par un tube de métal ou en matière plastique, et une cimentation entre terrain et tubage dans les premiers mètres [13].

Ces grandes profondeurs nous permettent de minimiser le maximum des risques de pollution et de trouver des débits suffisants [86].

**Tab 7: Indices pouvant signaler différents types de puits [48]**

Diamètre du tubage	Type de puits
Très faible diamètre : 2,5-5cm	Puits à pointe filtrante (dans les sols peu profonds et sableux)
Faible diamètre : 10-20cm	Puits foré à la sondeuse
Grand diamètre : 60-120cm	Le plus souvent un puits foré à la tarière ou creusé



**Fig 17: Aquifères et puits [28]**

# **CHAPITRE III**

## Qualité des eaux

### **I- Qualité de l'eau :**

C'est l'appréciation des paramètres physico-chimiques et biologiques vis-à-vis aux valeurs références données par les règlements et les recommandations nationaux et internationaux, c'est-à-dire la composition chimique de l'eau doit correspondre à des normes précises. Cette évaluation se fait en fonction des usages de l'eau. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation [26 et 90].

### **II- L'eau potable :**

L'eau de boisson ou l'eau potable ; est une eau de consommation humaine. La plupart provient des eaux souterraines et des eaux de source [18].

En se référant à l'OMS (l'organisation mondiale de la santé), elle peut être définie comme une eau ne renferme ni matières dangereuses, ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé [69].

Elle doit contenir des éléments minéraux en solution, comme elle peut contenir des microorganismes dans la mesure où ils ne provoquent aucun effet pathogène et ne créent aucun gêne au consommateur [69]. Elle doit être limpide, agréable au goût, dépourvue d'odeur désagréable [85].

### **III- Les normes :**

Les normes sont déterminées et instaurées comme valeurs butoirs pour éviter de mettre en danger le consommateur ou ses intérêts par l'utilisation de denrées normalisées, et leur respect doit être l'objectif constant du gestionnaire de cette ressource [54].

Les normes de l'eau ont été établies pour fixer notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau [19].

Les normes ne font que définir, à un moment donné, un niveau de risque acceptable pour une population donnée. Elles dépendent par ailleurs étroitement des connaissances scientifiques et des techniques disponibles, notamment dans le domaine des risques sanitaires et dans celui de l'analyse chimique. Elles s'établissent en fonction de critères de santé publique, du degré de développement du pays considéré et des progrès de la technologie [2]. Elles peuvent donc être modifiées à tout moment [19].

Tous les pays du monde ne suivent donc pas les mêmes normes. Certains édictent leurs propres normes. D'autres adoptent celles conseillées par l'OMS parce qu'elles sont assez

tolérantes pour certains critères en tenant compte les moyens limités de certains pays en voie du développement [2 et 19].

Les normes actuellement en vigueur ne concernent que la potabilité de l'eau qui répond aux ces deux objectifs : la santé publique et l'agrément du consommateur [2 et 69].

- La santé publique : implique que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes. Elle doit donc répondre aux normes physico-chimiques et bactériologiques [75 et 85].

- L'agrément du consommateur : qui est différent du premier point, car une eau peut être agréable à boire tout en étant dangereuse, il s'agit des qualités organoleptiques, c'est-à-dire ce qui est perçu par les sens de l'homme à savoir couleur, odeur, goût [2 et 69].

Le nombre et la diversité des substances contenues dans l'eau augmentent sans cesse, en même temps que s'affinent les méthodes de détection et de dosage, ce qui entraîne régulièrement l'édiction de nouvelles normes [75 et 85].

Les normes européennes ont l'avantage de donner deux niveaux de concentration :

Le niveau guide (NG) et la concentration maximale admissible (CMA) [2, 18 et 75].

- Niveau guide: c'est la valeur qui est considérée comme satisfaisante et qui correspond à un niveau de qualité à atteindre [18 et 94].

- Concentration maximale admissible: c'est des limites impératives à respecter dans tous les cas [2], dont l'eau distribuée doit avoir une valeur inférieure ou égale à cette valeur [18].

Les CMA ont été établies en tenant compte d'une consommation durant toute la vie et de toutes les utilisations de l'eau à fins domestiques, y compris l'hygiène personnelle. Elles visent à protéger la santé de certaines substances qui ont, ou pourraient avoir, des effets défavorables sur la santé [75]. Ces dispositions réglementaires (NG et CMA) doivent être respectées à la sortie du robinet du consommateur [94].

#### **IV- Paramètres de qualité de l'eau :**

On distingue les normes relatives aux paramètres organoleptiques et physicochimiques et celles relatives aux paramètres microbiologiques [97].

##### **IV-1- Les paramètres organoleptiques :**

Ils concernent la couleur, la saveur (goût), l'odeur, la transparence (limpidité) exprimée par la turbidité et l'aspect de l'eau. Ces paramètres sont perceptibles par les organes sensoriels [97 et 100].

Une eau d'alimentation, doit être limpide, fraîche, exempte de couleur ainsi que d'odeur et de saveur désagréable [12].

#### **- La turbidité :**

La turbidité est l'aspect trouble de l'eau .C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle résulte de la diffusion de la lumière par des particules en suspension qui est ainsi déviée dans toutes les directions. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. L'origine de MES peut être extrêmement variable: érosion des roches, entraînement des matières minérales ou organiques du sol, déversement d'eaux usées, domestiques ou industrielles riches en matières en suspension grossières.

Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Elle est mesurée par l'unité N.T.U (Nephelometric Turbidity Unit) [11 et 26].

#### **IV-2- Les paramètres physico-chimiques naturels:**

Il s'agit des caractéristiques qui sont en relation avec la structure naturelle de l'eau telles que [100] :

##### **IV-2-1- Température :**

C'est une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid, elle influence considérablement la multiplication microbienne ainsi que le métabolisme [97].

##### **IV-2-2- pH :**

C'est la mesure de la concentration des ions hydronium ( $H_3O^+$ ) pour déterminer la basicité ou l'acidité d'une solution. C'est un paramètre très important dans la qualité de l'eau car les micro-organismes se multiplient dans une gamme étendue de pH [12].

##### **IV-2-3- Dureté : (Titre hydrotimétrique et alcalimétrique "TH et TAC") :**

La dureté d'une eau est principalement due à la présence de sels de calcium et de magnésium, elle se manifeste pratiquement par une difficulté en cuisson des légumes et en production de mousse avec le savon [12].

On distingue :

#### IV-2-3-1- Dureté totale (Titre hydrotimétrique "TH") :

Le TH indique globalement la teneur en sels de Ca et de Mg. Un degré hydrotimétrique TH est équivalent de 10 mg de CaCO<sub>3</sub> (carbonate de calcium plus communément "tartre") dans un litre d'eau, il est exprimé en degré français (°F). Le titre hydrotimétrique optimal paraît devoir s'établir aux environs de 12 à 15°, étant désirable qu'il reste inférieur à 30° [12]. Un degré français est équivalent à 4 mg/l de calcium ou 2,4 mg/l de magnésium. Par une heureuse coïncidence, le calcium bivalent ayant une masse molaire de 40 g, on aboutit à la relation simple de : 1 °f = 0,2 meq/l [33].

**Tab 8 : Classification des eaux selon la dureté totale (en °f) [33]**

Dureté totale "TH" (en °f)	Type d'eau
0 à 5	eau très douce
5 à 15	eau douce
15 à 25	eau moyennement dure
25 à 35	eau dure
supérieur à 35	eau très dure

#### IV-2-3-2- Dureté carbonatée (Titre alcalimétrique complet TAC) :

Le TAC indique globalement la teneur en carbonates et bicarbonates contenus dans l'eau, elle se mesure en degrés alcalimétriques, 1 degré correspond à 5,6 mg de CaO par litre. Pour les eaux courantes d'alimentation (pH < 8,3), le TAC représente la teneur en bicarbonates, car la teneur en carbonates est négligeable [12]. Un degré français correspond à 12,2 mg/l de bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) [33].

La dureté de l'eau influe essentiellement sur l'état des canalisations et des appareils de chauffage, car l'eau dure donne des dépôts dans la canalisation ainsi que les filtres des robinets. Mais, ces dépôts protègent les conduites de la corrosion [94].

#### IV-2-4- Conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle s'exprime en micro-Siemens/cm (µS/cm) [11].

La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions. La mesure de la conductivité permet d'apprécier de sels dissous dans l'eau [6]. Les matières organiques et colloïdales ne présentent qu'une faible conductivité. Elle varie avec la température [11].

#### **IV-2-5- Minéralisation :**

Au cours de son cheminement souterrain, l'eau se charge d'un certains nombre d'éléments minéraux selon la nature des terrains traversés, c'est la minéralisation d'une eau. Les eaux qui traversent des terrains calcaires seront bicarbonatées, celles qui traversent des terrains salifères (comme les terrains triasiques) seront salées ou sulfatées, quant à celles issues de terrains anciens cristallins, elles seront plutôt alcalines.

Une eau sera ordinairement caractérisée par son anion ou son cation prédominant. C'est ainsi que des eaux courantes d'origine karstique seront bicarbonatées calciques [12].

#### **IV-3- Les paramètres concernant les substances indésirables :**

Se sont des substances dont la présence est tolérée en faible quantité. Parmi ces éléments, on peut trouver des éléments qui ne causent que des désagréments pour l'utilisateur mais d'autres peuvent avoir une incidence sur la santé [12 et 100].

Le nitrate ne constitue pas un danger direct pour la santé humaine, mais il se transforme dans l'organisme humain en nitrite qui présente un danger surtout pour les nourrissons [97]. En effet, les nitrites réagissent avec l'hémoglobine normale pour former la méthémoglobine, affectant ainsi la capacité du sang à transporter suffisamment d'oxygène jusqu'aux cellules de l'organisme [97].

#### **IV-4- Les paramètres concernant les substances toxiques :**

Les normes fixées sont sensiblement inférieures aux seuils considérés comme acceptables en toxicologie, c'est pourquoi les teneurs tolérées sont extrêmement faibles. Ces paramètres concernent des toxiques minéraux (Arsenic, métaux lourds...) et organiques (hydrocarbures...) [100].

#### **IV-5- Les pesticides et produits apparents :**

Beaucoup de substances appartiennent à cette catégorie (insecticides, herbicides, fongicides...); leur présence dans l'eau est limitée à des très petites quantités, dont la teneur totale de l'ensemble de ces substances ne doit pas dépasser 0,5µg/l [94 et 100].

#### **IV-6- Les paramètres microbiologiques :**

L'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, ni bactérie pathogène [97].

Par contre les germes banals y sont admis mais en faible quantité, en effet, puisque l'eau est un milieu vivant, une vie bactérienne inoffensive et limitée y est normale [100].

Les deux groupes de micro-organismes les plus utilisés comme indicateurs de contamination bactérienne sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux [85].

#### **V- Evaluation de la qualité des eaux souterraines :**

##### **V-1- Définition de l'évaluation de la qualité de l'eau :**

L'évaluation de la qualité d'une eau souterraine est la détermination de l'aptitude d'une eau en fonction de sa qualité à satisfaire plus ou moins certains usages [37 et 68].

Cinq usages principaux ont été retenus, dont un majeur la production d'eau pour l'alimentation en eau potable (AEP) :

- production d'eau potable (AEP et industries agro-alimentaires) ;
- industrie (hors agro-alimentaire) ;
- énergie (pompes à chaleur, climatisation) ;
- irrigation ;
- abreuvement [37 et 68].

##### **V-2- Définition de l'altération :**

Chaque usage est défini par un certain nombre de paramètres physicochimiques ou bactériologiques, mesurés sur une eau brute (non filtrée). Les paramètres indicateurs susceptibles de ne pas être présents à l'état naturel dans les eaux souterraines (micropolluants organiques et minéraux, pesticides) ou clairement identifiés comme indicateurs d'altération de la qualité (d'origine humaine) à partir de certains seuils de concentration (nitrates) [62].

Les paramètres qui sont de même nature ou ont le même effet perturbateur vis-à-vis d'un même usage, sont regroupés entre eux sous le vocable d' "altération", permettant de décrire les types de dégradation de la qualité de l'eau, du fait de la pression exercée par les activités socio-économiques sur les nappes [6, 62 et 68]. Par exemple : chlorure, sodium et les sulfates concourent à la même altération "minéralisation et salinité" [62].

Le tableau ci-dessous résume les influences de chaque altération sur différents usages. Lorsqu'une influence apparaît (croix X), cela signifie qu'un tableau de seuils a pu être défini pour les paramètres de l'altération, déterminant le passage d'une classe d'aptitude à l'autre pour l'usage considéré.

**Tab 9 : Critères et paramètres d'altération des eaux souterraines [27 et 68]**

Altérations	Paramètres	AEP	Abreuvement	Irrigation
Matières organiques oxydables	% O <sub>2</sub> , DBO <sub>5</sub> , DCO, Carbone organique, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NKJ	X		
Particules en suspension	MES, Turbidité	X		
Coloration	Couleur	X		
Micro-organismes	<i>Coliformes thermotolérants</i> , <i>Coliformes totaux</i> , <i>Escherichia Coli</i> , <i>Entérocoques</i> ou <i>Streptocoques fécaux</i>	X	X	X
Minéralisation et salinité	Conductivité, Résidu sec, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , TAC, Dureté	X	X	X
Nitrates	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	X	X	
Composés azotés	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NKJ, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	X	X	
Micropolluants minéraux	Antimoine, Arsenic, Baryum, Bore, Cadmium, Chrome total, Cuivre, Cyanures libres, Etain, Mercure, Nickel, Plomb, Sélénium, Zinc.	X	X	X
Pesticides	Atrazine, Simazine, Lindane, Diuron...	X	X	X
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Anthracène, Benzopyrène, Fluoranthène...	X	X	X

### V-3- Indice de qualité de l'eau :

Les valeurs de concentrations de chacun des paramètres susceptibles de contribuer à l'évaluation de la qualité d'une eau, sont transformées en une unité commune sans dimension, c'est-ce qu'on appelle l'indice de qualité, qui varie entre 0 (eau de mauvaise qualité) et 100 (eau de très bonne qualité) [62].

### V-4- Classes de qualité des eaux :

Ainsi, on divise les eaux en classes, dont chacune est repérée par une couleur, depuis le bleu qui signifie une eau de très bonne qualité jusqu'au rouge qui indique une eau de mauvaise qualité [62 et 68].

**Tab 10 : Les différentes classes de qualité d'eau [7 et 62]**

Classes	Indice de qualité	Définition de la classe de qualité	Niveau de dégradation
<b>Bleue</b>	80 à 100	Eau de très bonne qualité	Eau dont la composition est naturelle ou sub-naturelle.
<b>Verte</b>	60 à 79	Eau de bonne qualité	Eau de composition proche de l'état naturel, mais détection d'une contamination d'origine anthropique.
<b>Jaune</b>	40 à 59	Eau de qualité moyenne	Dégradation significative par rapport à l'état naturelle.
<b>Orange</b>	20 à 39	Eau de qualité médiocre	Dégradation importante par rapport à l'état naturelle.
<b>Rouge</b>	0 à 19	Eau de mauvaise qualité	Dégradation très importante par rapport à l'état naturelle.

La classification varie suivant l'usage de l'eau dont on a :

- Quatre (4) classes de qualité pour l'aptitude de production de l'eau potable ; pour chaque altération.
- Cinq (5) classes d'aptitude pour les autres usages [7 et 62].

**Tab 11 : Les différentes classes d'aptitude pour la production d'eau potable selon le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux souterraines (SEQ -Eaux souterraines- BRGM) [7 et 62]**

<b>Bleu clair</b>		Eau de qualité optimale pour être consommée
<b>Bleu foncé</b>		Eau de qualité acceptable pour être consommée mais peut faire l'objet d'un traitement de désinfection
<b>Jaune</b>		Eau non potable nécessitant un traitement de potabilisation
<b>Rouge</b>		Eau inapte à la production d'eau potable

Les classes "bleu clair" et "bleu foncé" correspondent à des eaux conformes à la réglementation française ou à la directive européenne 98/83 sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, dont la première identifie une eau de qualité optimale pour être consommée, et la deuxième identifie une eau de qualité acceptable pour être consommée, mais pouvant le cas échéant faire l'objet d'un traitement de désinfection [62].

La classe "jaune" correspond à la nécessité de faire subir un traitement correctif à l'eau pour la rendre conforme aux normes de potabilité [62].

La classe "rouge" correspond à des eaux dont la qualité les rend inaptes à la production d'eau potable en regard de la réglementation [62].

Noter bien que les couleurs ne sont pas les mêmes en Algérie, dont le bleu foncé sera vert, mais les classes restent les mêmes.

**Tab 12 : Classement des qualités des eaux selon les usages et les niveaux de dégradation [62 et 68]**

Classe (couleur)	Autres usages Irrigation/Abreuvement /Industrie énergie	Niveaux de dégradation :	Qualité de l'eau
<b>Bleue</b>	Très bonne aptitude	Eau dont la composition est naturelle	Eau de très bonne qualité
<b>Verte</b>	Bonne aptitude	Eau proche de la composition naturelle	Eau de bonne qualité
<b>Jaune</b>	Aptitude passable	Contamination moyenne par rapport à l'état naturel	Eau de qualité passable
<b>Orange</b>	Aptitude mauvaise	Contamination importante	Eau de qualité médiocre
<b>Rouge</b>	Inapte pour l'usage	Contamination très importante	Eau de mauvaise qualité

# **CHAPITRE IV**

## **Pollution des eaux souterraines**

## I- Définition de la pollution des eaux souterraines :

La pollution des eaux souterraines a des conséquences néfastes, non seulement, sur la santé humaine mais sur tout son avenir. C'est un sujet très sérieux qui demande l'instauration de réglementations locales et internationales rigoureuses. La dégradation de la qualité des eaux des nappes est certe une réalité [54]. C'est le risque permanent de limitation de la ressource en eau de qualité dans un proche avenir. L'eau souterraine véhicule des polluants. Par son mouvement, elle provoque leur propagation dans l'espace souterrain [43].

Une eau est considérée comme polluée lorsqu'elle devient impropre à satisfaire la demande d'utilisation ou qu'elle présente un danger pour l'environnement [43], en particulier, lorsque les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les standards nationaux ou internationaux [13].

Le degré de pollution est apprécié par la mesure de l'écart entre les caractéristiques physico-chimiques de l'eau incriminée et les normes [13 et 43].

## II- Vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions:

### II-1 Définition :

Au sens général : "fragilité ou susceptibilité d'un milieu ou d'un système face à un aléa donné" (en général une pollution) [42].

Au cours des années 1970, le terme vulnérabilité a commencé à être utilisé en hydrogéologie pour décrire la susceptibilité relative des aquifères à la contamination [81].

La vulnérabilité des nappes est définie comme :

"Un ensemble de caractères du milieu aquifère en l'occurrence de la couverture de sol et de zone non saturée surmontant la nappe [53] qui déterminent la plus ou moins grande facilité d'accès à un réservoir aquifère et de propagation dans celui-ci d'une substance considérée comme indésirable" [42].

Les critères qui définissent la vulnérabilité des nappes sont :

- les voies, les chemins suivant lesquels un aquifère peut être atteint ;
- le délai au bout duquel la nappe sera affectée ;
- la durée de persistance et d'élimination des pollutions [37 et 42].

**II-2- Facteurs de vulnérabilité :**

La vulnérabilité des nappes aux pollutions est conditionnée par plusieurs facteurs :

- Le pouvoir filtrant du réservoir ; il existe de manière variable selon la granulométrie dans les aquifères à perméabilité d'interstices. Il est faible ou nul dans les terrains à perméabilité de fissures ;
- L'épaisseur de la zone non saturée du réservoir : dans cette zone, l'eau s'infiltré verticalement jusqu'à atteindre la surface de la nappe ;
- La vitesse d'écoulement des eaux souterraines : elle conditionne les phénomènes de dilution, dégradation et fixation de certains polluants. Elle est assez lente en aquifère homogène et peut être extrêmement rapide en milieu karstique. Ainsi, le transfert d'une quantité d'eau, sur une même distance pourra demander un an dans une nappe à perméabilité d'interstices et seulement quelques jours en milieu karstique. Ainsi, la pollution dans les terrains karstique peut se déplacer plus rapidement et se propager sur de grandes distances.
- La protection naturelle du réservoir : la présence au-dessus du réservoir d'une couverture imperméable ou peu perméable continue, constitue un écran protecteur contre la pollution de surface qui assure une protection naturelle relativement efficace des eaux souterraines.
- Le type de nappe : libre ou captive [13].

**II-3- Vulnérabilité de différents types des nappes aux pollutions :**

Pour atteindre une nappe libre en milieu poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles :

- Le sol : l'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation, réduction...), les polluants organiques peuvent être métabolisés. Les complexes argilo-humiques peuvent fixer un nombre de polluants minéraux et organiques par adsorption.
- La zone non saturée : elle joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est plus efficace que la granulométrie est plus faible.
- La zone saturée : la filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe ; le polluant est dilué dans la masse d'eau [13 et 37].

Donc, la protection de la nappe sera meilleure quand le sol et la zone non saturée sont épais, leurs granulométries sont fines, et la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible. Mais, ce type de nappe une fois contaminé par un polluant le reste longtemps [13 et 37].

La vulnérabilité des nappes libres en milieux fissurés, dépend de leur recouvrement, donc, elles peuvent être très vulnérables aux pollutions en l'absence d'une telle couverture [13 et 37].

Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent, même, elles sont parfois très profondes. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage (injections volontaires de déchets liquides par anciens forages, fouille profonde, ou de la mise en communication avec des eaux ou des nappes superficielles par des ouvrages à parois non étanches...) [13, 37 et 94].

Il n'en est pas de même dans les aquifères calcaires ; les polluants s'infiltrent dans les fissures, y circulent rapidement et réapparaissent en l'état dans les sources et les forages [37].



**Fig 18 : Rejet direct des eaux usées dans le karst [73]**

### **III- Principaux types de polluants:**

#### **III-1- Définition de polluant :**

Un polluant peut être défini comme une espèce qui répond à l'un des deux critères suivants :

- une substance présente dans l'environnement en quantité suffisamment importante pour entraîner des effets indésirables sur les écosystèmes ou la santé humaine ;
- une substance montrant des concentrations de plus d'un ordre de grandeur supérieures au fond géochimique. Celui-ci est constitué par l'ensemble des teneurs dans le milieu naturel (sol ou sédiments) excluant les pollutions majeures [83].

Le polluant est un facteur physique, chimique ou biologique provoquant sous une intensité ou une concentration anormale, une dégradation de la qualité de l'eau naturelle [13 et 43].

Le pouvoir polluant d'une substance est déterminé par deux facteurs principaux :

- La dose d'introduction dans le milieu récepteur, déterminée par la concentration dans l'eau et le volume d'eau en mouvement, véhicule de transport.
- La fréquence des apports, dont la répétition accroît les risques car les sédiments et les êtres vivants ont un effet cumulatif [43].

### III-2- Différentes catégories de polluants :

Les polluants sont des rejets issus des différentes activités humaines: domestiques et urbaines, agricoles et industrielles comme ils peuvent être naturels.

Ils peuvent être classés selon leur nature en quatre grandes catégories : physiques, chimiques (minérales et organiques) et microbiologiques [43].

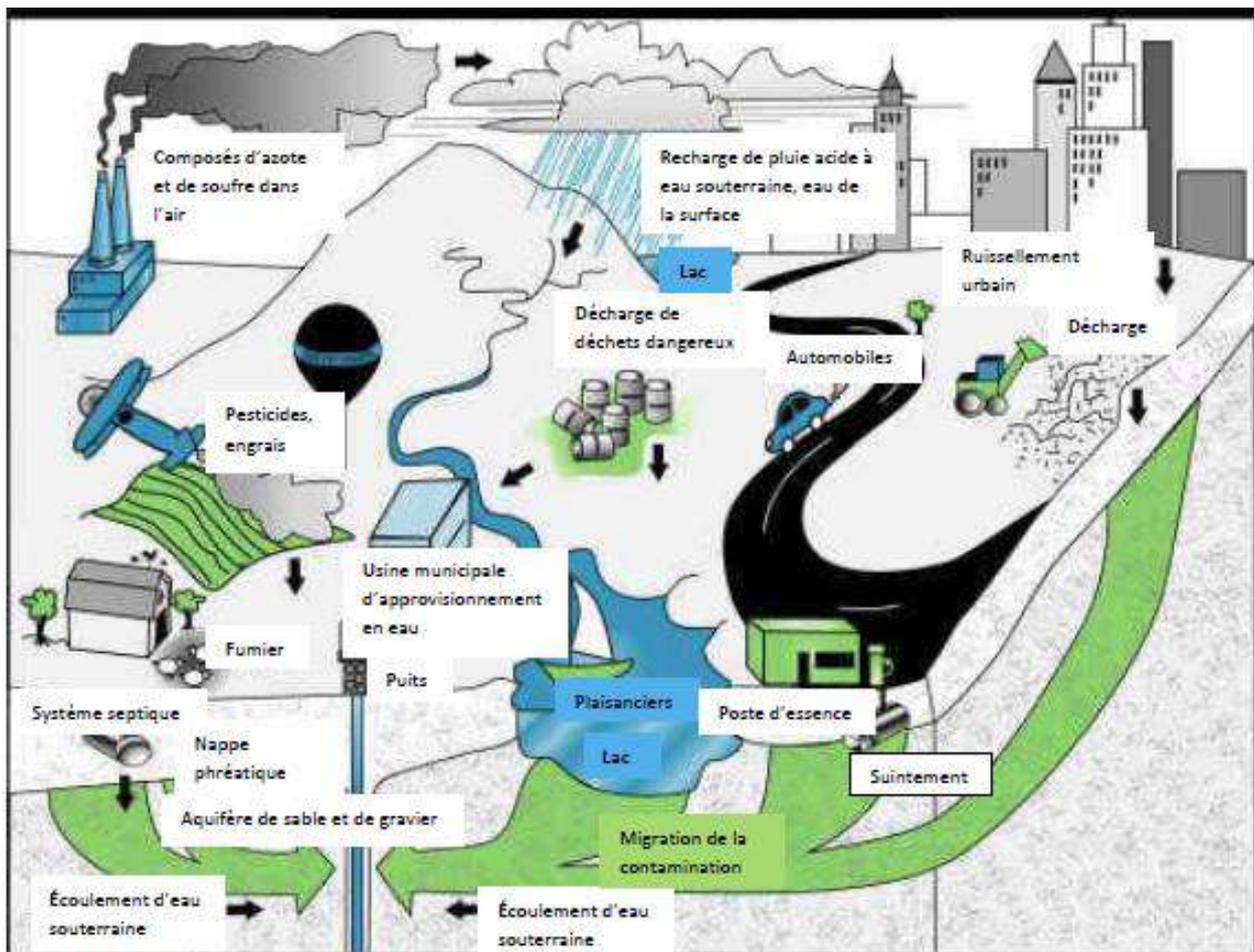


Fig 19 : Sources de contamination des eaux souterraines [44]

### III-2-1- Les polluants physiques :

Les trois principaux agents physiques de la pollution sont : la chaleur, les matières solides en suspension et la radioactivité [43].

#### - La chaleur :

La température élevée diminue la solubilité de l'oxygène, parce qu'elle favorise le développement des micro-organismes qui consomment l'oxygène [43].

#### - Les matières solides en suspension :

Certaines particules, très petites de l'ordre de micron, peuvent transiter par les précipitations et les eaux superficielles [43].

#### - La radioactivité :

Il existe deux voies essentielles par lesquelles une contamination radioactive peut gagner les ressources en eau. La plus simple est le rejet direct d'un effluent des installations des centrales nucléaires dans un cours d'eau. En plus, les émissions de gaz et de matières particulaires qui se trouvent dans l'atmosphère (explosions nucléaires), peuvent être retombées par la pluie, lessivées, et s'infiltrer jusqu'à la nappe d'eau [86]. La radioactivité ne peut se détruire. Elle ne se dégrade qu'au bout de plusieurs décennies ou après plusieurs siècles [79]. Donc, c'est la plus dangereuse, c'est pourquoi tous les rejets sont sévèrement réglementés et contrôlés [43].

Les dommages causés par l'accumulation de radioéléments dans l'organisme se présentent sous forme de lésions biologiques (irradiations, brûlures, cancer...) et par des répercussions génétiques graves, en particulier les malformations congénitales [79].

### III-2-2- Les polluants chimiques :

Ils sont nombreux et d'origines diverses : sels minéraux dissous, métaux lourds, pesticides, détergents et hydrocarbures [43]. On distingue selon la nature de la pollution chimique : les éléments chimiques minéraux et les éléments chimiques organiques [1].

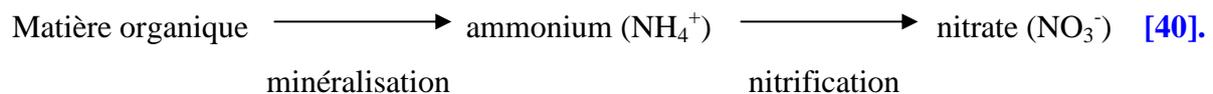
#### III-2-2-1- Sels minéraux dissous :

Ils sont issus de grandes activités économiques. On trouve les sels minéraux les plus répandus de l'industrie chimique (chlorures, sulfates...) présents à des teneurs parfois considérables [54], et les composés azotés (nitrates, nitrites) qui provoquent des troubles graves chez les vertébrés [43].

### a- Nitrates et composés azotés :

L'eau d'une nappe ne contient naturellement pas de composés azotés [94]. Ceux-ci n'existent pas dans les formations géologiques ou très rares, ils sont essentiellement d'origine agricole [43].

Les nitrates peuvent provenir de la minéralisation de la matière organique dans le sol, suivie du phénomène de nitrification sous l'action de micro-organismes, dont le cycle comporte deux phases : organique et minérale ;



La nitrification est une réaction d'oxydation de  $\text{NH}_4^+$  à  $\text{NO}_3^-$  qui s'effectue en deux étapes : la nitrification qui conduit aux nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) suivie de la nitrification qui transforme ceux-ci en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Les deux réactions sont réalisées en présence d'oxygène et sont effectuées par des bactéries connues (principalement *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*). La nitrification a lieu lorsque le sol comprend des teneurs élevées d'ammonium (100 kg/ha). Ce qui advient des deux situations : ajouts d'engrais (organiques ou minéraux) ou minéralisation de la matière organique qui libère de l'ammonium [83].

Ces transformations chimiques sont conditionnées par divers paramètres dont les plus importants sont le pH du sol (la minéralisation est faible en sols acides et la nitrification est absente dans les sols alcalins qui ont un pH supérieur à 8), la température et l'humidité du sol (la minéralisation est active quand le sol est chaud et humide aux périodes du printemps et d'automne). La nitrification nécessite la présence d'oxygène dans le milieu (conditions aérobies) [40 et 83].

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacal, nitrites, ...) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique [94].

Les nitrates peuvent provenir d'engrais de synthèse ou de rejets industriels [54 et 79]. C'est l'augmentation artificielle de la quantité d'azote combiné disponible dans le sol qui crée un déséquilibre entre l'apport et la consommation et résulte un excès d'azote qui est finalement entraîné vers la nappe. Cet azote se trouve sous forme de nitrates et d'ammonium [94].

L'ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) est une substance polluante même à des très faibles teneurs [54].

Les nitrites sont très peu présents dans les eaux souterraines [94].

Le nitrate présent dans le sol a d'autres origines :

- à partir de transformation de l'azote qui se trouve dans les déjections animales stockées (fumiers, lisiers...).
- à partir des apports d'amendement organiques (résidus de récolte...) [40].

Les nitrates sont des sels très solubles qui sont facilement entraînés en profondeur par les eaux d'infiltration. C'est ce qu'on appelle le lessivage du sol [40 et 94]. La migration des nitrates est nettement plus rapide sur les surfaces cultivables laissées à nues pendant l'hiver, et la vitesse de percolation dans le sous-sol est faible, donc le transfert prend des dizaines d'années avant d'atteindre la nappe. La teneur est la plus importante dans les régions de grandes cultures, ce qui confirme l'origine agricole de la pollution de l'eau des nappes, particulièrement, par les nitrates qui sera malheureusement un phénomène généralisé. Les projections actuelles montrent que d'ici 30 à 60 ans, à pratiques agricoles comparables, les concentrations maximales admissibles de nitrates dans les eaux souterraines seront largement dépassées [94].



**Fig 20 : Pollution par les engrais [94]**

En Algérie, plusieurs enquêtes ont montré que la pollution par les nitrates de certaines nappes souterraines a atteint un niveau alarmant. Le programme de surveillance des eaux de puits et des sources, réalisé par le laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) a montré l'existence depuis 1994 d'une forte concentration en nitrates dans les eaux des nappes souterraines des plaines du nord du pays, on peut citer : la plaine de Mitidja et Sidi Bel Abbés et le haut Chélif. Les eaux souterraines des plaines de Miliana en contiennent plus de 250 mg/l [79].

Les nitrates en excès dans l'eau agissent à différents niveaux chez l'homme. Ils peuvent engendrer la mort ou les cancers [43].

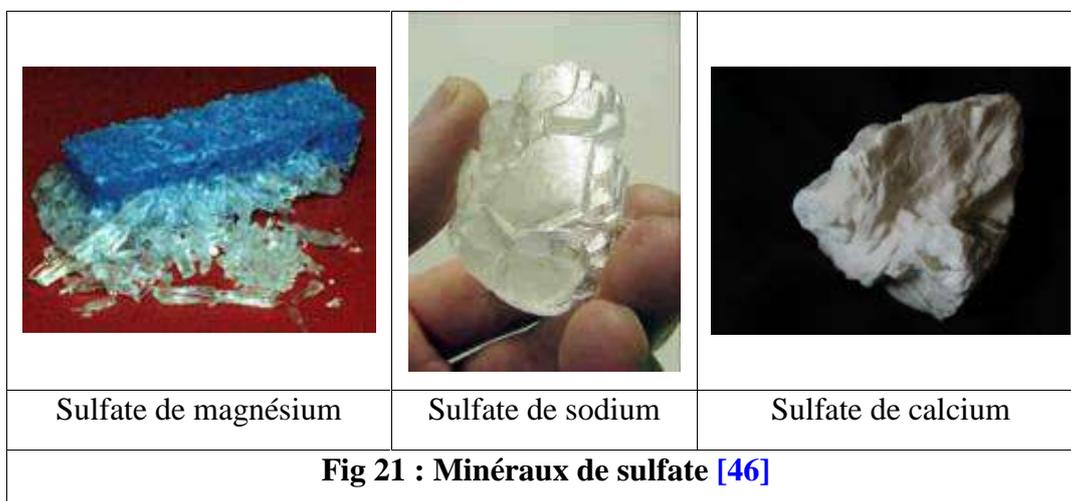
### b- Sulfates et chlorures :

Ils sont naturellement présents dans l'eau souterraine par la dissolution des sels minéraux des réservoirs). Mais l'augmentation de leurs teneurs, est inquiétante. Ils sont introduits par l'eau des précipitations, les engrais chimiques et les rejets industriels [43].

#### Les sulfates :

Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. Certains sols et certaines pierres contiennent des minéraux de sulfate. Comme l'eau souterraine se déplace à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau.

Parmi les minéraux qui contiennent du sulfate on peut citer le sulfate de sodium, le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium (gypse) (Fig 21) [46].



Avec un niveau important de sulfate, les personnes peuvent souffrir de déshydratation et de diarrhées en buvant l'eau. Les enfants sont souvent plus sensibles au sulfate que les adultes. Par mesure de sécurité l'eau peut avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium, les deux composés majeurs de la dureté de l'eau. Le sulfate donne un goût amer, un goût médical à l'eau s'il dépasse la concentration de 250 mg/l. Cela rend désagréable la consommation de l'eau. Des importantes concentrations en sulfates peuvent être corrosives pour les tuyauteries [46].

#### Sodium et chlorure

La présence de sodium et de chlorure dans l'eau souterraine est un phénomène normal en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sels naturels souterrains, mais l'augmentation de leurs

concentrations a cependant diverses origines : les éléments tels que le sel de voirie dont le puits est situé relativement près d'une route ou d'une installation d'entreposage de sel de voirie., lavage par soulèvement les adoucisseurs d'eau, contamination par les eaux d'égout ainsi que l'intrusion d'eau salée dans les régions côtières due à la proximité de l'océan et le surpompage de l'aquifère d'eau douce dans cette région [45 et 46].

En soi, le chlorure présent dans l'eau potable ne comporte généralement pas d'effets nocifs pour la santé. Mais à des concentrations élevées ( 250 mg/l), le chlorure de sodium peut comporter des inconvénients pour les personnes qui suivent un régime appauvri en sel, l'eau sera désagréable à consommer.

Le chlorure peut également augmenter les matières totales dissoutes présentes dans l'eau potable, ce qui peut favoriser la corrosion de certains métaux qui entrent dans la fabrication des canalisations et des pompes [45 et 46].

### III-2-2-2- Métaux lourds :

Les métaux lourds sont des polluants engendrés essentiellement par les industries, principalement, les industries d'extractions minières et les fonderies de transformations (métallurgie, galvanoplastie...), les ateliers de traitement de surfaces des métaux, l'agriculture (les engrais et les pesticides), les déchets solides par lessivage, les carburants d'automobiles et les dépôts de décombe (peinture au plomb, ...) [54 et 79]. Ils sont généralement déversés en faibles quantités mais, avec le temps, plusieurs tonnes se sont accumulées progressivement dans tous les milieux naturels et souvent dans les sources d'eau [79].

Les sels des métaux lourds ont généralement des concentrations très faibles mais préoccupantes, du fait de leur grande nocivité. Certains de ces métaux sont considérés comme indésirables et peuvent présenter des inconvénients au consommateur d'ordre organoleptique. C'est le cas pour le cuivre, le zinc, le fer, le manganèse et l'aluminium [54 et 94]. Parmi les plus toxiques que l'on peut retrouver dans l'eau, on distingue : le plomb, le cadmium, le mercure, le cyanure, l'arsenic, le chrome, le nickel, l'antimoine et le sélénium [54 et 79].

Dans l'organisme, les métaux lourds s'accumulent dans différents organes où ils entraînent des problèmes sanitaires ; par exemple, le plomb est stocké dans le squelette, le cadmium dans les reins et le foie, le mercure dans les cellules nerveuses, le chrome est cancérigène sous forme de chromates et bichromates [43].

**a- Plomb :**

Les sels de plomb rejetés se diluent dans les eaux de surface, s'infiltrent dans le sol et se concentrent dans les eaux des nappes souterraines. L'accumulation du plomb est à l'origine de l'intoxication chronique qui se caractérise par des troubles mentaux, des céphalées, des convulsions et une anémie. Tandis que, l'intoxication aiguë se manifeste après une longue durée sous forme des paralysies localisées [94].

Les carburants d'automobiles et les combustibles fossiles, issus des activités humaines, entraînent la formation d'aérosols plombifères qui constituent actuellement, la principale source du plomb dans l'eau [94].

**b- Cadmium :**

Le cadmium est présent dans les phosphates et dans certains calcaires, il peut être trouvé dans les schistes bitumineux ou les argiles [83].

Chez l'homme, le cadmium s'accumule au cours de la vie, essentiellement dans les reins et le foie, il est facilement absorbé par voie digestive et pulmonaire. L'intoxication au cadmium induit à une maladie traduite par une déminéralisation osseuse, de multiples fractures et une hypercalciurie. Egalement, le cadmium est un agent cancérigène [79].

Une forte teneur en cadmium dans les eaux souterraines peut être causée par les effluents industriels (particulièrement la galvanoplastie), les retombées de fumées industrielles entraînées par les eaux de pluies, le lessivage des engrais et des boues des stations d'épuration utilisées en agriculture [94].

**c- Arsenic :**

L'arsenic se trouve dans les eaux naturelles aux états d'oxydation + 3 et +5, il est soluble à tous les pH. Ce qui justifie sa présence dans les eaux de nombreuses régions du monde [83]. L'intoxication aiguë par l'arsenic provoque des troubles digestifs diarrhéiques avec de violentes douleurs abdominales et des vomissements, alors que l'intoxication chronique entraîne des lésions cutanées sévères (kératoses) après 10 ans, et peut engendrer le cancer de la peau et des organes internes après 20 ans, depuis la première exposition [79].

Il peut provenir de rejets d'eaux résiduaires industrielles, traitements de minerais arsenicaux, combustion de charbon ou de déchets, utilisation d'engrais phosphatés, des pesticides et de détergents [94].

### III-2-2-3- Pesticides

Les pesticides sont des molécules complexes connues sous le terme général de produits phytosanitaires [54]. Ce terme groupe tous les produits de lutte contre les parasites des cultures et des animaux tels que les insectes (insecticides), les mauvaises herbes (herbicides) ou les champignons nuisibles (fongicides) [79]. Leur utilisation étant nécessaire pour maintenir un niveau de production et de qualité compatibles avec la demande et les besoins. La pollution des eaux de surface par les pesticides a comme origine principale le lessivage des zones de cultures agricoles et les déversements des effluents urbains et industriels dans les cours d'eau [31].

Le danger de cette pollution provient de la diversité des molécules utilisées (plusieurs centaines), des difficultés d'analyses (complexité, coût élevé), de la présence de métabolites issus de la biodégradation des molécules originelles et de la toxicité de certains produits [31]. Actuellement, il a enregistré environ 400 produits pesticides homologués en Algérie. Les pesticides sont retrouvés en teneurs élevées dans certaines nappes du pays [79].

**Tab 13 : Les pesticides les plus utilisés en Algérie dans le milieu agricole [79]**

Nom commercial	Type	Matière active
Probinèbe	Fongicide	Probinèbe
Manèbe	Fongicide	Manèbe
Lannate	Insecticide	Méthomyl
Karaté	Insecticide	Lamda-cyhalathrine
Decis	Insecticide	Delthamitrine
2, 4 D	Herbicide	Acide dichloro-2,4phenoxy acétique
Deltaméthrine	Pyréthroïde	Pyréthrine

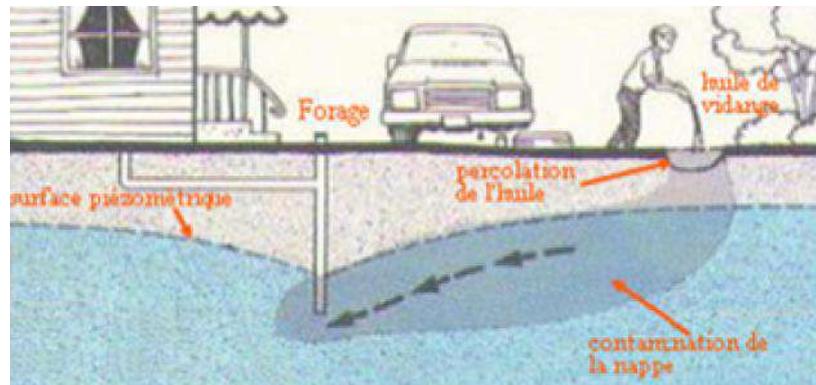
Les nuisances des pesticides sur la santé humaine sont encore mal définies. L'intoxication chronique entraîne des lésions cancéreuses et l'utilisation de l'eau de boisson contaminée par les insecticides peut entraîner des troubles neurologiques (neurotoxicité) comme la maladie de Parkinson et des altérations du comportement. Il a également été démontré que les pesticides sont susceptibles d'endommager le système immunitaire et provoquer des troubles endocriniens [79].

### III-2-2-4- Hydrocarbures

Se sont des sous-produits pétroliers, on distingue : le bitume, les huiles et les hydrocarbures liquides qui sont divisés en deux groupes : les composés organiques volatils C.O.V et les hydrocarbures aromatiques polycycliques H.A.P [35]. Se sont les plus répandus parmi les polluants organiques par suite des quantités considérables en jeu et de la dispersion territoriale très élevée des stockages, des transports, des usages, et des rejets. Leur goût et leur odeur sont très désagréables et persistent longtemps dans l'eau après la pollution [54]. C'est pour ça qu'ils sont rapidement détectables par le sens olfactif même à l'état de traces. Ils rendent l'eau de boisson impropre à la consommation [54, 79 et 94].

Ces produits sont pour la plupart perceptibles à des dilutions d'une partie par milliard, ils peuvent polluer d'importants volumes d'eau même à très fines doses et les nappes deviennent inutilisables pendant de très longtemps (des dizaines voire même des centaines années) [94].

La pollution par les hydrocarbures est causée par rupture d'oléoduc, accidents ferroviaires et routiers, fausse manœuvre au dépotage, fuite de cuves, vidanges des cuves ou d'engins sur des chantiers et vidange sauvage par des automobilistes peu scrupuleux (fig 22) [54].



**Fig 22 : Pollution d'une nappe libre par rejet d'huile de vidange sur le sol [21]**

Ce qui caractérise le plus fortement la pollution par les hydrocarbures, c'est le fait que ceux-ci ne sont que très peu miscibles à l'eau et qu'ils sont moins denses que cette dernière. Lors du déversement, ils se créent un volume imprégné du produit pétrolier qui peut être bloqué sur place dans la zone non saturée ou descendre jusqu'à la nappe, sur laquelle, il va littéralement flotter [54].

Leur transfert à la nappe dépend en particulier de leur masse molaire, leur tension de vapeur, leur viscosité et leur solubilité dans l'eau dont les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène) sont les plus hydrosolubles tandis que les H.A.P sont peu solubles [94].

Chez l'homme, la toxicité des hydrocarbures est élevée même à faible dose. Les intoxications aiguës provoquent un œdème aigu du poumon. En plus l'expérimentation animale a montré que le benzopyrène entraîne des tumeurs du tractus gastro-intestinal et de la peau [79].

### III-2-3- Les polluants microbiologiques :

La diversité des micro-organismes dans les eaux souterraines est généralement limitée par les conditions anaérobies. Ils proviennent des décharges, d'épandages d'eaux usées, de l'élevage, des rejets d'eaux industrielles, des fuites de canalisations et d'égouts, d'infiltration d'eaux superficielles, de matière fermentée...[94].

La pollution microbiologique se rencontre surtout dans les aquifères à perméabilité de fissures (craie, massifs calcaires). Les aquifères karstiques à circulations rapides sont très vulnérables à cette pollution. La majorité de micro-organismes sont nocifs et susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables [94].

En Algérie, les maladies à transmission hydrique, en particulier, les fièvres typhoïdes, la dysenterie et l'hépatite virale, ont toujours sévi à l'état endémique, et ont été prééminentes sur toutes les autres maladies à déclaration obligatoire [79].

**Tab 14 : Répartition des agents pathogènes responsables de diarrhée dans les pays en voie de développement (OMS, 1992) [79]**

	Agents pathogènes	%
Virus	Rotavirus	15 - 25
Bactéries	E. coli entérotoxigène	10 – 20
	Shigella	5 – 15
	Campylobacter jejuni	10 – 15
	Vibrio cholerae 01	5 – 10
	Salmonelles	1 – 5
	E. coli entérotoxigène	1 – 5
Protozoaires	Cryptosporidium	5 – 15
Inconnu		20 - 30

#### IV- Transfert des polluants dans les eaux souterraines:

La propagation et l'évolution des polluants, s'effectuent en quatre étapes:

- introduction du polluant dans le sol ;
- migration du polluant en zone non saturée ;
- propagation du polluant dans l'aquifère ;
- persistance de pollution [43].

Les transferts de polluants dans les eaux souterraines se déroulent selon trois processus : physique, chimique et biologique [53].

