

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET
DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET GENIE DE L'ENVIRONNEMNT



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité/Option : Microbiologie Appliquée

Thème :

**Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des
eaux de forages (Wilaya de Guelma)**

Présenté par :

- Abdaoui Abir
- Ayache Meryem
- Guessoum Radhia

Devant le jury composé de :

Président	: Mr. Bouchelaghem H	M.C.B	Université de Guelma
Examineur	: M _{me} . Amri S	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur	: M _{me} . Boussadia M.I	M.C.B	Université de Guelma
Co-encadreur	: M _{me} . Yalles A	M.C.A	Université de Guelma

Juin 2022

Remerciements

D'abord, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné courage, santé, souffle et patience pour accomplir ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre remerciement respectueux à notre encadreur **Mme. Boussadia M. I** ; qui nous a orienté et conseillé tout au long de ce travail.*

*Nos remerciements les plus sincères à notre Co-encadreur, **Mme. Yalles A** qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance pour nous avoir accordé sa confiance et nous avoir guidé dans notre travail.*

*Nos vifs sincères remerciements vont également aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail. Nous voudrions remercier **Mr. Bouchelaghem H** qui nous a honoré de sa présence et d'avoir présidé le jury.*

*Nous remercions également **Mme. Amri S** qui a accepté d'examiner ce travail.*

Sans oublier de conférer nos plus sincères remerciements à tous le personnel de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh (Mr lagoune, chef de station, et Mr Amraoui salah, chef de laboratoire et son équipe surtout Mebarka, Chahra, Radia, Samira, Wahiba et Amel).

Sans pour autant oublier Mme Lamia et Mme Boudjebiar Assia de la DRE Guelma.

Nous tenons également à remercier tout (e)s nos enseignant (e)s qui ont assuré notre formation de la Licence jusqu'au Master.

On réserve enfin nos derniers remerciements aux gens qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail précieux.

Dédicace

À celui qui n'a pas vécu pour assister à ce jour, qui a cru en moi et à mes capacités. Celui qui m'a mis à la lumière des jours et qui n'a pas hésité de m'encourager dans mes études. Que dieu le tout puissant ait pitié de son âme et l'accueille dans son vaste paradis.

À la mémoire de mon père.

C'est la moindre des choses que je puisse l'offrir.

À ma très chère mère, la plus douce au monde. Celle qui m'a été toujours là pour moi et qui n'a pas cessé de m'encourager et me soutenir.

À mon très cher frère HEMZA et mes sœurs AMINA, HANA, WIJDEN NOUR EL-IMEN.

À mon neveu MOHAMMED et mes nièces.

À mes adorables binômes et amies MERYEM et RADHIA avec lesquelles j'ai passé mes meilleurs moments durant toute cette période de travail.

À mes chères amies LYLIA, WIJDEN, HIND.

À tous les gens que je connais de près ou de loin.

ABIR

Dédicace

A dieu, tout puissant, qui m'a donné la santé, la force et le courage de réaliser ce précieux travail.

A ma grande mère et mon grand Père pour leur amour et leur tendresse.

A mon père pour leur patience et pour tous les efforts qu'il consentit pour mon éducation et ma vie.

A ma chère mère pour leur encouragement, leur soutien moral, je souhaite toujours le voir à ma coté.

A mes sœurs ASMA, IMEN, HIBA.

A mes chers oncles en particulier RIDHA, et ma chère tante LINDA.

A mes amies proche RADHIA, ABIR et CHAIMA.

A tous ceux qui m'ont aidé pour réaliser ce modeste travail.

Merci.

MERYEM

Dédicace

A la personne qui ne pourra jamais lire ce travail, à mon père disparu trop tôt. Puisse dieu, l'avoir en sa sainte miséricorde ! J'espère, du monde qui est sien maintenant, qu'il apprécie ce geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui toujours prie pour le salut de son âme.

A ma mère, source de vie, d'amour et d'affection, qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A mes sœurs, NAIMA, KAWTHER, tout particulièrement SELMA, ZAHRA et son mari YUCEF.

A ma tante, MABROUKA.

A mes amies, MERYEM et ABIR.

A tous ceux qui m'ont aidée, de près ou de loin, à réaliser ce modeste travail.