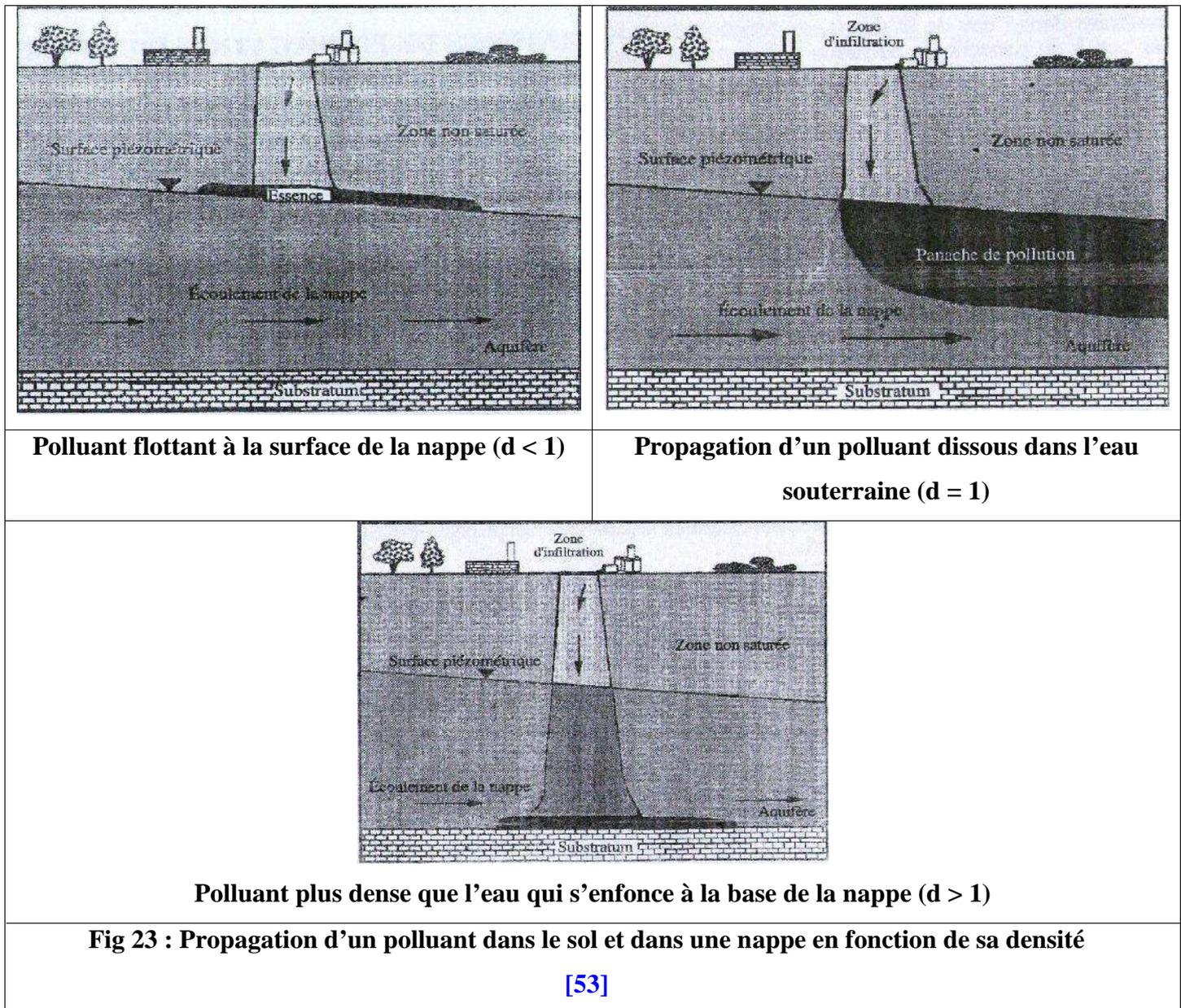
##### IV-1- Les transferts physiques :

Après déversement du polluant liquide sur le sol, on a, d'abord une infiltration verticale du produit par gravité dans la zone non saturée (ZNS). La vitesse de migration dépend de nature ; du polluant et du milieu traversé.

Ensuite, si la quantité de polluant est importante et dépasse la capacité de rétention de ZNS, le polluant arrive dans la zone saturée (ZS) où la migration est horizontale (sauf dans certains réseaux karstiques). Cette dernière dépend essentiellement de la perméabilité du milieu [53].

Selon la densité de polluant, celui-ci peut :

- flotter au dessus de la nappe (densité  $< 1$ ) ;
- être mélangé avec la nappe et former un panache dans le sens d'écoulement (densité voisine de 1);
- traverser l'aquifère verticalement pour se déposer sur le substratum de celui-ci (densité  $> 1$ ) [53].



#### IV-1-1- Migration horizontale des polluants dans les nappes aquifères:

En fonction de la solubilité du produit infiltré, une certaine quantité en sera dissoute dans la nappe. Selon les cas, le transport concernera la fraction dissoute d'un contaminant immiscible, ou la totalité du contaminant miscible. Le panache de polluant migrera latéralement selon l'écoulement naturel de la nappe ou sous l'influence de pompages [53].

##### IV-1-1-1- Migration des polluants dans des conditions d'écoulement naturel de la nappe:

La propagation d'un soluté dans un aquifère est régie par deux phénomènes:

- La convection: correspond au transfert vers les profondeurs et l'entraînement du soluté par l'écoulement de la nappe [53 et 68].

- La dispersion: correspond à la diffusion horizontale de l'eau. C'est un phénomène de mélange dû à l'hétérogénéité des vitesses dans l'aquifère, en fonction de cheminement des filets liquides et des différences de vitesse à l'intérieur des pores [53 et 68].

#### IV-1-1-2- Migration des polluants en régime influencé:

Lorsqu'il y a pompage à partir d'un point de forage, on distingue deux zones à proximité de l'ouvrage : une zone d'appel et une zone d'influence.

- **La zone d'appel** est la partie de la zone d'influence dans laquelle l'ensemble des lignes de courant se dirige vers le puits ou le forage où est effectué le pompage.
- **La zone d'influence** est plus étendue et correspond au domaine où les niveaux piézométriques sont influencés (rabattus) par le pompage [53].

#### IV-1-2- Facteurs influençant la pollution:

La propagation du polluant dans le milieu naturel souterrain est commandée par la nature du produit déversé, et du milieu traversé représenté par les conditions hydrodynamiques locales qui dépendent aussi bien de l'existence et de la profondeur de la nappe que du type, de la porosité et de la perméabilité de l'aquifère [53].

**Tab 15 : Temps d'infiltration moyen et coefficients de solubilité dans l'eau de différents produits dans un aquifère alluvial [53]**

Types de produits	Temps de transit moyen par mètre de sol (heure)	Solubilité dans l'eau à 20 °C (g/l)
Eau	6 – 9	/
Essence	3 – 5	1,75
Gazole	4 – 48	1,75
Fuel domestique	24 – 48	1,75
Kérosène	8 – 12	1,75
Phénol	1 – 2	65
Tétrachlorure de carbone	2h 30 – 4	0,8
Chloroforme	1h 30 – 3	8,5
Tétrachloroéthane	4 – 8	2,9
Bromoforme	3 – 5	3,0
Trichloroéthylène	1h 30 – 3	1,1

**a- Les caractéristiques du sol :**

Se sont la composition (proportion de sable, argile, gravier), la perméabilité et l'homogénéité du sol. Pour 200mètres, le temps d'écoulement dans le sable est de l'ordre d'une année, tandis que dans les fissures d'un aquifère karstique, calcaire ou volcanique, peut être de 15 minutes à 20 jours [68].

**Contrôle de la pollution**

Suivant la perméabilité de la ZNS, on se trouvera dans deux cas très différents:

- Dans les **zones à faible perméabilité**, le contrôle se limitera au terrassement pour l'évacuation des terres polluées, ou à l'établissement de petites barrières destinées à empêcher le ruissellement superficiel. Une intervention rapide pourra éviter la contamination de la nappe superficielle ;
- Dans les **zones à fortes perméabilité**, il est plus probable qu'on ne puisse intervenir avant la pollution de la nappe car le contrôle de la pollution relèvera du contrôle de l'écoulement de la nappe concernée (pièges hydrauliques...), et du terrassement avec décapage de tous les niveaux superficiels contaminés [53].

**b- L'humidité des sols :**

Plus le sol est humide et plus le transfert est rapide. Ce facteur est connu sous le nom de conductivité hydrique. Des pluies intenses sur un sol humide peuvent majorer les transferts de nitrates de 40 % par rapport à une situation sèche [68].

**IV-2- Les transferts chimiques :**

Au cours de leur parcours dans le sol, les molécules peuvent subir diverses transformations chimiques, dont les deux principales sont d'une part la dissolution dans l'eau ou la précipitation (le polluant se minéralise, se fixe dans le sol) et d'autre part l'oxydoréduction. Les polluants peuvent s'oxyder, c'est-à-dire s'unir avec l'oxygène. Le cas le plus connu est l'ammonium, présent dans les engrais qui, au contact avec l'oxygène et des bactéries, se transforme en nitrates ( $\text{NO}_3$ ). Les nitrates, une fois formés, sont transportés par la gravité, n'ont aucune interaction avec les solides et suivent le même parcours que l'eau d'infiltration [68].

**IV-3- La biotransformation:**

La transformation biologique implique l'action de micro-organismes vivants. Deux phénomènes peuvent être distingués [68] :

**IV-3-1- La biodégradation :**

La plupart des molécules chimiques apportées au sol en agriculture sont soit absorbées par les systèmes racinaires des plantes, soit biodégradables et disparaissent sous l'action des bactéries. Le premier filtre biologique est bien celui du sol et des plantes. Les éléments qui échappent au système de défense du sol se retrouvent tôt ou tard dans les nappes souterraines. Cette phase a lieu dans les quelques premiers mètres du sol, qui regorge de bactéries (1 cm<sup>3</sup> de terre contient de 1 à 10 milliards de bactéries) [68].

L'un des processus connus de biodégradation concerne la dénitrification biologique des nitrates, qui peuvent se dégrader sous certaines conditions, notamment en cas de réfraction de l'oxygène : les bactéries consomment l'oxygène présent dans les molécules des nitrates qui les ont retransformés en azote gazeux inerte (N<sub>2</sub>) [68].

Le processus microbien est le premier mode de dégradation, mais il se raréfie au fur et à mesure que l'on descend dans le sol, car les bactéries, chiffrées par milliards dans la première couche superficielle, sont de moins en moins nombreuses. Un deuxième phénomène intervient alors : le transport colloïdal [68].

**IV-3-2- Le transport colloïdal :**

Certaines bactéries ont un rôle de transporteur des molécules chimiques. Certaines molécules chimiques ou minérales (métaux lourds) ont la faculté de se fixer aux bactéries de très petite taille. Les molécules dont la taille est inférieure à celle des argiles (de l'ordre de 2 microns) peuvent être ainsi transportées et transférées au travers des couches imperméables, et rejoindre ainsi la nappe captive. Les virus (de l'ordre de 1/100<sup>e</sup>, voire 1/1000<sup>e</sup> de micron) peuvent ainsi contaminer les eaux souterraines lorsque celles-ci ne sont pas assez profondes. Ainsi le temps de transfert des nitrates sera plus court que celui des pesticides, qui sera lui-même plus court que celui des métaux lourds [68].

La connaissance des transferts éventuels des polluants du sol vers les eaux souterraines est fondamentale pour pouvoir assurer une qualité normale de la ressource en eau [68].

**PARTIE**

**EXPERIMENTALE**

# CHAPITRE I

## Présentation de la zone d'étude (Tébessa)

## I- Généralités de la wilaya :

La wilaya de Tébessa est située au Nord-est de l'Algérie, sur les Hauts plateaux, elle a une frontière de 300km avec la Tunisie et s'étend sur une superficie de 13878 km<sup>2</sup> avec une altitude qui varie entre 800m et 1750m et compte 671274 habitants (estimations fin de l'an 2010) [98].

Les wilayas limitrophes sont : Souk-Ahras au Nord, El-Oued au Sud, Oum-El Bouaghi et Khenchela à l'Ouest. La Tunisie étant à l'Est [98].

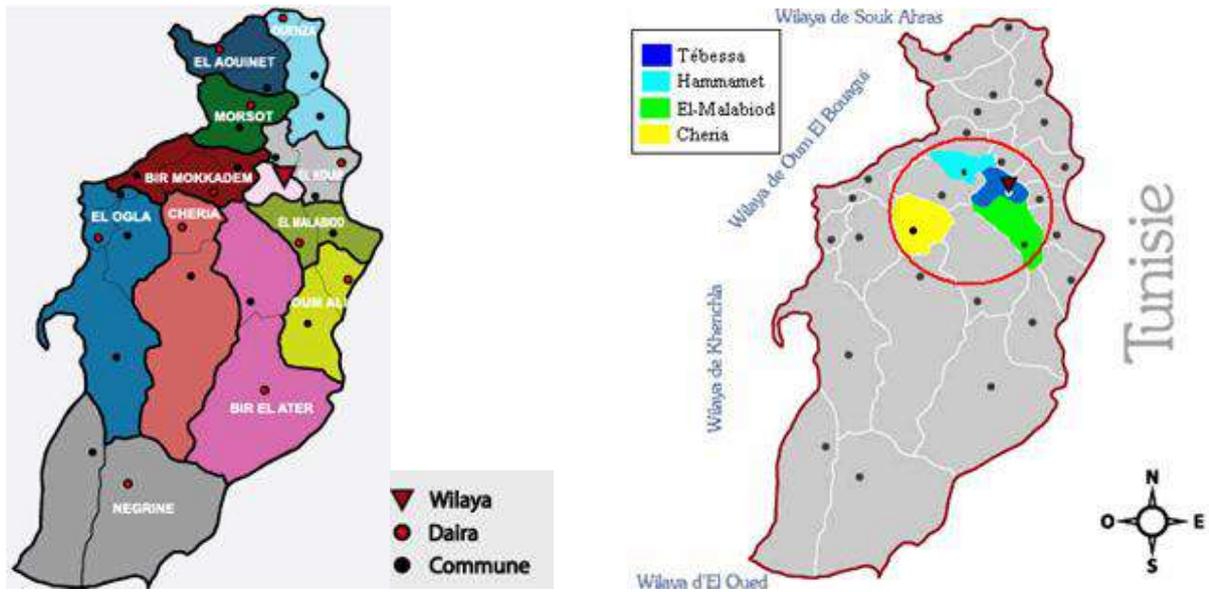
La carte de répartition des altitudes est en annexe 2.

### I-1- Le découpage administratif :

La wilaya de Tébessa compte actuellement 28 communes regroupées en 12 Dairas réparties comme suit [98] :

**Tab 16 : Découpage administratif de la Wilaya de Tébessa [98]**

DAIRAS	COMMUNES
Tébessa	<b>Tébessa</b>
El-Kouif	Bekkaria, Boulhaf-Dyr, El-Kouif
Morsott	Bir-D'heb, Morsott
El-Malabiod	Houidjebet, <b>El Ma El Abiod</b>
El-Aouinet	Boukhadra, El-Aouinet
Ouenza	Ain-Zerga, El-Meridj, Ouenza
Bir-Mokkadem	<b>Hammamet</b> , Gourigueur, Bir-Mokkadem
Bir El-Ater	EL-Ogla-ElMalha, Bir El-Ater
El-Ogla	El-Mazraa , Bedjene, Stah-Guentis, El-Ogla
Oum-Ali	Saf-Saf-El-Ouesra, Oum-Ali
Negrine	Ferkane, Negrine
Chéria	Thlidjene, <b>Chéria</b>



**Fig 24 : Carte administrative de la wilaya de Tébessa et la position de la zone d'étude [98]**

### I-2- Besoins en eaux de la wilaya :

La direction de l'hydraulique de wilaya contactée nous a fourni des données sur les consommations journalières de la wilaya. (tab 17).

**Tab 17 : Consommation journalière de la wilaya de Tébessa [8]**

Utilisation	Consommation journalière (m <sup>3</sup> / j)	Nombre de forages exploités
AEP (ANRH)	122428,7742	79
AEP Communes	42480	62
Irrigation	489,6	2
Industrie	2649,6	9
Total journalier	168047,9742	152

Ce qui nous donne une consommation annuelle de : **61 257 508,583 m<sup>3</sup>/ an**

Selon les déclarations des responsables, ce volume satisfait 95% des besoins de la wilaya [8].

Vu des décennies de sècheresse passées, des développements industriels et agraires, et surtout de l'explosion démographique; on déduit que les besoins vont en augmentant tandis que les réserves en eau surexploitées et mal rechargées diminuent.

Ce qui donne une valeur croissante à cette denrée déjà, actuellement, précieuse.

La qualité de l'eau destinée à l'alimentation humaine et de plus en plus dégradée par les rejets (domestiques, agraires et industriels de plus en plus avides) dont la gestion souffre l'insuffisance des moyens mis en œuvre et le manque de respect de la réglementation préventive.

### **I-3- Climatologie de la wilaya :**

La wilaya de Tébessa se distingue par quatre (04) étages bioclimatiques.

- Le sub-humide (400 à 500 mm/an) très peu étendu, il couvre quelques îlots sommitaux de reliefs élevés (Dj. Serdies, Dj. Bouroumane et Dj. Doukkane)
- Le semi-aride (300 à 400 mm/an) couvre toute la partie Nord de la wilaya.
- Le sub-aride (200 à 300 mm/an) couvre les plateaux steppiques de Oum-Ali, Saf-Saf-El-Ouesra, Thlidjene et Bir El-Ater.
- L'aride ou saharien doux (moins de 200 mm/an), s'étend au-delà de L'Atlas saharien et couvre les plateaux de Negrine et Ferkane [98].

Ce qui ne permet pas une suffisance par l'alimentation à partir des réserves de surface surtout vue le manque - l'absence presque totale - d'ouvrages importants.

## **II- La zone d'étude :**

Le choix de la zone d'étude à savoir les nappes aquifères de Chéria, Hammamet, El Ma El Abiod et Tébessa a été motivé par l'importance de leurs réservoirs dans l'alimentation de la wilaya en eau potable.

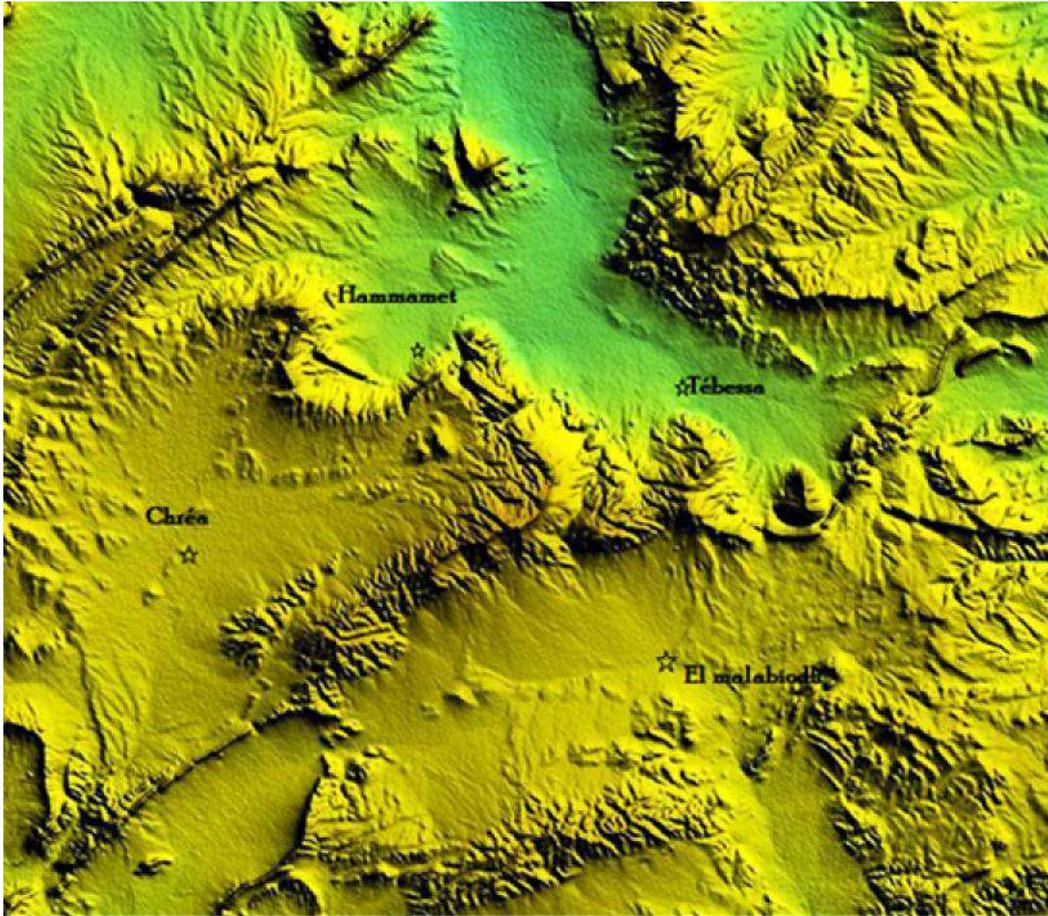
Certains forages comme la station de pompage de Hammamet et la station de Chéria desservent respectivement les villes de Souk Ahras et de Ouenza et la ville de Bir El Ater.

### **II-1- Position géographique :**

La ville de Tébessa, chef lieu de la wilaya est située au Nord-est algérien, à environ 230km au Sud de la méditerranéenne [9, 67 et 76]. Elle est située à l'Est de l'Atlas Saharien, entre 35°22' / 35°26' Nord et 08°03' / 08°09' Est [76].

### **II-2- Géomorphologie de la zone d'étude :**

La zone d'étude se présente sous forme de dépressions juxtaposées plus ou moins marquées séparées par d'importants massifs calcaires, qui forment des limites naturelles (Fig 25) [88].



**Fig 25 : Répartition avec limites naturelles des plaines de la zone d'étude [88]**

### **II-2-1- La plaine de Tébessa :**

La plaine de Tébessa fait partie du bassin versant de Medjerda et du sous bassin d'Oued Mallégué. C'est une vaste plaine de forme grossièrement allongée de direction NW-SE, elle a une topographie plus ou moins plate, l'altitude y varie de 800m, à l'intersection de oued bouakous et de Oued Chabro, à 850m aux pieds des montagnes qui la bordent. La commune s'étend sur 184 km<sup>2</sup> (9, 41 et 67).

Elle est entourée par les monts de:

- Dj. Dyr et Dj. Bou-Rebaia au Nord,
- Dj. Bouroumane, Dj. Doukkane, Dj. Anoual, et Dj. Ozmor au Sud,
- Dj. Doukkane à l'Ouest
- Dj. Cherab, Dj. Djebissa, Koudiat El -Goussa, Koudiat El-Mouhad et Draa Snoubar à l'Est [9 et 67].

### II-2-2- La plaine de Hammamet :

La plaine de Hammamet est située à une quinzaine de kilomètres au Nord- Ouest de la ville de Tébessa. Elle est plate, dont la commune s'étend sur 88 Km<sup>2</sup>.

Elle est limitée par :

- La localité de Bir dh'hab Nord,
- Dj. Mestiri et la route nationale 10 à l'Est,
- Dj. Gaagaa à l'Ouest et,
- Dj. Tazbent au Sud [35, 41 et 98].

### II-2-3- La plaine d'El Ma El Abiod :

La plaine d'El Ma El Abiod est située une vingtaine de kilomètres au Sud de la ville de Tébessa. La commune s'étend sur 316 Km<sup>2</sup>.

Son altitude décroît du nord vers le sud depuis Dj. Doukkane (1712m) jusqu'à la ville d'El Ma El Abiod (1019m) [3, 9 et 98].

Elle a une allure de cuvette enserrée entre des montagnes - massifs calcaires – escarpées au nord et au sud. On observe des monticules calcaires de faible altitude (10 et 20 mètres au-dessus du niveau du sol) qui affleurent à l'ouest de la route nationale N° 16 reliant Tébessa et El Ma El Abiod. Elle est limitée par :

- Dj. Doukkane, Dj. Anoual et Dj. Bouroumane au Nord,
- Dj. Boudjelal, Dj. Dalaa et Dj. El Gallal au Sud,
- Koudiat Sidi Salah à l'est et,
- La plaine de Chéria à l'Ouest [3].

### II-2-4- Le plateau de Chéria :

Le plateau de Chéria situé à environ 45km au Sud ouest de la ville de Tébessa, s'étend sur une superficie de 722 km<sup>2</sup>, d'une forme grossièrement triangulaire (La commune de Chéria couvre seulement 267 Km<sup>2</sup>) [32, 41 et 98].

Il est entouré par :

- Dj. Troubia, Dj. Larrour, Dj. Gaaga, Dj. Bouziane, Dj. Bourough au Nord,
- Dj. Doukkane, Fadj Tafouna, Dj. Arour, Dj. Krима, Dj. Reddama, Dj. Zeghrata et Dj. Boukamech à l'Est,
- Kef E'Nssour, Dj. El Mezraa, Dj. Zora, Koudiate El Araour et Dj. Touila à l'Ouest et,
- Dj. El Mezraa au Sud [32 et 34].

Du point de vue hydrologique, le plateau de Chéria surplombe le fossé d'effondrement Hamammet- Tébessa- Morsott au Nord, et le sous bassin versant d'El Ma El Abiod à l'Est tandis que le sous bassin d'Edalaa le limite à l'Ouest et le sous bassin de Thlidjen au Sud [32].

### **II-3- Hydrographie :**

La wilaya de Tébessa est couverte par deux grands systèmes hydrographiques :

- Le Bassin versant de Medjerda, lui-même subdivisé en 04 sous Bassins couvrant la partie Nord de la wilaya. L'écoulement y est exoréique assuré par une multitude de cours d'eau dont les plus importants sont: Oued Mellague, Oued Chabro, Oued Serdies, Oued Kebir.

La plaine de Tebessa et la plaine de Hammamet en font partie.

- Le Bassin versant de Melghir couvre la partie Sud de la wilaya. L'écoulement y est endoréique, il est drainé par Oued Chéria, Oued Helail, Oued Mechra, Oued Saf-Saf, Oued Gheznet, Oued Djarech, Oued Sendess, qui alimentent les zones d'épandage situées au Sud.

La plaine d'El Ma El Abiod et le plateau de Chéria en font partie [98].

Chaque plaine, appartient à un sous bassin versant différent, a par conséquent sa propre ramification de réseau hydrologique (fig 28).

#### **II-3-1- Tébessa-Hammamet :**

La plaine fait partie du bassin de Medjerda et du sous bassin de Mellague, elle est drainée par un certain nombre d'oueds dont les plus importants sont ceux de Chabro et Bouakous [57].

#### **II-3-2- El Ma El Abiod :**

La plaine alluviale d'El Ma El Abiod est drainée principalement par l'Oued Labiod, à écoulement pérenne intermittent du Nord vers le Sud. Tous les affluents ont un écoulement temporaire très limité, à la suite de fortes précipitations [3 et 88].

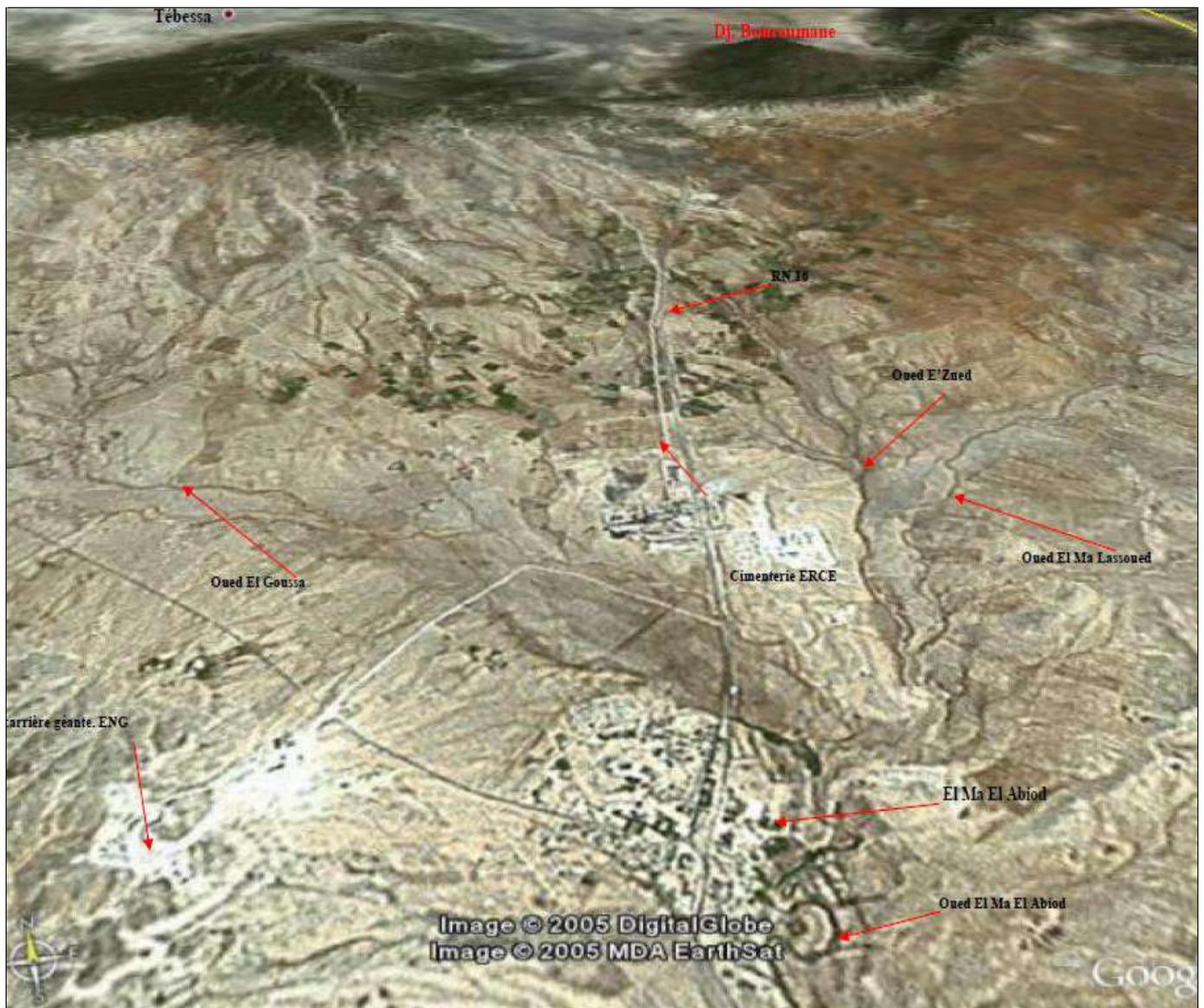


Fig 26 : Vue Satellitaire de la plaine d'El Ma El Abiod montrant les Oueds existants [3]

### II-3-3- Chéria :

Le plateau de Chéria est drainé par Oued Chéria à écoulement intermittent vers le Sud. Il est alimenté par un chevelu de chenaux qui prennent naissance des monts entourant la plaine [88].

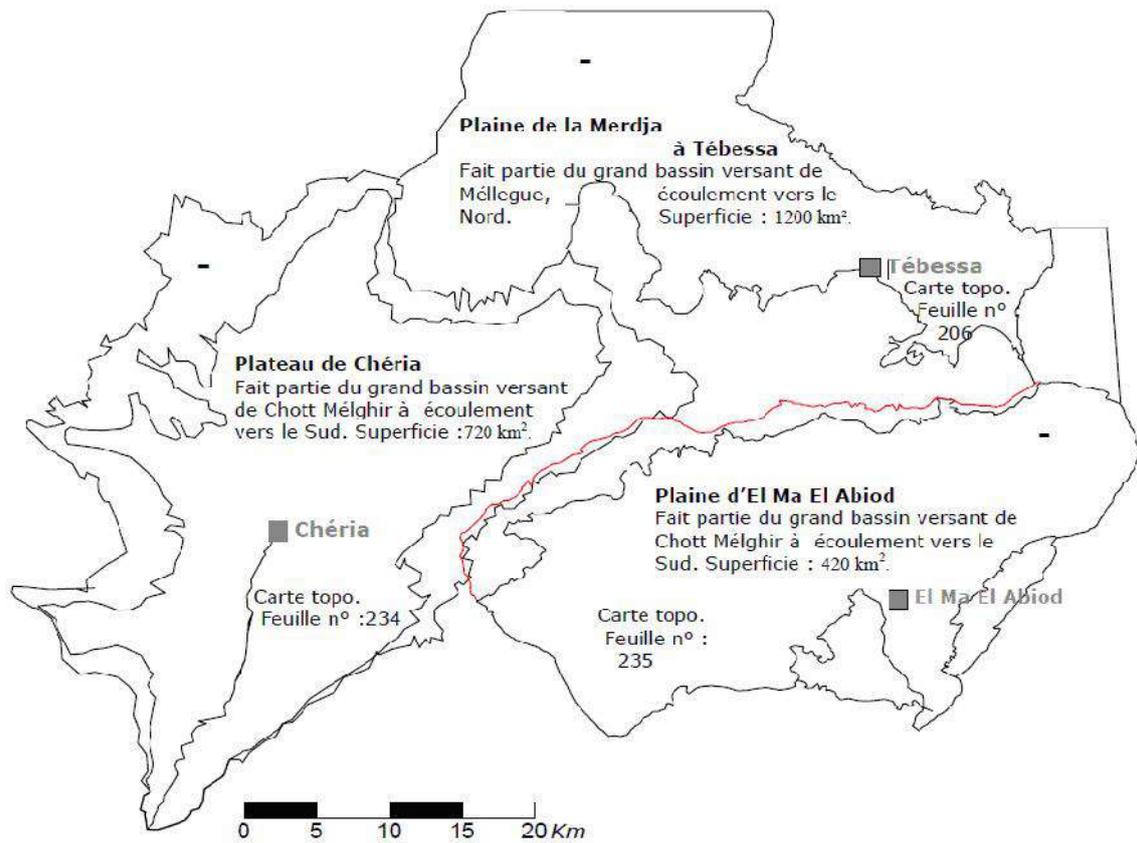


Fig 27 : Position et appartenance des éléments de la zone d'étude [88]

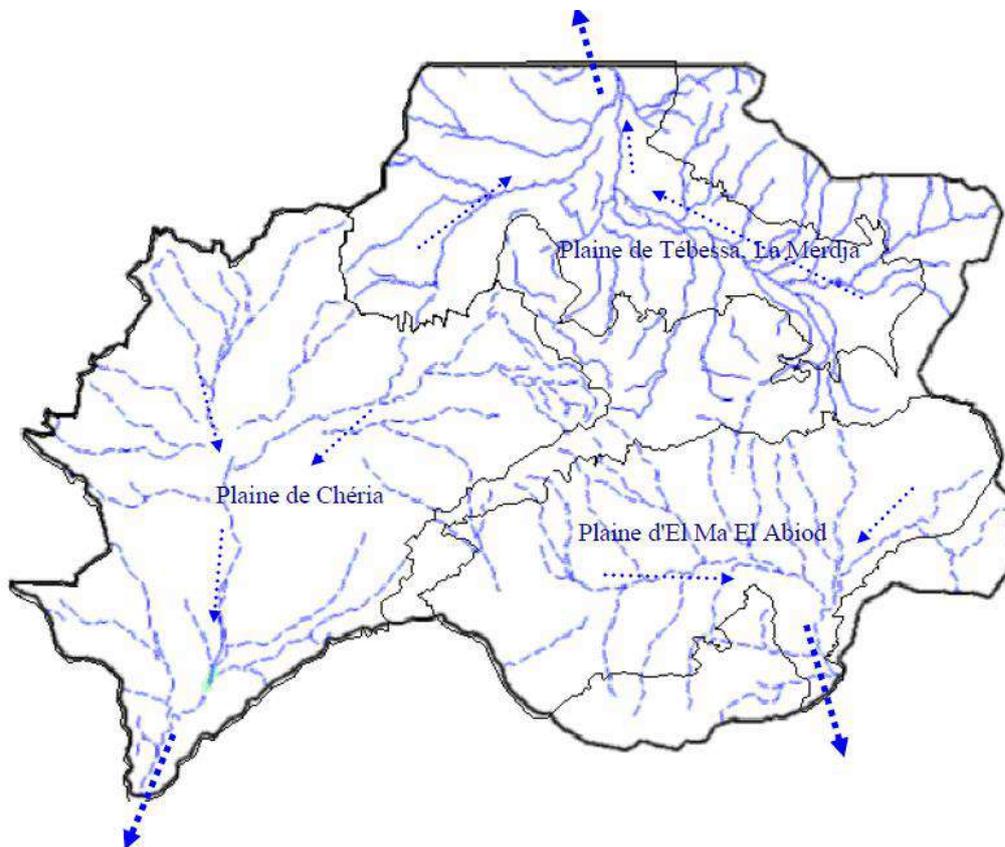


Fig 28 : Réseau hydrographique de la région d'étude [88]

#### II-4- Etude géologique :

L'importance des études ; géologique, lithologique et stratigraphique découle du fait que l'eau a la faculté de dissoudre les minéraux qui composent la roche en contact.

L'eau acquière sa minéralisation suite aux interactions successives entre l'écoulement et les différentes formations géologiques.

A la surface de la zone d'étude, les affleurements montrent des formations calcaires d'âge Crétacé plus ou moins proéminentes aux bordures des plaines et plateau, et des formations d'âge Miocène et Quaternaire, qui occupent toute les superficies des plaines étudiées (Fig 29) [3].

La colonne stratigraphique de la région de Tébessa est en annexe 3.

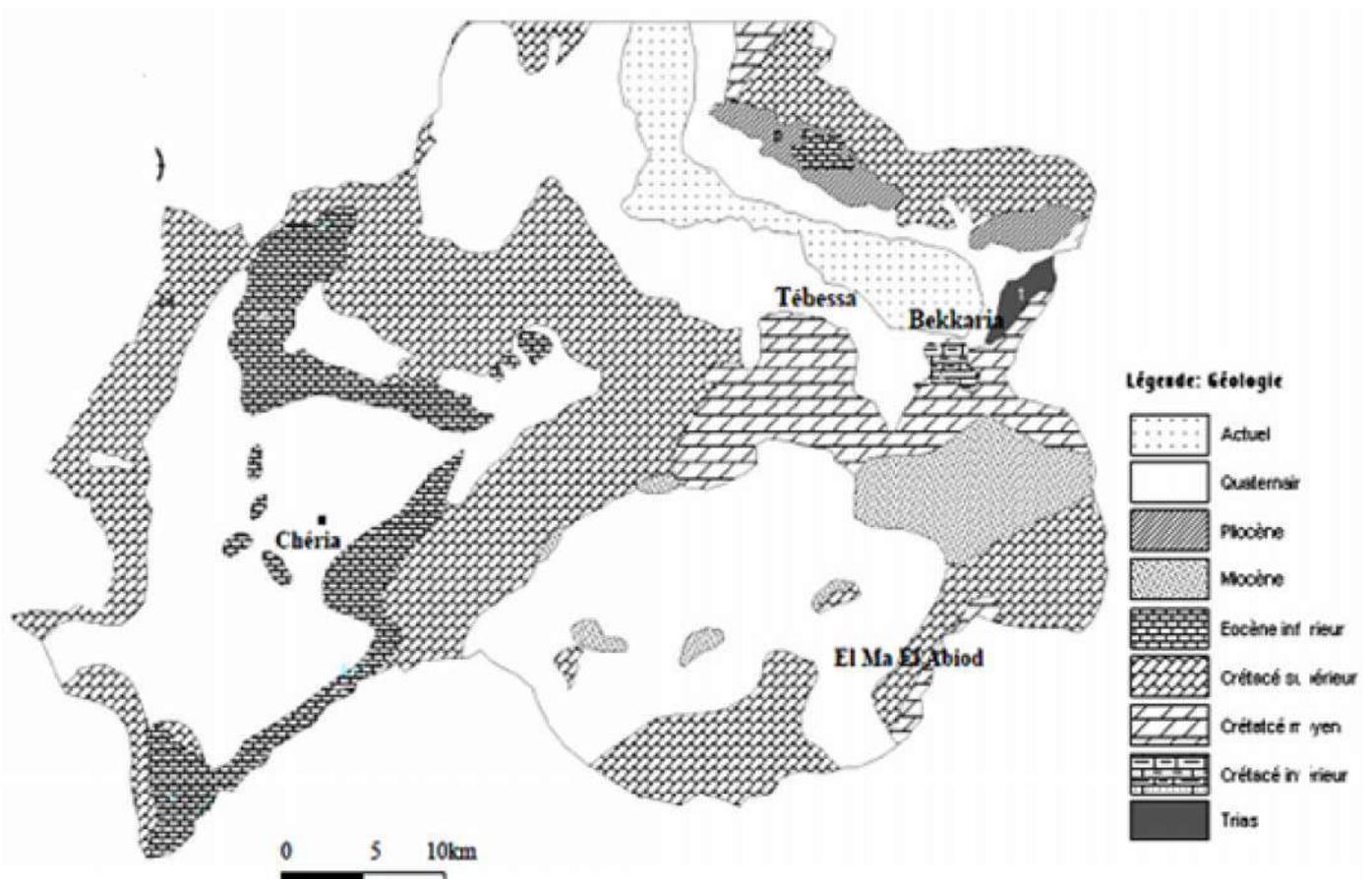


Fig 29 : Esquisse géologique de la région d'étude [88]

## II-5- Litho-stratigraphie et conséquences hydrogéologiques :

L'hydrogéologie constitue un outil de base pour la connaissance des éléments permettant la définition des caractéristiques d'une nappe [61].

### II-5-1- Tébessa-Hammamet :

La plaine de Tébessa-Hammamet-Morstt fait partie du bassin d'effondrement d'âge Mio-Plio-Quaternaire, comblée par des sédiments d'origine continentale dont la structure lithologique est peu variée, caractérisée par une dominance de cailloutis et galets de calcaire, de grés, argile, et sable qui lui donne une bonne perméabilité au sol [57].

Les travaux d'exploitation sur la plaine Tébessa-Hammamet, ont montré la présence d'un grand système aquifère alluvionnaire d'âge Mio-Plio-Quaternaire. On note aussi l'existence des axes d'écoulements secondaires de direction SW-NE et NW-SE, ce qui montre bien l'alimentation de la nappe par les bordures Sud ouest de la région d'étude [57].

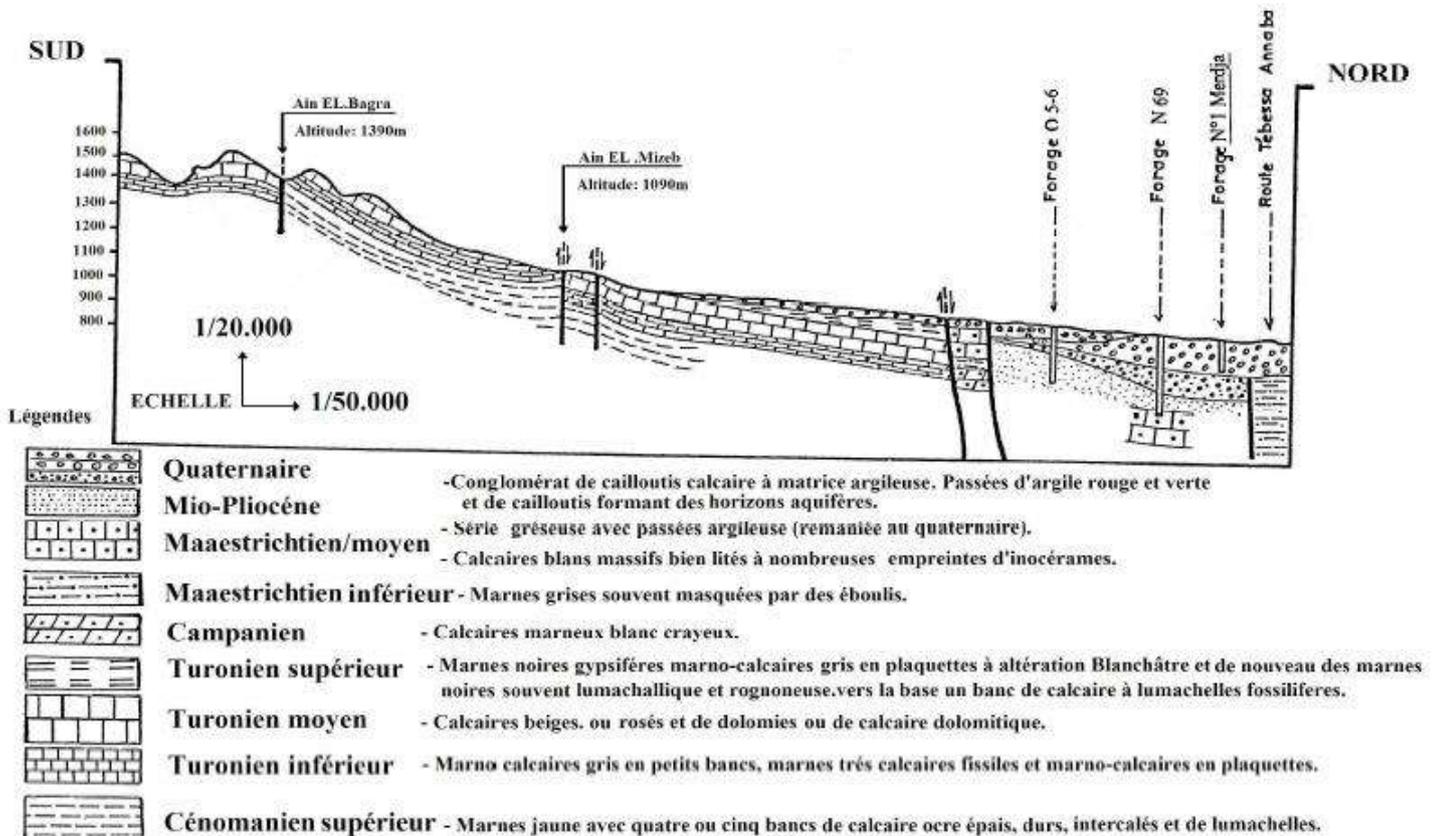


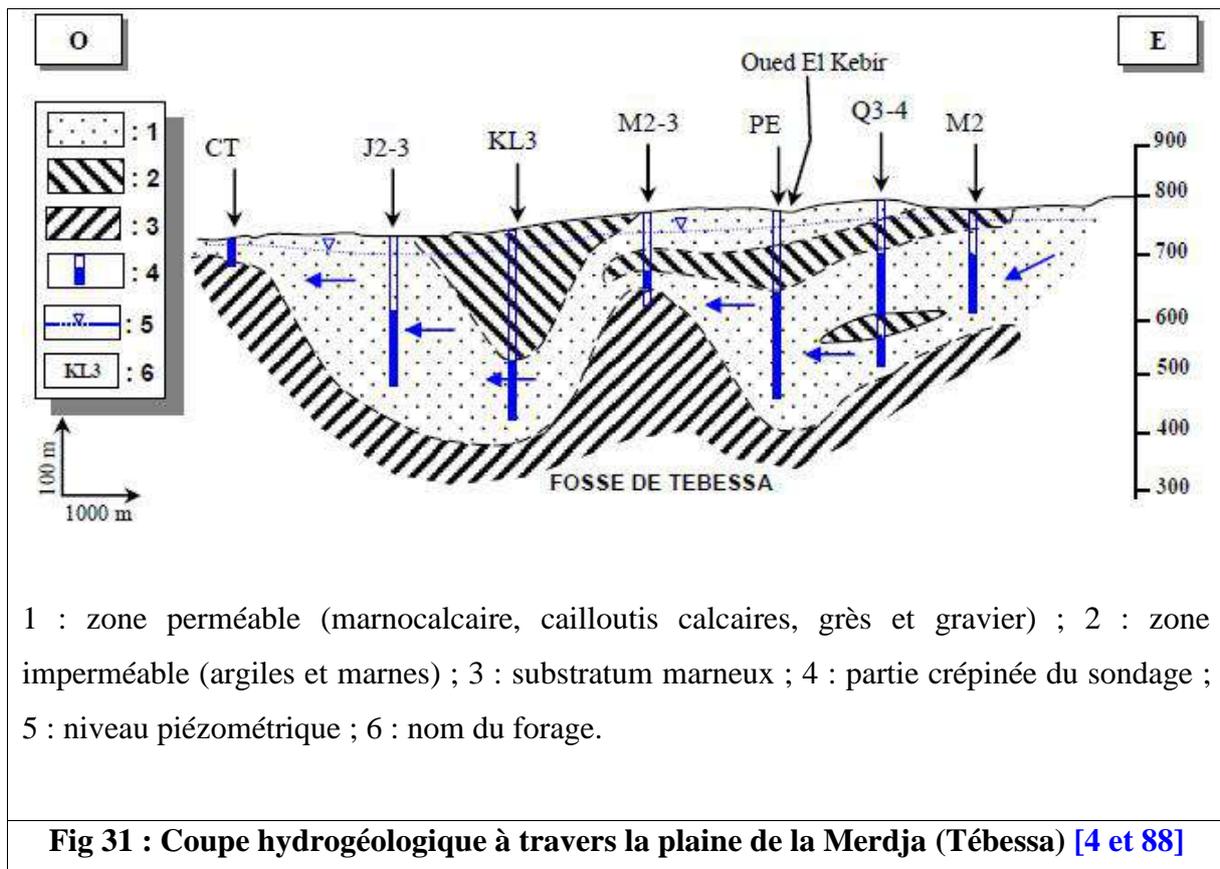
Fig 30 : Coupe géologique de la plaine de Tébessa [63 et 88]

Le système aquifère de la plaine de Tébessa est formé essentiellement par un manteau alluvial d'âge Plio-Quaternaire, composé d'une alternance d'argile et de sables ou de cailloutis calcaires, d'une épaisseur variée entre 10 et 400m. Les calcaires Turoniens, Maestrichtiens et Campaniens qui constituent les reliefs en bordures Nord-est et Sud de la plaine, forment également d'importants aquifères [61 et 88].

On distingue deux différents niveaux susceptibles d'être aquifères:

a- Milieu poreux : composé de sables et graviers, représenté par la nappe alluviale, le milieu poreux est réparti sur toute la plaine et capté par la majorité des forages et des puits [57].

b- Milieu Fissuré : correspond aux nappes d'eaux profondes (à grande profondeur au-delà de 500m). Cette profondeur diminue vers les bordures. Ces formations carbonatées (d'âge Maestrichtien, Turonien et Eocène) ont un potentiel hydraulique important qui se traduit par un débit considérable au niveau des sources de Youks, Kissa ... [57].



### Conditions aux limites

Les limites du système aquifère de la plaine Tébessa-Hammamet sont:

- La bordure Nord : limite à flux sortant;
- La bordure Sud : limite composée d'une série stratigraphique de l'Aptien inférieur au Maestrichtien moyen, ainsi que de calcaires fissurés qui constituent une limite à flux entrant (alimentation du système aquifère);
- La bordure NW ; Maestrichtien moyen et Turonien, calcaires fissurés : limite à flux entrant ;
- La bordure NE : le tronçon Nord a une limite étanche composée par des argiles sableuses du Pliocène et des marnes Cénomaniens, et le tronçon Sud a une limite à flux entrant par les calcaires de l'Éocène et du Campanien;
- La bordure Est composée de sables quartzeux et de cailloutis de calcaire d'âge Pliocène: limite à flux entrant;
- La bordure Ouest composée par des formations marneuses et des marnes calcaires du Crétacé inférieur: limite étanche [57].

La nappe alluviale de Tébessa-Hammamet, est une nappe stratégique dans la wilaya de Tébessa ; c'est la réserve principale de la région en eau destinée à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation. Elle est exploitée depuis l'année 1970.

Actuellement, plus de 22 forages ont été forés et captent la nappe profonde avec un débit  $Q = 356 \text{ L/s}$  [57].

Le drainage de la nappe s'effectue principalement par oued Kebir et ses affluents, il est compensé par une alimentation provenant des bordures calcaires situées dans la partie Sud et Nord de la région. A l'Est c'est les formations triasiques de Djebel Djebissa.

A cette alimentation s'ajoute la recharge qui se fait à partir de l'infiltration des eaux de précipitations à travers le remplissage alluvionnaire caractérisé par une perméabilité très forte [57 et 61].

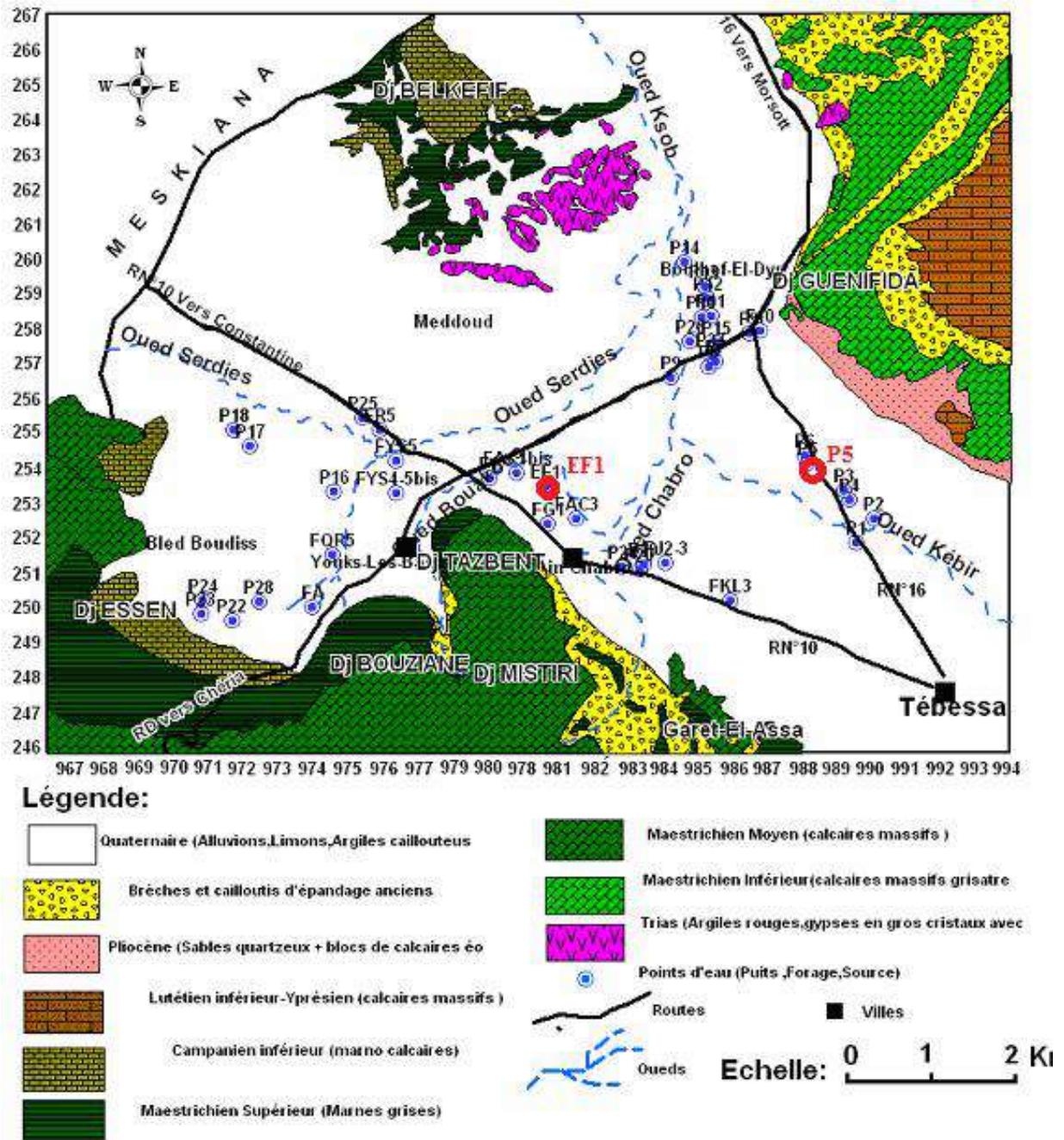


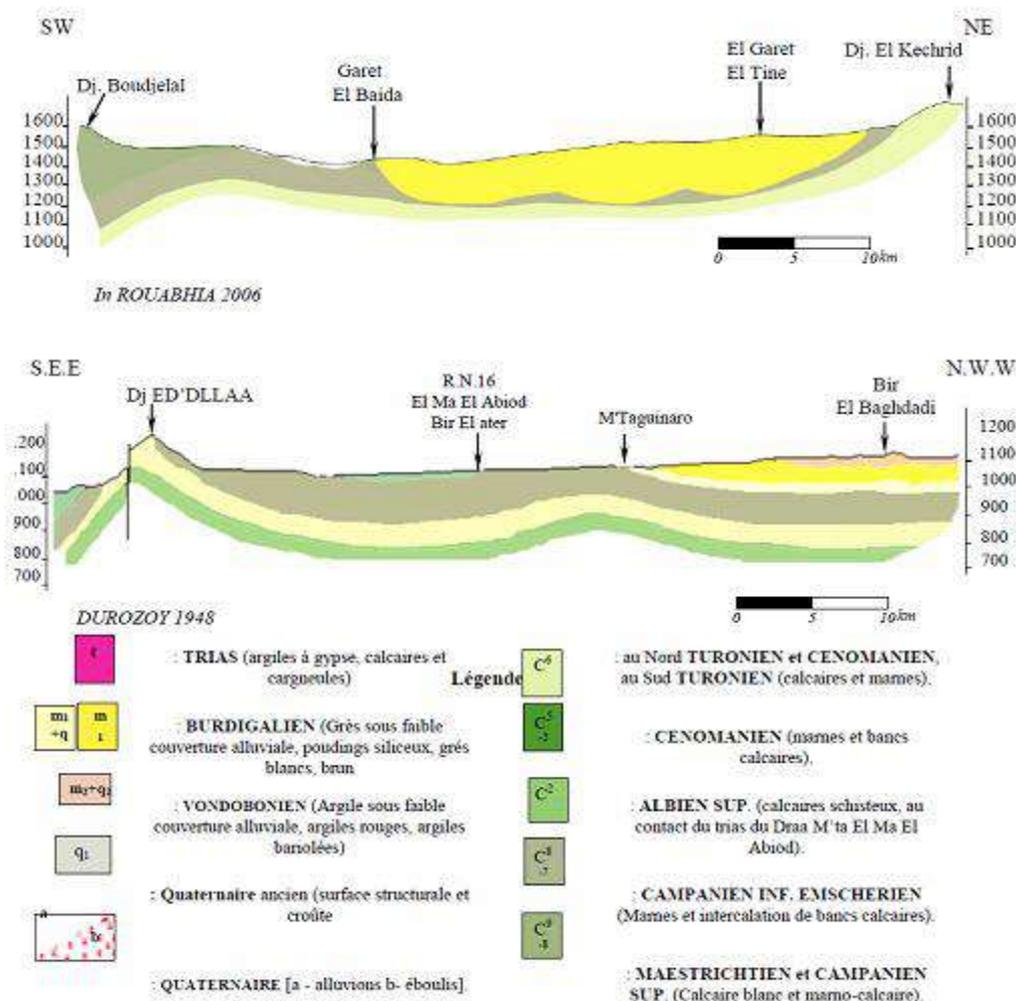
Fig 32 : Carte d'inventaire des points d'eau existants dans la région Tébessa-Hammamet [57]

**II-5-2- El Ma El Abiod :**

Le système aquifère de la plaine d'El Ma El Abiod est encaissé dans un bassin versant d'effondrement d'âge Mio-Pliocène, dont la structure lithologique horizontale et verticale est peu variée [3].

La plaine se présente comme une cuvette dont le substratum crétacé, calcaireux et marneux est séparé du Miocène par des éboulis très perméables.

Elle est caractérisée par la superposition, de bas en haut, de marnes, calcaires, grès et sables largement à l'Est et argile limoneuse au centre de la plaine. Les bordures Nord et Sud, sont constituées de galets et graviers calcaires, les calcaires plongent sous le remplissage quaternaire [3].



**Fig 33 : Coupes géologiques de la plaine d'El Ma El Abiod [3 et 88]**

L'ensemble du système aquifère d'El Ma El Abiod est constitué par deux familles d'aquifères de profondeurs différentes [3].

**1- Nappe alluviale:** est très étendue et se rencontre dans les formations alluviales récentes, constituées d'argiles remaniées avec du sable et des cailloutis. Elle se localise essentiellement près des bordures de la plaine d'El Ma El Abiod et son épaisseur n'excède pas les 15 m (forage M<sub>6</sub>) [3].

Au Nord, elle vient en contact avec les calcaires d'âge secondaire qui constituent une limite perméable. Flux entrant [3].

Au Sud, en contact avec les formations calcaires, les eaux de précipitations de ce versant ruissellent en surface et alimentent en partie la nappe alluviale, en plus des pluies qui y tombent directement [3].

Les argiles et les marnes constituent en profondeur le substratum imperméable, de ce fait les eaux d'infiltration s'écoulent en aval en direction de la nappe miocène [3].

**2- Nappe Miocène:** se trouve dans les formations miocènes, constituées de grès, sables et graviers. Elle est située au milieu de la plaine avec une superficie considérable et une importante puissance, elle affleure au Nord-Est du village d'El Houdjbet où elle alimente les sources [3].

La nappe Miocène est profonde et son épaisseur varie de 110m à 178m (forage M<sub>7</sub>) à l'Ouest. A l'Est, elle atteint 90m (forage M<sub>10</sub>) puis elle diminue progressivement vers le Sud jusqu'à 31m [3].

La nappe Miocène constitue l'une des réserves d'eau principales de la région, elle est exploitée par les services de l'hydraulique de la wilaya depuis 1970 avec une dizaine de forages et une centaine de puits [3].

Elle est alimentée principalement à partir:

- Des massifs calcaires du Nord (Dj. Bouroumane) au contact de grès miocènes.
- Des précipitations qui tombent directement sur l'étendue des grès affleurant.
- De la nappe alluviale lorsque les deux nappes sont en contact dans la région Ouest.

Au Sud, elle admet une limite de fuite vers la nappe alluviale [3].

Les deux nappes sont libres, mais la nappe miocène devient légèrement captive plus à l'Est, au niveau du forage AT<sub>1</sub> (x : 994,00, y : 231,80) [3].

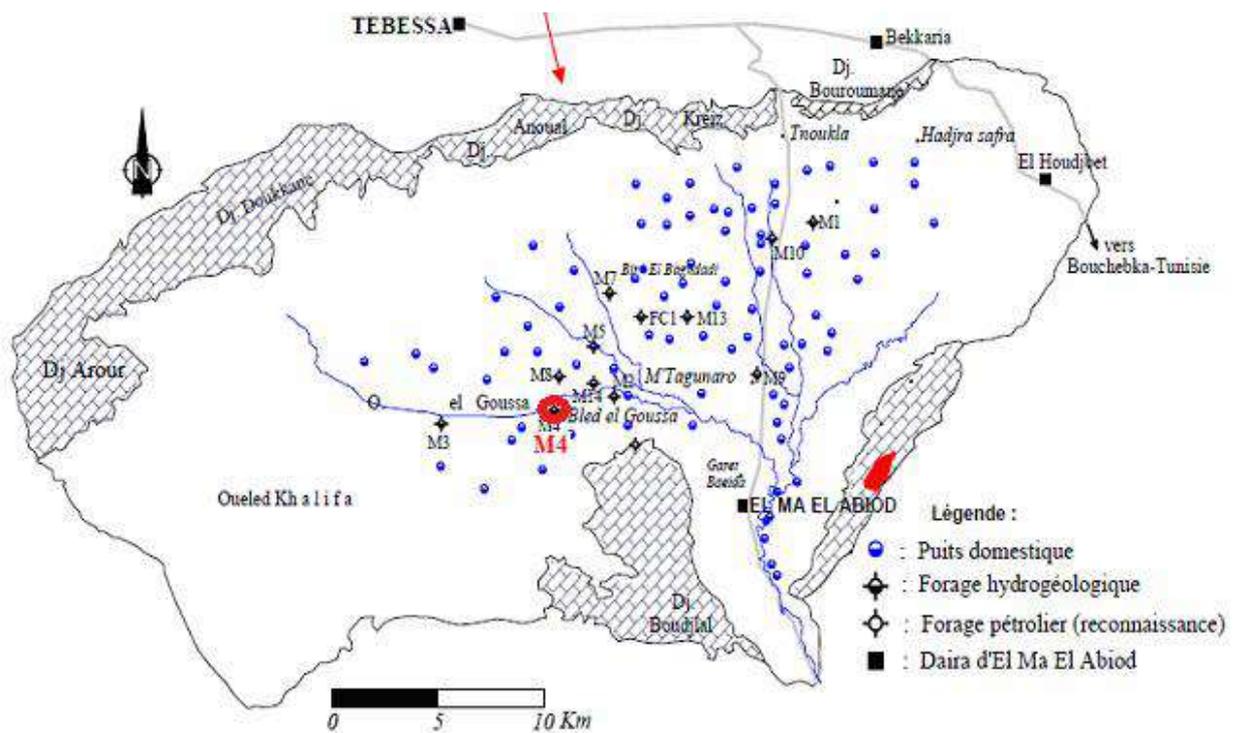


Fig 34: Carte d'inventaire des points d'eau existant dans la plaine d'El Ma El Abiod [3]

L'hétérogénéité dans les formations (alluvions, argiles, sables, grès et les évaporites riches en  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $Ca^{2+}$ ) composant l'aquifère de la région d'El Ma EL Abiod favorise la minéralisation. Le tableau ci-dessous présente l'intérêt hydrogéologique et hydrochimique des formations [3].

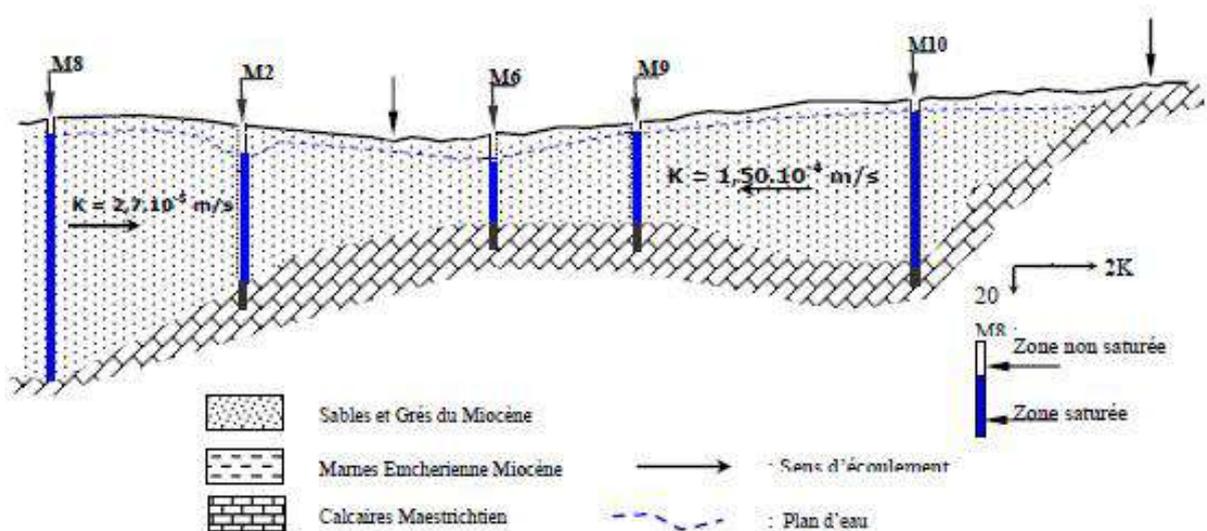
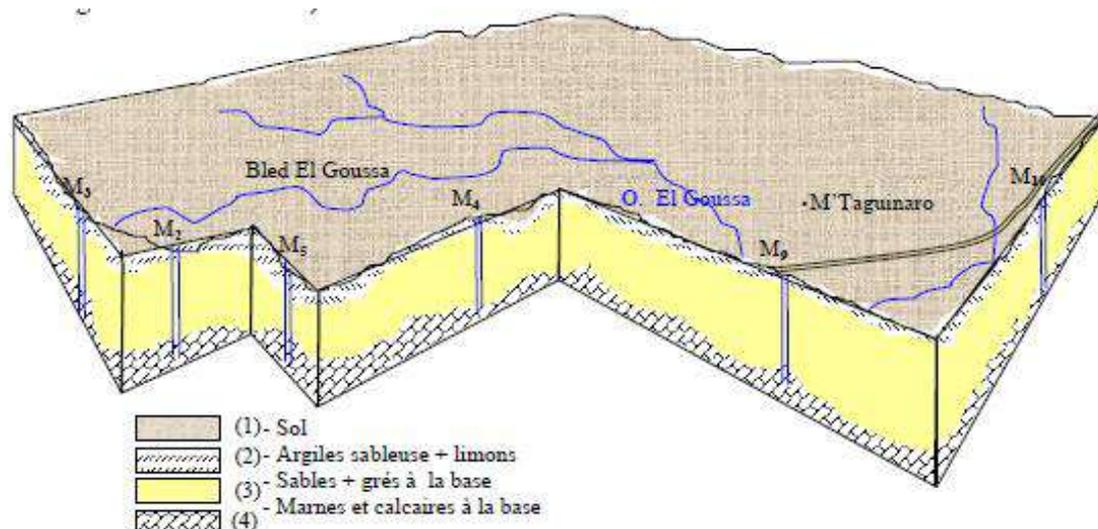


Fig 35 : Coupe hydrogéologique à travers la plaine d'El Ma El Abiod [5 et 88]



**Fig 36 : Structures géologique et hydrogéologique du système aquifère de la plaine d'El Ma El Abiod [3]**

**Tab 18 : Intérêt hydrogéologique et hydrochimique des formations géologiques de la plaine d'El Ma El Abiod [3]**

Formation	Epaisseur	Intérêt hydrogéologique	Intérêt hydrochimique
Calcaire	Plus de 100 m	Alimentation du système aquifère	Eaux généralement bicarbonatées calciques
Marnes	Environ 50 m	Aucun	A l'origine des sulfates
Grès	Plus de 50 m	Aquifère	Plusieurs faciès
Sables	40 à 250 m	Aquifère	Plusieurs faciès

### II-5-3- Chéria :

Le plateau de Chéria est une cuvette calcaire comblée par des dépôts Quaternaires Elle est constituée des couches suivantes [34] :

En premier, on rencontre les calcaires Maestrictiens d'un intérêt hydrogéologique uniquement aux bordures, surmontés par les calcaires Eocènes qui constituent le plus important réservoir hydrogéologique du plateau, avec une épaisseur allant de quelques dizaines à une centaine de mètres. Les nappes calcaires Eocènes et Maestrictiens sont séparées par des bancs de marnes et sont, par endroits, captives [32, 34 et 88].

En fin l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire; formés par des cailloutis fluviaux, de colmatage de bas fonds, d'alluvions de piémont. Avec la sécheresse aigue qui a sévi pendant les dernières décennies et la surexploitation des ressources hydriques, cette aquifère devient sans intérêt hydraulique [32, 34 et 88].

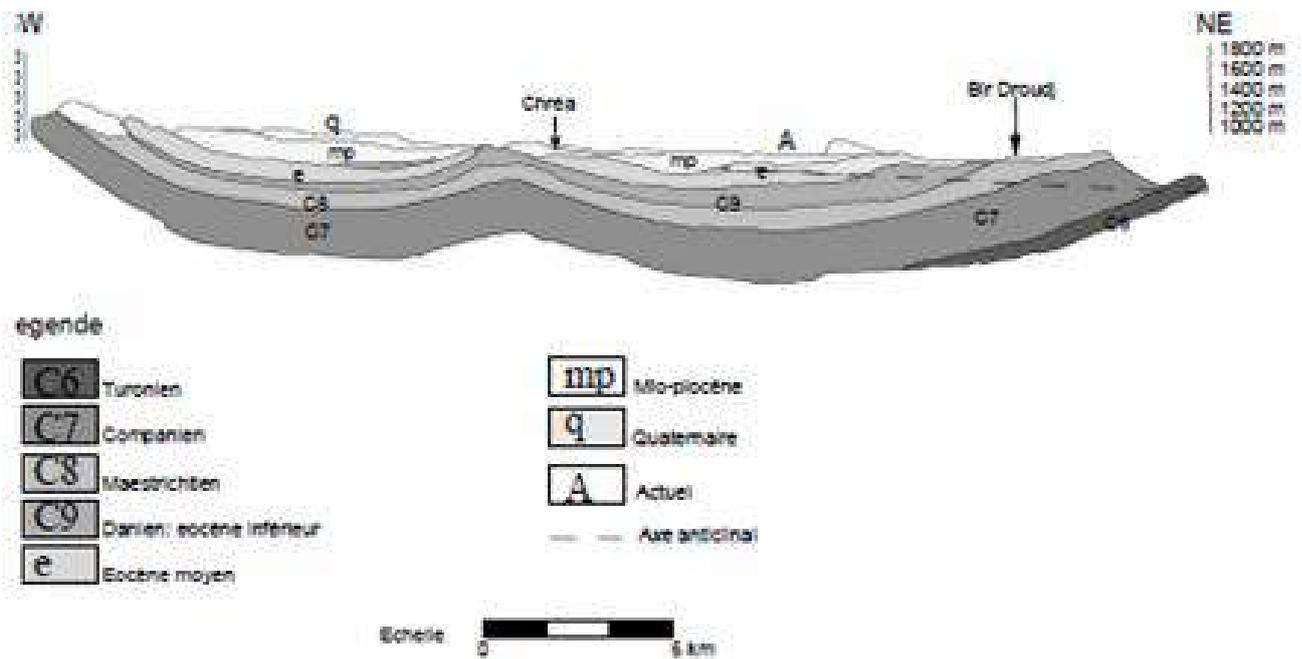


Fig 37 : Coupe géologique du plateau de Chéria [88]

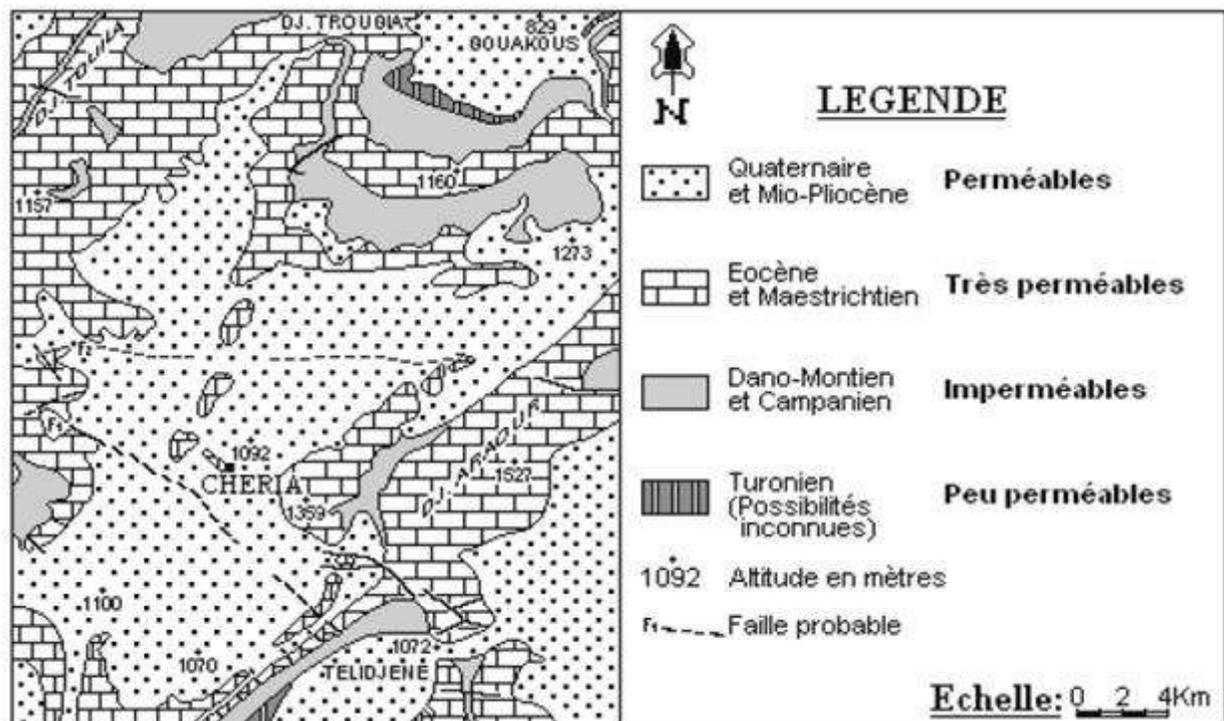


Fig 38 : Esquisse hydrogéologique du plateau de Chéria [23]

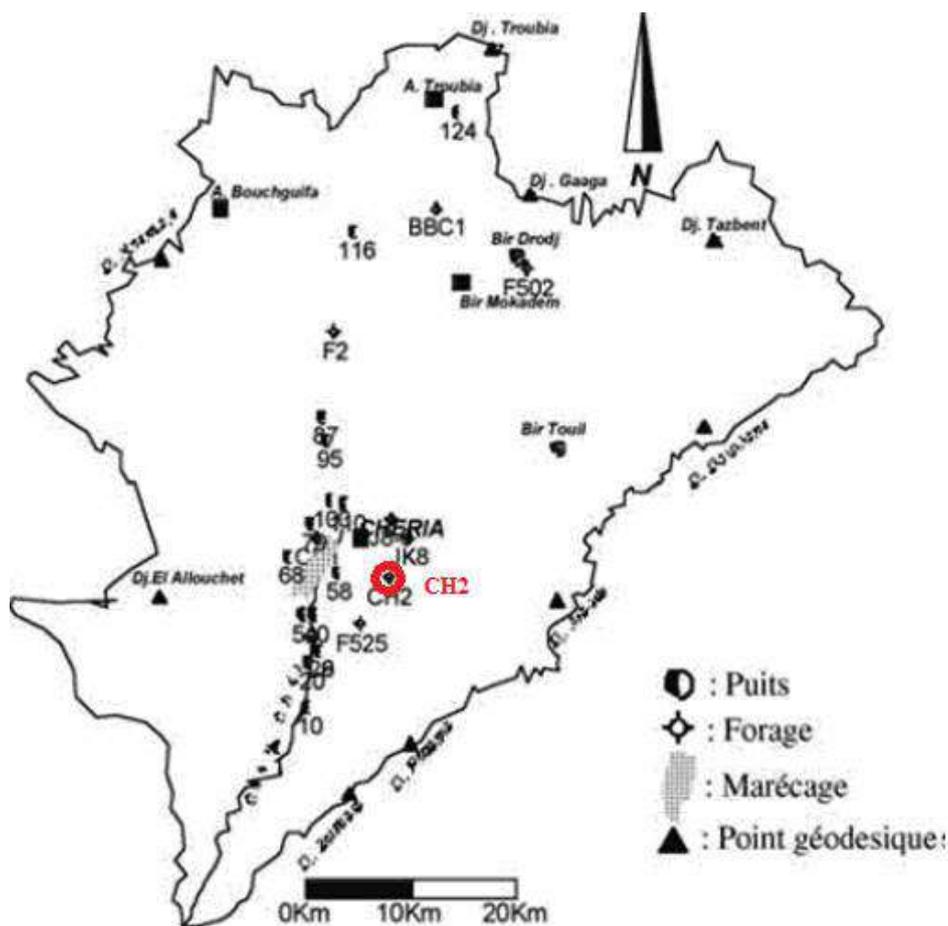


Fig 39 : Carte d'inventaire des points d'eaux dans le plateau de Chéria [34]

**1- L'aquifère des calcaires Eocènes:** C'est l'aquifère principal de Chéria. Il a été reconnu par de nombreux forages spécialement; autour de la ville de Chéria et fait l'objet d'une importante exploitation pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation. La perméabilité est donnée par des fissures et un karst bien développé autour de la ville. Les caractéristiques des forages qui ont traversé ou touché les calcaires Eocène, ont permis de remarquer que les zones fissurées se rencontrent en général dans les 100 premiers mètres de l'Eocène et les zones karstifiées sont encore plus localisées dans les 50 premiers mètres [32].

**2- L'aquifère Mio-Plio-Quaternaire:** est caractérisée par des alluvions reposant sur l'argile qui les sépare du nappe Mio-Pliocène composée d'argiles, graviers et sables. De ce fait, et particulièrement cet aquifère rassemble deux aquifères:

- L'aquifère des niveaux sableux du Miocène: le niveau compris entre 53 et 80 m est attribué aux graviers et sables quartzeux du Miocène. Le petit nombre de forages exécutés dans cet aquifère (Forage 523 et Forage 524) rend les informations moins importantes.

- L'aquifère des alluvions Quaternaires et Actuelles: occupe la majeure partie du plateau de Chéria. Il joue dans la partie Nord, le rôle d'alimentation des calcaires Maestrichtiens et Eocènes par infiltration [32].

Le tableau ci-dessous présente l'intérêt hydrogéologique et hydrochimique des formations géologiques [34] :

**Tab 19 : La perméabilité et l'intérêt hydrogéologique et hydrochimique des formations géologiques de Chéria [34]**

Formations	Epaisseurs	Intérêt hydrogéologique	Intérêt hydrochimique	perméabilité
Calcaires du Maestrichtiens	Environ 250 m	Important aux affleurements et lorsque sous faible couverture Quaternaire	Eaux généralement bicarbonatées calciques	En grand de fissure
Marnes	100 à 150m	Aucun	A l'origine des sulfates	Imperméable
Calcaires de l'Eocène	50 à 60 m	Fissuré et karstifié, alimentation tribulaire de la couverture	Eaux généralement bicarbonatées calciques	En grand (de fissure et de karst -Forage JK <sub>8</sub> -)
Quaternaire	10 à 60 m	Important, tribulaire des précipitations	A l'origine de presque la quasi-totalité des éléments chimiques	En petit, selon la nature de terrain

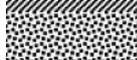
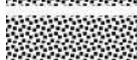
L'écoulement vers le Nord-Est donne naissance à d'importantes sources telles que la source de la grotte de Bouakkous [32].

Les calcaires Eocènes sont en contact avec les alluvions Quaternaires aquifères (qui souvent drainent les calcaires maestrichtiens). Il y a donc une limite perméable d'alimentation [32].

La nappe du Mio-Plio-Quaternaire est alimentée directement par la pluie et l'Eocène adjacent [32].

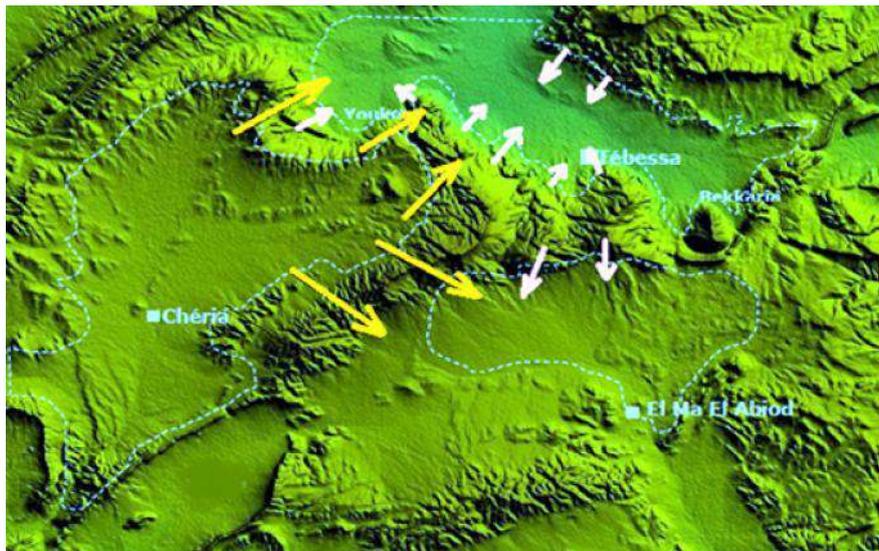
L'étude lithologique, stratigraphique et géologique des faciès de toute la région étudiée a permis de dresser un état récapitulatif sous la forme du tableau ci-dessous qui illustre les formations géologiques les plus importantes d'intérêt hydrogéologique [88] :

**Tab 20 : Géologie et intérêt hydrogéologique de la région d'étude [88]**

Zone	Age	Epaisseur	Intérêt hydrogéologique	Lithologie	Faciès géologique
El Ma Abiod	Crétacé	Plus de 100m	Alimentation du système aquifère		Calcaire
	Miocène	Environ de 50m	Aucun		Marnes
		Plus de 50m	Aquifère		Grés
		40 à 250m	Aquifère		sables
Tébessa-Hammamet	Quaternaire	Jusqu'à 200m	Aquifère	 	Alluvions (alternance cailloutis calcaire-marne)
Chéria	Quaternaire	40m	Aquifère à sec		Alluvions fluviales
	Maestrichtien	250m	Importants en bordure du plateau		Calcaires fissurés
	Eocène	50 à 60m	Réservoir de la région		Calcaires fissurés et
				karstifiés	

La photo satellite en (fig 40) résume la relation aux limites des nappes étudiées. Les conditions aux limites des nappes juxtaposées nous renseignent sur le sens d'une influence probable de l'une sur l'autre.

Les cartes piézométriques consultées pour déterminer les conditions aux limites et le sens d'écoulement souterrain au niveau des trois nappes d'eaux sont portées en annexe 4.



**Fig 40 : La géomorphologie de la zone d'étude et la relation aux limites entre les nappes étudiées**

# **CHAPITRE II**

## Moyens et Méthodes

**But de Travail :**

L'évaluation de la qualité d'une eau demande l'exécution d'opérations ordonnées dans des conditions spécifiques comme; l'échantillonnage qui nécessite la propreté des moyens, la non contamination de la source et un temps limité avant l'exécution des analyses. Les échantillons ne doivent pas être exposés à des conditions qui influenceraient l'un des paramètres physicochimiques ciblés. Les résultats obtenus (des échantillons prélevés dans des forages choisis au niveau de la wilaya de Tébessa) seront ensuite confrontés aux normes Algériennes et Internationales de potabilité pour évaluer leur qualité.

L'étude de l'environnement souterrain (type d'aquifère) et superficiel (agriculture, industrie, urbanisme...) nous permettra de comprendre les causes de l'influence (contamination) subie par les eaux souterraines afin d'en déterminer les sources probables, en cas d'écart important par rapport aux valeurs normatives, et de proposer des solutions pour rétablir la qualité ou en réduire les conséquences néfastes.

**I- Choix des positions des forages:**

Une reconnaissance des lieux a permis de localiser les forages les plus représentatifs des nappes à étudier.

Critères de choix :

- La position du forage dans la zone.
- La position des sources de pollution probables.
- L'accès possible.
- Mise en évidence de l'influence des nappes voisines.

Le refus de prise en charge de la facture des analyses par l'université à temps m'a poussé à réduire le nombre d'échantillons à quatre (un forage pour chaque zone d'étude; P<sub>5</sub> de Tébessa, EF<sub>1</sub> de Ain chabro - Hammamet, M<sub>4</sub> d' El Ma El Abiod et CH<sub>2</sub> de Chéria), considérés comme étant les plus représentatifs du point de vue de l'étude de qualités des eaux souterraines. Les factures initiales, pour les douze points d'eau sélectionnés lors de la reconnaissance, étant hors de la portée de ma bourse.

**II- Méthode d'échantillonnage:**

Les forages choisis étant équipés et inaccessibles au préleveur, le prélèvement des échantillons a été réalisé directement à leurs robinets respectifs.

Les récipients utilisés, des bouteilles d'eau minérale d'un litre et demi lavées et bien rincées avec l'eau à prélever avant chaque remplissage, ont été gardés hors de portée du soleil et des écarts de température.



**Fig 41 : Les échantillons d'eau de forages**

A cause du retard de la réponse du gestionnaire de finances de l'université de Souk Ahras, on a été obligé de refaire une deuxième sortie d'échantillonnage (la première étant devenue inexploitable).

Fermées hermétiquement sans y laisser de bulles d'air, les bouteilles ont été conservées dans une glacière (2 à 4°C).

L'eau prélevée est destinée à l'alimentation en eau potable (AEP).

La prise d'échantillons a été réalisée le 19/03/2013.

		<p><b>Forage P<sub>5</sub> (Tébessa)</b></p>
		<p><b>ForageEF<sub>1</sub> (Ain Chabro-Hammamet)</b></p>



**Fig 42 : Photos des forages échantillonnés**

Les fiches techniques de forages choisis sont en annexe 5.





**2- Forage EF<sub>1</sub> Ain Chabro –Hammamet-**



**3- Forage M<sub>4</sub> -El Ma El Abiod-**



**Fig 43 (1, 2, 3 et 4) : Photos satellitaires des quatre forages échantillonnés [47]**

### III- Les analyses

Les analyses des eaux de forages ont été faites au niveau du laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) à Constantine le 20/03/2013. Ce laboratoire a été choisi pour sa fiabilité et la qualité de ses moyens.

Les résultats obtenus ont été confrontés aux normes de potabilité nationales et internationales (OMS).

La sélection des paramètres à analyser a été motivée par le type de contamination (naturelle ou anthropique) le plus probable pour chaque zone. La région de Tébessa étant à vocation agricole et d'élevage; on a considéré, en plus des éléments majeurs (anions et cations), que les phosphates, les nitrites et les nitrates étaient les éléments indésirables les plus attendus.

Les analyses ont concerné la quantification des paramètres physicochimiques suivants : la température, la turbidité, l'acidité de l'eau (pH), la conductivité électrique, le résidu sec, le titre hydrotimétrique (TH), le titre alcalimétrique complet (TAC), et le bilan de

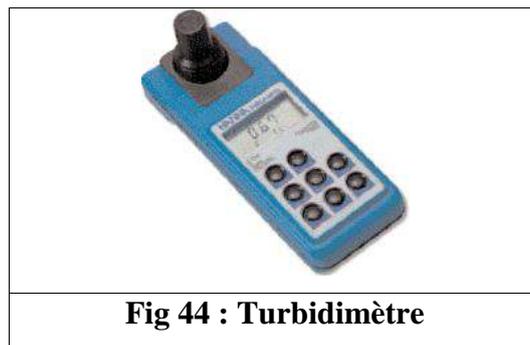
minéralisation globale composé de cations (Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium) et d'anions (Bicarbonates, Sulfates et Chlorures), et les éléments indésirables (Phosphate, Ammonium, Nitrites et Nitrates) trouvés en quantité dans les engrais, les déjections animales et dans la matière organique en décomposition, en plus de certains métaux lourds (Fer, Zinc, Plomb) produit par les échappements de véhicules, et (Cadmium et Arsenic) par mesure de sécurité vu leur puissance de toxicité.

#### IV- Moyens utilisés :

Les appareils utilisés au niveau du laboratoire de l'ANRH de Constantine, sont mentionnés ci-dessous en regard de chaque paramètre quantifié:

- Turbidité : est mesurée par un Turbidimètre au laboratoire.

Turbidimètre léger, portatif et mobile. Il affiche le résultat en NTU



- Mesure de pH et de Conductivité électrique à 25°C est fait au laboratoire par l'appareil SP10 SKALAR, l'unité de conductivité est  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

L'analyseur SP10 pH/EC est caractérisé par :

- Sa capacité de mesurer simultanément de pH et de conductivité.
- Temps de mesure : 30 à 60 secondes ;
- Séries multiples d'échantillons par jour ;
- Compatible avec différents appareils et électrodes de mesure car il peut être configuré pour différentes électrodes spécifiques pour  $\text{NH}_4$ , fluorures, chlorures, etc. Il peut également être modifié pour Turbidité ;
- Application personnalisable par l'utilisateur ;
- Les identifications d'échantillons peuvent être importées et exportées directement avec le logiciel.



**Fig 45 : SP10 SKALAR (ANRH- Constantine)**

- Chlorures, Sulfates, Nitrates, Nitrites, Phosphates et Ammonium : par DR2000, et le Spectromètre UV/ Visible.

Le DR2000 donne des concentrations exactes, sous forme numérisée sur l'écran, affichées en mg/l. On peut appliquer la longueur d'onde spécifique pour chaque élément.



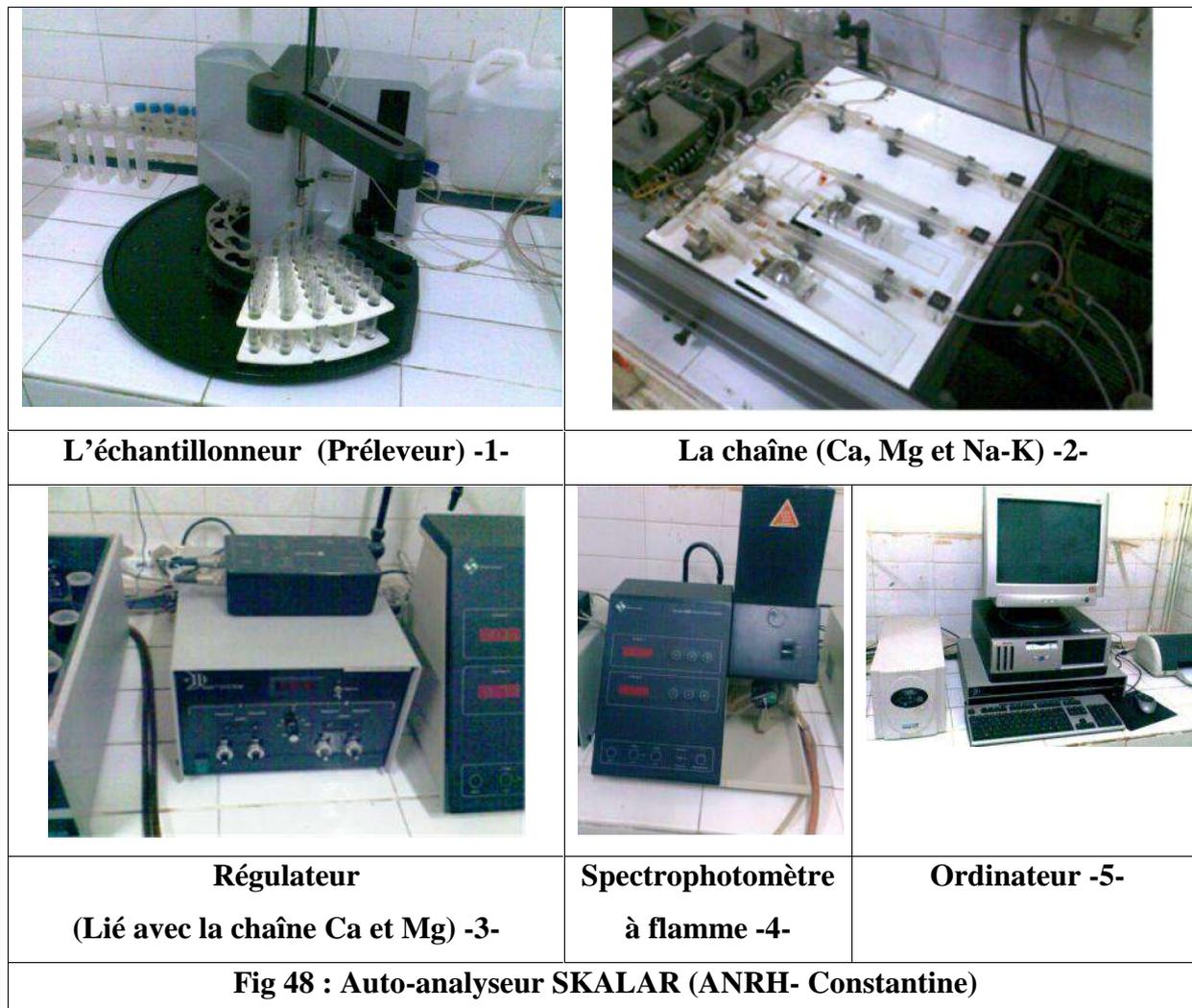
**Fig 46 : DR2000 (ANRH- Constantine)**

Le spectrophotomètre visible/UV : fait le dosage des anions, les résultats seront sous forme informatisée affichés sur l'écran de l'ordinateur en mg/l et en courbes et diagrammes.



**Fig 47 : Spectrophotomètre UV/Visible (ANRH- Constantine)**

- Calcium et Magnésium : sont dosés par le Spectrophotomètre à flux continu auto-analyseur SKALAR, les unités : mg/l.
- Le dosage de Sodium et Potassium : est réalisé par le même appareil (auto-analyseur SKALAR) mais lié à un photomètre de flamme, les unités : mg/l.



L'auto-analyseur SKALAR est un appareil spécifique pour le dosage des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ). Les résultats sont affichés sous forme des concentrations en mg/l, et sous forme de diagrammes. Il a une haute précision. Il peut faire l'analyse de quatre cations au même temps, comme il peut faire l'analyse de Ca, Mg seulement ou Na, K seulement. Il contient 3 chaînes :

Chaîne Calcium, chaîne Magnésium et chaîne Sodium/ Potassium. Les deux premières chaînes sont liées avec le régulateur qui transforme les résultats à l'ordinateur pour les afficher, mais la troisième chaîne Na/K est liée à un spectrophotomètre à flamme qui est lié lui-même à l'ordinateur. Le préleveur peut porter plusieurs échantillons au même temps, donc l'auto-analyseur peut réaliser plusieurs analyses et différents échantillons à une fois.

- Métaux lourds (Fer, Zinc, Plomb, Cadmium et Arsenic) : ICP- AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry).

L'ICP est un appareil de haute précision allant à nanomètres, sa température peut s'augmenter jusqu'à 2000°C, pour cette raison, il est accompagné d'un refroidisseur. L'argon et l'azote s'ionisent pour former le plasma à l'intérieur de l'appareil, c'est le principe de son fonctionnement. Plusieurs métaux peuvent être analysés au même temps. L'unité peut être changée en  $\mu\text{g/l}$  ou  $\text{mg/l}$ .



**Fig 49 : ICP (avec Bouteilles d'argon et d'azote, Compresseur, Refroidisseur, Ordinateur) (ANRH- Constantine)**

La représentation graphique des résultats d'analyse des échantillons a été faite en utilisant le logiciel "Diagrammes" élaboré par Roland SIMLER de laboratoire de l'hydrogéologie d'Avignon ; utilisé par les hydrogéologues pour la détermination des faciès chimiques des eaux et de leurs compositions chimiques.

Le traitement des résultats des analyses a été réalisé par Excel.

# **CHAPITRE III**

## Chimie des Eaux

## **I- La minéralisation de l'eau :**

L'eau est un bon solvant, sa mise en contact avec la roche lors du ruissellement ou du stockage lui permet de dissoudre de manière préférentielle les composants de cette dernière. L'eau se charge d'éléments dissous jusqu'à la saturation. L'eau a un taux de saturation pour chaque élément chimique susceptible d'être dissout [33].

C'est ainsi que l'eau se charge de minéraux (acquière sa minéralisation) lors de son passage à travers les différents milieux naturels de son parcours.

En milieu rural et urbain, les activités anthropiques influent beaucoup sur la composition chimique de l'eau qui traverse une zone polluée par des résidus introduits par l'homme, que ces derniers soient nocifs ou non [33].

Les caractéristiques physiques et chimiques ambiantes telles que : la température, l'acidité et le taux de saturation initial régissent l'importance des interactions eau-roche et leurs vitesses de réaction [33].

Exemple : A température plus élevée, l'eau dissout une plus grande quantité de sel et à une vitesse supérieure, et une eau acide attaque le calcaire dissout la calcite.

Un terrain marneux ou gypseux peut être à l'origine des sulfates alors qu'un terrain calcaire enrichira l'eau en calcium [33].

L'eau qui ruisselle dans un champ agricole traité par des engrais sera chargée, par lessivage du sol, en nitrites, nitrates et phosphates qu'elle emmènera vers le réservoir superficiel ou souterrain [33].