RADHIA

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....1

Chapitre I : Etude bibliographique

I. Généralité.....3

I.1. Définition de l'eau.....3

I.2. Cycle de l'eau.....3

 I.2.1. Evaporation3

 I.2.2. Précipitation3

 I.2.3. Ruissellement.....4

 I.2.4. Infiltration.....4

II. Types des eaux.....4

 II.1. Eau de pluie4

 II.2. Eau de mer.....5

 II.3. Eau de surface.....5

 II.4. Eau souterraine.....5

III. Mode de captage des eaux souterraines.....7

 III.1. Les sources.....7

 III.2. Les puits.....7

 III.3. Les forages.....7

 III.3.1. Les différents types de forages.....8

 III.3.2. Avantages des forages.....9

IV. Usages des eaux souterraines9

V. Pollution de l'eau.....9

VI. Les paramètres caractéristiques de la qualité de l'eau.....10

VI.1. Paramètres organoleptiques.....	10
VI.2. Paramètres physiques.....	11
VI.3. Paramètres chimiques.....	14
VI.4. paramètres bactériologiques.....	17
VII. Les maladies à transmission hydrique.....	18
VII.1. Maladies d'origine bactérienne.....	19
VII.1.1. Fièvre typhoïde et paratyphoïde.....	20
VII.1.2. Choléra.....	20
VII.1.3. Gastro-entérites aiguës.....	20
VIII. Traitement des eaux souterraines.....	20

Chapitre II : Matériel et méthodes

I. Introduction.....	22
II. Présentation de la zone d'étude.....	22
III. Echantillonnage.....	25
III.1. Mode de prélèvement	25
III.2. Transport et conservation.....	26
IV. Analyses physico-chimiques de l'eau.....	26
IV.1. Paramètres physiques.....	26
IV.2. Paramètres chimiques.....	28
IV.2.1. Détermination des alcalinités.....	28
IV.2.2. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).....	30
IV.2.3. Détermination de la matière organique (MO).....	31
IV.2.4. Détermination de résidus secs (RS).....	32
IV.2.5. Détermination de matière en suspension (MES).....	33
IV.2.6. Dosage du calcium (Ca ⁺).....	34
IV.2.7. Dosage du Magnésium (Mg ²⁺).....	35

IV.2.8. Dosage de chlorure (Cl ⁻).....	36
IV.2.9. Dosage de Fer (Fe ²⁺).....	38
IV.2.10. Dosage des sulfates (SO ₄ ²⁻).....	38
IV.2.11. Dosage des phosphates (PO ₃ ⁻).....	39
IV.2.12. Dosage de l'ammonium (NH ₄ ⁺).....	39
IV.2.13. Dosage des nitrates (NO ₃ ⁻).....	40
IV.2.14. Dosage des nitrites (NO ₂ ⁻).....	40
IV.2.15. Dosage du sodium et potassium.....	41
V. Analyses bactériologiques de l'eau.....	42
V.1. Recherche des micro-organismes révivifiables à 37°C (germes totaux).....	43
V.2. Recherche des coliformes totaux et fécaux.....	45
V.3. Recherche des Streptocoques fécaux.....	48
V.4. Recherche des bactéries anaérobies sulfito- réducteurs (ASR).....	50

Chapitre III : Résultats et Discussion

I. Résultats de l'analyse physico-chimique	52
II. Résultats de l'analyse bactériologique	74
Conclusion et perspectives	78

Références Bibliographiques

Résumé

Abstract

ملخص

Annexes

Liste des figures

N° de figure	Titre de figure	N° de page
1	Cycle de l'eau dans la nature.	4
2	Types de forages.	8
3	Localisation géographique des sites de prélèvement.	23
4	Appareils de mesure des paramètres physiques.	27
5	Photographie représentant l'analyse du TAC.	29
6	L'analyse de TH.	31
7	Analyse de la matière organique.	32
8	Dosage de chlorure.	37
9	Spectrophotomètre à flamme de type (LANGE GENWAY).	41
10	La rampe de filtration utilisée dans la méthode de filtration.	43
11	Recherche et dénombrement des micro-organismes revivifiables à 37°C.	44
12	Croissance des coliformes sur milieu tergitol.	45
13	Protocole de recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.	47
14	Protocole de recherche des Streptocoques fécaux.	49
15	Protocole de recherche des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs (ASR).	51
16	Variation de la température dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	52
17	Variation du pH dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	53
18	Variation de la TDS dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	54
19	Variation de la salinité dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	55
20	Variation de la conductivité dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	56
21	Variation de turbidité dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	57
22	Variation du TAC dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	58
23	Variation de bicarbonates dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	59
24	Variation du titre hydrotimétrique dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	60
25	Variation de la matière organique dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	61
26	Variation des résidus secs dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	62