## **II- La classification des eaux selon leur composition chimique :**

### **II-1- Vérification de la fiabilité des analyses et classement des échantillons par types d'eau :**

Les résultats des analyses chimiques des échantillons sont interprétées afin de déterminer leurs types d'eau souterraine respectifs et de les confronter entre elles pour trouver une relation probable entre leurs origines et les terrains traversés par chacune d'elles dans le but de déterminer les différents éléments qui les ont influencé leurs compositions chimiques.

Pour cela il faut d'abord vérifier la fiabilité des résultats en calculant leur balance ionique. Pour ce faire il faut déterminer la quantité en réaction des éléments présents dans l'eau étudiée.

**Quantités en réaction :** c'est la transformation en milliéquivalents des teneurs exprimées en milligrammes par litre (mg/l).

Exemple :  $[Ca^{++}] = 124 \text{ mg/l}$ , la même quantité de calcium est  $[Ca^{++}] = 6,2 \text{ méq/l}$  en milliéquivalents par litre (méq/l).

En pratique, La quantité en réaction en (méq/l) est égale au poids de l'élément en solution divisé par l'équivalent chimique de cet élément [33] :

$$\text{Quantité en réaction (méq/l)} = \text{poids de X (mg/l)} / \text{équivalent chimique de X}$$

**L'équivalent chimique** d'un élément chimique est égal à sa masse atomique divisée par sa valence [33] :

$$\text{Equivalent chimique} = \text{masse atomique} / \text{valence}$$

**Equivalents chimiques de quelques éléments usuels :**

**Tab 21 : Equivalents chimiques de quelques éléments usuels [33]**

Elément chimique	valence	masse atomique	Equivalent chimique
$Ca^{2+}$	2	40	20
$Mg^{2+}$	2	24	12
$K^+$	1	39	39
$Na^+$	1	23	23
$H^+$	1	1	1
$Cl^-$	1	35,5	35,5
$OH^-$	1	17	17
$SO_4^{2-}$	2	96	48
$HCO_3^-$	1	61	61
$CO_3^{2-}$	2	60	30

### Les taux de concentration des composants chimiques :

Après avoir déterminé les quantités en réaction des cations et des anions, on fait la somme des radicaux (+) et celle des radicaux (-), puis leur somme globale pour pouvoir calculer les taux de concentration des éléments en (méq/l) dans l'échantillon analysé.

La somme des radicaux (+) doit être sensiblement égale à celle des radicaux (-), si la différence appelée balance ionique (r en%) dépasse 6% (parfois tolérée jusqu'à 10%) les résultats de l'analyse sont considérés non fiables [33].

**Les taux de concentration** des éléments ciblés dans l'échantillon analysé sont calculés en divisant la quantité en réaction de l'élément chimique X, multipliée par 100, par la somme des radicaux (+) et des radicaux (-) déjà calculée de manière à ramener la base de calcul à 100 [33].

### II-2- Faciès chimique et classification de l'échantillon analysé :

On ordonne les anions et les cations (radicaux (+) et radicaux (-)) selon leurs taux et ainsi on détermine le faciès chimique de l'eau analysée en l'attribuant aux plus haut taux des cations et des anions.

Exemple : une eau de faciès bicarbonatée calcique présente  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Ca}^{++}$  comme radicaux ayant les taux les plus élevés [33].

Parfois une eau peut contenir un élément qui lui donne propriété médicinale, même en petite quantité, on lui attribue le faciès de cet élément.

Exemple : une eau "bicarbonatée calcique" qui contient du sulfure d'hydrogène dissous ( $\text{H}_2\text{S}$ ) est dite "sulfurée calcique" [33].

### II-3- Le milieu naturel et le faciès chimique :

On confronte le faciès chimique avec la géologie de la nappe et de ses limites à flux entrant, dans le cas d'une incompatibilité hydrogéochimique on doit en chercher la cause de la présence des éléments intrus [33].

#### II-4- Appréciation de la qualité des échantillons

Les résultats des analyse sont directement confrontés aux normes en vigueur et selon la position de leurs valeurs par rapport aux maximums admissibles, la qualité de l'eau est jugée très bonne, bonne, acceptable, médiocre ou impropre à la consommation humaine.

#### III- Principaux paramètres de potabilité :

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls, immédiatement, perceptibles pour l'usager.

Ces paramètres sont:

- la dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium et magnésium
- le pH qui dépend de la teneur en ions d'hydrogène;
- la teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique: anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, nitrites) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, ammonium);
- la turbidité, produite par des matières en suspension.

A ces paramètres physico-chimiques s'ajoutent des paramètres microbiologiques [94].

Une teneur trop élevée d'un ou plusieurs composants chimiques cause des désagréments au consommateur (saveur, risques sanitaires) et aux canalisations (corrosion, entartrage...) L'eau est alors jugée impropre à la consommation (et à sa distribution) à moins de subir au préalable un traitement approprié (cas des eaux chargées en nitrates) [94].

D'autre part, une teneur élevée d'un élément chimique peut être l'indice d'une pollution par d'autres substances toxiques : les résidus de pesticides accompagnent généralement la migration des nitrates d'origine agricole à la nappe [94].

Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable (pour la consommation humaine). Elle pourra être utilisée à d'autres fins (l'industrie, l'irrigation ou abreuver le bétail) ou devra subir un traitement approprié pour retrouver sa potabilité [94].

L'origine des excès des éléments, surtout lorsque l'écart des valeurs est alarmant, doit être déterminée même s'il faut élargir la zone de recherche de plusieurs fois. Une fois la source de la contamination est déterminée, il y a lieu de prendre les mesures pour la neutraliser et reconsidérer les mesures de protection globale du forage.

**- Le pH :**

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt).

Normalement le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitiques et il est alcalin dans les calcaires [94].

**- La turbidité**

La turbidité peut être importante dans les aquifères karstiques. Elle occasionne des désagréments dans l'aspect de l'eau et sa saveur (goût de terre). Les pics de turbidité suivent les fortes précipitations. Les eaux de ruissellement chargées de particules argileuses et d'autres matières indésirables s'engouffrent dans les bétoires. La vitesse de circulation de l'eau dans le réseau souterrain en crue ne permet pas leur décantation [94].

**- Les sulfates**

Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7 g/l dans les conditions normales). Les nappes de l'Eocène ont des teneurs fréquentes comprises entre 25 et 100 mg/l mais qui peuvent localement dépasser 250 mg/l (valeur limite admissible dans les normes européennes UE) et même 1 g/l dans les formations à veines de gypse, valeurs qui rendent cette eau non potable. Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30 à 200 mg/l, parfois supérieures à 250 mg/l). Les autres nappes, en conditions normales, ont des teneurs en sulfates inférieures à 50 mg/l [94].

**- Le fer**

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de sulfure. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau est ferrugineuse notamment dans les nappes captives de la craie et des sables de l'Albien [94].

#### **IV- Principaux types des pollutions et leurs origines :**

##### **IV-1- Pollution temporaire et pollution chronique :**

**IV-1-1- La pollution temporaire** est une émission exceptionnelle de matière polluante à la suite d'une mauvaise manœuvre en usine, ou d'un accident de la circulation. Celle-ci peut être transférée à la nappe et la polluer. La durée de pollution dépend du pouvoir d'autoépuration et de la vitesse de percolation [94].

**IV-1-2- Les pollutions chroniques** sont plus insidieuses et dommageables; moins spectaculaires, elles peuvent passer inaperçues (pollution agricole par les nitrates; contaminations par hydrocarbures à partir de sols pollués) [94].

##### **IV-2- Pollution ponctuelle et pollution diffuse :**

**IV-2-1- La pollution ponctuelle** étant répandue sur une faible surface, n'affectera qu'un secteur limité de la nappe, mais qui pourra s'étendre par diffusion. Seuls les captages à proximité de la zone polluée et ceux situés en aval seront affectés. Selon la densité et la solubilité du polluant, la zone polluée sera circonscrite ou diffuse, à la surface ou à l'intérieur de la nappe [94].

**IV-2-2- La pollution diffuse** est l'épandage de produits polluants sur une grande surface, elle affecte l'ensemble de la nappe. Elle est souvent chronique et, à moins de traitements adaptés, décline la nappe pour la production d'eau potable (pollutions agricoles par pesticides) [94].

##### **IV-3- Pollution linéaire :**

Elle longe les routes et autoroutes, les canaux, les cours d'eau, les voies ferrées... qui sont à l'origine [94].

##### **IV-4- Pollutions historiques :**

De nombreuses zones continuent à être polluées. Elles ont été à une époque où les préoccupations environnementales étaient inconnues ou sommaires: pollution par les terrils de mines, les décharges non contrôlées... [94].

**V- Origine de la pollution :****V-1- Domestique :**

Cette pollution s'effectue à cause de l'assainissement défectueux, collectif ou individuel avec infiltration dans le sol, puits perdus, stations d'épuration urbaines surchargées, qui peuvent transmettre des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviats riches en polluants [94].

**V-2- Agricole :**

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. L'irrigation accélère le transfert [94].

Les élevages intensifs d'ovins, bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doivent être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisées comme engrais (ou comme aliments...), qui sont responsables de la charge en nitrates des nappes [94].

**V-3- Industrielle :**

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité : substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds... Les pollutions sont accidentelles, mais encore trop souvent chroniques (selon la période d'entretien.) [94].

**V-4- Urbaine et routière :**

Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation (hydrocarbures, métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident...) En ville, on trouve, en plus des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées (raccordement incomplet

ou défectueux, mauvais état des réseaux, surcharge ou mauvais fonctionnement des stations d'épuration...), par les fuites de cuves de carburants (essence, gasoil) [94].

L'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toits) produit une forte quantité d'eau de ruissellement chargée en produits polluants divers (hydrocarbures, déjections d'animaux...). Ces eaux pluviales polluées rejoignent les cours d'eau qui, la plupart des cas, les transfèrent à la nappe [94].

	
<p><b>Oued Bouakkous- Hammamet où l'APC a élu sa décharge municipale.</b></p>	<p><b>Les déchets liquides qui traversent la plaine de Tébessa ici au début à la sortie vers Bekkaria.</b></p>
	
<p><b>Cours d'eau transport de déchets liquides à la sortie de la ville de Tébessa vers Annaba.</b></p>	<p><b>Panache de fumée et de poussières de la cimenterie d'El Ma El Abiod.</b></p>
<p><b>Fig 50 : Différentes origines de pollution des eaux souterraines à la wilaya de Tébessa</b></p>	

# CHAPITRE IV

Résultats

et

Discussion

### I- Détermination des faciès chimiques en utilisant Excel :

En application de la méthode sus-citée (l'étude de la fiabilité et de la classification selon les faciès chimiques par Excel a donné les résultats suivants (tab 22) :

**Tab 22 : Tableau de fiabilité des analyses et des faciès chimiques des échantillons**

Forage	Balance ionique	Fiabilité des analyses	Faciès chimiques
<b>P<sub>5</sub> Tébéssa</b>	1.381	Très Fiabiles	Sulfaté calcique
<b>EF<sub>1</sub> Hammamet</b>	1.351	Très Fiabiles	Sulfaté calcique
<b>CH<sub>2</sub> Chéria</b>	0.328	Très Fiabiles	Sulfaté calcique
<b>M<sub>4</sub> El Ma El Abiod</b>	0.533	Très Fiabiles	Sulfaté calcique

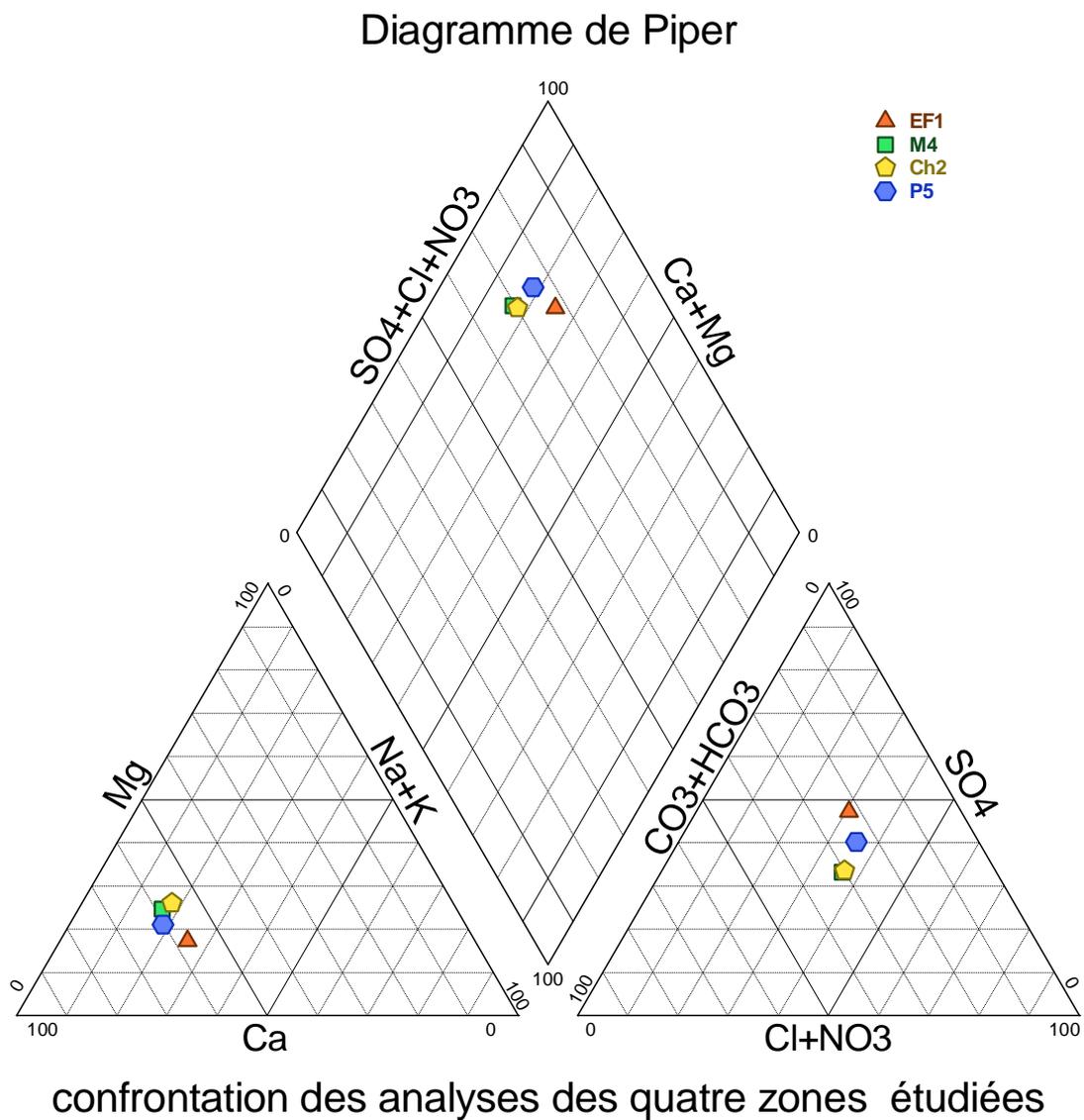
Les tableaux de fiabilité et classification des eaux des échantillons étudiés sont en annexe 7.

A première vue, tous les faciès sont sulfatés calciques, mais si l'on reconsidère les valeurs des radicaux en confrontant celles de chaque échantillon entre elles on constate que, disposées sur un diagramme, leur courbes ne sont pas identiques et que chaque forage porte l'empreinte de son environnement géologique et anthropique qui lui est propre.

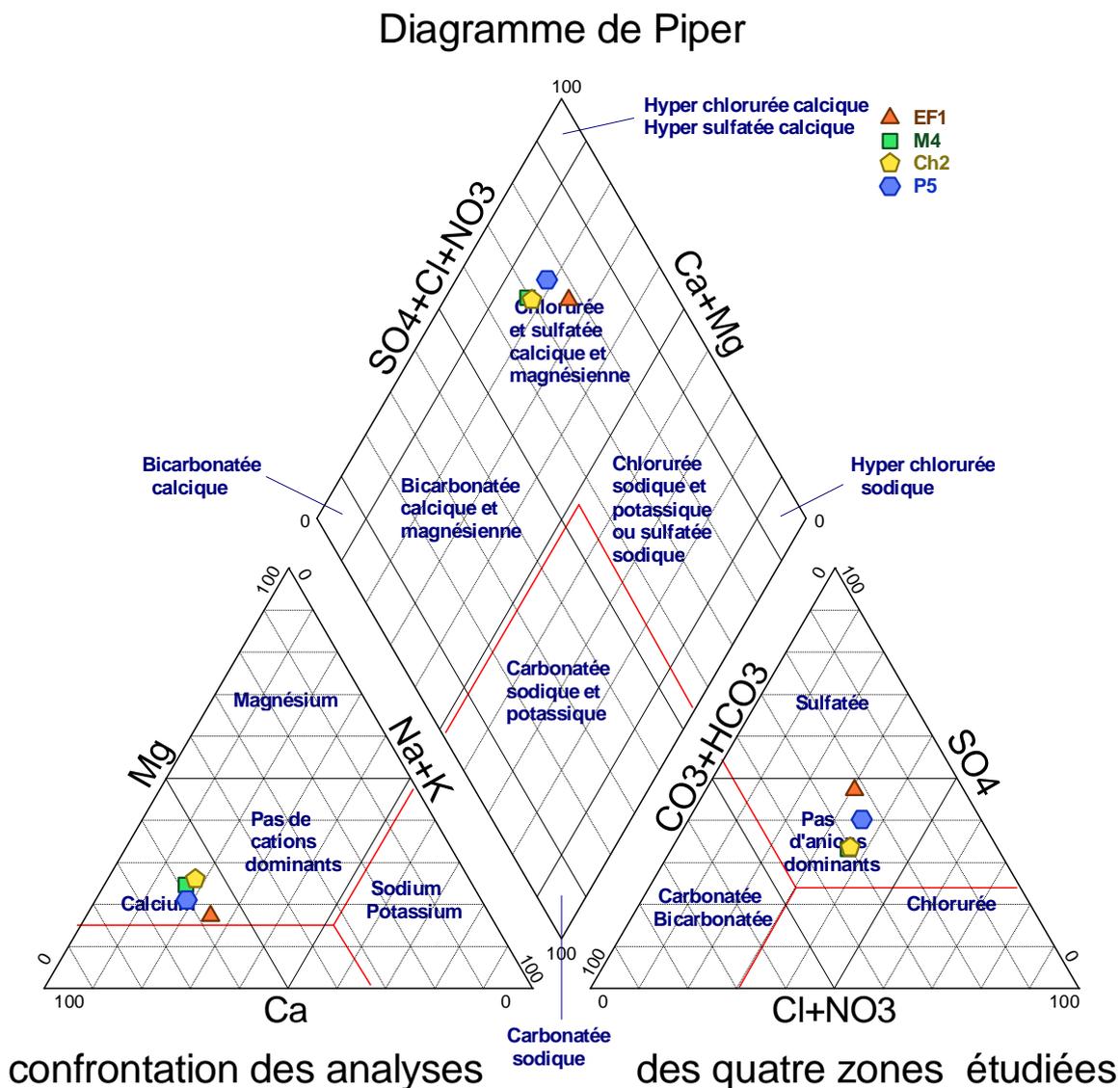
Les diagrammes des valeurs "en %" des radicaux de chaque forage sont en annexe 8.

### II- Confirmation par les diagrammes de Piper et Schoeller :

Les résultats obtenus sont confirmés par le logiciel "diagrammes" utilisé par les hydrogéologues pour la détermination des faciès chimiques des eaux et la représentation graphique des éléments chimiques, anions et cations, qui les composent. Le diagramme de Piper place les symboles des quatre échantillons analysés (individuellement et groupés) dans la zone des eaux sulfatées calciques. (Fig 51 et 52)

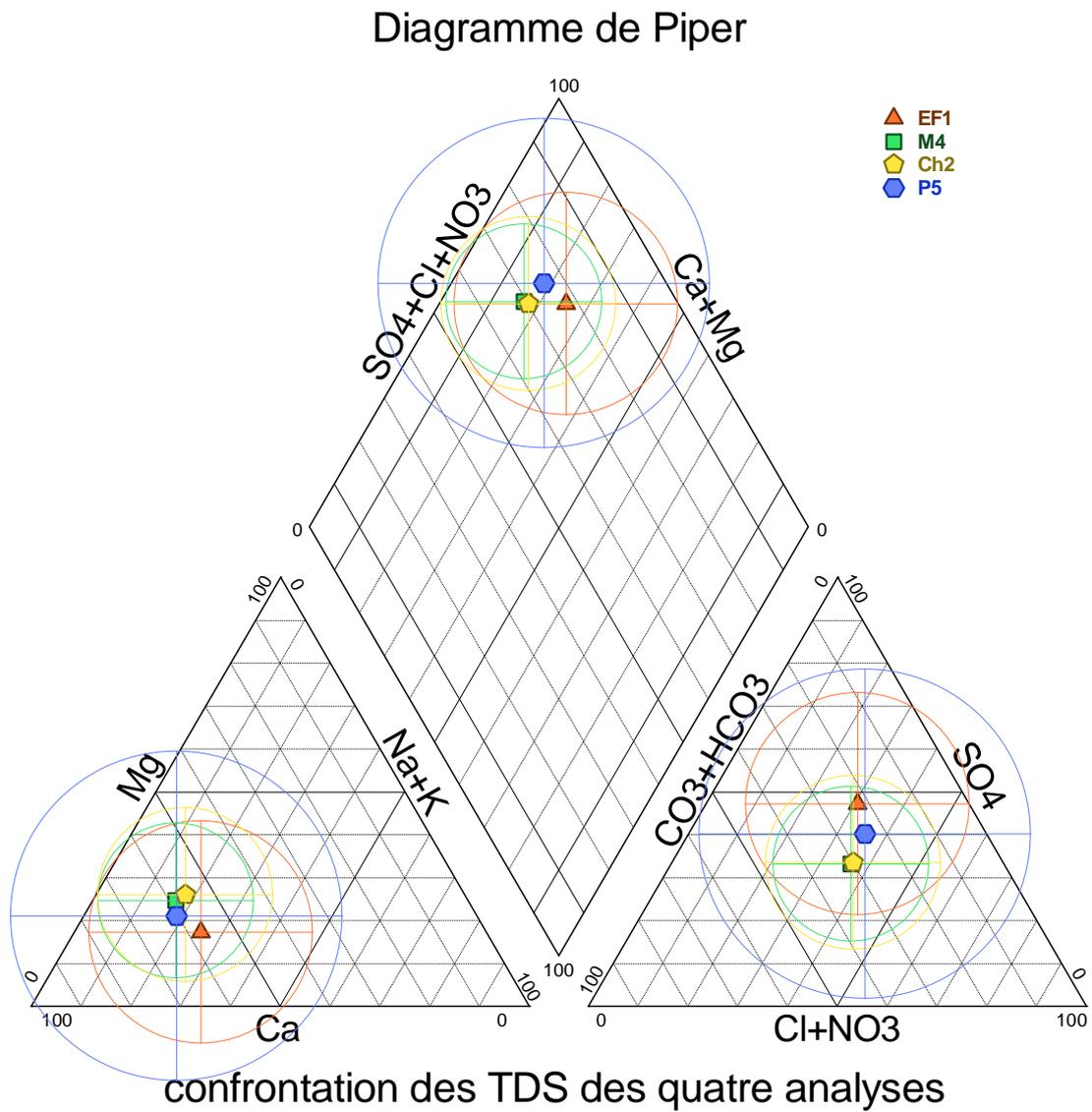


**Fig 51 : Confrontation des analyses des quatre sites étudiés**

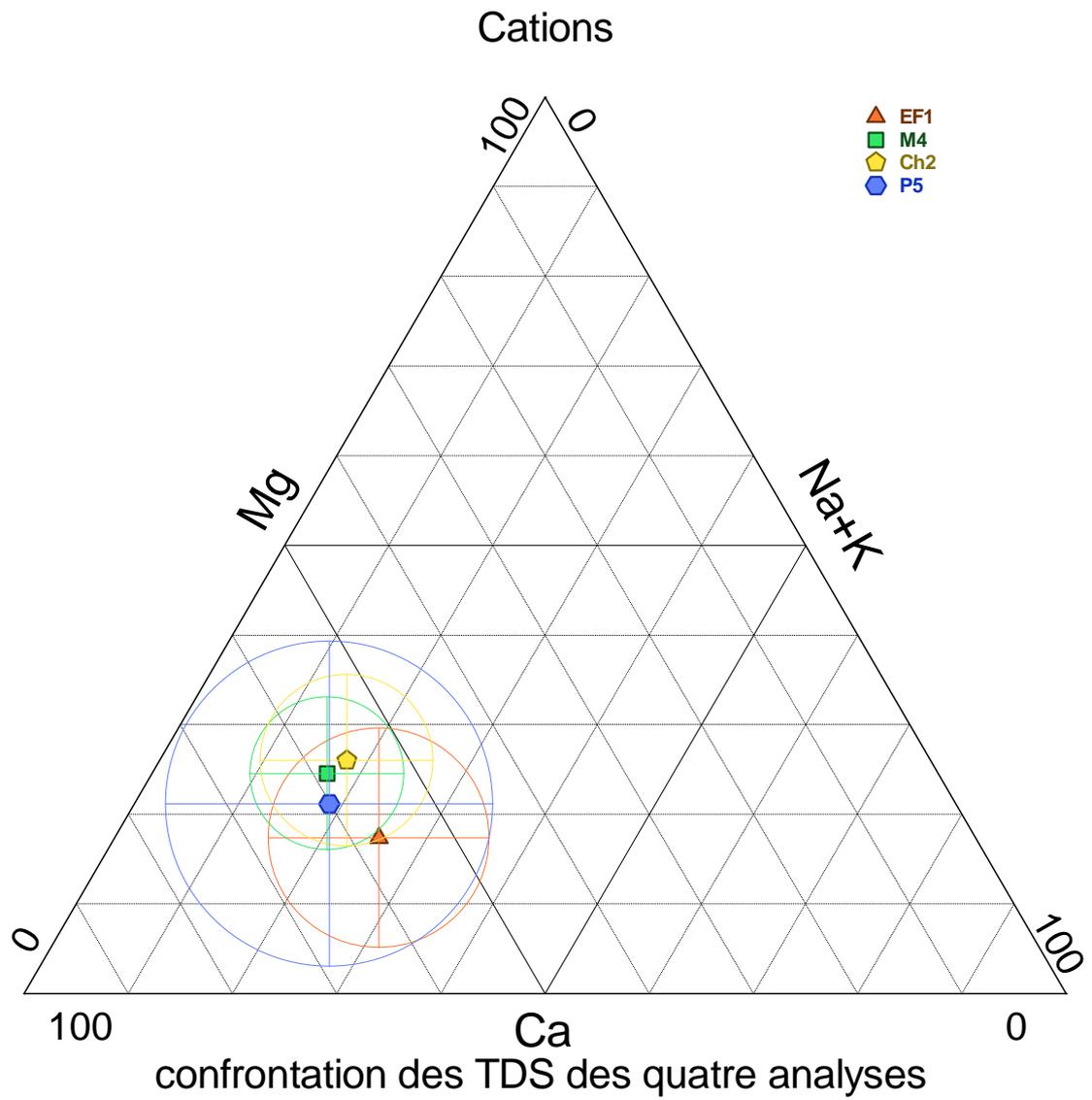


**Fig 52 : Confrontation des analyses des quatre sites étudiés avec indication des zones chimiques**

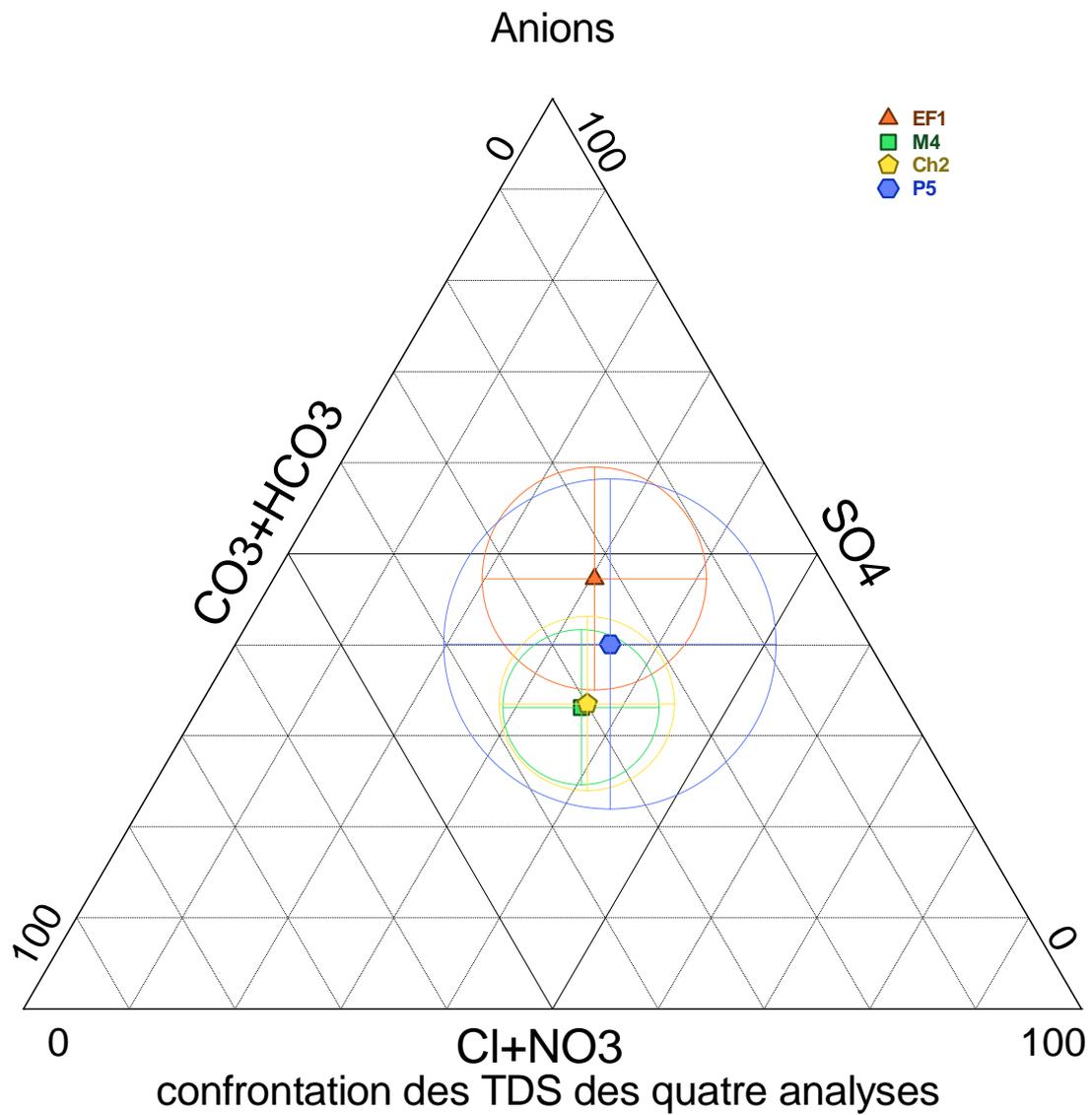
On constate un regroupement relatif des eaux des différents échantillons analysés, ce qui indique bien qu'elles sont de la même famille hydrochimique. Mais lorsqu'on s'intéresse aux éléments des analyses, à savoir les résidus secs ou TDS (Fig 53) ou la distribution des anions et cations (Fig 54 et 55) ou encore les diagrammes de Schoeller (Fig 56) où est représentée leur distribution pondérale, on s'aperçoit que chaque site présente une composition qui lui est spécifique et qui est explicable par sa géologie générale qui est appuyé par les fiches de forages.



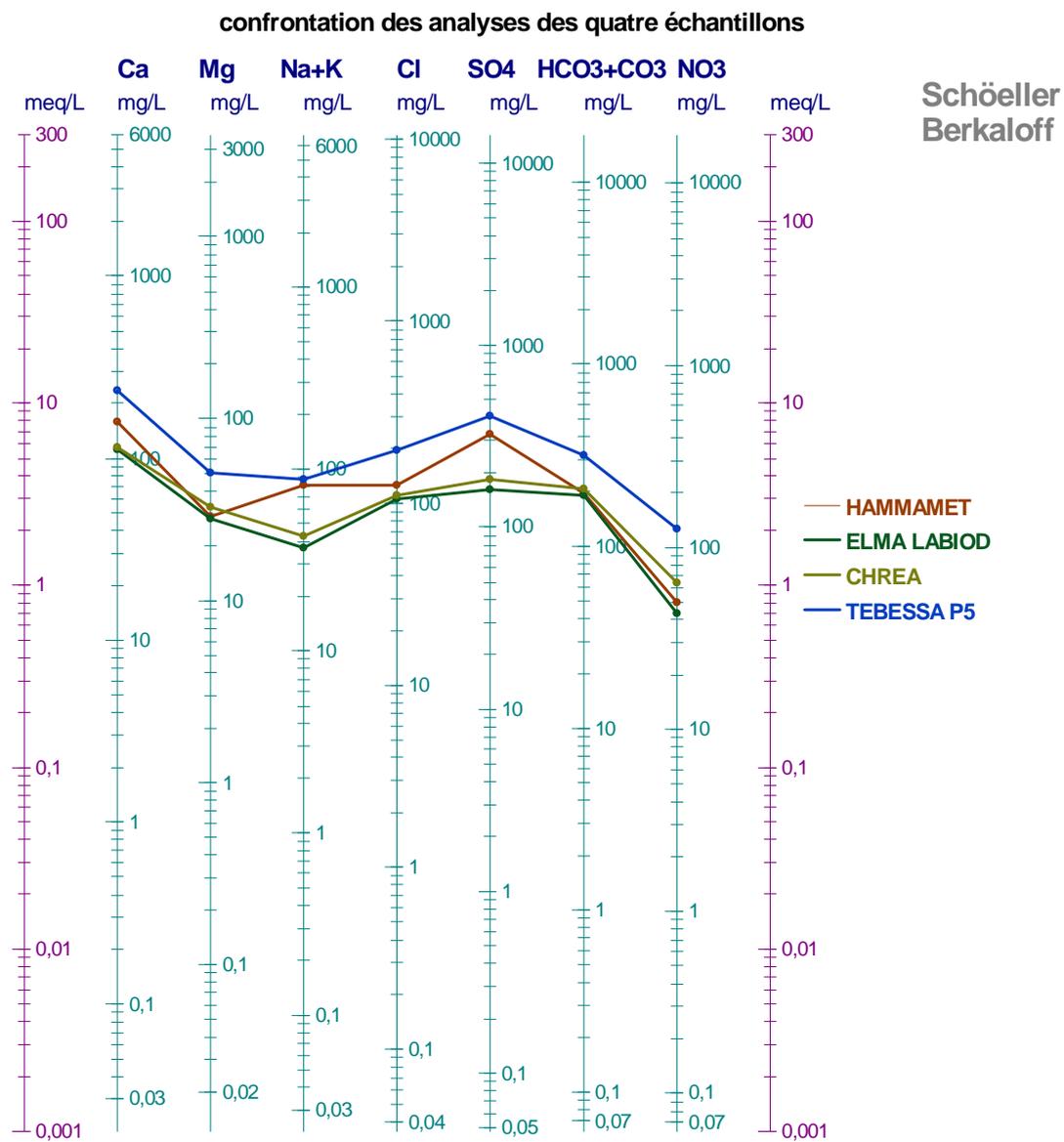
**Fig 53 : Confrontation des TDS des quatre analyses**



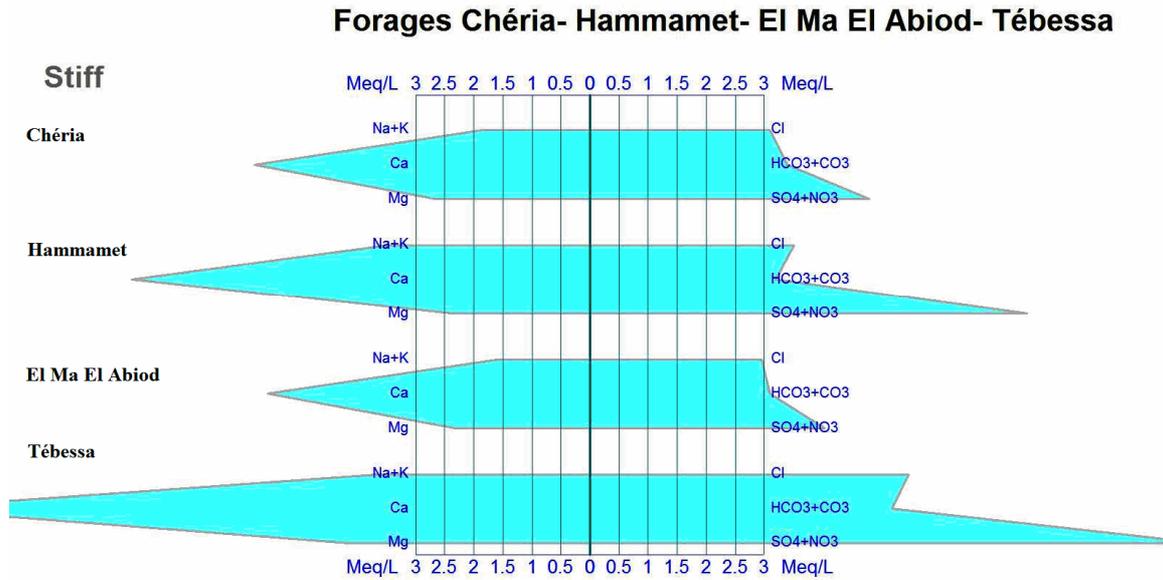
**Fig 54 : Confrontation des cations des quatre analyses**



**Fig 55 : Confrontation des anions des quatre analyses**



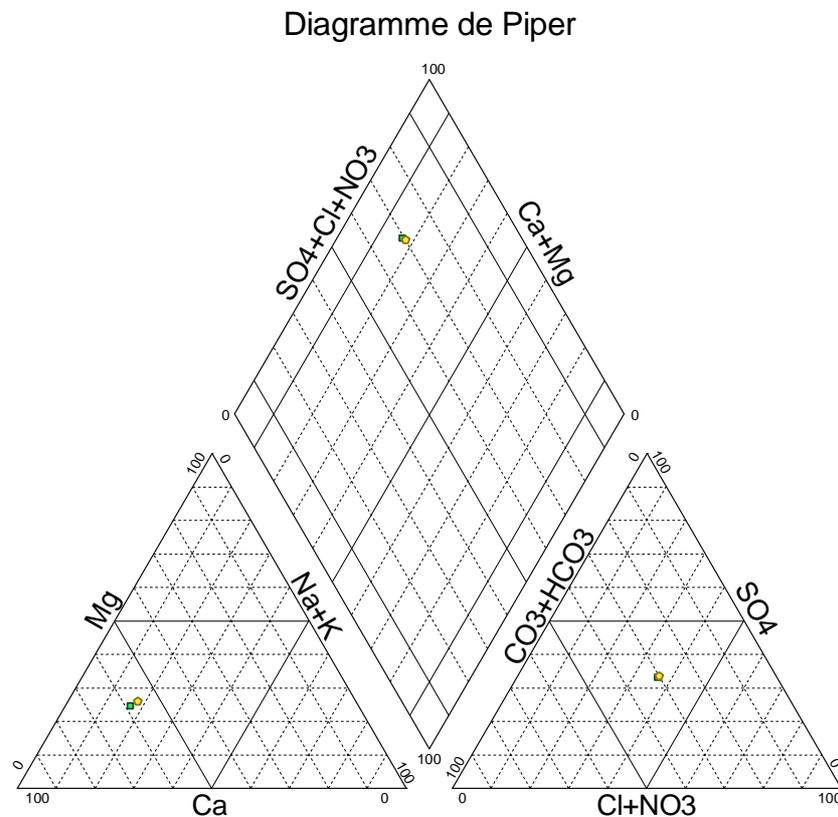
**Fig 56 : Confrontation des analyses des quatre échantillons**



**Fig 57 : Confrontation des analyses des quatre sites étudiés**

Les diagrammes individuels des échantillons sont en annexes 9, 10, 11 et 12.

La représentation graphique des eaux des forages CH<sub>2</sub> de Chéria et M<sub>4</sub>- El Ma El Abiod montre une superposition presque parfaite des deux échantillons. (Fig 58, 59, 60, 61 et 62)



confrontation des analyses des eaux des forages Ch2 et M4

**Fig 58 : Confrontation des analyses des eaux des forages CH<sub>2</sub> et M<sub>4</sub>**

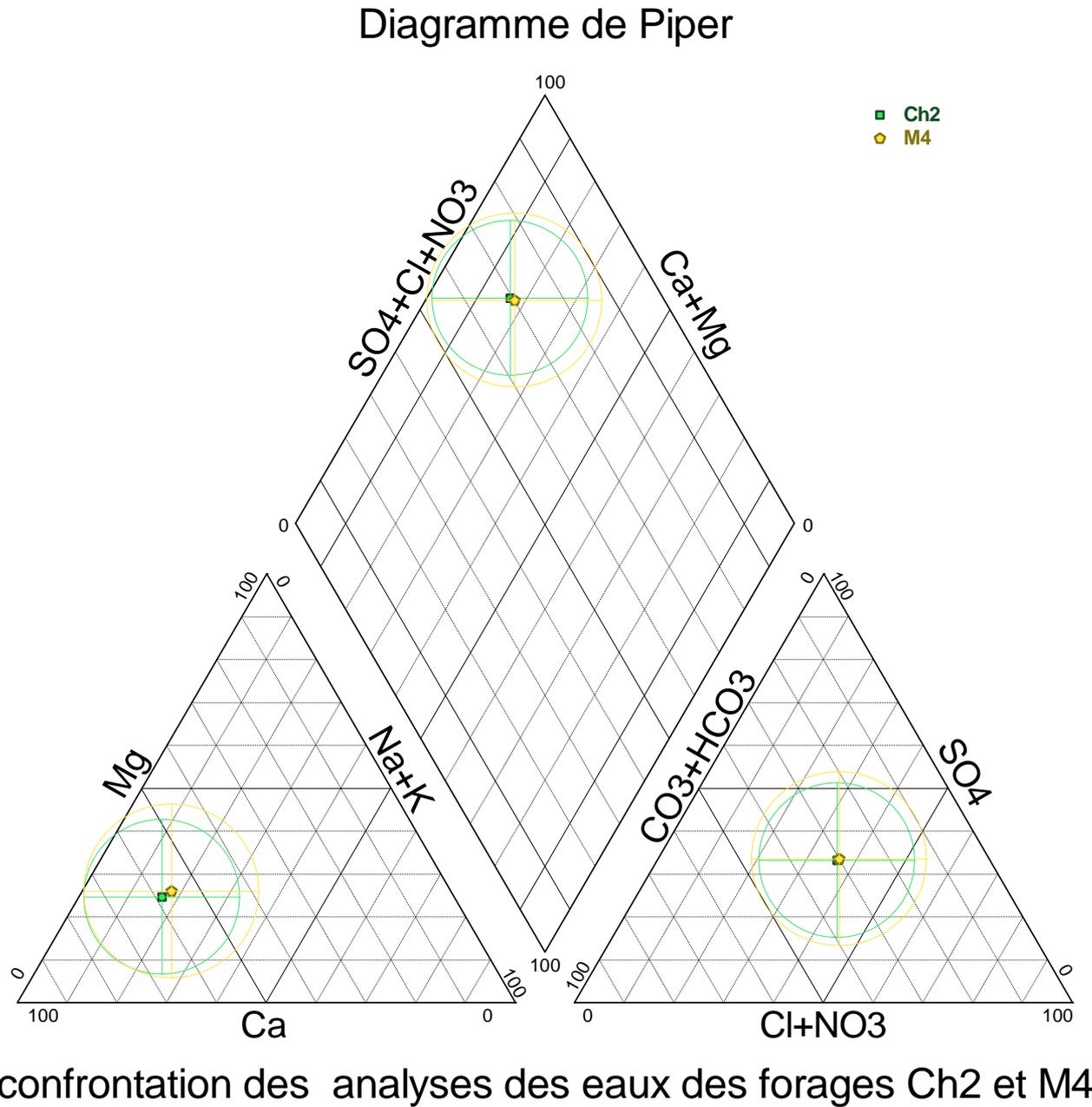
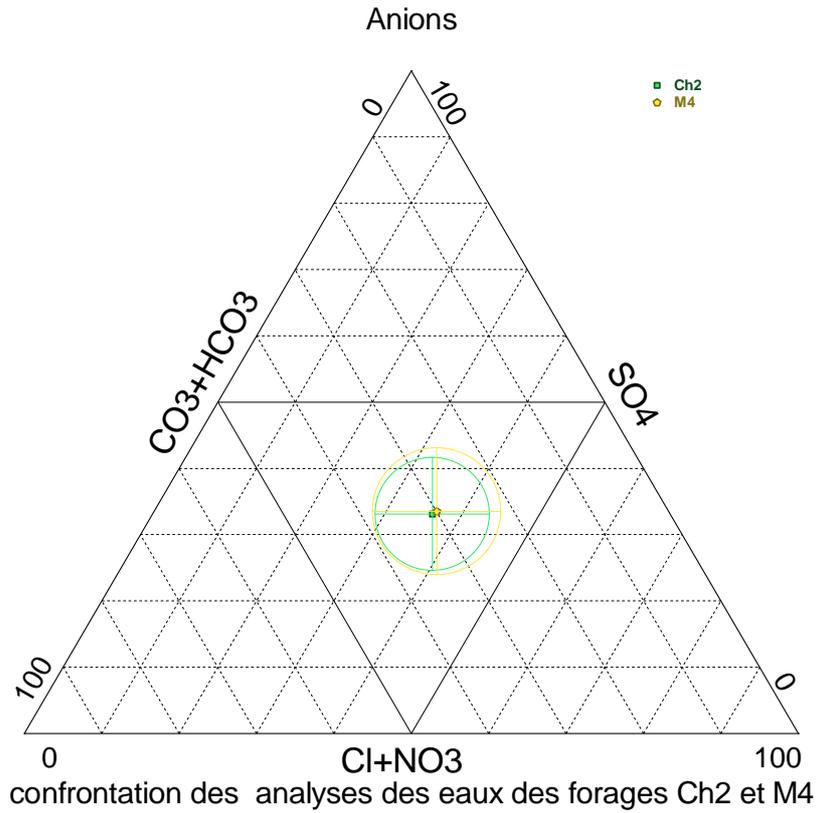
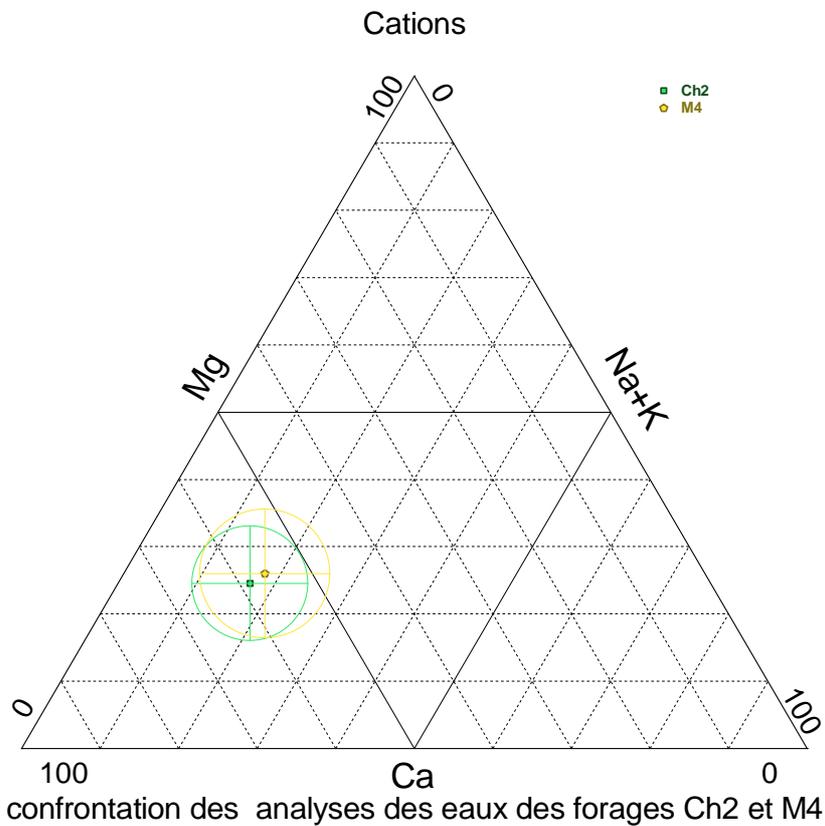


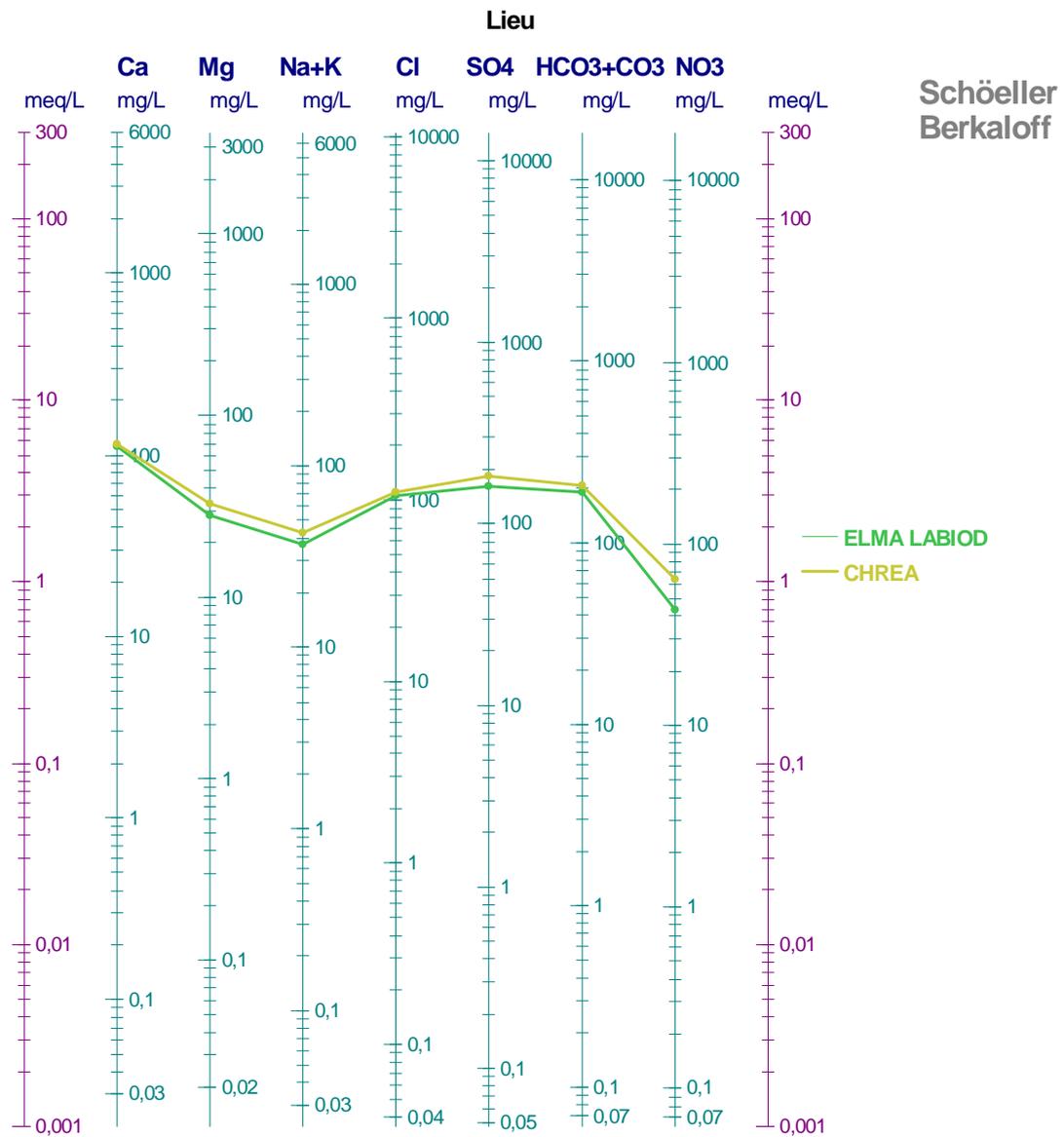
Fig 59 : Confrontation des analyses des eaux des forages CH<sub>2</sub> et M<sub>4</sub> avec valeurs TDS



**Fig 60 : Confrontation des analyses des eaux des forages CH<sub>2</sub> et M<sub>4</sub> : anions avec TDS**

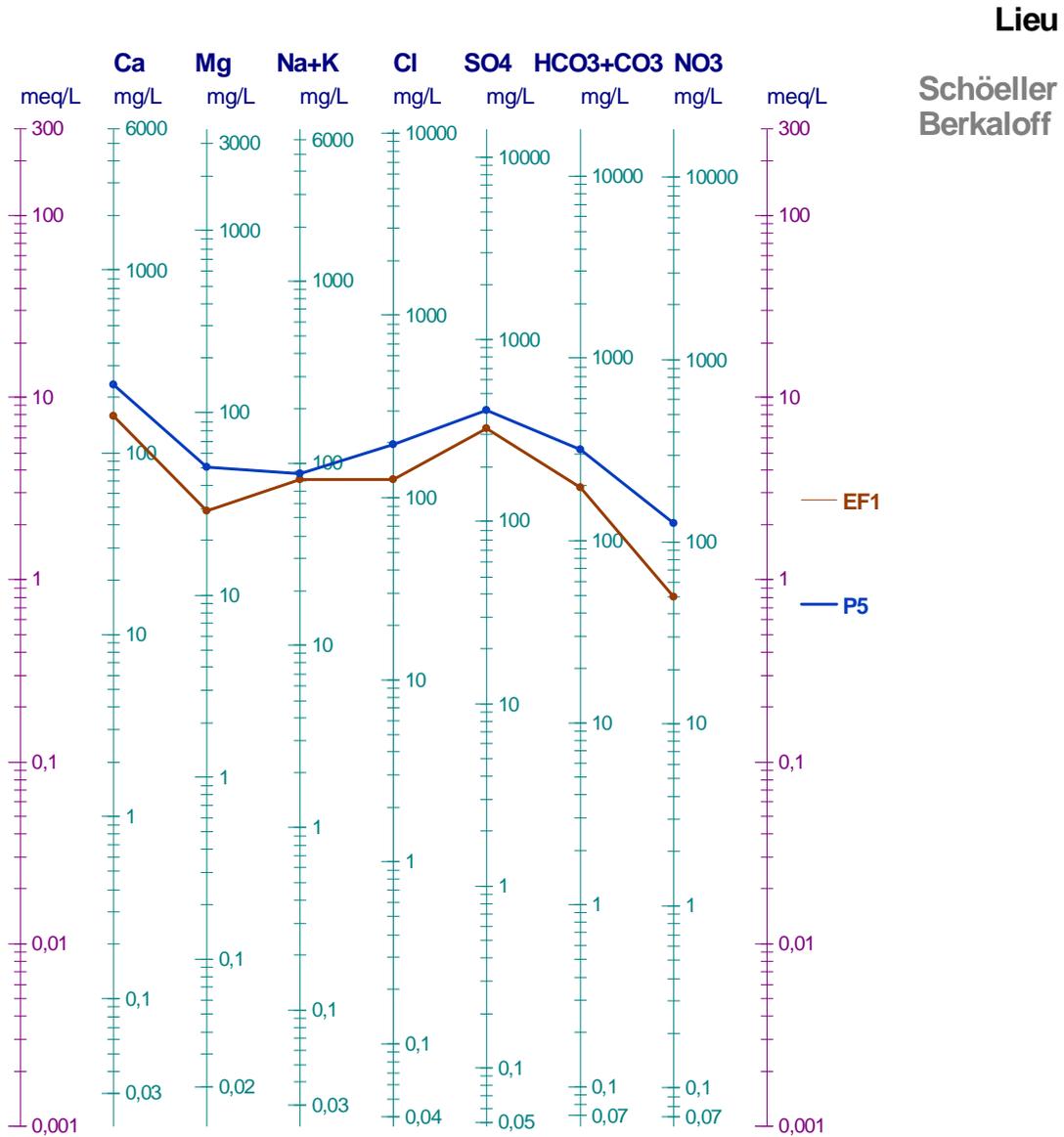


**Fig 61 : Confrontation des analyses des eaux des forages CH<sub>2</sub> et M<sub>4</sub> : cations avec TDS**



**Fig 62 : Confrontation des analyses de CH<sub>2</sub> et M<sub>4</sub>**

Les forages EF<sub>1</sub> et P<sub>5</sub> ayant le même type d'environnement géologique montrent une allure semblable pour ce qui est des valeurs relatives de leurs composants chimiques. (Fig 63)



**Fig 63 : Confrontation des analyses de P<sub>5</sub> et EF<sub>1</sub>**

### III- La minéralisation :

La minéralisation des eaux est due à leur environnement naturel.

Il y a lieu de signaler la superposition des échantillons M<sub>4</sub> et CH<sub>2</sub> sur les diagrammes ainsi que le jumelage des échantillons P<sub>5</sub> et EF<sub>1</sub> quoique P<sub>5</sub> présente une hyper concentration de presque tous les éléments majeurs.

#### III-1- Origines de minéralisation :

Il est tout à fait normal que le calcium présente la valeur la plus élevée parmi les cations de tous les échantillons; nous sommes en pays calcaire. L'étude géologique et géomorphologique des sites des forages montrent tous une position à proximité d'une alimentation souterraine à partir de bordure calcaire et les fiches des forages montrent une composante calcaire non négligeable au niveau des nappes.

Toutefois si la valeur de 158.34 mg/l du forage EF<sub>1</sub> est à la limite acceptable, la valeur affichée par le forage P<sub>5</sub> (237,27 mg/l) est hors norme.

Les nappes calcaires qui alimentent les points d'eau échantillonnés étant karstifiées, les eaux bicarbonatées de ces réservoirs influent sur la composition des nappes réceptrices (le sens d'écoulement étant de la limite à flux entrant vers les forages étudiés).

Dans le calcaire, les eaux s'enrichiront en sels de calcium et de magnésium, ce dernier peut aussi être issu de marnes et de gypse, en plus les activités anthropiques. Au forage P<sub>5</sub>, on a marqué la concentration magnésienne la plus élevée (50,46 mg/l) qui dépasse légèrement les normes Européennes (>50 mg/l selon la directive (80/778/CEE) du journal officiel de CE N° 229 du 30/08/1980 et l'arrêté du 28/12/2010 du journal officiel français N° 0006 du 08/01/2011), tandis que les autres forages ont des valeurs presque égales (CH<sub>2</sub> : 32,63 , EF<sub>1</sub> : 29,03 et M<sub>4</sub> : 28,23 mg/l), leurs concentrations sont acceptables.

Les sulfates sont dus aux fréquents passages gypseux surtout en couches de 2 à 3m posées sur les calcaires Turoniens et Trias de la région. D'après les résultats des analyses, on constate que le forage P<sub>5</sub> (Tébessa) dépasse les normes pour les sulfates (409,00 mg/l), mais les forages CH<sub>2</sub> et M<sub>4</sub> ont des concentrations acceptables proches (182 et 161 mg/l), tandis que la valeur chez EF<sub>1</sub> constitue presque le double de cette dernière, mais elle reste dans les normes.

Les forages M<sub>4</sub>, CH<sub>2</sub> et EF<sub>1</sub> ont des concentrations en chlorures proches les unes des autres (105, 110, 125 mg/l), dues à l'environnement relativement pauvre en matières argileuses, alors que le forage P<sub>5</sub> affiche la concentration la plus élevée (195 mg/l) due à sa position dans un milieu très argileux, toutes les concentrations sont acceptables.

Bien les quatre forages soient dans les normes, la concentration en sodium des eaux du P<sub>5</sub> et de EF<sub>1</sub> est élevée (80 mg/l), c'est pratiquement le double de la valeur de CH<sub>2</sub> : 42 mg/l et M<sub>4</sub> : 36 mg/l. Le potassium existe dans tous les forages en concentration de 1,00 mg/l, sauf P<sub>5</sub> (Tébessa) qui a la concentration la plus élevée (8,00 mg/l), toutes ces valeurs sont acceptables.

### III-1-1- Le cas du forage P<sub>5</sub> :

Le cas du forage P<sub>5</sub> est bien particulier de par la haute concentration de ses composants et surtout la valeur des nitrates qui est inquiétante non seulement pour le point d'eau mais pour toute la nappe.

Selon sa position dans la ville, son environnement géologique et hydrogéologique et les activités anthropiques en amont ;

- l'apport du calcium au forage P<sub>5</sub> pourrait avoir trois sources relativement importantes ; Dj Djebissa, le flux entrant de Dj Doukane et Dj Anoual, et sa propre composante calcaire qui peut être aussi attribuée à son proche environnement dans la nappe. Les bicarbonates pourraient être du aux gaz et rejets divers (zone industrielle amont)
- l'apport en magnésium et en chlorure peuvent avoir différentes origines dont on cite ; l'origine naturelle (Trias de Dj Djebissa, dolomite et composante argileuse du terrain) et anthropique (zone industrielle en amont du site ou conduite d'eau usée détériorée).

### III-2- Origines des éléments indésirables :

L'élément le plus important aussi bien de par sa concentration élevée dans trois forages étudiés (P<sub>5</sub>, CH<sub>2</sub> et EF<sub>1</sub>) que de sa nuisance à la santé humaine ; est le nitrate.

#### III-2-1- Les nitrates :

Les nitrates présentent certaines caractéristiques qui permettent de mieux comprendre l'évolution des teneurs dans les nappes qui sont observées ces dernières années :

- Les nitrates sont très stables et très solubles dans l'eau ;
  - La pénétration dans les sols est lente. La vitesse de migration serait environ de 1m par an.
- La teneur en nitrate dans les nappes est donc influencée par les variations des apports avec un retard correspondant au temps de transfert [71].

#### III-2-1-1- Nitrates et risques sanitaires :

Les nitrates ne sont pas toxiques en eux-mêmes. C'est leur transformation en nitrites et composés nitrosés (nitrosamines et nitrosamides) qui peuvent provoquer des troubles caractéristiques [71].

Outre la boisson, l'alimentation est la principale source de nitrates et nitrites pour l'homme. Les légumes (carottes, épinards, radis, courgettes, pommes de terre ...), les aliments carnés, et les charcuteries présentent des concentrations importantes en nitrates.

En fait, l'eau du robinet entre pour 20 % des apports journaliers, sauf chez l'enfant où elle peut représenter jusqu'à la moitié de la dose ingérée en raison de la quantité d'eau ingérée par rapport au poids [71].

L'OMS a fixé la dose journalière admissible de nitrates en fonction des risques mesurés ou supposés, DJA = 3,65 mg/kg de poids corporel. La limite maximale autorisée à 50 mg de nitrates par litre dans les adductions d'eau potable a été précisée en fonction des recommandations suivantes :

- Le seuil d'ingestion de nitrates par l'homme est fixé à 3,65 mg/kg de poids corporel (dose journalière admissible), soit un seuil de 250 mg/jour pour un poids moyen de 70 kg ;
- La quantité moyenne de nitrates ingérée est évaluée dans une alimentation de type occidental à 175 mg/jour ;
- On estime la consommation quotidienne moyenne en eau à 1,5 litres, ce qui permet alors de préciser la norme suivante : 75 mg de nitrates pour 1,5 litres d'eau soit 50 mg/l [71].

### **III-2-1-2- Métabolisme des nitrates chez l'homme :**

Les nitrates ingérés sont soit excrétés par l'organisme, soit transformés en nitrites (dans l'estomac ou dans la salive), soit absorbés (figure 64). Les nitrites peuvent alors entraîner la formation de méthémoglobine ou de composés N-nitrosés [71].

### **III-2-1-3- Méthémoglobinie :**

Les nitrites résultant de la réduction des nitrates oxydent les ions ferreux de l'hémoglobine en ions ferriques. L'hémoglobine se transforme alors en méthémoglobine, incapable de céder l'oxygène aux tissus. Au-delà d'un certain taux de méthémoglobine, différents symptômes apparaissent d'une cyanose légère à des troubles de conscience pouvant évoluer vers la mort par anoxie cellulaire [71].

Les nourrissons sont plus sensibles :

- Contrairement à l'adulte, leur estomac faiblement acide contient une flore bactérienne capable de transformer les nitrates en nitrites,
- Ils présentent une déficience en enzyme transformant la méthémoglobine en hémoglobine, l'hémoglobine fœtale se transforme assez facilement en méthémoglobine,
- Ils boivent, relativement à leur poids, plus d'eau que les adultes [71].

Des conditions de prédisposition à la méthémoglobinémie ou cyanose du nourrisson semblent exister pour les nourrissons dont la mère a consommé régulièrement des eaux à fortes teneurs en nitrates. Il semble que, dans leur majorité, les cas de méthémoglobinémie surviennent quand les taux de nitrates dans l'eau de consommation dépassent 100 mg/l [71].

**III-2-1-4- Nitrosamines-nitrosamides :**

Les nitrosamines peuvent se former in vivo par réaction de nitrites à pH inférieur à 3 (et donc de leurs précurseurs, les nitrates) sur les amines secondaires ou tertiaires présentes dans les denrées alimentaires et dans divers médicaments [71].

On possède peu de renseignements sur le métabolisme des nitrosamines chez l'homme. Il a été établi chez toute une gamme d'espèces animales que les composés nitrosés sont cancérogènes. Chez l'homme, de nombreuses études ont recherché d'éventuelles corrélations entre le taux de nitrates dans l'eau de boisson et la survenue de cancers, digestifs essentiellement. Leurs résultats ne permettent pas de conclusions définitives [71].

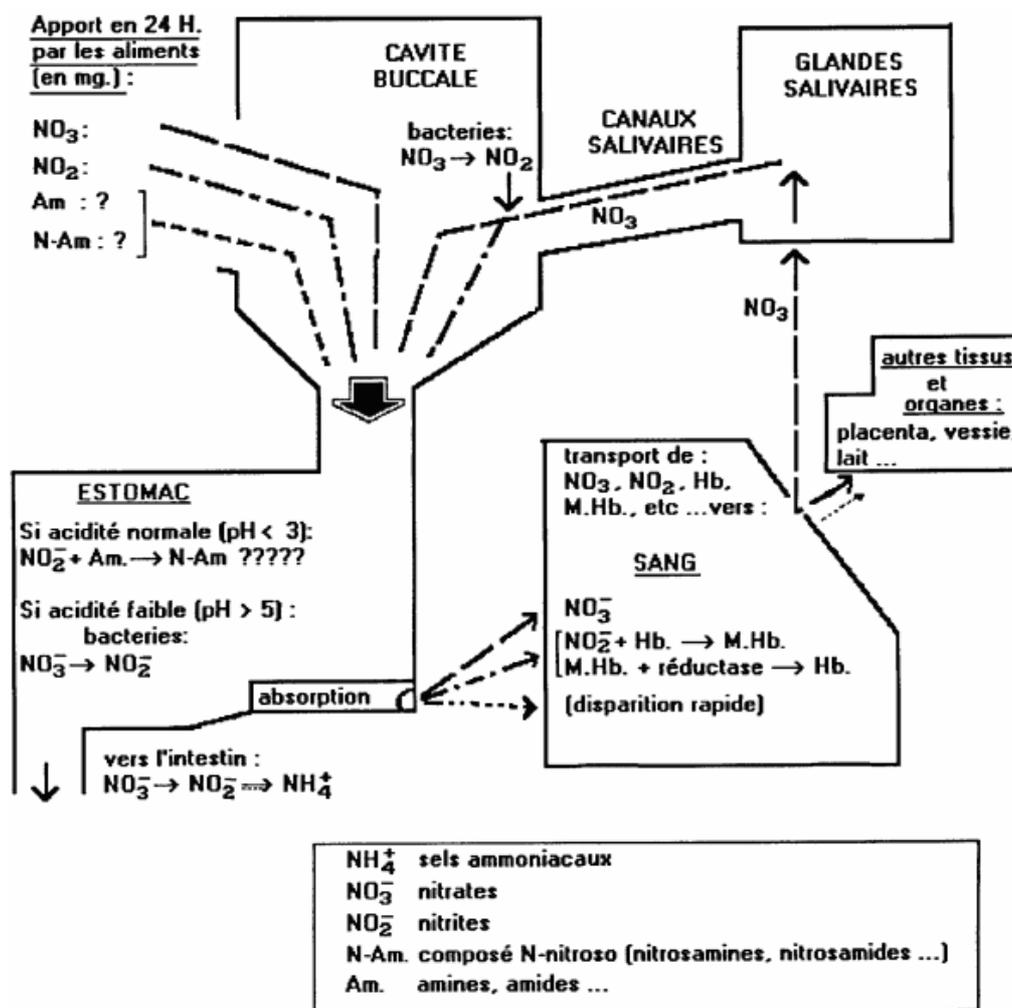


Fig 64 : Devenir des nitrates, nitrites et composés N-nitroso dans l'organisme [71]

### III-2-2- Origine des nitrates dans les eaux :

Les nitrates présents dans notre environnement (air, eau, sol) peuvent avoir plusieurs origines. Les nitrates existent dans les eaux à l'état naturel en absence de pollution. Leur concentration, alors, n'excède en général pas 3 mg/l à 5 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines [71].

Les teneurs en nitrates sont en augmentation ces dernières années. La progression dans les eaux souterraines est couramment de 0,5 à 1 mg/l/an et peut atteindre 2 mg voire plus. Une situation voisine se rencontre dans les eaux superficielles [71].

L'augmentation des teneurs des composés azotés traduit une pollution de la ressource liée aux activités humaines (tab 24) et en particulier aux activités de surfaces (tab 23 et 25) [71].

**Tab 23 : Enrichissement en nitrates de la nappe d'eau souterraine [24]**

Exploitation agricole	Apport moyen en azote par les engrais (kg/ha/an)	Concentrations moyennes en nitrate dans les nappes (mg / l)
Prairie	20	0 à 30
Culture normale	70	0 à 100
Culture intensive	170	0 à 250

**Tab 24 : Principales origines des NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> [71]**

Eaux	Composés azotés concernés	Type de pollution	Source de pollution
Eaux superficielles des rivières, canaux, lacs, étangs	Ammonium Azote organique	Ponctuelle	Rejets industriels et domestiques Rejets d'effluents d'élevage
	Nitrates Nitrites	Ponctuelle et diffuse	Alimentation des eaux superficielle par des nappes polluées
Eaux souterraines	NO <sub>3</sub> (presque uniquement)	Diffuse	"Fuites" des zones industrielles et habitées Activités agricoles
		Macroponctuelle ou macrodiffuse	Même source que ci-dessus Rejets industriels, domestiques de l'agriculture ou des élevages

**Tab 25 : Teneurs en nitrates et activités anthropiques [71]**

Teneurs	Activités
Très élevées et croissantes	Occupation urbaine et industrielle dense et/ou agriculture intensive.
Moyennes	Agriculture traditionnelle moyennement intensive, habitat rural dispersé
Faibles	Forêt et zone d'élevage intensif avec des prairies permanentes peu fertilisées.

Les concentrations en nitrates dans les nappes sont généralement d'autant plus élevées que celles-ci sont sensibles, peu protégées, influencées par l'urbanisation, les sites industriels et l'agriculture ou l'élevage intensif (tab 23, 24 et 25). Ces concentrations varient aussi avec la vitesse de circulation et le renouvellement des eaux dans les nappes [71].

Les nitrates sont relativement plus élevés que la moyenne rencontrée dans les eaux karstiques (CH<sub>2</sub>: 64 et M<sub>4</sub>: 43 mg/l) mais comme les principales activités anthropiques dans la région sont l'agriculture et l'élevage, on doit s'attendre à une augmentation des valeurs des éléments lessivés à partir des engrais et des déjections animales.

Pour le forage EF<sub>1</sub> on pense que la concentration élevée en nitrates (50 mg/l) est due au lessivage d'une décharge temporaire dont le site a été deux années durant dans le lit d'un talweg en amont du point d'eau (pseudo enquête auprès des habitants). C'est un cas de pollution historique. (La valeur des nitrates qui frôle la limite de l'admissible a probablement la même cause).

Le cas du forage P<sub>5</sub> de Tébéssa est le plus inquiétant, parce qu'il présente une concentration excessivement en nitrates qui dépasse les normes nationales et internationales énormément, sa valeur (126 >>> 50mg/l (CMA), différentes sources de contaminations ont été retenues.

#### **IV- Interprétation des échantillons aux valeurs inquiétantes :**

##### **IV-1- Le forage EF<sub>1</sub> :**

De par sa situation dans un champ agricole en l'un des points bas de son environnement, le forage EF<sub>1</sub> est exposé à la collecte des lessiviats des engrais d'un important rayon en plus des champs en amont.

Le point d'eau Ain-Chabro - Hammamet est probablement contaminé par les eaux qui ont lessivé une décharge communale temporaire pendant environ deux ans à quelques kilomètres dans un talweg en aval (on ignore les mesures prises après la cessation des déversements des déchets solides de la commune). (Source : habitants locaux).

##### **IV-2- Le forage P<sub>5</sub> :**

Le point d'eau P<sub>5</sub> de Tébessa quant à lui a une position spéciale que touchent toutes les sources de pollution urbaines à savoir ;

- Des fuites des canalisations, devenues incontrôlables de par la complexité des réseaux avec les fosses perdues aux raccordements mal réalisés des constructions illicites aux zones limitrophes,
- Des fuites d'origine industrielle dont la zone d'activité est à un kilomètre et demi en amont ;
- Pollution diffuse collectée par la nappe en amont où les déchets liquides de certains quartiers sur la route de Bekkaria sont toujours drainés par des canaux rudimentaires à ciel ouvert et au plancher non étanche.
- L'ampleur de la ville de Tébessa, aggravée par l'exode rurale ainsi que les habitudes de vie de la campagne dont l'espace individuel permet certains écarts sans conséquences graves sur la santé.

Toutes ces sources et bien d'autres font que la concentration des nitrates soient aussi élevée au P<sub>5</sub>.

**NB :** le caractère diffusif du transport des éléments dissous de la nappe poreuse de Tébessa rend les recherches des origines ponctuelles (sources de pollution) très difficiles à localiser.

### V- Confrontation des résultats des échantillons avec les normes nationales et internationales :

Les analyses d'un nombre des paramètres physicochimiques des eaux prélevées à partir des forages P<sub>5</sub>, EF<sub>1</sub>, M<sub>4</sub> et CH<sub>2</sub> sont comparées avec les valeurs maximales admissibles fixées par les réglementations Algériennes et de l'OMS. (Voir le tableau ci-dessous) :

**Tab 26 : Comparaison des analyses avec les normes de potabilité**

Elément		Normes Algériennes (NA)	P <sub>5</sub> Tébessa	EF <sub>1</sub> Hammamet	M <sub>4</sub> ElMaElAbiod	CH <sub>2</sub> Chéria	Normes OMS	Observations
T (°C)		25	22	22	22	22		Tous les forages sont acceptables selon NA
Turbidité (NTU)		5	0,81 brute 0,55 décanté	1,14 0,82	1,74 1,00	5,11 0,92		CH <sub>2</sub> hors les normes algériennes (brute)
pH		≥6,5 et ≤9,5	7,19	7,08	7,81	7,44	>6,5 et <9,5	Tous les forages sont acceptables selon NA et OMS
Conductivité (μS/cm)		2800	2020	1320	920	1010		P <sub>5</sub> acceptable en (NA) mais le plus élevé parmi EF <sub>1</sub> , M <sub>4</sub> et CH <sub>2</sub> , ce qui veut dire qu'il est le plus chargé en sels minéraux (voir leur concentrations)
TDS (mg/l)		1500	1354	824	574	632	< 1000	P <sub>5</sub> acceptable en (NA) mais le plus élevé par rapport aux autres forages, par contre, il est hors les normes (OMS)
TH	°F		80,3	51,7	39,6	42,5		Tous les forages sont dans les normes NA et OMS sauf P <sub>5</sub> , toutes ces eaux sont très dures (TH > 35 °F)
	mg (Ca+Mg)/l	200	287,73	187,37	139,62	148,37	200	
TAC	°F		26,0	16,0	15,5	17,0		Tous sont acceptables selon NA
	mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l	500	317,20	195,20	189,10	207,40		

Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	200	237,27	158,34	111,39	115,74		P <sub>5</sub> hors les normes (NA), il est plus chargé en calcium
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)		50,46	29,03	28,23	32,63		
Na <sup>+</sup> (mg/l)	200	80,00	80,00	36,00	42,00	200	Tous les forages sont acceptables
K <sup>+</sup> (mg/l)	12	8,00	1,00	1,00	1,00		P <sub>5</sub> acceptable en (NA) mais le plus élevé parmi EF <sub>1</sub> , M <sub>4</sub> et CH <sub>2</sub>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	400	409,00	324,00	161,00	182,00	500	P <sub>5</sub> hors les normes (NA) mais acceptable selon OMS, Les autres sont acceptables selon (NA et OMS)
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	500	195,00	125,00	105,00	110,00	250	P <sub>5</sub> acceptable en (NA et OMS) mais le plus élevé parmi EF <sub>1</sub> , M <sub>4</sub> et CH <sub>2</sub>
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	5	0,09	0,05	0,00	0,07		P <sub>5</sub> acceptable en (NA) mais le plus élevé parmi EF <sub>1</sub> , M <sub>4</sub> et CH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> n'existe pas à M <sub>4</sub>
NH <sub>4</sub> <sup>2+</sup> (mg/l)	0,5	0,02	0,00	0,00	0,00		Ammonium existe seulement à P <sub>5</sub> (acceptable en NA)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,2	0,00	0,00	0,00	0,0187	0,2	Nitrites existe seulement à CH <sub>2</sub> (acceptable en NA et OMS)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	50	126,00	50,00	43,00	64,00	50	P <sub>5</sub> hors les normes (NA et OMS) EF <sub>1</sub> à la limite des normes (NA et OMS)
Fe (µg/l)	300	1,632	46,43	20,21	103,60	300	CH <sub>2</sub> acceptable en NA et OMS mais le plus élevé parmi P <sub>5</sub> , EF <sub>1</sub> et M <sub>4</sub>
Zn (µg/l)	5000	0,000	0,000	197,80	163,8	3000	Zinc est plus élevé à M <sub>4</sub> (acceptable en NA et OMS), et n'existe pas à P <sub>5</sub> et EF <sub>1</sub>
Pb (µg/l)	10	0,000	0,000	0,116	0,000	10	Plomb apparaît en traces à M <sub>2</sub> seulement (acceptable)
Cd (µg/l)	3	0,000	0,000	0,000	0,000	3	Cadmium et Arsenic n'apparaissent pas à aucun de quatre forages
As (µg/l)	10	0,000	0,000	0,000	0,000	10	

D'après ce tableau, on constate que :

- Tous les forages échantillonnés ont un pH et une température acceptables.
- Toutes les eaux des forages étudiés sont très dures parce qu'elles ont une dureté totale (TH > 35 °F), dont l'ordre descendant des forages (en TH) est : P<sub>5</sub>, EF<sub>1</sub>, puis CH<sub>2</sub> et enfin M<sub>4</sub>.
- Les eaux de forage P<sub>5</sub> situé à Tébessa contient des concentrations élevées dépassées les normes (Algériennes et OMS), pour les nitrates (126 mg/l), les sulfates (409 mg/l) et le calcium (237,27 mg/l), ce dernier est confirmé par la dureté la plus élevée (P<sub>5</sub> : 80,3 °F), tandis que les autres paramètres sont acceptables par les normes mais, ces eaux sont fortement minéralisées parmi les quatre forages, et ont la conductivité électrique la plus élevée (2020 µS/cm).
- Les eaux de forage EF<sub>1</sub> de Ain Chabro- Hammamet et CH<sub>2</sub> de Chéria sont dans les normes sauf les nitrates qui sont à la limite pour EF<sub>1</sub>, (50 mg/l) et hors les limites pour CH<sub>2</sub> (64 mg/l). CH<sub>2</sub> présente aussi une turbidité de 5,11 NTU due sûrement à une turbulence en amont.
- Au Ma El Abiod, les paramètres d'eau de forage M<sub>4</sub> sont tous acceptables par les normes, cette eau est la plus légère parce qu'elle est la moins chargée en minéraux parmi les quatre.

On a trouvé que le résidu sec des eaux au forage P<sub>5</sub> de Tébessa est plus élevé (1354 mg/l) ; si elle est acceptable par les normes algériennes, elle dépasse les normes de l'OMS, tandis que les autres forages ont des concentrations inférieures à 1000 mg/l, la plus basse valeur affichée est celle de M<sub>4</sub> (El Ma El Abiod).

On a aussi recherché les traces pour quelques éléments indésirables (Orthophosphates, ammonium et nitrites), ainsi que certains métaux lourds, d'après la confrontation on constate la présence de :

- Orthophosphates : à P<sub>5</sub>, EF<sub>1</sub> et CH<sub>2</sub> (entre 0,05 et 0,09) ;
- Ammonium : à P<sub>5</sub> (0,02 mg/l) et nitrites à CH<sub>2</sub> (0,0187 mg/l) seulement ;
- Fer dans les quatre forages, dont la concentration la plus élevée était à CH<sub>2</sub> (103,6 µg/l) ;
- Zinc à CH<sub>2</sub> (163,8 µg/l) et plus élevé à M<sub>4</sub> (197,80 µg/l) ;
- Plomb : à M<sub>4</sub> (0,116 µg/l) et ;
- L'absence totale d'Arsenic et du Cadmium.

Toutes ces valeurs sont dont les normes qui sont en annexe 1

## **VI- Détermination des classes de qualité des paramètres :**

### **VI-1- Méthode d'évaluation de la qualité des eaux:**

Pour qualifier une eau ou déterminer sa qualité, on utilise un système d'évaluation de la qualité des eaux, celui-ci autorise un diagnostic précis de la qualité de l'eau et contribue à définir les actions de corrections nécessaires pour son amélioration en fonction de ses utilisations souhaitées. Il est basé sur les règles suivantes :

- Chaque classe de qualité est définie par un ensemble de valeurs seuils que les différents paramètres des différentes altérations ne doivent pas dépasser [89].
- La qualité de l'eau est estimée pour chaque altération, sans tenir compte des autres altérations [7].
- La qualité par altération est déterminée par le paramètre le plus déclassant, c'est-à-dire celui qui définit la classe d'aptitude ou la classe de qualité la moins bonne [7].
- La classe de qualité obtenue est celle de l'altération avec l'indice le plus bas [89].
- La qualité de l'eau pour la production d'eau potable est définie pour chaque altération dans quatre classes de qualité [7].
- L'indice de qualité global de l'eau est l'indice le plus faible obtenu pour l'ensemble des altérations considérées [89].

D'après l'agence nationale des bassins hydrographiques, les altérations considérées dans le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines sont citées aux tableaux ci-dessous.

Tableau 27 : Les paramètres et les altérations de SEQ de l'eau [7]

## Altération minéralisation :

Paramètre	Unité				
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	[180 - 400]	]400 - 2500]	< 180 ou ]2500 - 4000]	> 4000
Chlorures	$\text{mg}/\text{l Cl}^-$	25	200		>200
Sulfates	$\text{mg}/\text{l SO}_4^{2-}$	25	250		>250

## Altération matières azotées hors nitrates :

Paramètre	Unité				
Ammoniums	$\text{mg}/\text{l NH}_4^+$	0,05	0,5	4	>4
Nitrites	$\text{mg}/\text{l NO}_2^-$	0,05	0,1	0,7	>0,7

## Altération nitrates :

Paramètre	Unité				
Nitrates	$\text{mg}/\text{l NO}_3^-$	25	50	100	>100

## VI-2- Evaluation de la qualité des échantillons d'eaux par confrontation des résultats avec le tableau des classes de la qualité :

## VI-2-1- Altération minéralisation :

a- Forage M<sub>4</sub> d'El Ma El Abiod :

Conductivité		M <sub>4</sub>		
Chlorures		M <sub>4</sub>		
Sulfates		M <sub>4</sub>		

b- Forage CH<sub>2</sub> de Chéria :

Conductivité		CH <sub>2</sub>		
Chlorures		CH <sub>2</sub>		
Sulfates		CH <sub>2</sub>		

**c- Forage EF<sub>1</sub> de Hammamet :**

<b>Conductivité</b>		<b>EF<sub>1</sub></b>		
<b>Chlorures</b>		<b>EF<sub>1</sub></b>		
<b>Sulfates</b>				<b>EF<sub>1</sub></b>

**d- Forage P<sub>5</sub> de Tébessa :**

<b>Conductivité</b>		<b>P<sub>5</sub></b>		
<b>Chlorures</b>		<b>P<sub>5</sub></b>		
<b>Sulfates</b>				<b>P<sub>5</sub></b>

Pour l'altération minéralisation, la confrontation des données montre que :

- Les eaux des forages P<sub>5</sub> de Tébessa et EF<sub>1</sub> de Ain Chabro (Hammamet) sont considérées de mauvaise qualité car les valeurs des sulfates sont supérieures aux normes tolérées par la réglementation Algérienne. (Même si celles affichées par la conductivité et les chlorures sont positionnées dans la bonne qualité) ;
- Les eaux des forages M<sub>4</sub> de El Ma El Abiod et CH<sub>2</sub> de Chéria sont considérées tous les deux de bonne qualité car toutes les valeurs des paramètres de cette altération (sulfates, conductivité et les chlorures sont inclus dans la marge de bonne qualité).

**VI-2-2- Matières azotées :****a- Forage M<sub>4</sub> d'El Ma El Abiod :**

<b>Ammoniums</b>	<b>M<sub>4</sub></b>			
<b>Nitrites</b>	<b>M<sub>4</sub></b>			

**b- Forage CH<sub>2</sub> de Chéria :**

<b>Ammoniums</b>	<b>CH<sub>2</sub></b>			
<b>Nitrites</b>	<b>CH<sub>2</sub></b>			

**c- Forage EF<sub>1</sub> de Hammamet :**

<b>Ammoniums</b>	EF <sub>1</sub>			
<b>Nitrites</b>	EF <sub>1</sub>			

**d- Forage P<sub>5</sub> de Tébessa :**

<b>Ammoniums</b>	P <sub>5</sub>			
<b>Nitrites</b>	P <sub>5</sub>			

Pour l'altération "matières azotées", la confrontation des données montre que tous les forages sont de très bonne qualité. (Pour les paramètres Ammonium et nitrites).

**VI-2-3- Altération nitrates :**

**a- Forage M<sub>4</sub> d'El Ma El Abiod :**

<b>Nitrates</b>				
		M <sub>4</sub>		

**b- Forage CH<sub>2</sub> de Chéria :**

<b>Nitrates</b>				
			CH <sub>2</sub>	

**c- Forage EF<sub>1</sub> de Hammamet :**

<b>Nitrates</b>				
		EF <sub>1</sub>		

**d- Forage P<sub>5</sub> de Tébessa :**

<b>Nitrates</b>				
				P <sub>5</sub>

Pour l'altération "nitrates", la confrontation des données montre que : les eaux des forages P<sub>5</sub> de Tébessa et EF<sub>1</sub> de Ain Chabro (Hammamet) sont considérées de mauvaise qualité :

- les eaux des forages EF<sub>1</sub> M<sub>4</sub> sont de bonne qualité ;
- les eaux du forage CH<sub>2</sub> sont de qualité médiocre.
- les eaux du forage P<sub>5</sub> sont de mauvaise qualité ;

L'application du système SEQ- Eaux souterraine du BRGM et de l'Algérie, a permis de déterminer la qualité des eaux des forages échantillonnés et leurs aptitudes à la production d'eau potable pour chaque forage à partir de leurs analyses physicochimiques. (Voir le tableau ci-dessous) ;

**Tab 28 : Détermination de classes (de qualité et d'aptitude à la production d'eau potable) des eaux de forages échantillonnés.**

Forage	Altérations	Classe d'altération	Classe de qualité	Classe d'aptitude à la production d'eau potable
P <sub>5</sub>	Minéralisation	<b>Mauvaise</b>	<b>Eau de mauvaise qualité</b>	<b>Forage inapte à la production d'eau potable.</b>
	M. azotées	<b>Très bonne</b>		
	Nitrates	<b>Mauvaise</b>		
EF <sub>1</sub>	Minéralisation	<b>Mauvaise</b>	<b>Eau de mauvaise qualité</b>	<b>Eau non potable sans traitement.</b>
	M. azotées	<b>Très bonne</b>		
	Nitrates	<b>Bonne à Médiocre</b> (NO <sub>3</sub> =50 à la limite)		
M <sub>4</sub>	Minéralisation	<b>Bonne</b>	<b>Eau de bonne qualité</b>	<b>Eau de qualité acceptable pour être consommée.</b>
	M. azotées	<b>Très bonne</b>		
	Nitrates	<b>Bonne</b>		
CH <sub>2</sub>	Minéralisation	<b>Bonne</b>	<b>Eau de qualité médiocre</b>	<b>Eau non potable sans traitement.</b>
	M. azotées	<b>Très bonne</b>		
	Nitrates	<b>Médiocre</b>		

### VI-3- Classement des sites échantillonnés selon la qualité de l'eau :

Les résultats obtenus par la comparaison des analyses des quatre échantillons d'eaux de forages suite à la confrontation de leurs données physicochimiques avec le SEQ- Eaux Souterraines, permettent de classer les eaux de leurs forages respectifs selon leur qualité à produire de l'eau potable. (Voir le tableau ci-dessous) :

**Tab 29 : Classement des forages échantillonnés selon la classe de qualité**

Forage	Zone	Classe de qualité	Classement
M <sub>4</sub>	El Ma El Abiod	Eau de bonne qualité	1
CH <sub>2</sub>	Chéria	Eau de qualité médiocre	2
EF <sub>1</sub>	Ain Chabro – Hammamet	Eau de mauvaise qualité	3
P <sub>5</sub>	Tébessa	Eau de mauvaise qualité	4

D'après le tableau de classement de qualité ci-dessus, on constate que :

- L'eau du forage M<sub>4</sub> d' El Ma El Abiod est de bonne qualité. Elle est la seule eau qu'on peut boire sans aucun traitement. C'est une eau douce et c'est aussi la plus légère (la moins minéralisée).
- L'eau du forage CH<sub>2</sub> de Chéria est de qualité médiocre. Elle ne peut être bue sans traitement préalable. De minéralisation similaire à celle des eaux échantillonnées du forage M<sub>4</sub> d'El Ma El Abiod, avec la valeur des sulfates qui est excédentaire.
- L'eau du forage EF<sub>1</sub> de Ain Chabro- Hammamet est de mauvaise qualité. Les sulfates y sont excédentaires avec une minéralisation relativement élevée.
- L'eau du forage P<sub>5</sub> de Tébessa est de mauvaise qualité. Les valeurs des sulfates et celles des nitrates sont très élevées. Elle est la plus chargée en sels minéraux et en résidus secs parmi les quatre forages, elle est très dure.

**VII- Synthèse :**

De ce qui précède :

- La région de Tébessa a un climat semi aride et la dernière décennie a été marquée par un déficit du bilan hydrique et des températures élevées avec des averses éclaires torrentielles, ce qui favorise le ruissellement à l'infiltration malgré la sécheresse ; d'où une migration superficielle rapide des matières qui nous intéressent et une concentration des sels relativement élevée (particulièrement les nitrates et les sulfates).
- Les activités anthropiques qui ont, depuis toujours, marqué la région de Tébessa sont l'agriculture et l'élevage.
- Les nappes étudiées, surtout au niveau des forages échantillonnés, ont une perméabilité assez importante, (trois poreuses et une karstique). Elles sont actuellement exploitées pour produire de l'eau potable.
- L'échantillonnage a été réalisé selon la procédure réglementaire et les analyses ont été faites, dans les 24 heures qui ont suivi, par le laboratoire régional de l'ANRH à Constantine choisi pour la fiabilité de ses moyens et de son personnel.
- La confrontation des résultats d'analyse avec les normes définies par la réglementation algérienne a fait apparaître certaines anomalies parfois graves au niveau de certaines caractéristiques physicochimiques des points d'eau choisis.
- Le forage M<sub>4</sub> de la nappe d'El Ma El Abiod a une eau de bonne qualité potable sans aucune intervention d'amélioration. Elle est légèrement minéralisée et douce (c'est la plus douce des quatre).
- Le forage CH<sub>2</sub> de la nappe de Chéria a une eau de qualité potable médiocre qui pourrait être améliorée vers la bonne qualité par une décantation et une légère dénitrification.
- Le forage EF<sub>1</sub> situé à Ain Chabro- Hammamet a une eau de mauvaise qualité (non potable) pour dépassement des sulfates. Cette eau pourrait être améliorée vers la bonne qualité, par le traitement des sulfates, malgré une légère dureté.
- Le forage P<sub>5</sub> de la nappe de Tébessa a une eau de mauvaise qualité non potable et difficilement traitable vu les écarts importants du résidu sec et des concentrations de ses composants chimiques, surtout les nitrates et les sulfates.
- Les nitrates et les sulfates facilement solubles dans l'eau sont transférés de manière diffuse au sein des nappes poreuses, d'où toute la nappe de Tébessa particulièrement à l'aval du P<sub>5</sub> est d'une eau de qualité douteuse.

**VIII- Propositions :**

- Prendre les mesures de protection nécessaires en définissant les périmètres de protection et appliquer la réglementation.
- Prendre des mesures radicales quant aux décharges sauvages et incontrôlées et bannir celles qui sont en amont des points d'eau.
- Chercher et neutraliser les causes de détérioration de la qualité des eaux ou en minimiser les effets néfastes.
- Traiter les eaux des sites (nappes) dont la bonne qualité de potabilité est récupérable.
- Déclasser le forage P<sub>5</sub> de la production d'eau potable. (Lui attribuer une autre fonction).
- Contrôler les réseaux de collecte des eaux usées des villes (surtout ceux de Tébessa) et en enlever les anomalies.
- Surveiller le dosage des engrais par les spécialistes de l'agriculture et profiter de toutes les rencontres avec les fellahs pour une sensibilisation quant à leur participation à l'amélioration de la qualité de l'eau et de sa protection.
- Effectuer une surveillance sérieuse et fiable des points d'eau destinée à la potabilité pour ne plus permettre des écarts de cet ordre par rapport aux normes et surtout la disponibilité l'état opérationnel (non périmé) des réactifs.
- Utiliser des traitements sélectifs (exemple : ne pas traiter par chloration une eau dont le taux de chlorures est élevé comme c'est le cas de P<sub>5</sub>).

# **EPILOGUE**

(Etude Bactériologique)

## ETUDE BACTERIOLOGIQUE

Généralement, l'eau de forage est de bonne qualité mais dans certains cas, elle est affectée par une contamination microbiologique qui n'altère ni son goût, ni sa couleur, ni son odeur et (comme c'est le cas de cette étude) le seul moyen d'être sûr de la qualité de son eau c'est de réaliser une analyse microbiologique.

Les analyses microbiologiques sont fondées sur la recherche des bactéries considérées comme des indicateurs de contamination fécale : ces bactéries ont été choisies parce qu'elles sont présentes en grand nombre dans les selles des animaux à sang chaud qui sont des sources fréquentes de contamination assez grave, qu'elles sont détectables facilement.

- L'indicateur répandu est la recherche des coliformes thermo-tolérants qui reste encore couramment employée. Les eaux potables ne doivent pas en contenir. Ce sont de bons indicateurs de potabilité.

- D'autres indicateurs sont ajoutés, comme la recherche des entérocoques ou streptocoques fécaux, et celle des spores de *Clostridium perfringens* [50].

Donc, pour confirmer nos résultats, on a fait des analyses bactériologiques comme études complémentaires afin de mieux embrasser la situation.

### I- Objectif :

L'objectif de l'analyse bactériologique de nos échantillons est d'apporter un complément d'informations sur la qualité des eaux étudiées en recherchant la présence des espèces susceptibles d'être pathogènes, et celles qui sont indicatrices d'une contamination fécale.

### II- Echantillonnage :

L'échantillonnage à partir de forage P<sub>5</sub> (Tébessa) et CH<sub>2</sub> (Chéria) a été réalisé le 20/05/2013, et M<sub>4</sub> (El Ma El Abiod) le 29/05/2013.

On n'a pas effectué le prélèvement au niveau du forage EF<sub>1</sub> (Hammamet) à cause de sa fermeture par l'Algérienne des eaux suite à des problèmes techniques.

**Méthodologie :**

Afin de ne pas modifier les caractéristiques bactériologiques de l'échantillon, les conditions d'asepsie ont été strictement observées.

- On a utilisé des flacons stériles remis par le laboratoire qui a réalisé les analyses.



**Fig 65 : Flacons stériles de 250 ml et glacière**

- On a laissé couler l'eau pendant 3 à 5 minutes pour purger les canalisations avant de procéder aux prélèvements.

- Les bouts des robinets (métalliques) ont été flambés et on a laissé couler durant presque une minute (pour laisser refroidir) avant de prélever l'eau sans toucher les bords des flacons qui ont été ouverts au dernier moment.

- Les flacons ont été remplis jusqu'à environ 1cm du goulot et bien refermés en évitant de toucher le goulot avec les doigts.

- Cinq flacons, numérotés de 1 jusqu'à 5, ont été remplis de chaque forage.

- Chaque flacon a été mis dans un sachet transparent et hermétiquement fermé.

- Les échantillons ont été portés au laboratoire le jour même.



**Fig 66 : Flambage de robinet par un briquet**



**Fig 67 : Les cinq échantillons d'eau**

### III- Analyse :

Les analyses ont été réalisées au niveau du Laboratoire FETHALLAH (une EURL agréée de contrôle de la qualité (Agroalimentaires- Cosmétiques- Détergents) Tébessa, et les résultats ont été disponibles 72h après.

Les résultats ont été confrontés aux normes Algériennes rapportées au journal officiel N° 35 du 24/01/1998, les résultats avec les normes sont portés en annexe 6.