Liste des figures

27	Variation de la matière en suspension dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	63
28	Variation du calcium dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	64
29	Variation du magnésium dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	65
30	Variation du chlorure dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	66
31	Variation du fer dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	67
32	Variation du sulfate dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	68
33	Variation du phosphate dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	69
34	Variation de l'ammonium dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	70
35	Variation des nitrates dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	71
36	Variation des nitrites dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	72
37	Variation du sodium dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	73
38	Variation du potassium dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	74
39	Variation des germes totaux dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	75
40	Variation des coliformes totaux dans les eaux de forages (Janvier - Mars 2022).	76

Liste des tableaux

N° de tableau	Titre du tableau	N° de page
1	Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines.	6
2	Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température.	11
3	Classification des eaux d'après leur pH.	12
4	Relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles.	13
5	Classes de turbidité usuelles (NTU).	13
6	Classification des eaux en fonction de leurs duretés.	14
7	Principales bactéries responsables d'infections d'origine hydrique.	19
8	Présentation des zones d'études.	23
9	Référence de qualité des paramètres physico-chimiques dans l'eau destinée à la consommation humaine (O.M.S, 2011).	Annexe
10	Référence de qualité des paramètres bactériologiques dans l'eau destinée à la consommation humaine (O.M.S, 2011).	Annexe

ADE: Algérienne des eaux.

ASR: anaérobies sulfite-réducteurs.

BEA: Bile esculine azoture.

°C: Degré celsius.

CEAEQ: Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec.

CF: Coliformes fécaux.

CT: Coliformes totaux.

CIE: Centre d'Information sur l'Eau.

D.R.E: Direction des Ressources en Eau.

E.Coli: Escherichia Coli.

EDTA: Ethyle diamine tétra acétique.

F: forage.

°f: Degré français.

GT: Germes totaux.

H⁺: proton, ion hydrogène.

h: heure.

HCl: acide chlorhydrique, chlorure d'hydrogène.

ISO: International Standardisation Organisation.

L: Litre.

M: masse

MES: Matière en suspension.

MO: Matière Organique.

m: mètre.

mg/l: milligramme par litre.

min: minute.

ml: millilitre.

mm: millimètre.

MTH: Maladies à transmission hydrique.

N: normalité.

NPP: nombre plus probable.

NTU: nephelometric turbidity unit.

nm: nanomètre.

OMS: Organisation Mondiale de la Santé.

P.E: prise d'essai.

pH: potentiel d'hydrogène.

R.S: Résidus secs.

SF: streptocoques fécaux.

s/m: siemens par mètre.

TA: titre alcalimétrique simple.

TAC: titre alcalimétrique complet.

TDS: teneur en sels dissous.

TH: titre hydrotimétrique.

TGEA: Tryptone Glucose Extract Agar.

µm: micromètre.

µs/cm: micro-siemens par centimètre.

UFC: Unité Formant Colonies.

USEPA : United States Environmental Protection Agency.

U-V: Ultra-violet.

V: volume.

VF: viande foie.

λ: longueur d'onde.

Introduction

L'eau est un élément indispensable à toute forme de vie et le principal constituant des êtres vivants, à la fois aliment, éventuellement médicament, matière première industrielle, énergétique et agricole (**Hartman, 2013**).

En Algérie, les eaux de surface sont les principales sources pour l'approvisionnement en eau potable, mais de plus en plus l'individu se tourne vers les eaux souterraines qui renferment un volume énorme d'eau exploitable (**Chekroud, 2007**). Elles représentent environ 97% du total des eaux douces continentales liquides (**Bosca, 2002**). Selon **Merzoug et al., (2010)**, 75 à 90% de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine.

Les eaux souterraines ont une qualité relativement constante, bénéficient aussi d'une protection vis-à-vis des pollutions que les eaux superficielles. En revanche, une pollution à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la surface de la nappe à cause des mouvements verticaux et horizontaux de ces eaux souterraines (**Bordet, 2007**), ce qui entraîne un grand problème de détérioration de la qualité de cette ressource souterraine déjà en quantité limitée (**Gaagai, 2017**).