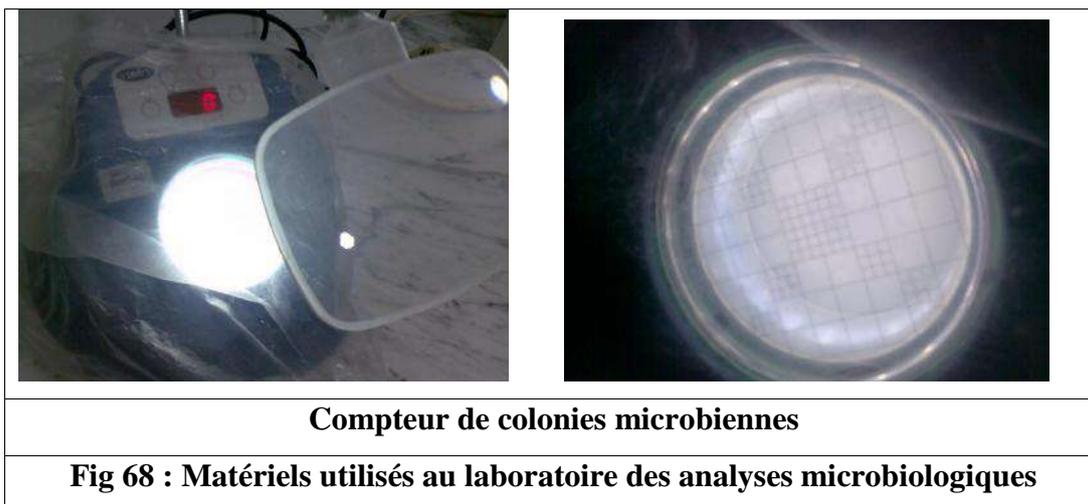
Les analyses effectuées ont mis en évidence huit groupes bactériens qui sont :  
Les *Coliformes* Aérobie à 37°C, les *Coliformes* Fécaux, les Germes Aérobie à 37°C et à 22°C, *Clostridium* à 46°C, les *Staphylocoques* "*Staphylococcus aureus*", les *Streptocoques* fécaux "D", *Salmonelles* et *Schigelles*.

### IV- Matériels utilisés :

Lors de l'analyse microbiologique, les moyens suivants ont été utilisés:

- Boîtes de pétri, tubes à essai, pipettes pasteur, bain marine, chambre à bec benzen, étuves, compteur de colonies microbiennes, les milieux de culture spécifiques pour chaque groupe bactérien (portés en annexe 6- c).

	
<p align="center"><b>Chambre à bec benzen</b></p>	<p align="center"><b>Bain marine</b></p>
	
<p align="center"><b>Les étuves pour l'incubation des boîtes de pétri à des températures différentes</b></p>	



## V- Les bactéries recherchées dans les échantillons de l'eau :

Ces examens visent à dénombrer non spécifiquement le plus grand nombre de micro-organismes. Ces dénombrements sont utilisés comme indicateur de pollution des milieux naturels essentiellement les eaux souterraines (vérification de la protection vis-à-vis de toute contamination) et vérification de la qualité du réseau, des réservoirs et des canalisations.

### V-1- Bactéries aérobies à 22°C et 37°C :

Ce sont un ensemble des micro-organismes qui se développent en présence d'oxygène à 22°C et 37°C. Ils sont présents dans l'environnement en général, comme ils peuvent être issus d'une contamination du réseau ou canalisation, ou une contamination pathogène [50, 51, 60].

Les dénombrements sont effectués après incubation soit à 37°C en 24 heures, soit à 22°C en 72 heures [50 et 60].

### V-2- Coliformes :

Les coliformes totaux sont constitué par un certain nombre d'espèces bactériennes aérobies et anaérobies facultatives, vivantes à 35- 37°C [49 et 50], ils concernent le décompte total des bactéries de type coliformes. Ils se répartissent en deux catégories :

- La plupart des espèces qui se trouvent naturellement dans l'eau, le sol, la végétation et l'environnement: *Enterobacter intermedium* et *Klebsiella terrigena*.
- Les germes d'origine strictement fécale (de 10 à 15 %) : *Escherichia coli*, *Citrobacter* [92].

Ces bactéries servent d'indicateurs de pollution ou de contamination microbiologique dont le dénombrement permet de déceler le niveau de pollution d'origine organique dans les eaux de surface, les eaux souterraines, les sources d'approvisionnement ou les canalisations d'eau potable. Elles provoquent des maladies gastro-entériques [20 et 59].

Les coliformes fécaux sont des germes vivants en abondance dans les intestins et les excréments des humains, et ceux des animaux à sang chaud. Elles constituent des indicateurs fécaux de première importance et présentent les mêmes propriétés des coliformes totaux, sauf qu'ils se développent à 44°C et que l'origine fécale est plus nette [92].

Dans l'eau, les coliformes perdent leur viabilité plus lentement que la majorité des bactéries pathogènes et intestinales et constituent donc un bon indicateur de contamination fécale de l'eau. De plus, leur résistance aux agents désinfectants, notamment au chlore, est voisine de la résistance des bactéries pathogènes ; ce qui en fait de bons indicateurs de l'efficacité de traitement [92].

Les coliformes peuvent se retrouver dans les eaux des forages et des puits par infiltration de l'eau de surface à travers des fissures (ou un réseau karstique) ou à cause d'une fuite dans le réseau septique à proximité du point d'eau [51].

Les résultats représentent la quantité de bactéries retrouvées dans la portion de l'échantillon d'eau analysée. Ils sont exprimés en UFC (unité formant une colonie) par 100 millilitres [95].

La recherche et le dénombrement des coliformes totaux à 37°C constituent un examen intéressant qui permet de juger de l'efficacité de la désinfection d'une eau et de déceler une contamination fécale sure. La recherche et le dénombrement des coliformes thermo-tolérants ou fécaux à 44°C est un autre examen aussi important car la présence de coliformes thermo-tolérants atteste de l'existence quasi certaine d'une contamination fécale [92].

### **V-3- Streptocoques :**

Ce sont des hôtes ordinaires de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Ce groupe n'est généralement pas considéré comme pathogène. Les streptocoques fécaux appartiennent à un groupe de streptocoques qui ne sont pas tous d'origine fécale (groupe D) [60], ce sont donc des bactéries pathogènes. Ils résistent beaucoup aux substances aseptiques qui devraient empêcher leur croissance. Certains streptocoques peuvent se transformer en germes initiateurs de plusieurs maladies telles que les angines, les otites, les méningites et d'autres toutes aussi sérieuses. Toutefois, leur recherche associée à celle

des coliformes fécaux constitue un bon indice de contamination fécale. Ils témoignent d'une contamination d'origine fécale ancienne tandis que les coliformes fécaux témoignent d'une contamination d'origine fécale récente [50 et 92].

#### **V-4- Staphylocoques :**

Bactéries de forme ronde, immobiles, souvent pigmentées, qui se présentent généralement en amas plans irréguliers dits "en grappe de raisin", très répandues dans la nature, sur la peau et les muqueuses de l'homme sain, et occasionnellement suite à une pollution fécale [60].

Elles sont susceptibles de provoquer des affections variées lorsque les défenses de l'hôte sont affaiblies. Les staphylocoques sont souvent mis en cause dans les cas de toxi-infections alimentaires où il y a production d'une entérotoxine thermo-résistante responsable de gastro-entérites. Ils sont également responsables d'infections rhinopharyngées et cutanées qui sont de loin prédominantes par rapport aux infections gastro-intestinales [20 et 60].

#### **V-5- Salmonelles :**

Les salmonelles peuvent se trouver largement dans la nature, les sols, les eaux, et dans plusieurs résidus. Plusieurs *Salmonella* sont associés aux matières fécales des animaux, ils peuvent être pathogènes pour l'humain et les animaux.

L'homme, les animaux domestiques et sauvages peuvent être des réservoirs des salmonelles dont la transmission des infections se fait principalement par l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés [20].

#### **V-6- Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices et *Clostridium* S/R :**

Ces bactéries se développent dans des milieux anoxiques et ont la possibilité de se transformer en une forme de spore résistante aux conditions défavorables.

Elles sont souvent considérées comme des témoins de pollution fécale, ce sont des indicateurs de contamination ancienne et/ou chronique, et de pénétration des eaux de ruissellements dans les ouvrages de captages. Elles sont aussi un bon indicateur de l'efficacité d'un traitement. Elles provoquent des toxi-infections [51].

Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices, et les *Clostridium* sulfito-réducteurs (S/R) ont le pouvoir de réduire le sulfite de sodium en sulfure et de sporuler dans les conditions défavorables [50].

Les spores de *Clostridium* sulfito-réducteurs sont beaucoup plus résistantes que les coliformes thermotolérants et permettent de déceler une pollution fécale ancienne [50].

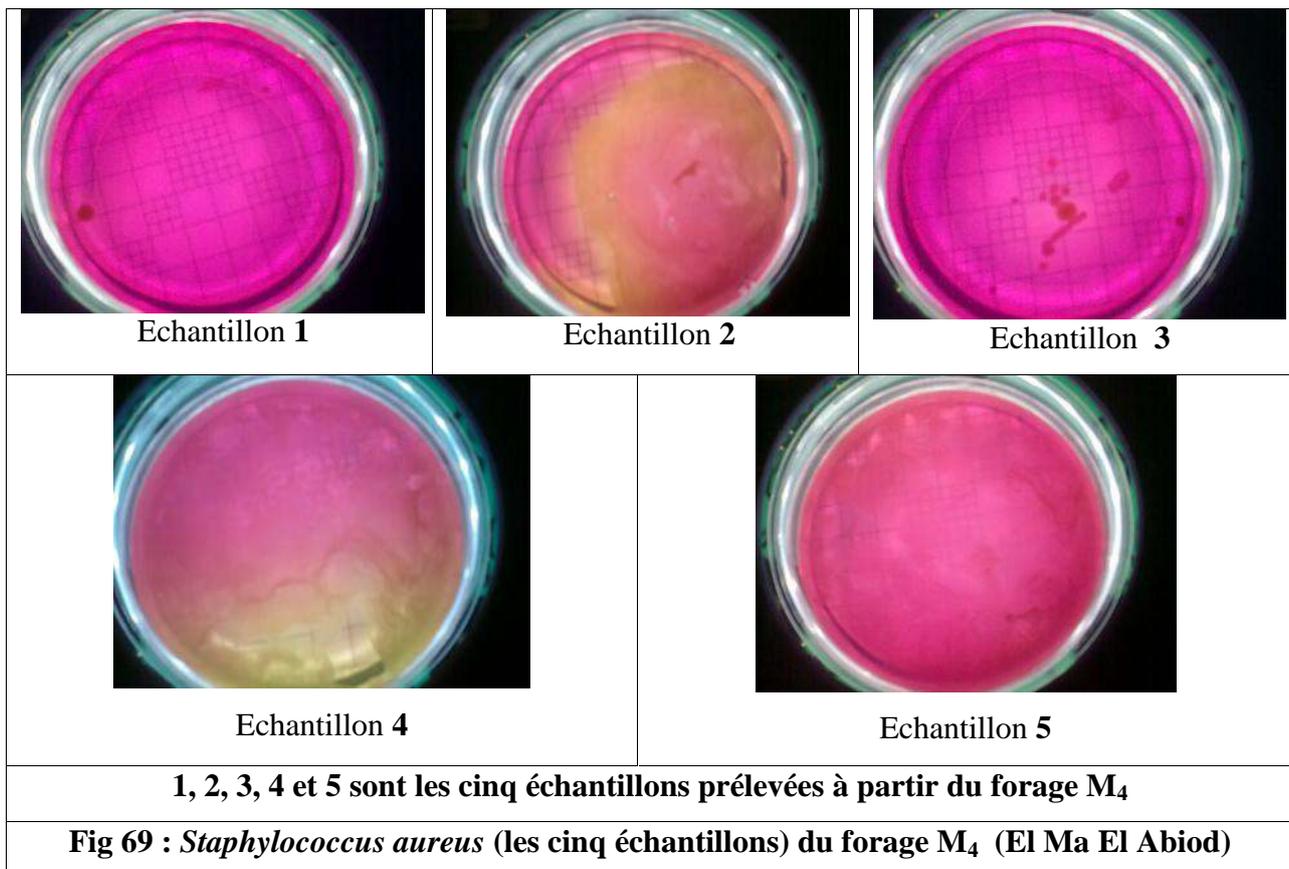
**VI- Résultats :**

D'après les analyses bactériologiques des eaux de trois forages réalisées à Tébessa qui sont portées en annexe 6, on constate qu'il existe des écarts, parfois importants aux normes bactériologiques algériennes de l'eau potable ;

- Les germes aérobies à 22 et 37°C dépassent les limites des normes ( 10 germes/ ml) dans les trois forages ;
- Les Coliformes aérobies à 37°C dans le forage M<sub>4</sub> d'El Ma El Abiod dépassent les normes énormément (154 germes/ ml) ;
- On a marqué la présence dans les trois forages des *Staphylococcus aureus* qui ne doivent, normalement, pas exister dans l'eau de consommation humaine (fig 69).

Donc, ces résultats montrent qu'il y a une contamination bactérienne.

De ce fait, les eaux des trois forages analysés sont impropres à la consommation humaines et celle du cheptel avant qu'elles subissent des traitements.



## **VII- Propositions :**

La qualité biologique des trois forages, après mise en évidence de la contamination bactérienne sus-citée, fait que leurs eaux sont impropres à la consommation humaines et celle du cheptel avant qu'elles subissent des traitements par les lampes UV et chloration.

Ces écarts sont occasionnés soit par le lessivage des amas de fumiers, soit à une fuite d'installation septique.

Priorité d'action : La recherche de(s) la source(s) de pollution bactériologique et son (leur) élimination s'imposent comme action prioritaire afin de retrouver la qualité et la potabilité des eaux des points étudiés.

Pour cela il faudrait :

- Rechercher la présence de fosses perdues ou de réseaux septiques dans les zones de protection des forages et prendre les mesures nécessaires pour cesser leur influence.
- Rechercher et éliminer tout amas de fumiers ou lieu de collecte de déchets domestiques même enterrés, sans oublier les garages de production ovine, bovine ou de volaille.

En attendant une solution radicale, il y a lieu de prendre les mesures d'urgence suivantes :

- Aviser la population alimentée par ces forages pour faire bouillir l'eau au moins cinq minutes avant sa consommation.
- Faire les analyses physicochimiques et bactériologiques du reste des forages de la région de Tébessa afin de déterminer l'ampleur de la contamination.

**CONCLUSION**

**GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

Les zones choisies renferment la plus grande réserve d'eau de la wilaya de Tébessa dont ils alimentent certaines villes par transfert. Leur étude a montré la susceptibilité des nappes souterraines et leur sensibilité aux agents contaminants induits par les activités anthropiques et la nature des terrains environnants.

Les caractéristiques physiques et chimiques des prélèvements analysés par le laboratoire régional de l'ANRH montrent par comparaison entre eux et par confrontation avec le SEQ- Eau souterraine National et de BRGM que :

- Tous les échantillons analysés sont de la même famille chimique "sulfatée calcique",
- Les eaux aux points étudiés sont de différentes qualités vis-à-vis de la fonction potabilité,
- Un forage, "M<sub>4</sub>" d'El Ma El Abiod, présente une eau potable sans nécessiter de traitement.
- Deux forages, CH<sub>2</sub> de Chéria et EF<sub>1</sub> de Ain Chabro- Hammamet, présentent une eau médiocre qui peut être améliorée vers la bonne qualité et,
- Un forage (P<sub>5</sub> de Tébessa) dont les écarts des valeurs par rapport aux normes prévues par les réglementations Nationales et OMS déclassent de la production de l'eau potable.
- Différents types de pollutions (agricole, urbaine, industrielle... actuelle et historique) sont actifs dans la région.

Enfin il apparaît que l'eau karstique alimente les quatre nappes qui chacune selon ses propres apports naturels et anthropiques façonne sa composition chimique et conditionne ses caractéristiques physiques.

Les éléments observés, qui influent le plus sur le chimisme de l'eau, sont le lessivage des engrais agricoles, les apports triasiques de Dj Djebissa et la pollution urbaine et industrielle.

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]- **A. BOUDJADJA, M. MESSAHEL et H. PAUC**, Ressources hydriques en Algérie du Nord, Revue des Sciences de l'eau, 2003, p 287 – 302.

[2]- **A. KETTAB**, Traitement des eaux: *Les eaux potables*, Edition Office des Publications Universitaires, Alger, p 20 et 21.

[3]- **Abdelkader ROUABHIA**, Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Nord-Est Algérien), Thèse de Doctorat en sciences, Université de Badji Mokhtar ,Annaba, 2006, p 4, 5, 9, 14, 20, 43, 44, 45, 51, 54 et 55 – 73.

[4]- **Abdelkader ROUABHIA et al**, Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines d'un aquifère en zone semi-aride : *Cas de la plaine de la Merdja, Nord Est de l'Algérie*, Article de recherche sécheresse, volume 20, N° 3, juillet-août-septembre 2009, p284.

[5]- **Abdelkader ROUABHIA et al**, Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie), *Etude de cas Sécheresse* N° 4, volume15, décembre 2004, p348.

[6]- **Abdelwaheb SARI AHMED**, Initiation à l'hydrologie de surface, Editions Distribution HOUMA, Alger, 2002, p 12 – 17.

[7]- **Agence de Bassin Hydrographique (ABH) : Constantinois- Seybous- Mellègue**, Qualité des eaux souterraines dans les bassins du Kebir- Rhumel, de la Seybouse et de la Medjerda- Mellègue, 2004- 2007, Ministère des ressources en eau, Constantine, 2009, p5 – 8.

[8]- **Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Tébessa (ANRH)**, Statistiques et fiches de forages de la willaya

[9]- **Aissam GHRIEB**, L'acquisition de la salinité des eaux souterraines en zone semi aride: cas de la nappe du bassin d'effondrement de Tébessa Nord Est Algérien, Thèse de Master, Université de Cheikh Larbi Tebessi, Tébessa, 2011, p 3, 4 et 8.

- [10]- **Albert MABILLOT**, Les forages d'Eau: *guide pratique*, Edition Technique & Documentation, Paris, p4 – 6.
- [11]- **Amel LOUNNAS**, Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-kroma de Skikda, Mémoire de Magister, Université du 20 Août 1955, Skikda, 2009, p 12, 15, 16 et 20.
- [12]- **André DUPONT**, Hydraulique urbaine: *Hydrologie- Captage et traitement des eaux*, Tome 1, 5<sup>ème</sup> édition, Edition EYROLLES, Paris, 1981, p 61 – 67, p74 – 81.
- [13]- **André LALLEMAND-BARRÈS** et **Jean-Claude ROUX**, Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine: *Guide méthodologique et réglementaire*, 2<sup>ème</sup> Edition, Edition BRGM, 1999, p 14 – 20 et p24.
- [14]- **Ariane BLUM** et al, L'état des eaux souterraines en France: *Aspects quantitatifs et qualitatifs*, N° 43, Editions IFEN, France, p 6 – 8.
- [15]- **Bernard BLAVOUX** et **Gilbert CASTANY**, Hydrogéologie, Encyclopédie universelle, France, 2012.
- [16]- [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)
- [17]- **Claude COSANDEY** et al, Les eaux courantes: *Géographie et environnement*, Editions BELIN, Paris, 2003, p 7, 8 et p 41 – 57.
- [18]- **Claus BLIEFERT** et **Robert PERRAUD**, Chimie de l'environnement: *AIR, EAU, SOLS, DECHETS*, Editions de BOEC, p 287, 318 et 319.
- [19]- [www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)
- [20]- [www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/bio\\_toxico\\_micro.htm](http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/bio_toxico_micro.htm) #
- [21]- **Conseil National Economique et Social (CNES)**, L'eau en Algérie: *Le grand défi de demain*, rapport du Conseil National Economique et Social, 15<sup>ème</sup> session, Alger, 2000.
- [22]- [www.coursgeologie.com](http://www.coursgeologie.com)

[23]- [www.coursgeologie.com/goto.php?url=http%3A%2F%2Fwww.larhyss.net%2Fpdf%2Fjournal%2F5%2F11.Chaffai.pdf](http://www.coursgeologie.com/goto.php?url=http%3A%2F%2Fwww.larhyss.net%2Fpdf%2Fjournal%2F5%2F11.Chaffai.pdf)

[24]- [www.crdp-montpellier.fr/ressources/99/99en0661.html](http://www.crdp-montpellier.fr/ressources/99/99en0661.html)

[25]- [www.docstoc.com/docs/105298021/1-QUALITE-DE-LEAU](http://www.docstoc.com/docs/105298021/1-QUALITE-DE-LEAU)

[26]- [www.docsciences.fr](http://www.docsciences.fr)

[27]- [www.eau-artois-picardie.fr/IMG/pdf/etat\\_des\\_eaux.pdf](http://www.eau-artois-picardie.fr/IMG/pdf/etat_des_eaux.pdf)

[28]- [www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=300688DC-1](http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=300688DC-1)

[29]- [www.eaufrance.fr](http://www.eaufrance.fr)

[30]- [www.eau-poitou-charentes.org/usages](http://www.eau-poitou-charentes.org/usages)

[31]- **E. BARRIUSO, R. CALVET, M. SCHIAVON et G. SOULAS**, Les pesticides et les polluants organiques des sols: *Transformation et dissipation*, Editions INRA, 1996, p 281 et 282.

[32]- **Fethi BAALI**, Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi aride (cas du plateau Chéria N. E Algérien), Thèse de Doctorat en sciences, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2007, p14,16,73,79–81.

[33]- **Fethi BAALI et Samoun FATEH**, Cours en Hydrogéologie pour Master, Université Cheikh Larbi Tébessi, Tébessa.

[34]- **Fethi BAALI**, Etude hydrogéologique, hydrochimique de la région karstique de Chéria w. Tébessa (Nord Est Algérien), Thèse de Magister, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2001, p 2 – 10, p 32.

[35]- **Feyrouz HAFID**, Mise en évidence d'une alimentation du champ captant, Ain Chabro Hammamet, par les formations calcaires de Youkous (Tébessa), Thèse de Magister, Université de Cheikh Larbi Tébessi, Tébessa, 2012, p 3 et 14.

[36]- **François G. BRIERE**, Distribution et collecte des eaux, 2<sup>ème</sup> Edition, Edition Presses internationales Polytechnique, Canada, 2000, p 4 – 6.

- [37]- **François RENARD**, Hydrogéologie générale; Master professionnel-DESS, 2004, p5, 15 et 16.
- [38]- **G. P. KRUSEMAN** et **N. A. DE RIDDER**. Analyse et évaluation de tests de pompage, 2<sup>ème</sup> Edition, Institut international de récupération et de l'amélioration, Wageningen, 1973.
- [39]- **Gérard GROSCLAUDE**, L'eau: *Milieu naturel et maîtrise*, Tome 1, Editions INRA, Paris, 1999, p 17, 18 et 21.
- [40]- **Gérard GROSCLAUDE**, L'eau: *Usages et polluants*, Tome 2, Editions INRA, Paris, 1999, p 98 – 101, 157.
- [41]- [www.geolocation.wc](http://www.geolocation.wc)
- [42]- [www.gesteau.eaufrance.fr/DOC/SAGE/SAGE05003-EtatLieux.pdfpartie2.pdf](http://www.gesteau.eaufrance.fr/DOC/SAGE/SAGE05003-EtatLieux.pdfpartie2.pdf)
- [43]- **Gilbert CASTANY**, Hydrogéologie: *Principes et méthodes*, Editions DUNOD, Paris, p222 – 227.
- [44]- [www.groundwater.org/gi/sourcesofgwcontam.html](http://www.groundwater.org/gi/sourcesofgwcontam.html)
- [45]- [www.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Water-Eau/PresenceSelPuitsPrivesDeauPotable.pdf](http://www.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Water-Eau/PresenceSelPuitsPrivesDeauPotable.pdf)
- [46]- [www.gov.ns.ca/nse/water/docs/droponwaterFAQ](http://www.gov.ns.ca/nse/water/docs/droponwaterFAQ)
- [47]- [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)
- [48]- **H. SIMPSON**, **B. CONANT** et **J. MYSLIK**, Les eaux souterraines- une ressource importante: *Comprendre les eaux souterraines*, N° 06-112, *Les puits d'eau privés en milieu rural*, N° 06-118, Editions Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales, ONTARIO, 2007.
- [49]- [www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=r\\_e\\_0599\\_microbio\\_therm.pdf](http://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=r_e_0599_microbio_therm.pdf)
- [50]- **Hélène ROBERT**, Qualité microbiologique des eaux brutes distribuées par la compagnie nationale d'aménagement de la région du Bas-Rhône et du Languedoc, Mémoire de l'école national de la santé publique, 1999, p 17 – 20.

[51]- [www.img.cantal.fr/pdf/20120503173138\\_58.pdf?r=3607](http://www.img.cantal.fr/pdf/20120503173138_58.pdf?r=3607)

[52]- **Jean LOUP**, Les eaux terrestres: *Hydrologie continentale*, Editions MASSON, Paris, 1974, p 22.

[53]- **Jean-Claude MARTIN** et **Jean-Claude ROUX**, Pollutions accidentelles routières et autoroutières: *Méthodes et moyens de prévention et d'intervention pour la protection des eaux souterraines*, Editions BRGM, France, 1999, p 27 et p 60 – 79.

[54]- **Jean-Jacques COLLIN**, Les eaux souterraines: *Connaissance et gestion*, Editions BRGM et HERMANN, Paris, 2004, p3 – 5.

[55]- **Jean-Louis BRAULT**, Mémento Technique de l'eau, Tome 1, 9<sup>ème</sup> Edition, Editions DEGREMONT et TEC & DOC, Paris, 1989, p 21 – 24, p 30 – 49 et p 148 – 153.

[56]- **Journaux officiels de la République Algérienne** : Arrêté interministériel du 24 janvier 1998 (Journal officiel N° 35 de 27 mai 1998), Décret exécutif N° 11-125 du 22 mars 2011 (Journal officiel N° 18 du 23 mars 2011) et Décret exécutif N° 11-129 du 12 juin 2011 (Journal officiel N° 34 du 19 juin 2011).

[57]- **Karima SEGHIR**, Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien), Thèse de Doctorat, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2008, p 20, 21, 22, 27, 28, 31, 46– 53 et p55.

[58]- **Laboratoire FETHALLAH de contrôle de qualité** (Agroalimentaires- Cosmétiques- Détergents), Tébessa.

[59]- [www.labo.groupe-sm.com/wpcontent/uploads/En%20savoir%20plus/En%20savoir%20plus\\_Eau- potable. pdf](http://www.labo.groupe-sm.com/wpcontent/uploads/En%20savoir%20plus/En%20savoir%20plus_Eau- potable. pdf)

[60]- [www.laease.com](http://www.laease.com)

[61]- **Lassaad GHRIEB**, Impact de la minéralisation des formations Triasiques sur la qualité de l'eau et du sol en zone semi aride: cas de la plaine Bekkaria Tébessa (Extrême Nord-Est Algérien), Thèse de Doctorat, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2011, p 6, 14, 16, 48, 59, 63-67 et 70.

[62]- **Laurent CADILHAC** et **Maurice ALBINET** et al, Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines: SEQ- Eaux souterraines –*Rapport de présentation*-, Version 0.1, Editions BRGM, 2003, p 7 – 16.

[63]- **Layachi GOUAIDIA**, Approche hydrochimique d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe alluviale de la plaine de Tébessa (Extrême Nord-Est Algérien), Thèse de Magister, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2000, p 3, 8 et 11.

[64]- [www.lench.fr](http://www.lench.fr)

[65]- [www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-eau-potable.htm](http://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-eau-potable.htm)

[66]- [www.lenntech.fr/index.htm](http://www.lenntech.fr/index.htm)

[67]- **Louiza BOUCHAGOURA**, Mise en évidence des diverses pollutions dans la nappe alluviale de Tébessa, Thèse de Magister, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2003, p 1, 3, 13, 38 et 39

[68]- **M. Gérard MIQUEL**, Rapport sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France, N° 215, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Editions SÉNAT, 2003.

[69]- **M. JEAN BONTOUX**, Introduction à l'étude des eaux douces: *Eaux naturelles, Eaux usées, Eaux de boisson; Qualité et santé*, Editions CEBEDOC, Liège, 1993, p 79.

[70]- **Mahi TABET- AOUL**, Les changements d'utilisation et de couvert des sols et les ressources en eau, Association pour la Recherche sur le Climat et l'Environnement (ARCE), Oran.

[71]- **Marie ODILE RATEL**, Elimination des nitrates des eaux potables, document technique, ENDAE, office international de l'eau SNIDE, hors série N° 4, p 6 – 10.

[72]- **Mer Mohamed KHIATI**, L'eau en Algérie: *Une source de vie et un impératif de développement*, Fondation Nationale pour la Promotion de la Santé et le Développement de la Recherche, Alger.

[73]- **Michel BAKALOWICZ et al**, Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Guide technique N°3, Editions SDAGE Rhône Méditerranée Corse, Lyon, 1999, p 7, 13, 16 et 39.

[74]- **Mohamed BENSAAD**, Auscultation et réhabilitation des forages d'eau: *Cours d'hydrologie*, université Khemis Milana, p 3 – 8.

[75]- **Monique TARDAT-HENRY et Jean Paul BEAUDRY**, Chimie des eaux, Editions Le Griffon d'argile, Canada, 1992, p 173 et 174.

[76]- **Moufida BOUTERAA**, Risque de contamination des eaux souterraines par les eaux usées urbaines en zones semi aride, exemple des rejets de la ville de Tébessa, Thèse de Magister, Université de Cheikh Larbi Tebessi, Tébessa, 2012, p 2, 11, 19, 22 et 43.

[77]- **Moumtaz RAZACK**, La ressource en eau souterraine et le métier d'hydrogéologue, Edition Hydr ASA- Université de Poitiers.

[78]- [www.mre.gov.dz/eau/grands\\_projets\\_mre.htm](http://www.mre.gov.dz/eau/grands_projets_mre.htm)

[79]- **Mustafa BOUZIANI**, L'eau dans tous ses états: *Source de vie, ressource épuisable, maladies hydriques, pollutions chimiques*, Editions DAR EL GHARB, Oran, 2006, p25 – 62 et p 178 – 217.

[80]- **N. TABOUCHE et S. ACHOUR**, Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien, Revue de Larhyss Journal, N° 3, 2004.

[81]- **Nadine ROY et al**, Influence de la vulnérabilité des aquifères sur la qualité de l'eau des puits individuels dans la MRC de Montcalm, Québec, 2004.

[82]- [www.nerouchffmichel.be/html/geographie.htm](http://www.nerouchffmichel.be/html/geographie.htm)

[83]- **Olivier ATTEIA**, Chimie et pollutions des eaux souterraines, Editions TEC & DOC, Paris, 2005, p 4, 129 et p 240 – 246.

[84]- [www.ramsar.org/pdf/info/services\\_02\\_f.pdf](http://www.ramsar.org/pdf/info/services_02_f.pdf)

[85]- **Raymond DESJARDINS**, Le traitement des eaux, 2<sup>ème</sup> Edition, Editions Presses internationales Polytechnique, Canada, 2007, p 3 – 8.

- [86]- **Roland VILAGINES**, Eau, environnement et santé publique: *Introduction à l'hydrologie*, Editions TEC & DOC, Paris, 2000, p 3 – 32 et p 103.
- [87]- **S. HAFID**, Des experts tirent la sonnette d'alarme : Les réserves d'eau souterraine de l'Algérie s'épuisent, article du journal EL khabar, 24/07/2007
- [88]- **Salah ZEREG**, Impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource en eau souterraine des régions semi arides, exemple des plaines de Tébessa, Chéria et El Ma El Abiod, Est Algérien, Thèse de Magister, Université de Colonel Hadj Lakhdar, Batna,2010,p2–18,p41-69.
- [89]- **Secrétariat d'état marocain auprès du ministère de l'énergie des mines de l'eau et de l'environnement**, département de l'eau, Fiche sur le nouveau système d'évaluation de la qualité des eaux, Maroc, 2008, p 2.
- [90]- [www.signessn.brgm.fr/spip.php?rubrique 36#top](http://www.signessn.brgm.fr/spip.php?rubrique%2036#top)
- [91]- [www.theses.ulb.ac.be](http://www.theses.ulb.ac.be)
- [92]-[www.toxicoa.wordpress.com/](http://www.toxicoa.wordpress.com/)
- [93]- [www.univ-lehavre.fr/cybernat/pages/cyberi.htm](http://www.univ-lehavre.fr/cybernat/pages/cyberi.htm)
- [94]- [www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge](http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge)
- [95]- [www.valacta.com/SiteCollectionDocuments/Analyse%20bacterio%20eau%20potable%20%20interpretation.pdf](http://www.valacta.com/SiteCollectionDocuments/Analyse%20bacterio%20eau%20potable%20%20interpretation.pdf)
- [96]- **Véronique WILLAME** et **Saadia IMERZOUKÈNE**, Etat des nappes d'eau souterraine de la Wallonie, 2<sup>ème</sup> Edition, Edition Wallonie, 2011, p 1.
- [97]- **Waris Kéwouyèmi CHOUTI**, Evaluation de la qualité des eaux de puits couverts munis de pompe dans la commune de PORTO NOVO; Mémoire d'obtention de diplôme d'études supérieures spécialisées (DESS), Belgique, 2007.
- [98]- [www.wilayadetebezza.com](http://www.wilayadetebezza.com)
- [99]- [www.w41k.info/51202](http://www.w41k.info/51202)
- [100]- **Yahia HAMMAR**, Les normes de potabilités, université Annaba, 2009.

# ANNEXES

**Annexe 1 : Normes de qualité des eaux de consommation humaine Algériennes et internationales (OMS, Européennes) comportant les paramètres physicochimiques et microbiologiques [56, 65]**

**1- Normes Algériennes [56]**

**Décret exécutif N° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine fixés en Algérie : (Journal Officiel de la République Algérienne N°18 du 23 Mars 2011, p 6, 7, 8 et 9).**

**Article 1 :** En application des dispositions de l'article 112 de la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine ainsi que les modalités de contrôle de conformité.

**Art. 2 :** Les paramètres de qualité fixés par le présent décret sont applicables à l'eau de consommation humaine définie à l'article 111 de la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, susvisée, à l'exception des eaux minérales naturelles, des eaux de source, et des eaux thermales.

**Art. 3 :** Au sens du présent décret, il est entendu par :

- **Valeurs limites :** valeurs maximales fixées pour certains paramètres chimiques, radionucléides et microbiologiques et dont le dépassement constitue un danger potentiel pour la santé des personnes ;
- **Valeurs indicatives :** valeurs de référence fixées pour certains paramètres organoleptiques et physico-chimiques à des fins de contrôle du fonctionnement des installations de production, de traitement et de distribution d'eau et d'évaluation des risques pour la santé des personnes.

**Décret exécutif N° 11-129 du 10 Rajab 1432 correspondant au 12 juin 2011 fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations en Algérie : (Journal Officiel de la République Algérienne N°34 du 19 Juin 2011, p 4, 5 et 6).**

**Article 1 :** En application des dispositions de l'article 50 de la loi N° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les objectifs de qualité auxquels doivent répondre les eaux souterraines ainsi que les écoulements et les retenues d'eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau des populations.

**Art. 3 :** Les objectifs de qualité prévus à l'article 1<sup>er</sup> ci-dessus correspondent à des valeurs maximales fixées dans l'annexe du présent décret pour les paramètres organoleptiques, physico-chimiques, chimiques et microbiologiques.

**Art. 4 :** Le contrôle de la conformité aux valeurs maximales est effectué, par l'administration chargée des ressources en eau, au niveau des ouvrages et installations de mobilisation d'eau suivants :

- puits, forages et autres ouvrages de captage d'eaux souterraines ;
- ouvrages de dérivation des écoulements de surface ;
- retenues d'eaux superficielles.

**a- Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine,  
paramètres avec valeurs limites et maximales [56]**

Groupes de paramètres	paramètres	unités	Valeurs limites	Valeurs maximales	
				Eaux superficielles	Eaux souterraines
<b>Paramètres organoleptiques</b>	Couleur	mg/l		200	20
	Odeur (à 25°)			20	3
<b>Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux</b>	Chlorures	mg/l		600	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH		≥ 6,5 et ≤ 9	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité	μS/cm 20°C		2800	2800
	DBO <sub>5</sub>	mg/l O <sub>2</sub>		7	<3
	DCO	mg/l O <sub>2</sub>		30	-
	Matières en suspension	mg/l		25	25
	Sulfates	mg/l SO <sub>4</sub>		400	400
	Taux de saturation en oxygène dissous	% O <sub>2</sub>		30	>70
	Température	°C		25	25
<b>Paramètres</b>	Ammonium	mg/l	0,5	4	0,5
	Aluminium	mg/l	0,2		
	Baryum	mg/l	0,7	1	0,7
	Bore	mg/l	1	1	1
	Fer total	mg/l	0,3	1	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5	2	1,5
	Manganèse	mg/l	0,05	1	0,05
	Nitrates	mg/l	50	50	50
	Nitrites	mg/l	0,2		
	Oxydabilité	mg/l	5		
	Phosphore	mg/l	5	10	5
	Acrylamide	μg/l	0,5		
	Antimoine	μg/l	20		
	Argent	μg/l	100		
	Arsenic	μg/l	10	100	10
	Cadmium	μg/l	3	5	5
	Chrome total	μg/l	50	100	50
<b>Chimiques</b>	Cuivre	mg/l	2	2	0,05
	Cyanure	μg/l	70	100	50
	Mercurure	μg/l	6	10	6
	Nickel	μg/l	70		
	Plomb	μg/l	10	50	10
	Sélénium	μg/l	10	50	10
	Zinc	mg/l	5	5	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène. benzo (3,4) pyrène	μg/l	0,01		
	Hydrocarbures dissous	μg/l	10	1000	10
	Phénols	μg/l	0,5	2	0,5

## Suite

Groupes de paramètres	paramètres	unités	Valeurs limites	Valeurs maximales	
				Eaux superficielles	Eaux souterraines
Paramètres chimiques	Benzène	µg/l	10		
	Toluène	µg/l	700		
	Ethylbenzène	µg/l	300		
	Xylènes	µg/l	500		
	Styrène	µg/l	100		
	Agents de surface réagissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2	0,5	0,2
	Epychlorehydrine	µg/l	0,4		
	Microcystine LR	µg/l	0,1		
	Azote Kjeldhal	mg/l	-	3	1
	Pesticides par substance individualisée - Insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et PC.T. à l'exception de aldrine et dieldrine	µg/l	0,1  0,03		
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5	1	0,5
	Bromates	µg/l	10		
	Chlore	mg/l	5		
	Chlorite	mg/l	0,07		
	Trihalométhanés (THM) (Total) Chloroforme, Bromoforme, Dibromochlorométhane, Bromodichlorométhane	µg/l	100		
	Chlorure de vinyle	µg/l	0,3		
	1,2 - Dichloroéthane	µg/l	30		
	1,2 - Dichlorobenzène	µg/l	1000		
	1,4 - Dichlorobenzène	µg/l	300		
Trichloroéthylène	µg/l	20			
Tetrachloroéthylène	µg/l	40			
Radionucléides	Particules alpha	picocurie/l	15		
	Particules bêta	Millirems/an	4		
	Tritium	Bequerel/l	100		
	Uranium	µg/l	15		
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,1		
Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0	20000	20
	Entérocoques	n/100ml	0	10000	20
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0		
	Salmonelles	-	-	Absence dans 1000ml	Absence dans 5000ml

### Paramètres avec valeurs indicatives [56]

Groupes de paramètres	paramètres	unités	Valeurs limites
<b>Paramètres organoleptiques</b>	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
<b>Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux</b>	Alcalinité	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	500
	Calcium	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	μS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Température	°C	25	

### b- Normes microbiologiques des eaux potables [56]

Les critères microbiologiques des eaux sont mentionnés à l'annexe I (Tableau VII) de l'article 4 de l'arrêté interministériel du 25 Ramadhan 1418 correspondant au 24 janvier 1998 modifiant et complétant l'arrêté du 14 Safar 1415 correspondant au 23 juillet 1994 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires (Journal officiel N° 35 du 27/05/1998 p 17):

Germe	m
Germe aérobie à 37°C/ml	<20
Germe aérobie à 22°C/ml	<10 <sup>2</sup>
Coliformes aérobie à 37°C/100 ml	<10
Coliformes fécaux/100 ml	absence
Streptocoques D/50 ml	absence
Clostridium sulfito-réducteurs à 46°C/ml	absence
Clostridium sulfito-réducteurs à 46°C/20 ml	≤5

m : seuil au-dessous duquel le produit est considéré comme étant de qualité satisfaisante, il exprime le nombre de germes présents dans un gramme (g) ou un millilitre (ml) d'aliment.

## 2- Normes de qualité de l'eau potable (OMS) [65]

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlorure	Cl <sup>-</sup>		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr <sup>+3</sup> , Cr <sup>+6</sup>	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Cuivre	Cu <sup>2+</sup>		2 mg/l
Cyanure	CN <sup>-</sup>		0,07 mg/l
oxygène dissous	O <sub>2</sub>		Pas de valeur guide
Fluorure	F <sup>-</sup>	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Sulfure d'hydrogène	H <sub>2</sub> S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na <sup>+</sup>	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		500 mg/l
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

## Composés organiques (OMS, 2006) [65]

Groupe	Substance	Formule	Lignes directrices fixées par l'OMS	
Alcanes chlorés	Tétrachlorométhane	$C Cl_4$	4 µg/l	
	Dichlorométhane	$C H_2 Cl_2$	20 µg/l	
	1,1-Dichloroéthane	$C_2 H_4 Cl_2$	Pas de valeur guide	
	1,2-Dichloroéthane	$Cl CH_2 CH_2 Cl$	30 µg/l	
	1,1,1-Trichloroéthane	$CH_3 C Cl_3$	Pas de valeur guide	
Alcènes chlorés	1,1-Dichloroéthène	$C_2 H_2 Cl_2$	Pas de valeur guide	
	1,2-Dichloroéthène	$C_2 H_2 Cl_2$	50 µg/l	
	Trichloroéthène	$C_2 H Cl_3$	20 µg/l	
	Tétrachloroéthène	$C_2 Cl_4$	40 µg/l	
Hydrocarbures aromatiques	Benzène	$C_6 H_6$	10 µg/l	
	Toluène	$C_7 H_8$	700 µg/l	
	Xylènes	$C_8 H_{10}$	500 µg/l	
	Ethylbenzène	$C_8 H_{10}$	300 µg/l	
	Styrène	$C_8 H_8$	20 µg/l	
Benzènes chlorés	Monochlorobenzène (MCB)	$C_6 H_5 Cl$	Pas de valeur guide	
	Dichlorobenzènes (DCBs)	1,2-Dichlorobenzène (1,2-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	1000 µg/l
		1,3-Dichlorobenzène (1,3-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	Pas de valeur guide
		1,4-Dichlorobenzène (1,4-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	300 µg/l
	Trichlorobenzènes	$C_6 H_3 Cl_3$	Pas de valeur guide	
Constituants organiques micellaires	Adipate de dioctyle	$C_{22} H_{42} O_4$	Pas de valeur guide	
	phthalate de Di(2-ethylhexyle)	$C_{24} H_{38} O_4$	8 µg/l	
	Acrylamide	$C_3 H_5 N O$	0.5 µg/l	
	Epichlorhydrine	$C_3 H_5 Cl O$	0.4 µg/l	
	Hexachlorobutadiène	$C_4 Cl_6$	0.6 µg/l	
	Acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA)	$C_{10} H_{12} N_2 O_8$	600 µg/l	
	Nitriloacétate (NTA)	$N(CH_2COOH)_3$	200 µg/l	
	Organoétains	Dialkylétains	$R_2 Sn X_2$	Pas de valeur guide
		Oxyde de tributhylétains (TBTO)	$C_{24} H_{54} O Sn_2$	Pas de valeur guide

## Pesticides (OMS, 2006) [65]

Substance	Formule	Lignes directrices fixées par l'OMS	
Alachlore	$C_{14}H_{20}ClN_2O_2$	20 µg/l	
Aldicarbe	$C_7H_{14}N_2O_4S$	10 µg/l	
Aldrine and dièldrine	$C_{12}H_8Cl_6 / C_{12}H_8Cl_6O$	0.03 µg/l	
Atrazine	$C_8H_{14}ClN_5$	2 µg/l	
Bentazone	$C_{10}H_{12}N_2O_3S$	Pas de valeur guide	
Carbofurane	$C_{12}H_{15}NO_3$	7 µg/l	
Chlordane	$C_{10}H_6Cl_8$	0.2 µg/l	
Chlorotolurone	$C_{10}H_{13}ClN_2O$	30 µg/l	
DDT	$C_{14}H_9Cl_5$	1 µg/l	
1,2-Dibromo-3-chloropropane	$C_3H_5Br_2Cl$	1 µg/l	
acide 2,4-Dichlorophenoxyacétique (2,4-D)	$C_8H_6Cl_2O_3$	30 µg/l	
1,2-Dichloropropane	$C_3H_6Cl_2$	40 µg/l	
1,3-Dichloropropane	$C_3H_6Cl_2$	Pas de valeur guide	
1,3-Dichloropropène	$CH_3CHClCH_2Cl$	20 µg/l	
Isoproturone	$C_{12}H_{18}N_2O$	9 µg/l	
Lindane	$C_6H_6Cl_6$	2 µg/l	
MCPA	$C_9H_9ClO_3$	2 µg/l	
Methoxychlore	$(C_6H_4OCH_3)_2CHCCl_3$	20 µg/l	
Metolachlore	$C_{15}H_{22}ClNO_2$	10 µg/l	
Molinate	$C_9H_{17}NOS$	6 µg/l	
Pendimethaline	$C_{13}H_{19}O_4N_3$	20 µg/l	
Pentachlorophenole (PCP)	$C_6HCl_5O$	9 µg/l	
Perméthrine	$C_{21}H_{20}Cl_2O_3$	300 µg/l	
Propanile	$C_9H_9Cl_2NO$	Pas de valeur guide	
Pyridate	$C_{19}H_{23}ClN_2O_2S$	Pas de valeur guide	
Simazine	$C_7H_{12}ClN_5$	2 µg/l	
Trifluraline	$C_{13}H_{16}F_3N_3O_4$	20 µg/l	
Chlorophenoxy herbicides	2,4-DB	$C_{10}H_{10}Cl_2O_3$	90 µg/l
	Dichloroprope	$C_9H_8Cl_2O_3$	100 µg/l
	Fenoprope	$C_9H_7Cl_3O_3$	9 µg/l
	MCPB	$C_{11}H_{13}ClO_3$	Pas de valeur guide
	Mecoprope	$C_{10}H_{11}ClO_3$	10 µg/l
	2,4,5-T	$C_8H_5Cl_3O_3$	9 µg/l

## Désinfectants (OMS, 2006) [65]

Groupe	Substance	Formule	Lignes directrices fixées par l'OMS	
Désinfectants	Dichlore	Cl <sub>2</sub>	5 mg/l	
	Dioxyde de chlore	ClO <sub>2</sub>	Pas de valeur guide	
	Diode	I <sub>2</sub>	Pas de valeur guide	
	Bromate	Br O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10 µg/l	
	Chlorate	Cl O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	70 µg/l	
	Chlorite	Cl O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	70 µg/l	
	Chlorophenoles	2-Chlorophenol (2-CP)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl O	Pas de valeur guide
		2,4-Dichlorophenol (2,4-DCP)	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> O	Pas de valeur guide
		2,4,6-Trichlorophenol (2,4,6-TCP)	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> O	200 µg/l
	Formaldéhyde	HCHO	Pas de valeur guide	
	MX (3-Chloro-4-dichlorométhyl-5-hydroxy-2(5H)-furanone)	C <sub>5</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	Pas de valeur guide	
	Trihalométhanes	Bromoforme	C H Br <sub>3</sub>	100 µg/l
		Dibromochlorométhane	CH Br <sub>2</sub> Cl	100 µg/l
		Bromodichlorométhane	CH Br Cl <sub>2</sub>	60 µg/l
		Chloroforme	CH Cl <sub>3</sub>	300 µg/l
	Acides acétiques chlorés	Acide Monochloroacétique	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl O <sub>2</sub>	Pas de valeur guide
		Acide Dichloroacétique	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	50 µg/l
		Acide Trichloroacétique	C <sub>2</sub> H Cl <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	20 µg/l
	Hydrate de chloral (trichloroacétaldéhyde)	C Cl <sub>3</sub> CH(OH) <sub>2</sub>	Pas de valeur guide	
	Chloroacétones	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> O Cl	Pas de valeur guide	
	Halogénés acétonitriles	Dichloroacétonitrile	C <sub>2</sub> H Cl <sub>2</sub> N	20 µg/l
Dibromoacétonitrile		C <sub>2</sub> H Br <sub>2</sub> N	70 µg/l	
Trichloroacétonitrile		C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> N	Pas de valeur guide	
Chlorure de cyanogène	Cl CN	70 µg/l		
trichloronitrométhane	C Cl <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	Pas de valeur guide		

### 3- Normes de qualité de l'eau potable (UE) [13 et 65]

Directive (98/83/CE) du conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (Journal Officiel des communautés européennes JO L 330 du 05/12/1998, p 41 – 45) :

#### Paramètres chimiques (UE 1998)

Paramètres	Symbole/formule	Valeur paramétrique (mg/l)
Acrylamide	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> NO	0.0001
Antimoine	Sb	0.005
Arsenic	As	0.01
Benzène	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.001
Benzo (a) pyrène	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0.00001
Brome	Br	0.01
Cadmium	Cd	0.005
Chrome	Cr	0.05
Cuivre	Cu	2.0
Cyanure	CN	0.05
1,2-dichloroéthane	CH <sub>2</sub> Cl-CH <sub>2</sub> Cl	0.003
Epichlorhydrine	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> OCl	0.0001
Fluor	F	1.5
Plomb	Pb	0.01
Mercure	Hg	0.001
Nickel	Ni	0.02
Nitrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50
Nitrite	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.50
Pesticides		0.0001
Pesticides - Totaux		0.0005
PAHs	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N <sub>1</sub> O <sub>5</sub> P <sub>1 3</sub>	0.0001
Sélénium	Se	0.01
Tetrachloroéthène et trichloroéthylène	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	0.01
Trihalométhanés - Totaux		0.1
Chlorure de vinyle	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	0.0005

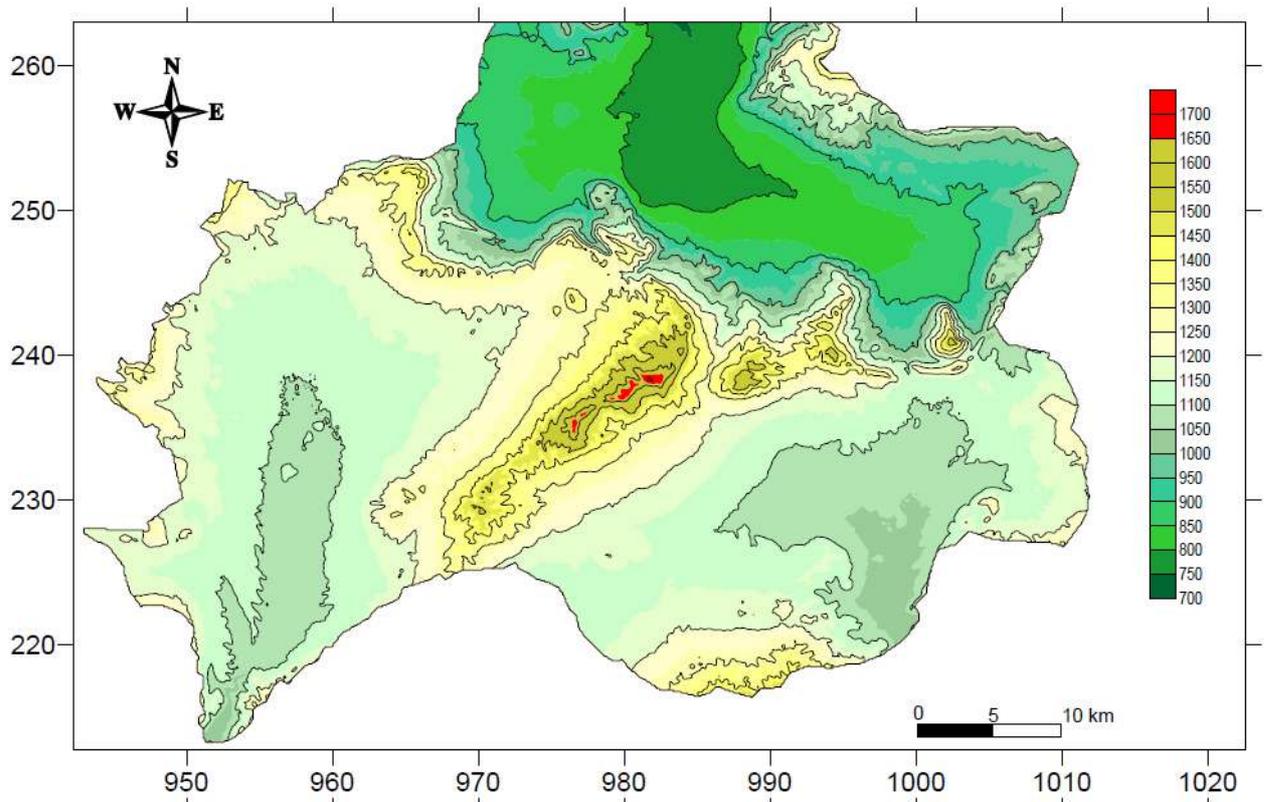
## Paramètres indicatifs (UE 1998)

Paramètres	Symbole/ formule	Valeurs paramétriques
Aluminium	Al	0.2 mg/l
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.50 mg/l
Chlorure	Cl <sup>-</sup>	250 mg/l
Couleur		Acceptable pour les consommateurs sans couleurs anormales
Conductivité	$\chi$	2500 $\mu$ S/cm à 20°C
pH	[H <sup>+</sup> ]	$\geq 6.5$ et $\leq 9.5$
Fer	Fe	0.2 mg/l
Manganèse	Mn	0.05 mg/l
Odeur		Acceptable pour les consommateurs sans odeurs anormales
Pouvoir oxydant		5.0 mg/l O <sub>2</sub>
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250 mg/l
Sodium	Na <sup>+</sup>	200 mg/l
Goût		Acceptable pour les consommateurs et sans goûts particuliers
Turbidité		Acceptable pour les consommateurs et pas de changement anormal

## Paramètres microbiologiques (UE 1998)

Paramètres	Valeur paramétrique
<i>Escherichia coli</i> ( <i>E. coli</i> )	0 à 250 ml
<i>Enterococci</i>	0 à 250 ml
Bactérie coliforme	0/100 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 à 250 ml
<i>Clostridium perfringens</i> (incluant les spores)	0/100 ml
Nombre de colonies à 22°C	100/ml
Nombre de colonies à 37°C	20/ml

## Annexe 2:



Répartition des altitudes sur la zone étudiée [88]

## Annexe 3

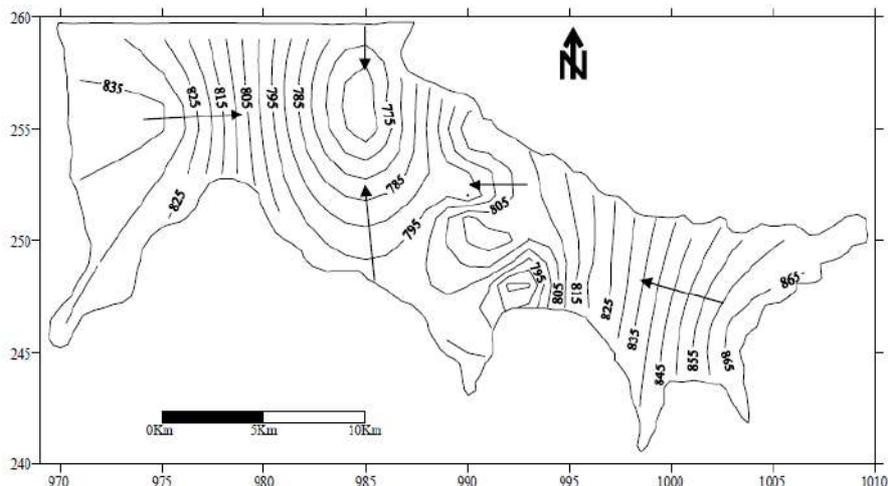
		Lithologie	Epaisseur (m)	Description lithologique			
CENOZOIQUE	Quaternaire		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.			
	Paléogène	Miocène		⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites.		
		Eocène		200	Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur.		
	MÉSOZOIQUE	C R I T O G È N E	I N F É R I E U R	Maest.		250-300	Calcaires gris clairs, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure.
				Campan.		500-600	Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure.
			Supérieur	Con-Sant.		④ 500-600	Marnes argileuses grises et grises bleuâtres.
			Turo.		180-250	Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.	
			Cénoman.		③ 900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux.	
			Vracon.		② 500-600	Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites.	
			Albien		480-600	Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.	
			Clans		100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.	
			Aptien		① 300-600	1- Faciès élastique, marnes argileuses avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. 2- Faciès carbonaté, calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interclastes.	
			Barrém.		< 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mesloula).	
Jurassique							
Trias		< 700	Formations marno-gypsifères hétérogènes avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.				

Colonne stratigraphique de la région de Tébessa [61]

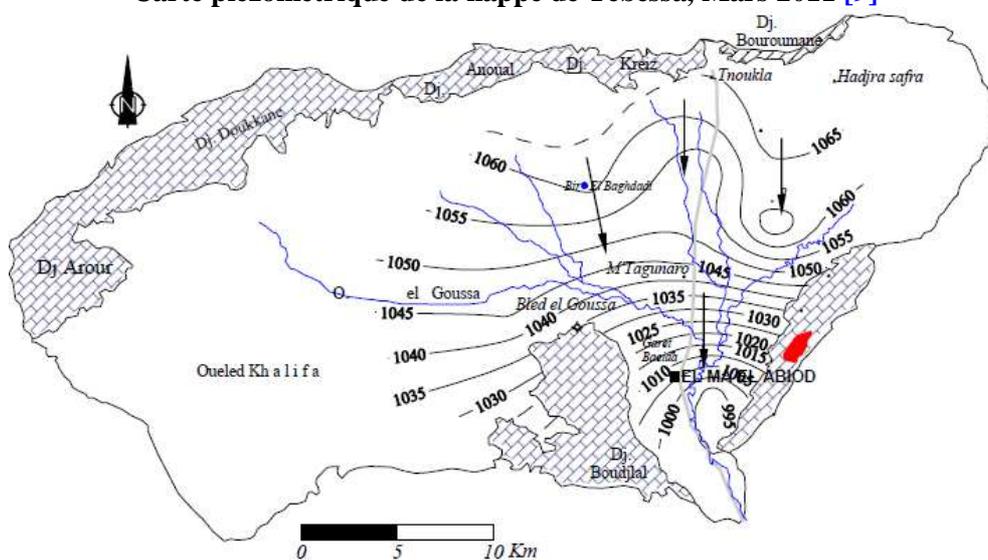
EPS	ERE	Syst per	Sous Syst époque	Etages	Symbole	Coupe	Faciès et fossiles	
150	QUATERNAIRE				q		Limons, argiles, galets, cailloutis, et éboulis actuels.	
250	TERTIAIRE	NEOGENE	MIOCÈNE	Plio-villa franchien	Pg		Dépôts argilo-gonclométriques	
250				m	Tortonien		Faciès littoraux, sables quartzeux avec une grande abondance de grain de glauconie. faciès continental, Sables quartzeux.	
					Serravallien			
					Langhien			
200				E	EOCÈNE	Lutétien		Calcaire Calcaire à silex.
		Yprésien						
100		PALEOGENE	PALEOCÈNE	Thanitien	P		Marno-calcaire et phosphate Marnes.	
				Danien				
200		SECONDAIRE	CRETACE	Supérieur SENONIEN	Maestrich-tien	C <sub>9</sub>		Calcaire en banc blanchâtre renferme des « <i>Inocerames</i> » Marne grisâtre
200					C <sub>8</sub>		Marne grise à intercalation de bancs de calcaires blanc crayeux avec des nombreux filons du calcite dans la partie inférieure.	
250	C <sub>7</sub>					Marne avec intercalation des bancs lumachelliques.		
150	C <sub>6b</sub>					Calcaires massifs beiges, par fois roses localement dalomités.		
100	C <sub>6a</sub>					Marno-calcaire gris à patine rousse (100m), ensuite calcaire marneux à « <i>Inocerames</i> » allongé à test noir.		
90	Inférieur			C <sub>5</sub>		Marnes grises très fossilifères. Marnes à filons de calcite et à intercalation de minces lits de calcaires très dures.		
				C <sub>2</sub>		Bancs de calcaires, bruns, épais		
				C <sub>1</sub>		Gros bancs de calcaires souvent bréchiques à « <i>Orbitolines</i> » et rudistes.		
100	TRIAS			TRIAS		t		Argiles rouges, marnes gypsifères.

Colonne stratigraphique de la région de Hammamet [57]

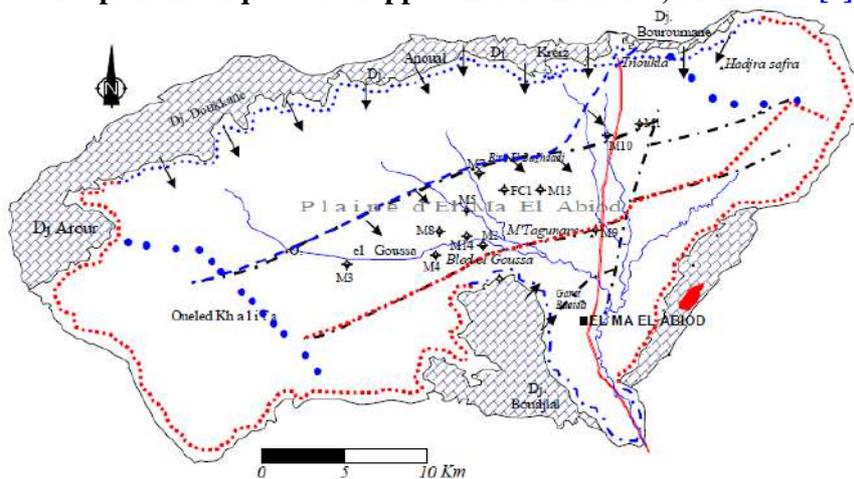
Annexe 4



Carte piézométrique de la nappe de Tébessa, Mars 2011 [9]



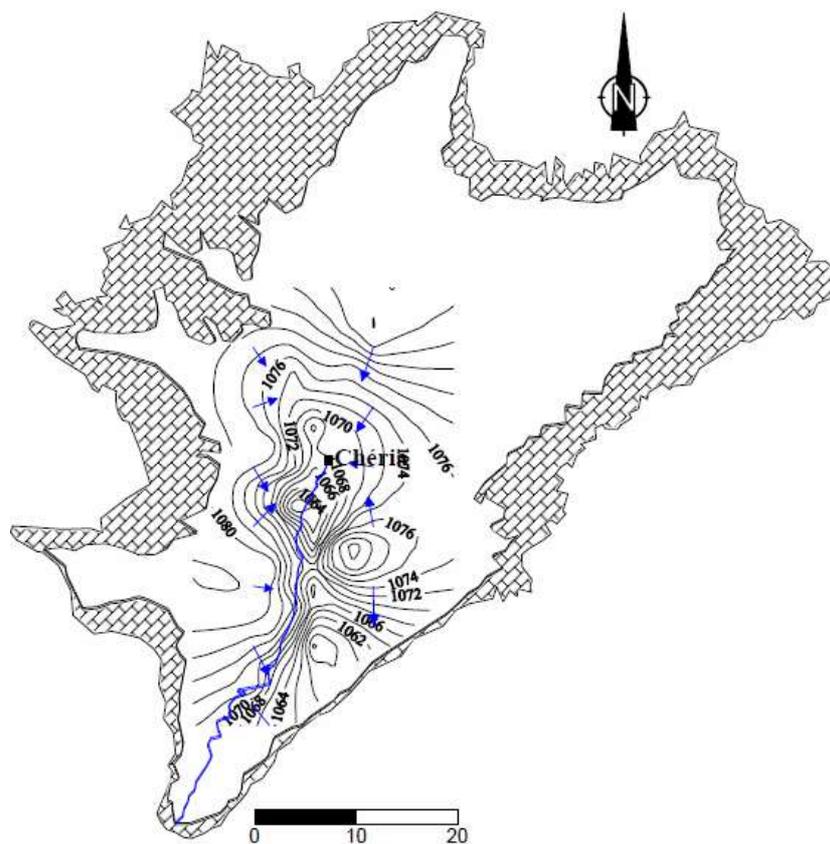
Carte piézométrique de la nappe d'El Ma El Abiod, Mars 2004 [3]



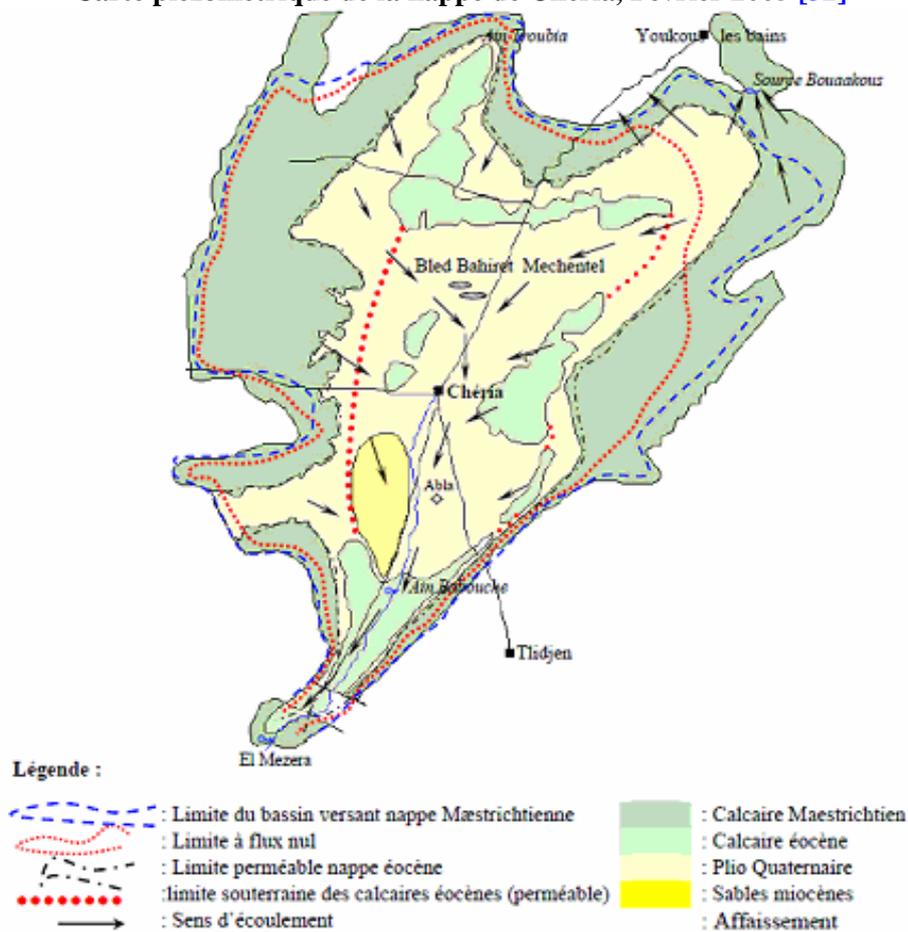
Légende :

- : Limite du terrain
- ..... : Limite perméable de la nappe
- - - : Limite perméable
- . - . : Limite souterraine des sables et grès miocènes
- ..... : Limite à flux nul

Carte des conditions aux limites de système aquifère d'El Ma El Abiod [3]

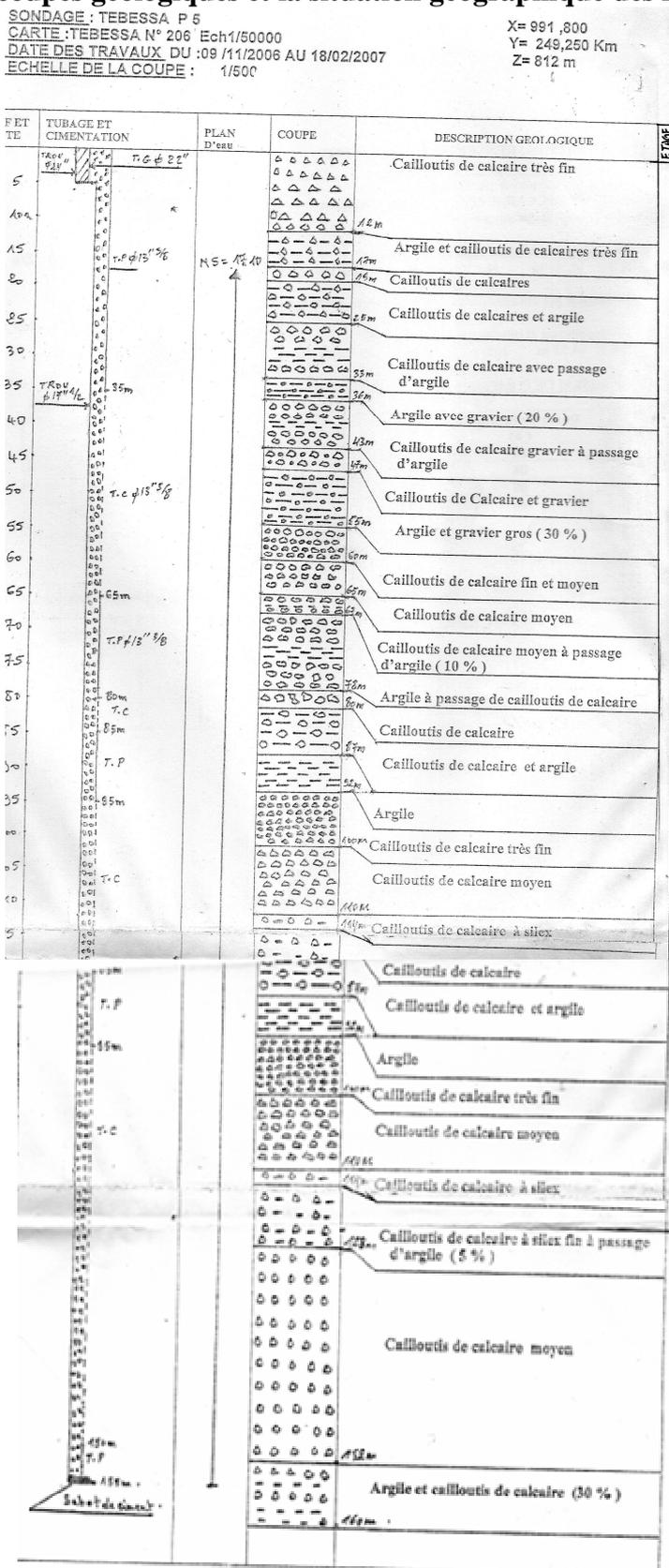


Carte piézométrique de la nappe de Chéria, Février 2005 [32]



Carte des conditions aux limites du système aquifère du Chéria [32]

**Annexe 5 : Les coupes géologiques et la situation géographique des forages étudiés [8]**



**SONDAGE** AIN CHABBRO EF1

N°   

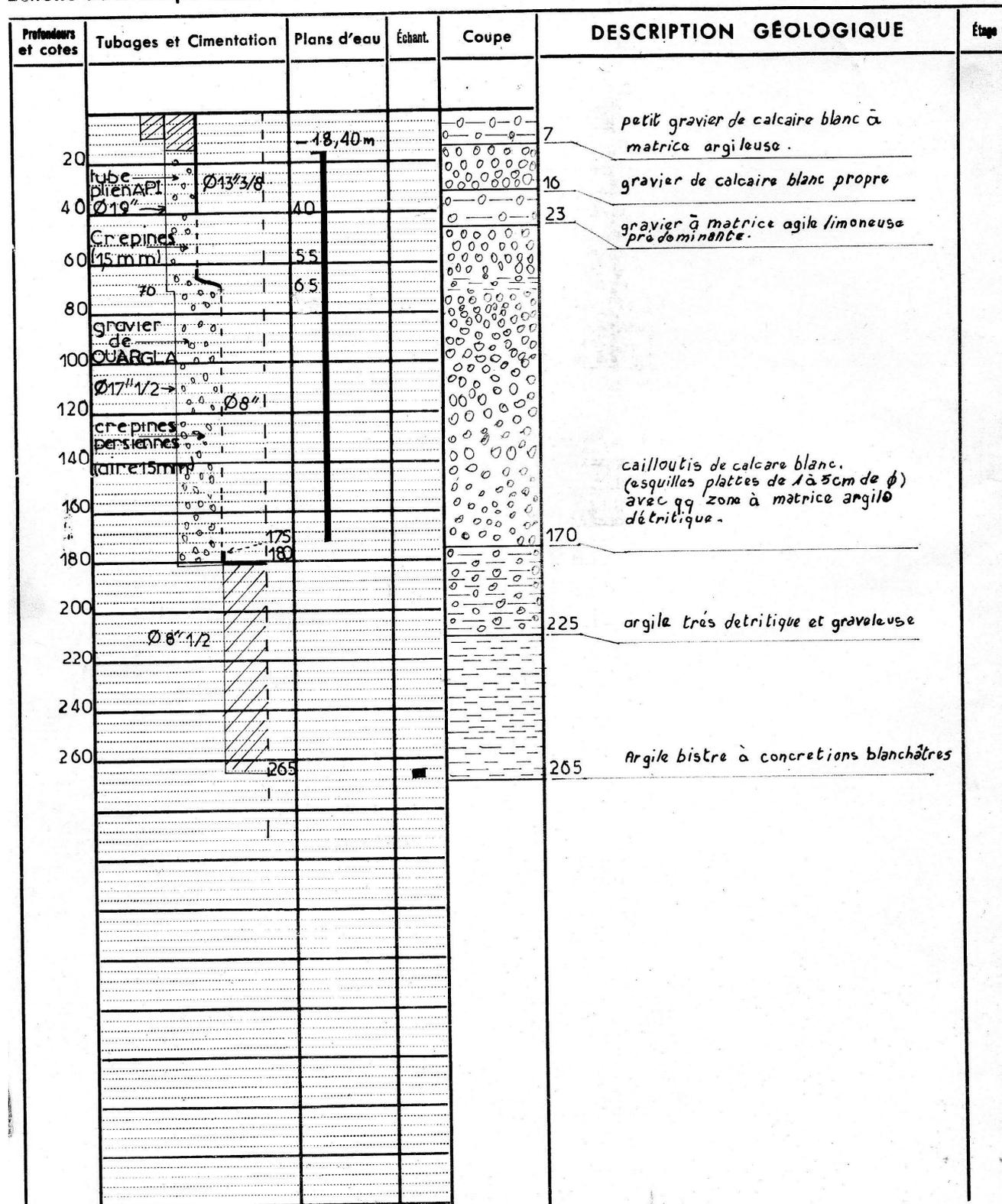
Carte: 1/50 000 N°206 TEBESSA

Long.: X 980.450 Z ≈ 78.9m

Date des travaux: du 9.04.77 au 04.07.77

Latit.: Y 253.300

Echelle de la coupe: 1/2000



mis à jour par B GAUD le 10.8.77

Coupe géologique du forage EF<sub>1</sub> (Ain Chabro- Hammamet)

# SONDAGE M<sub>4</sub> El ma el abiod

Carte: au 1/50000 d El ma el abiod n° 23

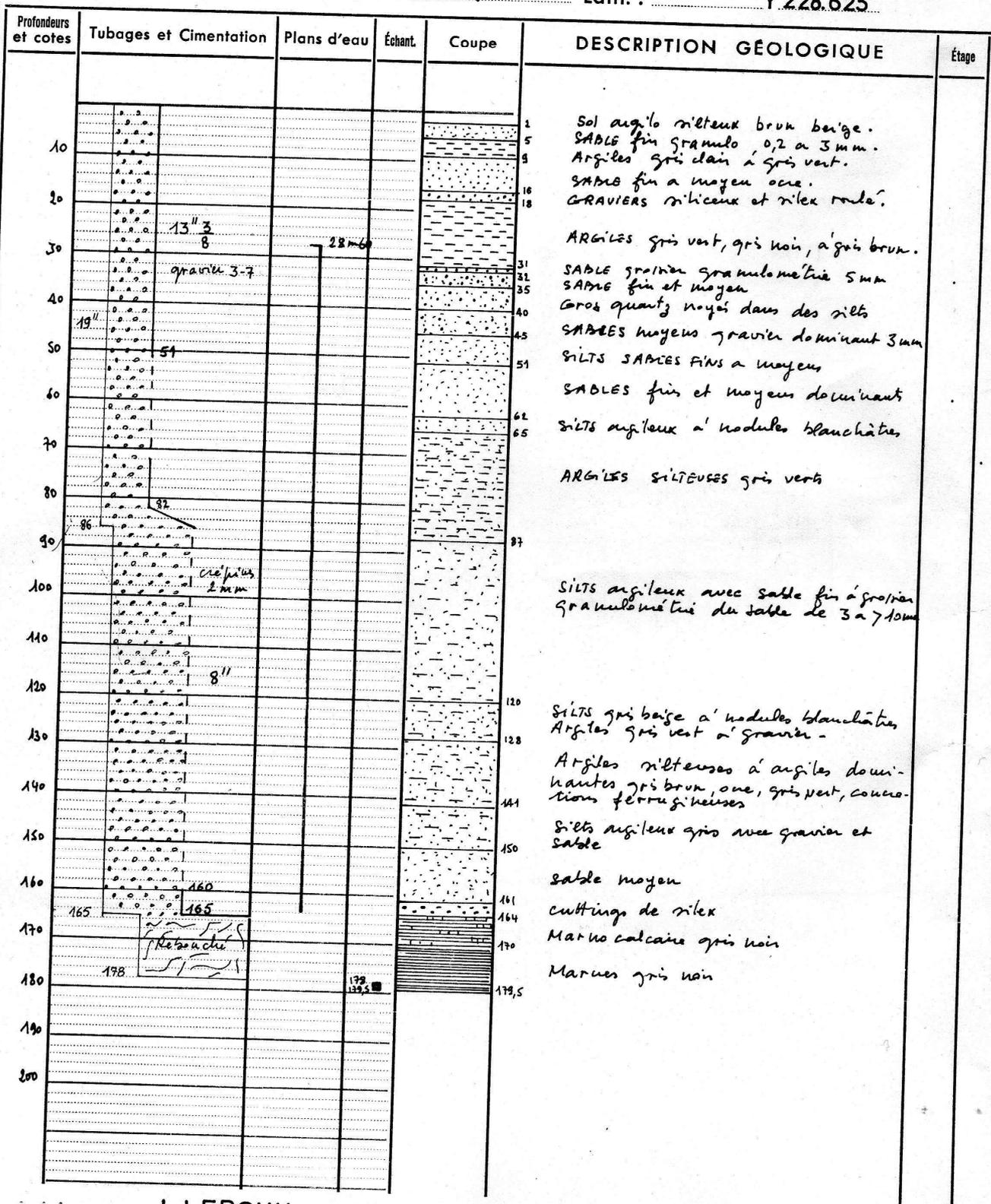
Date des travaux : 20-10-75 au 9-12-75

Echelle de la coupe : Vert 1/1000 Horiz 1/15

N° 530 235

Long. : X 990.700

Latit. : Y 228.625 Z 1080



L. LEROUX

Dec 75

Coupe géologique du forage M<sub>4</sub> (El Ma El Abiod)

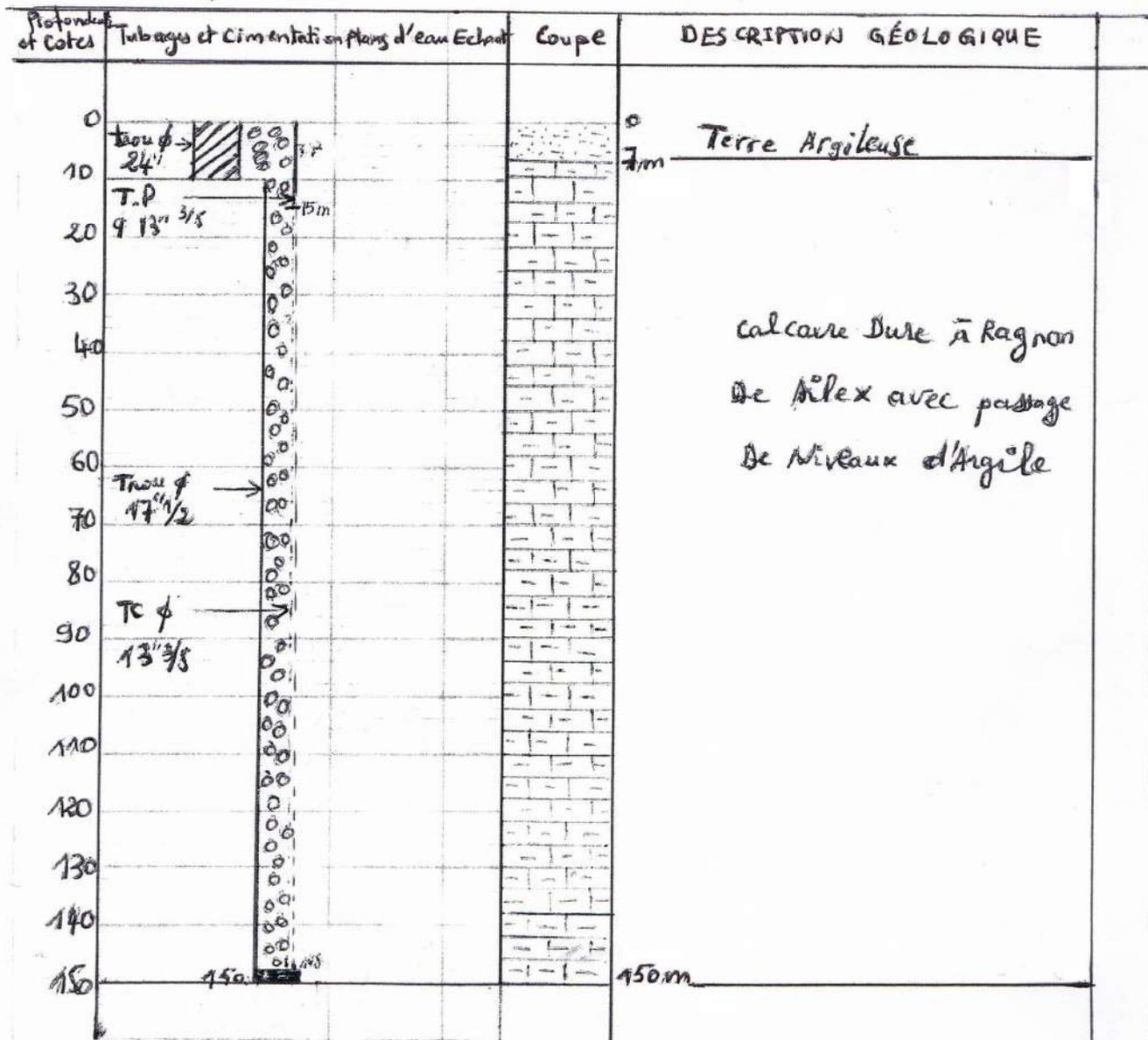
### SONDAGE CHERIA CH2

Carte: CHERIA N° 234 ECH: 1/50.000

Date des Travaux: 03/08/93

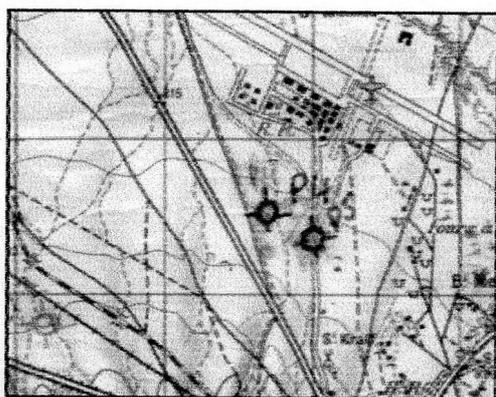
Echelle de la coupe: 1/1000

N°   
 Long: X=959,900 Z=1100 m  
 Lat: Y=229,00



Coupe géologique du forage CH<sub>2</sub> (Chéria)

Extrait de carte  
Echelle : 1/50.000



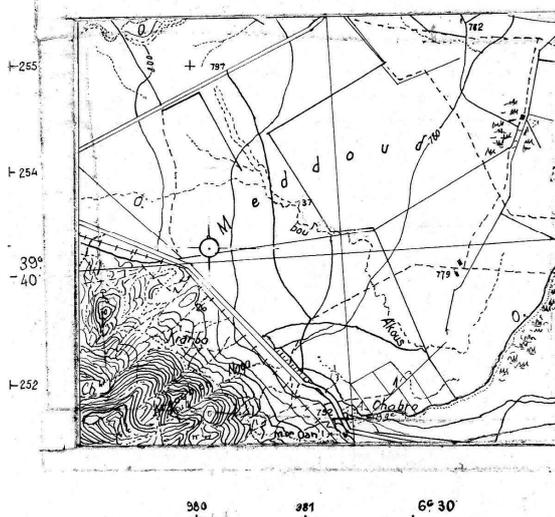
250

249

991 992 993

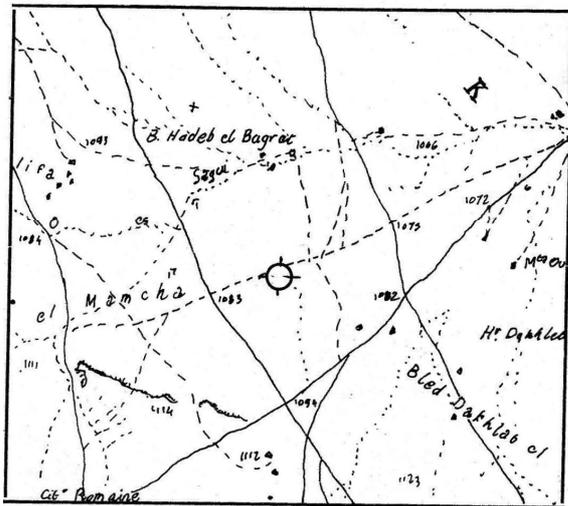
P<sub>5</sub>

Extrait de carte  
Echelle 1/50.000

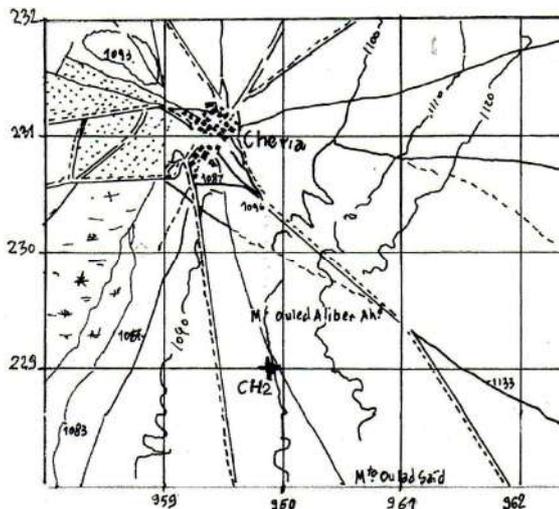


EF<sub>1</sub>

Extrait de carte 23  
Echelle 1/50.000



M<sub>4</sub>



CH<sub>2</sub>

Situations géographiques des forages étudiés

**Annexe 6 : Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des forages**  
**a- Analyses physicochimiques (ANRH Est – Constantine) de quatre forages échantillonnés le**  
**19/03/2013**



Antenne Régionale Est

وزارة الموارد المائية  
 MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU

الوكالة الوطنية للموارد المائية  
 AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES  
 Créée par décret N° 81 / 167 du 25 juillet 1981

الفرع الجهوي الشرقي

N° 124 / S. LABO / DRE / 367 / ANRH / 2013

**Demandeur : TOUAHRIA khadidja**  
**Date de prélèvement : 19-03-2013**  
**Date de réception : 20-03-2013**  
**Nature du point d'eau : Forage P5**  
**Nom du lieu : Tébessa**  
**Prélèvement effectué par : Demandeur**  
**Numéro de laboratoire : 264**

## Bulletin d'analyses

Paramètres Physico- chimiques	Résultats	Paramètres De pollution	Résultats
Heure de prélèvement		Mat. Ox (milieu acide) mg/l d'O2	
Température de l'eau °C	22	O.Phosphates mg/l	0.09
CO2 mg/l		Ammonium mg/l	0.02
Oxygène dissous mg/l		Nitrites mg/l	0.00
Turbidité	Brute NTU	Nitrates mg/l	126
	Décanté NTU		
PH	7.19	Fluor mg/l	
Conductivité µS/cm	2020	Silice mg/l	
Résidu sec à 105°C mg/l	1354		
<b>MINERALISATION GLOBALE</b>		<b>Métaux lourds µg/l</b>	
Calcium mg/l	237.27	Fer	1.632
Magnésium mg/l	50.46	Manganèse	
Sodium mg/l	80.00	Zinc	0.000
potassium mg/l	8.00	Cuivre	
Carbonates mg/l	0.00	Chrome	
Bicarbonates mg/l	317.20	Plomb	0.000
Sulfates mg/l	409.00	Cadmium	0.000
Chlorures mg/l	195.00	Arsenic	0.000
Dureté totale (TH) °F	80.3		
TA °F	0.0		
TAC °F	26.0		
Observation :			

Constantine le : 02-04-2013

Chef de Service  
 Mme BENLAHRACHE Mounira

ANRH : Direction Régionale de Constantine - Bureau de poste du 20Aout 1955 - BP. n° 532 Constantine  
 Compte Trésorerie d'Alger N° 00198000065 clé 59 Tél. : 031 92.88.52 - Fax :031 92.88.17 - Télex : 92308 Email : dre@anrh.dz



وزارة الموارد المائية  
**MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU**  
 الوكالة الوطنية للموارد المائية  
**AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES**  
 Créé par décret N°81 / 167 du 25 juillet 1981 – Compte Trésorerie d'Alger N° 402.003.221

Antenne Régionale Est

الفرع الجهوي للشرق

N° 123 / S. LABO / DRE / 366 / ANRH / 2013

**Demandeur :** TOUAHRIA Khadidja  
**Date de prélèvement :** 19-03-2013  
**Date de réception :** 20-03-2013  
**Nature du point d'eau :** Forage EF1  
**Nom du lieu :** Hammamet (Ain Chabro)  
**Prélèvement effectué par :** Demandeur  
**Numéro de laboratoire :** 263

## Bulletin d'analyses

Paramètres Physico- chimiques		Résultats	Paramètres De pollution		Résultats
Heure de prélèvement			Mat. Ox (milieu acide)	mg/l d'O2	
Température de l'eau °C		22	O.Phosphates	mg/l	0.05
CO2 mg/l			Ammonium	mg/l	0.00
Oxygène dissous mg/l			Nitrites	mg/l	0.00
Turbidité	Brute NTU	1.14	Nitrates	mg/l	50
	Décanté NTU	0.82			
PH		7.08	Fluor	mg/l	
Conductivité µS/cm		1320	Silice	mg/l	
Résidu sec à 105°C mg/l		824			
<b>MINERALISATION GLOBALE</b>			<b>Métaux lourds µg/l</b>		
Calcium	mg/l	158.34	Fer		46.43
Magnésium	mg/l	29.03	Manganèse		
Sodium	mg/l	80.00	Zinc		0.000
potassium	mg/l	1.00	Cuivre		
Carbonates	mg/l	0.00	Chrome		
Bicarbonates	mg/l	195.20	Plomb		0.000
Sulfates	mg/l	324.00	Cadmium		0.000
Chlorures	mg/l	125.00	Arsenic		0.000
Dureté totale (TH)	°F	51.7			
TA	°F	0.0			
TAC	°F	16.0			
Observation :					

Constantine le : 02-04-2013

Chef de Service  
 Mme BENLAHRACHE Mounira



ANRH / D.R.E : Bureau de poste 20 Aout 1955, B.P.532 (W.Constantine) 532 هـ.ت. مكنة، ص ب 532 هـ.ت. مكنة  
 روم م : مكتب البريد 20 لوت 1955، ص ب 532 هـ.ت. مكنة  
 Tél. : (031)92.88.52 – Fax : (041) 92.88.17



وزارة الموارد المائية  
**MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU**  
 الوكالة الوطنية للموارد المائية

**AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES**

Créé par décret N°81 / 167 du 25 juillet 1981 – Compte Trésorerie d'Alger N° 402.003.221

Antenne Régionale Est

الفرع الجهوي للشرق

N° 122 / S. LABO / DRE / 365 / ANRH / 2013

**Demandeur : TOUAHRIA Khadidja**  
**Date de prélèvement : 19-03-2013**  
**Date de réception : 20-03-2013**  
**Nature du point d'eau : Forage M4**  
**Nom du lieu : El Ma El Abiod**  
**Prélèvement effectué par : Demandeur**  
**Numéro de laboratoire : 262**

Bulletin d'analyses

Paramètres Physico- chimiques		Résultats	Paramètres De pollution		Résultats
Heure de prélèvement			Mat. Ox (milieu acide)	mg/l d'O2	
Température de l'eau °C		22	O.Phosphates	mg/l	0.00
CO2 mg/l			Ammonium	mg/l	0.00
Oxygène dissous mg/l			Nitrites	mg/l	0.00
Turbidité	Brute NTU	1.74	Nitrates	mg/l	43
	Décanté NTU	1.00			
PH		7.81	Fluor	mg/l	
Conductivité µS/cm		920	Silice	mg/l	
Résidu sec à 105°C mg/l		574			
<b>MINERALISATION GLOBALE</b>			<b>Métaux lourds µg/l</b>		
Calcium	mg/l	111.39	Fer		20.21
Magnésium	mg/l	28.23	Manganèse		
Sodium	mg/l	36.00	Zinc		197.8
potassium	mg/l	1.00	Cuivre		
Carbonates	mg/l	0.00	Chrome		
Bicarbonates	mg/l	189.10	Plomb		0.116
Sulfates	mg/l	161.00	Cadmium		0.000
Chlorures	mg/l	105.00	Arsenic		0.000
Dureté totale (TH)	°F	39.6			
TA	°F	0.0			
TAC	°F	15.5			
Observation :					

Constantine le : 02-04-2013

Chef de Service  
 Mme BENLAHRACHE Mounira

ANRH / D.R.E : Bureau de poste 20 Aout 1955, B.P.532 (W.Constantine) 532 قسنطينة، ص ب 1955، لوت 20 مكتب البريد  
 و.م.م : مكتب البريد 20 لوت 1955، ص ب 532 قسنطينة  
 Tél. : (031)92.88.52 – Fax : (041) 92.88.17



وزارة الموارد المائية  
**MINISTÈRE DES RESSOURCES EN EAU**  
 الوكالة الوطنية للموارد المائية  
**AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES**  
 Créé par décret N°81 / 167 du 25 juillet 1981 – Compte Trésorerie d'Alger N° 402.003.221

Antenne Régionale Est

الفرع الجهوي للشرق

N° 125 / S.LABO / DRE / 368 / ANRH / 2013

**Demandeur :** TOUAHRIA Khadidja  
**Date de prélèvement :** 19-03-2013  
**Date de réception :** 20-03-2013  
**Nature du point d'eau :** Forage CH2  
**Nom du lieu :** Chéria  
**Prélèvement effectué par :** Demandeur  
**Numéro de laboratoire :** 265

## Bulletin d'analyses

Paramètres Physico- chimiques		Résultats	Paramètres De pollution		Résultats
Heure de prélèvement			Mat. Ox (milieu acide)	mg/l d'O2	
Température de l'eau °C		22	O.Phosphates	mg/l	0.07
CO2 mg/l			Ammonium	mg/l	0.00
Oxygène dissous mg/l			Nitrites	mg/l	0.0187
Turbidité	Brute NTU	5.11	Nitrates	mg/l	64
	Décanté NTU	0.92			
PH		7.44	Fluor	mg/l	
Conductivité µS/cm		1010	Silice	mg/l	
Résidu sec à 105°C mg/l		632			
<b>MINERALISATION GLOBALE</b>			<b>Métaux lourds µg/l</b>		
Calcium	mg/l	115.74	Fer		103.6
Magnésium	mg/l	32.63	Manganèse		
Sodium	mg/l	42.00	Zinc		163.8
potassium	mg/l	1.00	Cuivre		
Carbonates	mg/l	0.00	Chrome		
Bicarbonates	mg/l	207.40	Plomb		0.000
Sulfates	mg/l	182.00	Cadmium		0.000
Chlorures	mg/l	110.00	arsenic		0.000
Dureté totale (TH)	°F	42.5			
TA	°F	0.0			
TAC	°F	17.0			
Observation :					

Constantine le : 02-04-2013

Chef de Service  
 Mme BENLAHRACHE Mounira



ANRH / D.R.E : Bureau de poste 20 Aout 1955, B.P.532 (W.Constantine) مکتب البريد 20 اوت 1955, ص ب 532 قسنطينة  
 Tél. : (031)92.88.52 – Fax : (041) 92.88.17

**b- Analyses bactériologiques (Laboratoire FETHALLAH – Tébessa) des forages échantillonnés :**  
**P<sub>5</sub> (Tébessa) et CH<sub>2</sub> (Chéria) : le 20/05/2013 ;**  
**M<sub>4</sub> (El Ma El Abiod) : le 29/05/2013**

**EURL LABORATOIRE FETHALLAH**  
**DE CONTROLE DE LA QUALITE**  
**Agro-alimentaires-Cosmétiques-Détergents**



**SIEGE PRINCIPALE** : Cité El- Wiam Route de Constantine – Tébessa.  
 TEL/FAX :037499551 /Mobil :0661865278/0661865289/ 0668255840.  
 N° RC : 02 B 0582685 Tébessa. /M.F.N°: 0.002.1201.90076.55 /Art N°: 1201520158  
 Autorisation ministérielle N° : 07 Du 23/05/2001.  
 AG N° :009 Du 07/06/2004.  
**ANNEXE ANNABA** : Ouad el dahab 2 bloc A Annaba  
 TEL:038842627- fax 038842642 /Mobil: 0553605440 /0550556757  
 N° RC : 02 B 0582685 Annaba.  
 AG ANNEXE N° :003 Du 04/02/2010.