Les contaminants qui existent dans l'eau ont des effets indésirables et parfois toxique sur la santé, tels que les métaux lourds, les sels minéraux nutritifs (nitrate, phosphate) utilisés en agriculture comme fertilisants (**Zerluth et Gienger, 2006**), les pesticides, les herbicides, les insecticides, les Hydrocarbures aromatiques polychlorés aussi que des micro-organismes pathogènes (**Gaagai, 2017**).

Le risque microbiologique est le premier risque connu, car c'est le plus rapide dans ses effets, il se décline en risque infectieux lié aux bactéries, parasites, virus et champignons. Les bactéries pathogènes présentes dans l'eau de consommation humaine sont responsables d'épidémies majeures (choléra, typhoïde, diarrhées, etc. ...) (**Bordet, 2007**). Selon un rapport de l'organisation mondiale de la santé, cinq millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à des aliments ou à de l'eau potable contaminée (**Ben hida et al., 2012**).

Donc les eaux souterraines ne sont pratiquement jamais potables sans aucun contrôle de fait de divers substances d'origine naturelle ou apportées par la pollution (**Schrivver-Mazzuoli, 2012**).

Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages localisés dans la région de Guelma, afin de suivre leur degré de potabilité et/ou de pollution, et connaître ainsi leur impact sanitaire.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

- Le premier représente une synthèse bibliographique qui comprend des généralités sur l'eau, la pollution des eaux et les maladies à transmission hydriques.
- Le deuxième décrit le matériel et les méthodes employées pour la réalisation de ce travail : analyse physico-chimique et bactériologique des eaux des forages dans la région de Guelma.
- Le troisième comporte les résultats obtenus et leur discussion. Une conclusion générale clôturera la présente recherche.

Chapitre 1

I. Généralité

L'eau est indispensable à la survie de tous les êtres vivants. Elle recouvre 72 % des 509 millions de Km² de la surface du globe. L'eau de la planète bleue est à 97.2 % salée. Cette eau salée se trouve dans les océans, les mers intérieures, mais aussi dans certaines nappes souterraines. Par contre, l'eau douce a un pourcentage plus faible par rapport à l'eau salée (2.8% seulement de l'eau totale du globe) (CIE, 2013).

I.1. Définition de l'eau

L'eau est un corps liquide à la température et à la pression ordinaire, incolore, inodore, insipide (Malesherbes, 1992), dont les molécules sont composées d'un atome d'oxygène et deux atomes d'Hydrogène (Defranceschi, 1996).

I.2. Cycle de l'eau

La connaissance de l'origine de l'eau, de son cycle, de sa dynamique dans la nature et sa répartition dans l'espace et dans le temps est une donnée fondamentale. L'eau fait partie d'un cycle naturel en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère (Ayad, 2017).

L'eau sous ses différents états physiques (gazeux, liquide, solide) suit un vaste cycle dans la nature (fig.1).

I.2.1. Evaporation

Causée par le réchauffement de la couche de surface des océans par le rayonnement solaire, entraîne la libération de vapeur d'eau dans l'atmosphère, cette vapeur se déplace ensuite au gré des mouvements des masses d'air par des phénomènes de convection et d'advection (Anctil, 2005).

I.2.2. Précipitation

La vapeur d'eau se condense pour former les nuages et engendrer des précipitations sous forme de pluie, neige ou grêle (Anctil, 2005). Les précipitations qui constituent l'origine de presque toutes nos réserves en eau douce, sont variables d'une région à l'autre suivant le climat et le relief qui sont des facteurs essentiels (Chibani, 2009).

I.2.3. Ruissellement

Parvenue sur le sol, une partie des précipitations s'écoule à la surface vers le réseau hydrographique et les étendues d'eau libre (lacs, mers), c'est le ruissellement de surface (1).

I.2.4. Infiltration

Ce phénomène joue un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres puisqu'elle permet la réhydratation des sols. Elle assure aussi l'alimentation des nappes phréatiques et des rivières souterraines (Chibani, 2009).

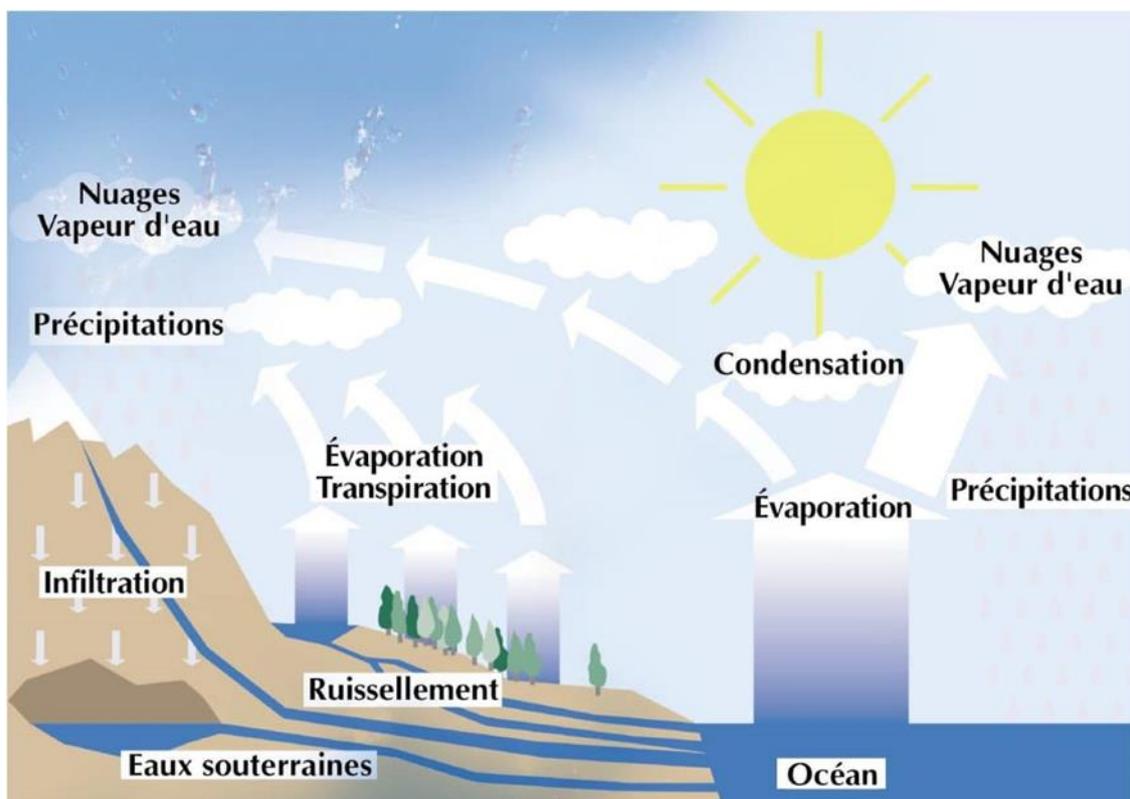


Figure 1: Cycle de l'eau dans la nature (CIE, 2013).

II. Types des eaux

De ce cycle, on distingue trois sources d'approvisionnement en eau :

II.1. Eau de pluie

Ce sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine (ne contiennent aucun sel dissous comme les sels de magnésium et de calcium, donc elles sont très douces). Dans les

zones industrielles, ces eaux peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. (Desjardins, 1997), permettent de recharger les nappes phréatiques souterraines (soit par infiltration, soit par ruissellement) qui vont alimenter les cours d'eau (CIE, 2013).

II.2. Eau de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous, c'est ce qu'on appelle leur salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 à 37 mg/l (Desjardins, 1997).

II.3. Eau de surface

Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs, étang) ou artificielle (retenues de barrage) (Monod, 1989). Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement (Salghi, 2001).

II.4. Eau souterraine

C'est la principale ressource en eau potable. Circulant dans les interstices du sous-sol, elles jaillissent parfois naturellement à la surface formant des sources. Dans d'autres cas on les extrait du sous-sol par pompage pour les exploiter (UNICEF, 1999). Parmi les caractéristiques de ces eaux il faut retenir une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes, l'absence presque générale d'oxygène et une pureté bactériologique (Monod, 1989) (tab.1).

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de différents types :

- **Nappes libres** : sont les premières nappes rencontrées dans un sous-sol perméable, c'est pour quoi ces aquifères superficiels sont directement alimentés par les pluies par infiltration. Elles comprennent la nappe phréatique peu profonde.
- **Nappes captives** : Plus profondes que les premières, séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces aquifères captifs est assurée par l'infiltration sur leurs bordures (Salghi, 2001).

Tableau 1: Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines (Monod, 1984).