**BULLETIN D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**  
**DE L'EAU DE FORAGE TEBESSA**

**Nom et prénom du client** : TOUAHRIA

**Produit à analyser** : EAU DE FORAGE TEBESSA

**Adresse**: (W) TEBESSA

**Date de réception de l'échantillon** : 20/05/2013.

**Échantillon N°**:303/2013

**Date de remise des résultats** : 26/05/2013.

**Échantillon prélevé par le client**

Analyse Effectuées	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05	Normes	Méthode Utilisée	Référence
Coliformes Aérobie à 37°C	Absence	Absence	02 germes/ml	04 germes/ml	Absence	< 10 germes/ml	N.A 6360 1994 *RODIER A.F.NOR 1985	Journaux Officiels N° : 35 Du 24/01/1998
Coliformes Fécaux	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Germes aérobies à 37°C	48 germes/ml	59 germes/ml	31 germes/ml	15 germes/ml	86 germes/ml	< 20 germes/ml		
Germes aérobies à 22°C	2.10 <sup>2</sup> germes/ml	4.10 <sup>2</sup> germes/ml	3.10 <sup>2</sup> germes/ml	190 germes/ml	3.10 <sup>2</sup> germes/ml	< 10 <sup>2</sup> germes/ml		
Clostridium S/R à 46 °C	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Staphylocoques "staphylococcus aureus"	Absence	01 germes/ml	01 germes/ml	01 germes/ml	01 germes/ml	Absence		
Streptocoque Fécaux (D)	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Salmonelles /Schigelles	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		

Remarque: N.A : Norme algérienne.

Analyses effectuées par:

Le Directeur De Laboratoire

Eurl Laboratoire de Contrôle  
de la Qualité FETHALLAH  
FETHALLAH Qualid  
R.C: 02 . B . 0582685 TEBESSA

Service  
De Microbiologie



**EURL LABORATOIRE FETHALLAH  
DE CONTROLE DE LA QUALITE  
Agro-alimentaires-Cosmétiques-Détergents**



**SIEGE PRINCIPALE** : Cité El- Wiam Route de Constantine – Tébessa.  
TEL/FAX :037499551 /Mobil :0661865278/0661865289/ 0668255840.  
N° RC : 02 B 0582685 Tébessa. /M.F.N°: 0.002.1201.90076.55 /Art N°: 1201520158  
Autorisation ministérielle N° : 07 Du 23/05/2001.  
AG N° :009 Du 07/06/2004.  
**ANNEXE ANNABA** : Ouad el dahab 2 bloc A Annaba  
TEL:038842627- fax 038842642 /Mobil: 0553605440 /0550556757  
N° RC : 02 B 0582685 Annaba.  
AG ANNEXE N° :003 Du 04/02/2010.

**BULLETIN D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**  
**DE L'EAU DE FORAGE TEBESSA (TOUAHRIA)**  
**20/05/2013**

Interprétation des résultats :

*Les résultats des analyses micro biologiques effectuées sur le produit dit :  
**L'EAU DE FORAGE** a mis en évidence ceci :*

- présence d'un taux des coliformes aérobies (à 37°C) dans les normes.
- présence d'un taux des coliformes fécaux dans les normes.
- présence d'un taux des germes aérobies (à 37°C) **hors les normes.**
- présence d'un taux des germes aérobies (à 22°C) **hors les normes.**
- Une absence totale de chlostridium sulfito-réducteurs (à 46°C).
- Une présence d'un taux des staphylocoques **hors les normes.**
- Une absence totale de streptocoques fécaux D.
- Une absence totale des salmonelles et Schigelles.

**Conclusion :**

*Vu les arrêtés interministériels des journaux officiels n°35 du 24 janvier 1998 relatif aux spécifications de certaines denrées alimentaires - critères microbiologiques des eaux et boissons-  
Le produit dit : **L'EAU DE FORAGE TEBESSA** présentant une qualité microbiologique  
**Non satisfaisante. (Eau non potable).***

***N/B : elle doit subir un traitement microbologique avec une lampe à UV ou avec le chlore et ses dérivés.***

Remarque :

*Les résultats prescrits ci-dessus concernent uniquement le prélèvement du : 20/05/2013.  
Analyses effectuées par:*

Le Directeur De Laboratoire  
Eurl Laboratoire de Contrôle  
de la Qualité FETHALLAH  
**FETHALLAH Oualid**  
R.C: 02 . B . 0582685 TEBESSA



**EURL LABORATOIRE FETHALLAH**  
**DE CONTROLE DE LA QUALITE**  
**Agro-alimentaires-Cosmétiques-Détergents**

**SIEGE PRINCIPALE** : Cité El- Wiam Route de Constantine – Tébessa.  
 TEL/FAX :037499551 /Mobil :0661865278/0661865289/ 0668255840.  
 N° RC : 02 B 0582685 Tébessa. /M.F.N°: 0.002.1201.90076.55 /Art N°: 1201520158  
 Autorisation ministérielle N° : 07 Du 23/05/2001.  
 AG N° :009 Du 07/06/2004.  
**ANNEXE ANNABA** : Ouad el dahab 2 bloc A Annaba  
 TEL:038842627- fax 038842642 /Mobil: 0553605440 /0550556757  
 N° RC : 02 B 0582685 Annaba.  
 AG ANNEXE N° :003 Du 04/02/2010.



**BULLETIN D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**  
**DE L'EAU DE FORAGE CHERIA**

**Nom et prénom du client** : TOUAHRIA

**Produit à analyser** : EAU DE FORAGE CHERIA

**Adresse**: (W) TEBESSA

**Date de réception de l'échantillon** : 20/05/2013.

**Échantillon N°**:302 /2013

**Date de remise des résultats** : 26/05/2013.

**Échantillon prélevé par le client**

Analyse Effectuées	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05	Normes	Méthode Utilisée	Référence
Coliformes Aérobie à 37°C	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	< 10 germes/ml	N.A 6360 1994 *RODIER A.F.NOR 1985	Journaux Officiels N° : 35 Du 24/01/1998
Coliformes Fécaux	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Germes aérobies à 37°C	29 germes/ml	11 germes/ml	27 germes/ml	38 germes/ml	50 germes/ml	< 20 germes/ml		
Germes aérobies à 22°C	10 <sup>2</sup> germes/ml	98 germes/ml	2.10 <sup>2</sup> germes/ml	160 germes/ml	214 germes/ml	< 10 <sup>2</sup> germes/ml		
Clostridium S/R à 46 °C	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Staphylocoques "staphylococcus aureus"	01 germes/ml	02 germes/ml	Absence	Absence	01 germes/ml	Absence		
Streptocoque Fécaux (D)	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Salmonelles /Schigelles	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		

**Remarque**: N.A : Norme algérienne.

Analyses effectuées par:

Le Directeur De Laboratoire

Eurl Laboratoire de Contrôle  
de la Qualité FETHALLAH  
FETHALLAH Qualid  
R.C: 02 B . 0582685 TEBESSA

Service  
De Microbiologie



**EURL LABORATOIRE FETHALLAH  
DE CONTROLE DE LA QUALITE  
Agro-alimentaires-Cosmétiques-Détergents**

**SIEGE PRINCIPALE** : Cité El- Wiam Route de Constantine – Tébessa.  
TEL/FAX :037499551 /Mobil :0661865278/0661865289/ 0668255840.  
N° RC : 02 B 0582685 Tébessa. /M.F.N°: 0.002.1201.90076.55 /Art N°: 1201520158  
Autorisation ministérielle N° : 07 Du 23/05/2001.  
AG N° :009 Du 07/06/2004.  
**ANNEXE ANNABA** : Ouad el dahab 2 bloc A Annaba  
TEL:038842627- fax 038842642 /Mobil: 0553605440 /0550556757  
N° RC : 02 B 0582685 Annaba.  
AG ANNEXE N° :003 Du 04/02/2010.



**BULLETIN D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**  
**DE L'EAU DE FORAGE CHERIA (TOUAHRIA)**  
**20/05/2013**

Interprétation des résultats :

*Les résultats des analyses micro biologiques effectuées sur le produit dit :*  
**L'EAU DE FORAGE** a mis en évidence ceci :

- présence d'un taux des coliformes aérobies (à 37°C) dans les normes.
- présence d'un taux des coliformes fécaux dans les normes.
- présence d'un taux des germes aérobies (à 37°C) hors les normes.
- présence d'un taux des germes aérobies (à 22°C) hors les normes.
- Une absence totale de chlostridium sulfito-réducteurs (à 46°C).
- Une présence d'un taux des staphylocoques hors les normes.
- Une absence totale de streptocoques fécaux D.
- Une absence totale des salmonelles et Schigelles.

**Conclusion :**

*Vu les arrêtés interministériels des journaux officiels n°35 du 24 janvier 1998 relatif aux spécifications de certaines denrées alimentaires - critères microbiologiques des eaux et boissons-*  
*Le produit dit : **L'EAU DE FORAGE CHERIA** présentant une qualité microbiologique*

**Non satisfaisante. (Eau non potable).**

**N/B : elle doit subir un traitement microbiologique avec une lampe à UV ou avec le chlore et ses dérivés.**

Remarque :

*Les résultats prescrits ci- dessus concernent uniquement le prélèvement du : 20/05/2013.*  
Analyses effectuées par:

Le Directeur De Laboratoire  
Eurl Laboratoire de Contrôle  
de la Qualité FETHALLAH  
**FETHALLAH Qualid**  
R.C. 02 . B . 0582685 TEBESSA

Service  
De Microbiologie



**EURL LABORATOIRE FETHALLAH**  
DE CONTROLE DE LA QUALITE  
Agro-alimentaires-Cosmétiques-Détergents



**SIEGE PRINCIPALE** : Cité El- Wiam Route de Constantine – Tébesa.  
TEL/FAX :037499551 /Mobil :0661865278/0661865289/ 0668255840.  
N° RC : 02 B 0582685 Tebessa. /M.F.N°: 0.002.1201.90076.55 /Art N°: 1201520158  
Autorisation ministérielle N° : 07 Du 23/05/2001.  
AG N° :009 Du 07/06/2004.  
**ANNEXE ANNABA** : Ouad el dahab 2 bloc A Annaba  
TEL:038842627- fax 038842642 /Mobil: 0553605440 /0550556757  
N° RC : 02 B 0582685 Annaba.  
AG ANNEXE N° :003 Du 04/02/2010.

**BULLETIN D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**  
**DE L'EAU DE FORAGE**

Nom et prénom du client : TOUAHRIA

Produit à analyser : **EAU DE FORAGE M<sup>2</sup> EL MA EL ABIAD**

Adresse: (W) TEBESSA

Date de réception de l'échantillon : 29/05/2013.

Échantillon N°:332 /2013

Date de remise des résultats : 04/06/2013.

Échantillon prélevé par le client

Analyse Effectuées	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05	Normes	Méthode Utilisée	Référence
Coliformes Aérobie à 37°C	07 germes/ml	22 germes/ml	154 germes/ml	116 germes/ml	79 germes/ml	<10 germes/ml	N.A 6360 1994 *RODIER A.F.NOR 1985	<b>Journaux Officiels N° : 35 Du 24/01/1998</b>
Coliformes Fécaux	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Germes aérobie à 37°C	34 germes/ml	25 germes/ml	51 germes/ml	23 germes/ml	46 germes/ml	<20 germes/ml		
Germes aérobie à 22°C	59 germes/ml	10 <sup>2</sup> germes/ml	72 germes/ml	128 germes/ml	169 germes/ml	<10 <sup>2</sup> germes/ml		
Clostridium S/R a 46 °C	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Staphylocoques "staphylococcus aureus"	01 germes/ml	09 germes/ml	03 germes/ml	01 germes/ml	01 germes/ml	Absence		
Streptocoque Fécaux (D)	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		
Salmonelles /Schigelles	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence		

Remarque: N.A : Norme algérienne.

Analyses effectuées par:

Le Directeur De Laboratoire

Eurl Laboratoire de Contrôle  
de la Qualité FETHALLAH  
FETHALLAH Qualid  
R.C: 02 . B . 0582685 TEBESSA

Service  
De Microbiologie



EURL LABORATOIRE FETHALLAH  
DE CONTROLE DE LA QUALITE  
Agro-alimentaires-Cosmétiques-Détergents



SIEGE PRINCIPALE : Cité El- Wiam Route de Constantine – Tébessa.  
TEL/FAX :037499551 /Mobil :0661865278/0661865289/ 0668255840.  
N° RC : 02 B 0582685 Tébessa. /M.F.N°: 0.002.1201.90076.55 /Art N°: 1201520158  
Autorisation ministérielle N° : 07 Du 23/05/2001.  
AG N° :009 Du 07/06/2004.  
ANNEXE ANNABA : Ouad el dahab 2 bloc A Annaba  
TEL:038842627- fax 038842642 /Mobil: 0553605440 /0550556757  
N° RC : 02 B 0582685 Annaba.  
AG ANNEXE N° :003 Du 04/02/2010.

**BULLETIN D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES**  
**DE L'EAU DE FORAGE M<sub>4</sub> EL MA EL ABIAD**  
**(TOUAHRIA) 29/05/2013**

Interprétation des résultats :

Les résultats des analyses micro biologiques effectuées sur le produit dit :  
**L'EAU DE FORAGE M<sub>4</sub>** a mis en évidence ceci :

- présence d'un taux des coliformes aérobies (à 37°C) **hors les normes.**
- présence d'un taux des coliformes fécaux dans les normes.
- présence d'un taux des germes aérobies (à 37°C) **hors les normes.**
- présence d'un taux des germes aérobies (à 22°C) **hors les normes.**
- Une absence totale de chlostridium sulfito-réducteurs (à 46°C).
- Une présence d'un taux des staphylocoques **hors les normes.**
- Une absence totale de streptocoques fécaux D.
- Une absence totale des salmonelles et Schigelles.

**Conclusion :**

Vu les arrêtés interministériels des journaux officiels n°35 du 24 janvier 1998 relatif aux spécifications de certaines denrées alimentaires - critères microbiologiques des eaux et boissons-  
Le produit dit : **L'EAU DE FORAGE M<sub>4</sub>** présentant une qualité microbiologique

**Non satisfaisante. (Eau non potable).**

**N/B :** elle doit subir un traitement microbiologique avec une lampe à UV ou avec le chlore et ses dérivés.

Remarque :

Les résultats prescrits ci- dessus concernent uniquement le prélèvement du : 29/05/2013.

Analyses effectuées par:

Le Directeur Du Laboratoire  
Eurl Laboratoire de Contrôle  
de la Qualité FETHALLAH  
FETHALLAH Qualid  
R.C: 02 B. 0582685 TEBESSA



**c- Milieux de culture utilisés au laboratoire FETHALLAH des analyses microbiologiques**

<b>Germes</b>	<b>Milieux de culture</b>	<b>Durée</b>	<b>T°</b>
Germes aérobies	Gélose Nutritive	72 h	37°
	Extrait de levure		
	PCA		
Coliformes	VRBL	72 h	37°
	MAC CONKEY		
	HECTOEIN		
	BCPL D/C et S/C		
	VBL		
	DRIGLASKI		
	ENDO BROTH		
	EOSINE Bleu de méthylène (EMB)		
Streptocoques	MULLER HINTON	72 h	37°
Staphylocoques	Chapman	72 h	37°
	Gélose Mayeux		
Salmonelles Shigelles	Gélose Salmonelle Shigelle (SS)	72 h	37°
	Gélose (DCL) (DCLS)		
	MULLER KAUFFMAN		
	HECTOEIN		
Clostridium	MULLER HINTON	72 h	46°
	Base de Gélose au sang		
	Viande Foie		

## Annexe7 : Tableaux de vérification de validité des analyses et de classement chimique des eaux échantillonnées

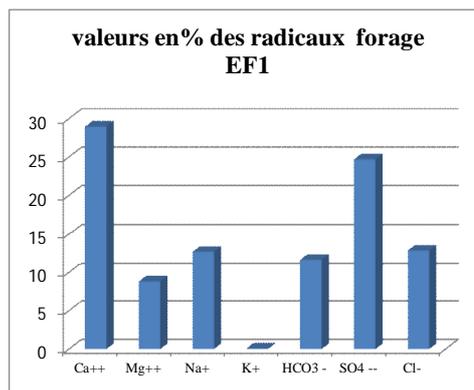
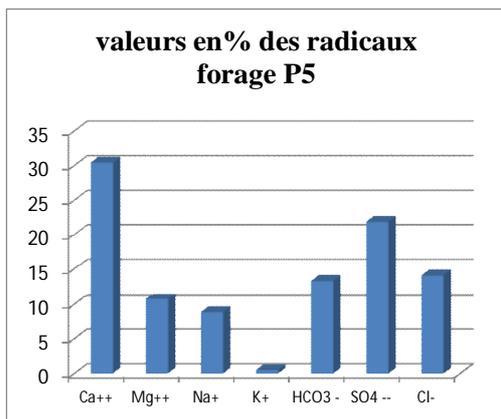
Forage CH2 - Chéria											
Elément	Poids (mg/l)	Masse Atomique	Valence	Equivalent chimique	Quantité en Réaction (méq/l)	% en Elément	Somme des % des I + et - (%)	Ordre des I + et -	Balance r' (%)	Analyse	Faciès chimique
Ca <sup>2+</sup>	115,74	40	2	20	5,79	28,027		1			
Mg <sup>2+</sup>	32,63	24	2	12	2,72	13,169	50,164	2			
Na <sup>+</sup>	42	23	1	23	1,83	8,844		3			
K <sup>+</sup>	1	39	1	39	0,03	0,124		4			
									0,328	Fiable	Sulfaté Calcique
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	207,4	61	1	61	3,40	16,466		2			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	182	96	2	48	3,79	18,363	49,836	1			
Cl <sup>-</sup>	110	35,5	1	35,5	3,10	15,007		3			
Somme					20,65	100,000					

Forage EF1 - Hammamet (Ain Chabro)											
Elément	Poids (mg/l)	Masse Atomique	Valence	Equivalent chimique	Quantité en Réaction (méq/l)	% en Elément	Somme des % des I + et - (%)	Ordre des I + et -	Balance r' (%)	Analyse	Faciès chimique
Ca <sup>2+</sup>	158,34	40	2	20	7,92	28,988		1			
Mg <sup>2+</sup>	29,03	24	2	12	2,42	8,858	50,675	3			
Na <sup>+</sup>	80	23	1	23	3,48	12,736		2			
K <sup>+</sup>	1	39	1	39	0,03	0,094		4			
									1,351	Fiable	Sulfaté Calcique
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	195,2	61	1	61	3,20	11,717		3			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	324	96	2	48	6,75	24,715	49,325	1			
Cl <sup>-</sup>	125	35,5	1	35,5	3,52	12,893		2			
Somme					27,31	100,000					

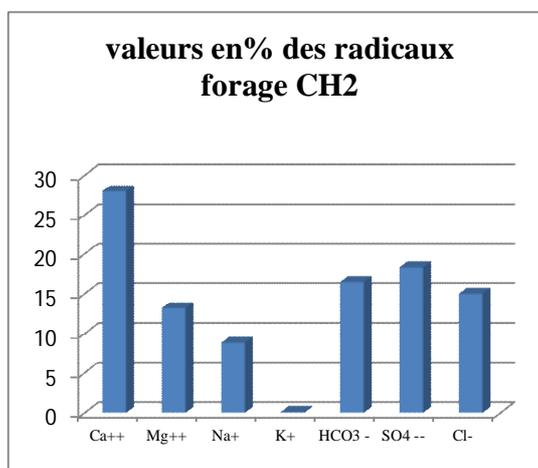
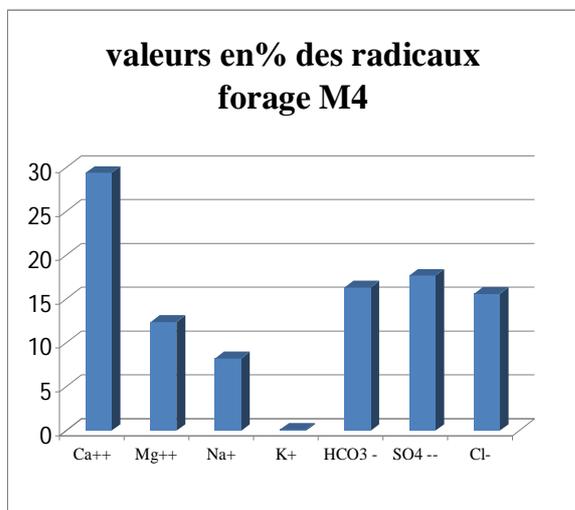
Forage M4 -El Ma El Abiod											
Elément	Poids (mg/l)	Masse Atomique	Valence	Equivalent chimique	Quantité en Réaction (méq/l)	% en Elément	Somme des % des I + et - (%)	Ordre des I + et -	Balance r' (%)	Analyse	Faciès chimique
Ca <sup>2+</sup>	111,39	40	2	20	5,57	29,430		1			
Mg <sup>2+</sup>	28,23	24	2	12	2,35	12,431	50,267	2			
Na <sup>+</sup>	36	23	1	23	1,57	8,271		3			
K <sup>+</sup>	1	39	1	39	0,03	0,135		4			
									0,533	Fiable	Sulfaté Calcique
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	189,1	61	1	61	3,10	16,381		2			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	161	96	2	48	3,35	17,724	49,733	1			
Cl <sup>-</sup>	105	35,5	1	35,5	2,96	15,629		3			
Somme					18,92	100,000					

Forage P5 -Tébessa											
Elément	Poids (mg/l)	Masse Atomique	Valence	Equivalent chimique	Quantité en Réaction (méq/l)	% en Elément	Somme des % des I + et - (%)	Ordre des I + et -	Balance r' (%)	Analyse	Faciès chimique
Ca <sup>2+</sup>	237,27	40	2	20	11,86	30,446		1			
Mg <sup>2+</sup>	50,46	24	2	12	4,21	10,792	50,690	2			
Na <sup>+</sup>	80	23	1	23	3,48	8,926		3			
K <sup>+</sup>	8	39	1	39	0,21	0,526		4			
									1,381	Fiable	Sulfaté Calcique
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	317,2	61	1	61	5,20	13,345		3			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	409	96	2	48	8,52	21,868	49,310	1			
Cl <sup>-</sup>	195	35,5	1	35,5	5,49	14,097		2			
Somme					38,97	100,000					

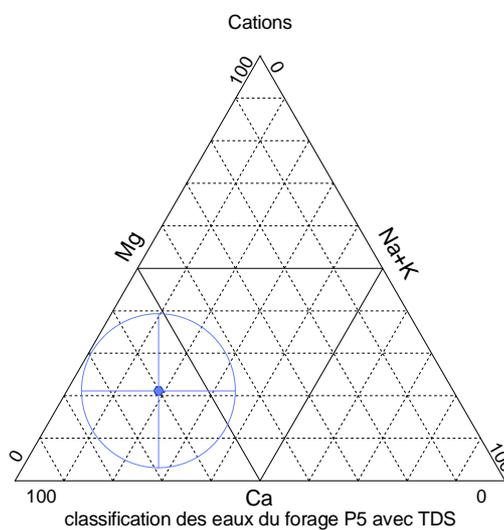
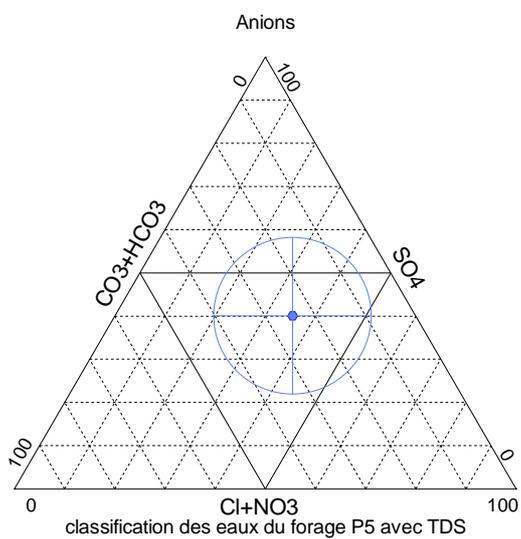
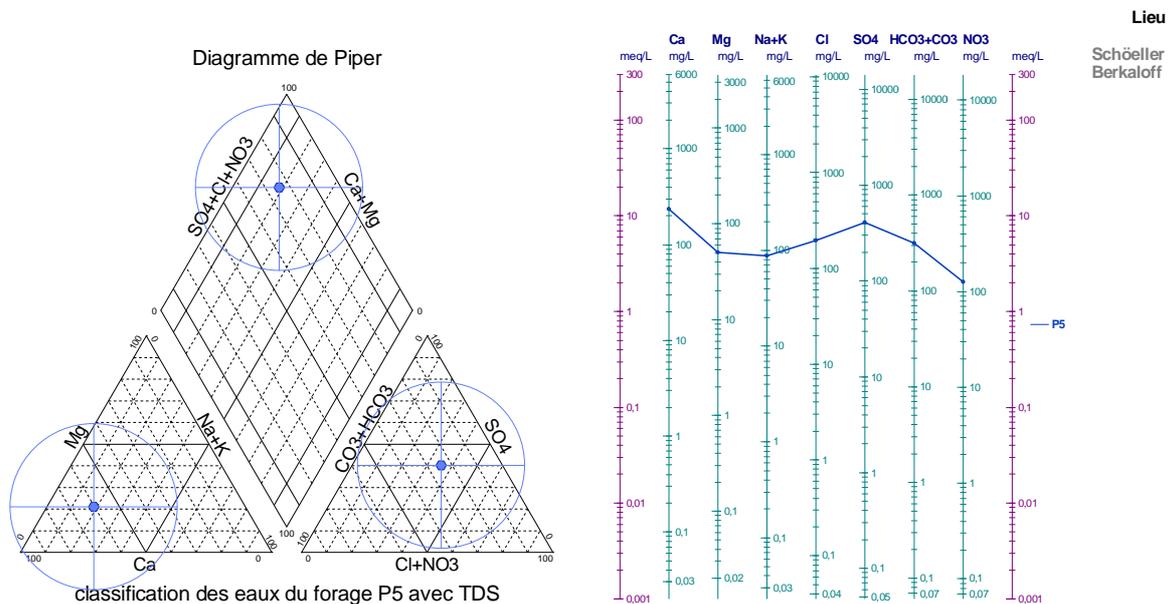
Annexe 8



Valeurs des radicaux des forages étudiés (%)

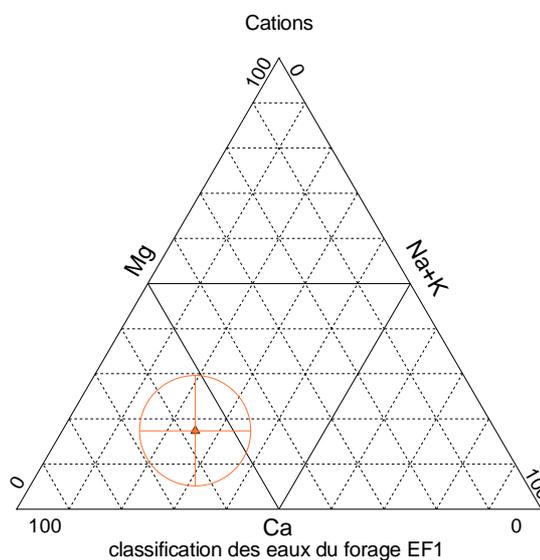
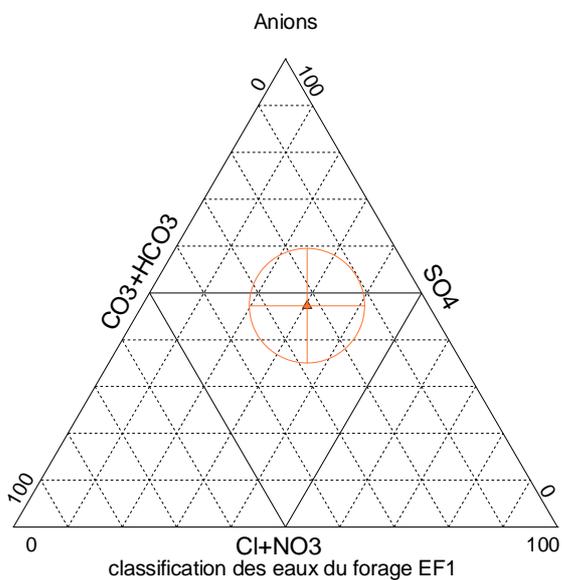
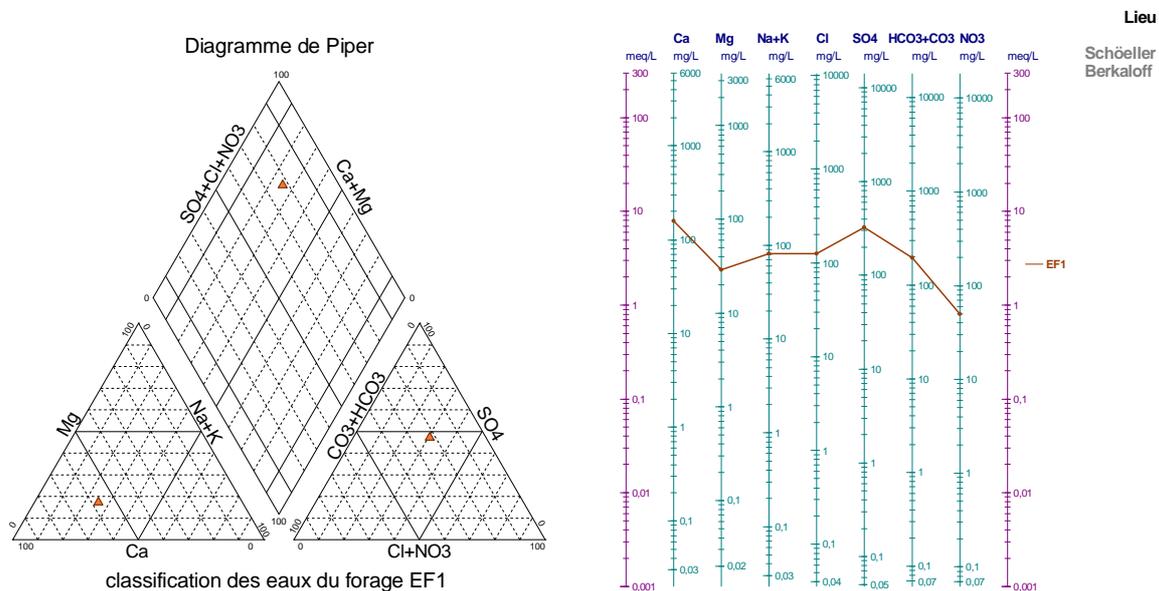


Annexe 9



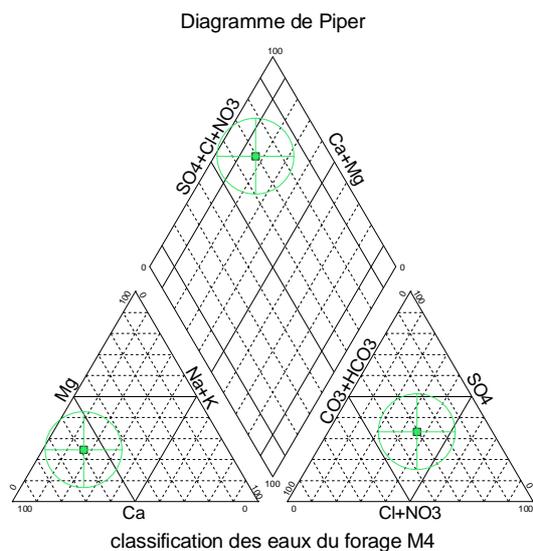
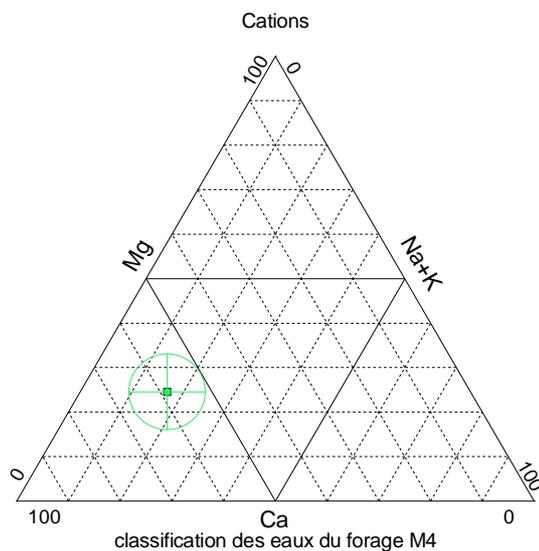
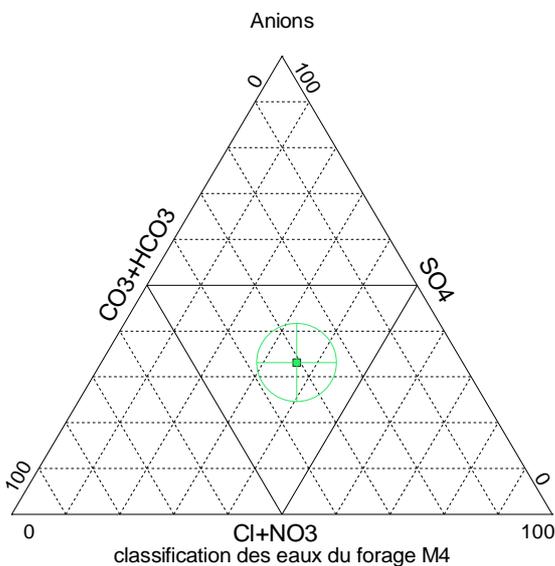
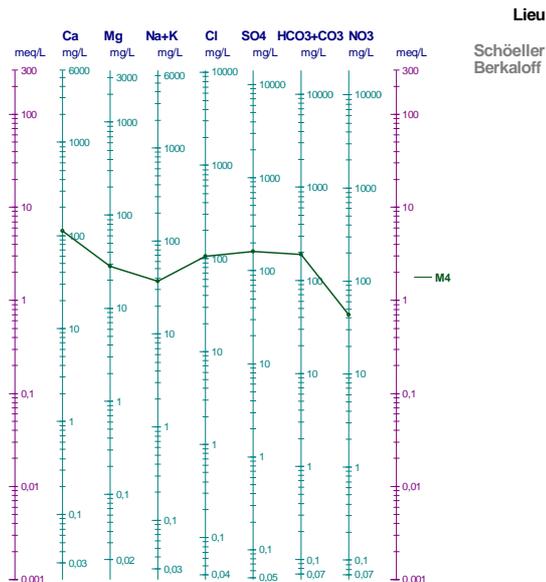
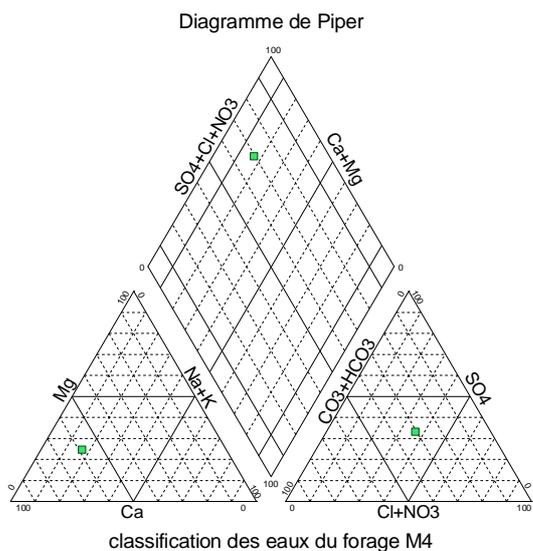
Diagrammes individuels des eaux du forage P<sub>5</sub> (Tébessa)

Annexe 10



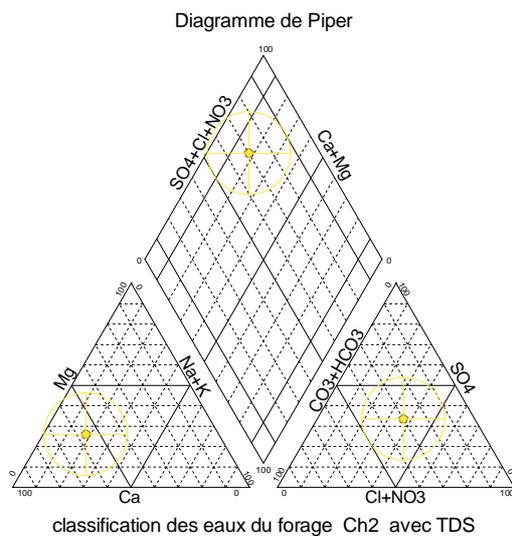
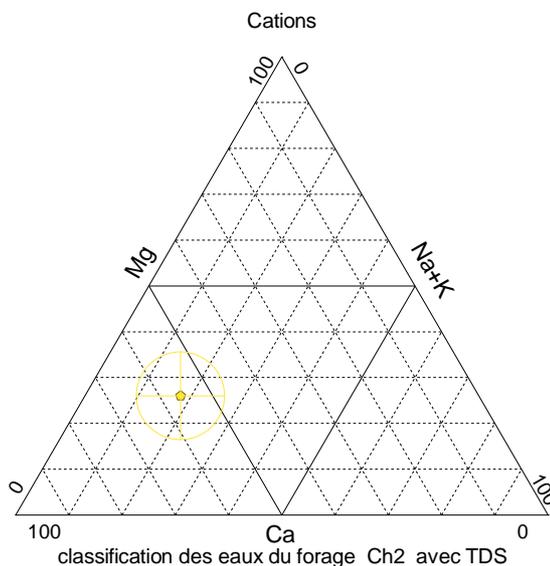
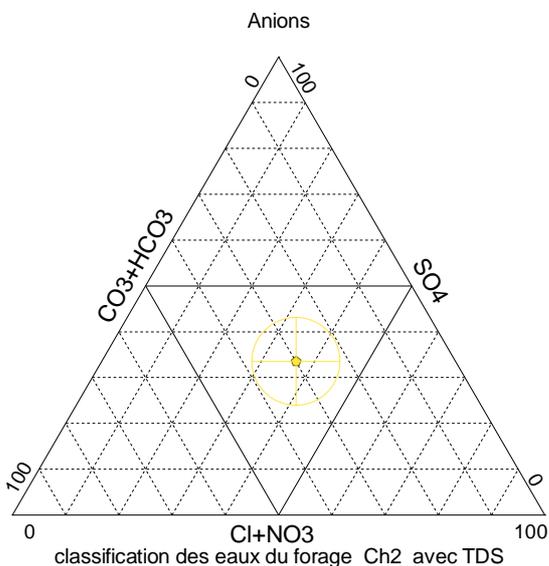
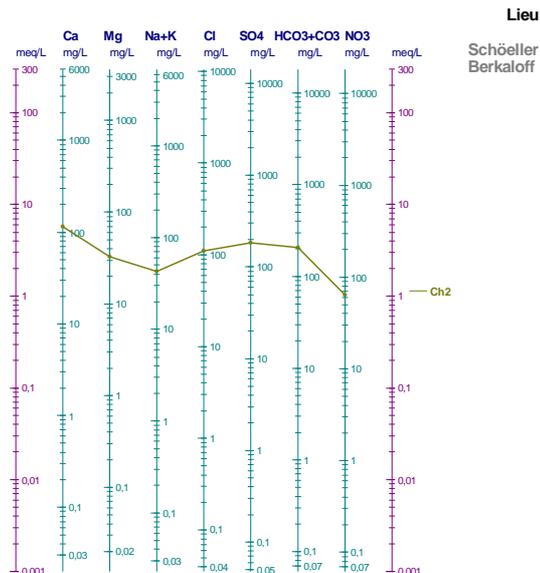
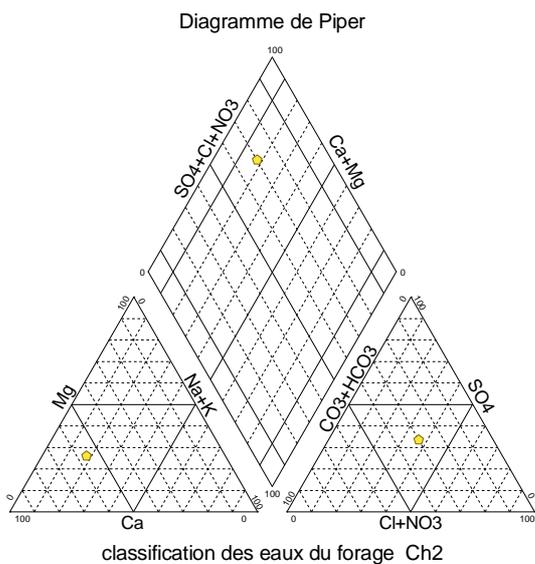
Diagrammes individuels des eaux du forage EF<sub>1</sub> (Ain Chabro- Hammamet)

Annexe 11



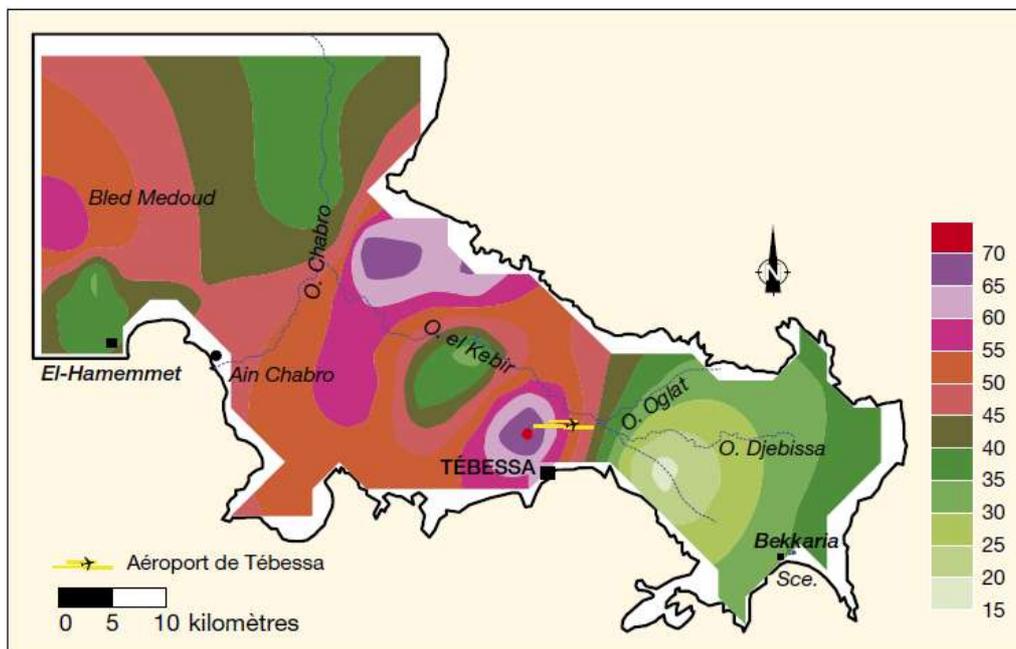
Diagrammes individuels des eaux du forage M<sub>4</sub> (El Ma El Abiod)

Annexe 12

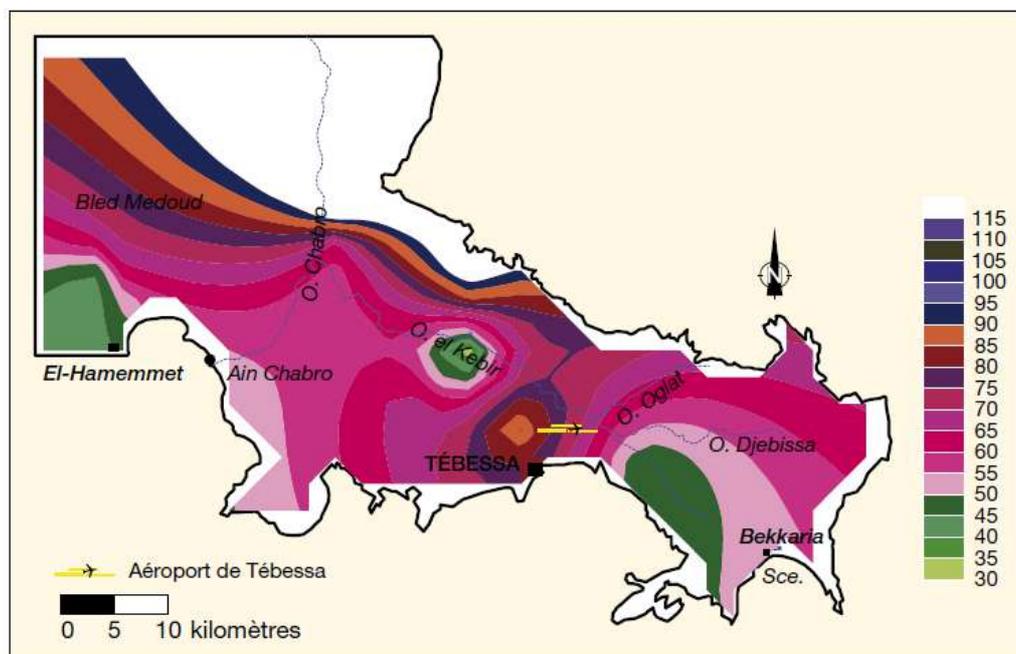


Diagrammes individuels des eaux du forage CH<sub>2</sub> (Chéria)

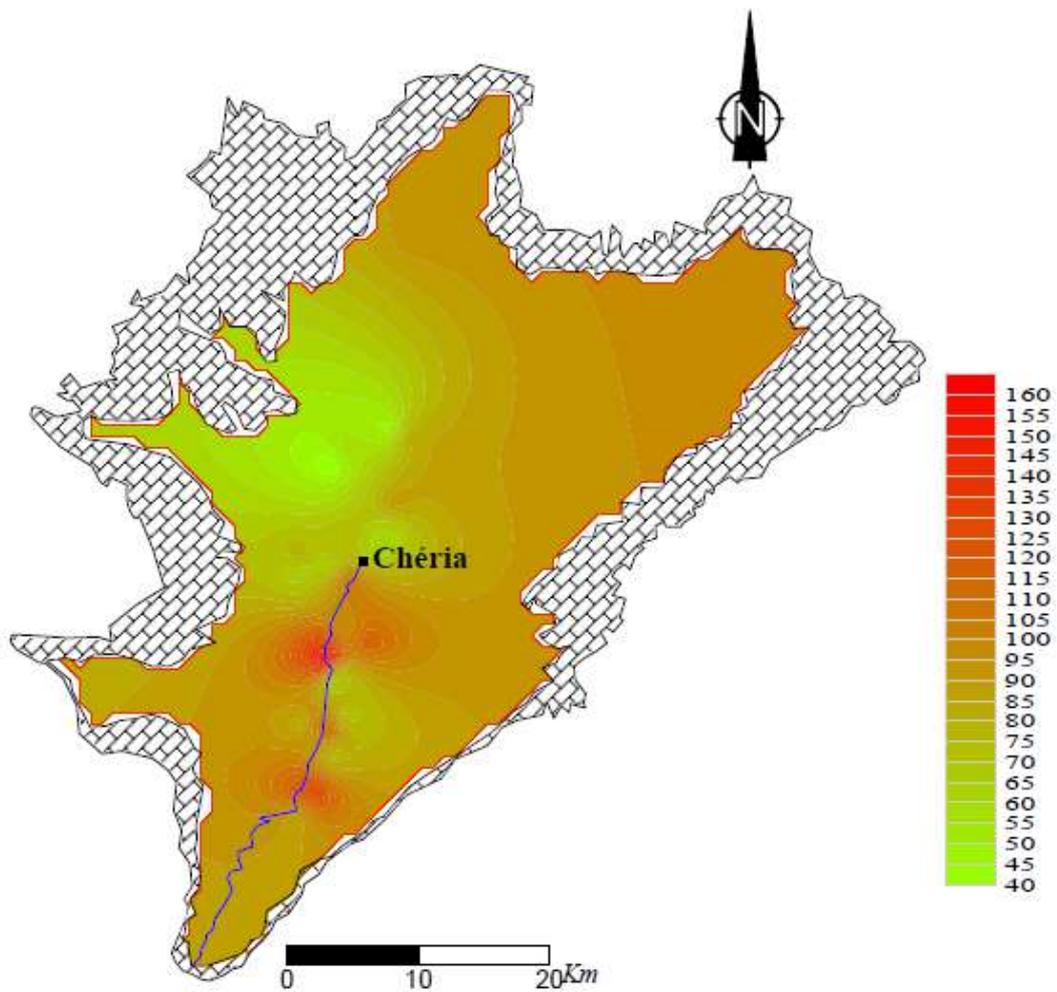
Annexe 13



Carte des nitrates de la plaine de Merdja, janvier 2001 [4]



Carte des nitrates de la plaine de Merdja, juillet 2001 [4]



Carte des Nitrates du plateau de Chéria, (mg/l) septembre 2005 [32]

*L'eau ...*

*"Cette ressource rare, essentielle pour la vie, doit être considérée comme un trésor naturel  
faisant partie de l'héritage commun de l'humanité"*

***F. MAYOR -Ancien directeur général de l'Unesco-***

تم بفضل الله وحمده