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant la saison	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout au MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Minéralisation globale (ou salinité, TDS)	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
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	Généralement présents
CO ₂ agressif	Généralement absent	Présent, parfois en grande quantité
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation : absent dans le cas d'eaux très polluées	Teneur faible ou nulle
H ₂ S	Généralement absent	Parfois présent
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée si roche siliceuse
Micropolluants minéraux et organiques	Selon les rejets industriels (dont les activités minières), agricoles ou des habitations, pollution permanente ou périodique (dont accidentelle)	Présents en fonction des épandages agricoles ou rejets industriels en surface une pollution accidentelle subsiste plus longtemps
Solvants chlorés	Rarement présents	Peuvent être présents (pollution de la nappe)
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	Ferro-bactéries et sulfatoréductrices fréquentes
Caractère eutrophe	Possible : accentué par les températures élevées	Non

III. Mode de captage des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont exploitées, soit de manière ponctuelle à leur émergence grâce au captage de sources, soit par des puits et des forages répartis sur la surface du territoire aux aquifères choisis (Collin, 2004). Ces eaux ne sont pas faciles à repérer. Des spécialistes ont développé différentes méthodes pour les exploiter (Zentrum et al., 2003).

III.1. Les sources

Une eau de source est une eau d'origine souterraine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution (Vilaginès, 2003). Ces eaux souterraines émergent naturellement à la surface du sol. Elles constituent souvent le point d'eau traditionnel, surtout pour les communautés vivantes dans des régions vallonnées (UNICEF, 1999).

III.2. Les puits

Un puits est une structure réalisée en dessous de la surface du sol dans le but de permettre l'exhaure des eaux qui peuvent s'y trouver incluses ou y circuler. Généralement les puits sont de profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100 m) et supérieur à 1,20 m de diamètre. Les puits, jadis creusés à la main, à l'aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches consolidées (craie, grès, partie superficielle altérée des granites) (Ayad, 2017). Ce sont des ouvrages de captages les plus répandus. Ils vont du simple puits individuels à des forages très profonds susceptible de fournir de gros débits (Vilaginès, 2003).

III.3. Les forages

Ce sont des puits qui perdent leur nom à cause de leur grande profondeur, de cet effet, ils permettent d'éviter au maximum les risques de pollution et de trouver des nappes ayant un débit suffisant (Vilaginès, 2003). Ils se caractérisent par leur petit diamètre (inférieur à 1m) en comparaison avec leur profondeur, qui peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Les forages permettent d'accéder à toutes les nappes souterraines, aussi bien libres que captives. Ils peuvent solliciter des horizons aquifères bien déterminés à l'aide de tube crépine, en isolant les nappes indésirables par des tubages pleins et des cimentations (Gilli et al., 2004).

III.3.1. Les différents types de forages

- **Le forage vertical** : permet de forer le puits à plan vertical de la zone du gisement où l'eau est susceptible d'être présente dans le sous-sol.
- **Le forage dévié** : permet de forer plusieurs cibles depuis un même site de forage. Cela limite le nombre des sites en surface et permet d'utiliser les installations déjà existantes.
- **Le forage horizontal** : permet l'atteinte de plusieurs cibles dans le sous-sol depuis un même site et de maximiser la surface d'échange avec le réservoir, réduisant ainsi le nombre de forages nécessaires (fig.2) (2).

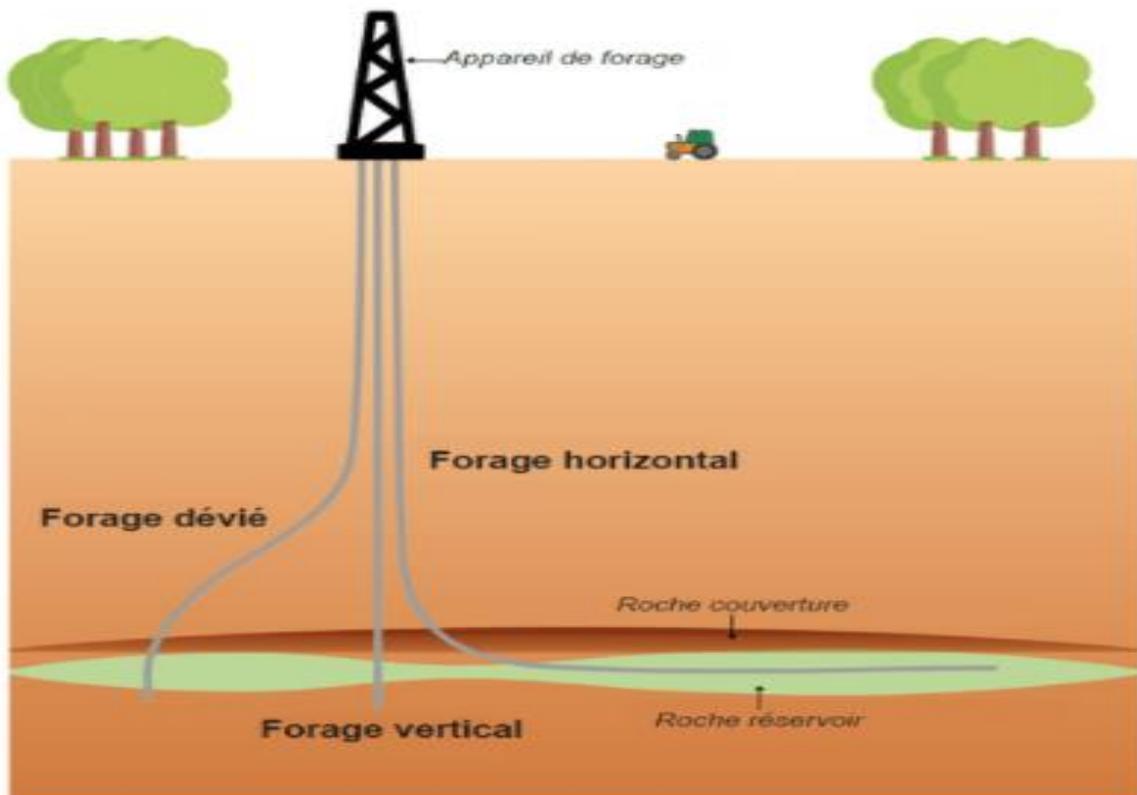


Figure 2 : Types de forage (2).

III.3.2. Avantages des forages

S'ils sont bien conçus et entretenus, les forages :

- Sont moins vulnérables aux sécheresses ou aux baisses du niveau d'eau lorsqu'ils atteignent des formations aquifères profondes.
- Sont moins susceptibles de s'effondrer.
- Sont moins vulnérables à la contamination.
- Peuvent, si leur emplacement est bon, produire de grandes quantités d'eau et permettent donc d'utiliser des pompes mécaniques ou électriques.
- Peuvent servir à surveiller le niveau des eaux souterraines à d'autres fins, par exemple pour des études sur l'environnement ou l'évacuation des déchets (Soulsby, 2012).

IV. Usages des eaux souterraines

L'utilisation des eaux souterraines a un large éventail d'applications, y compris l'approvisionnement en eau potable dans les villages, les villes et les zones urbaines; établissements institutionnelles, fournitures agricoles pour de multiples usages ; l'utilisation industrielle à petite échelle et l'adduction d'eau d'urgence pour les réfugiés. Dans le monde, de nombreuses bourgades, villes, villages et les communautés locales éloignées dépendent tout de l'eau de sous-sol qui constitue leur principale source d'approvisionnement en eau (Vincent et al., 2009).

V. Pollution de l'eau

La pollution des eaux est définie comme toute modification physique ou chimique ou biologique de la qualité des eaux, qui a une influence négative sur les organismes vivants ou qui rend l'eau inadéquate aux usages souhaités. Donc, on dit que l'eau est polluée, lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement modifié par l'action de l'homme.

Cette pollution provient essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des précipitations, elle perturbe les conditions de vie de la flore et la faune aquatique, elle compromet également l'utilisation de l'eau et l'équilibre de milieu aquatique (Hamed et al, 2012).

VI. Paramètres caractéristiques de la qualité de l'eau

On utilise des paramètres physiques, chimiques et microbiologiques pour déterminer la qualité de l'eau souterraine. Les paramètres physiques décrivent la couleur, la température, les quantités de matières solides en suspension dans l'eau...etc. Les polluants chimiques peuvent provenir de dépôts naturels dans le sol ou de rejets industriels, et chaque source de polluant à des paramètres différents.

Les polluants microbiologiques proviennent pour la plupart des déchets humains et animaux, bien que quelques-uns se produisent naturellement (**Vincent et al., 2009**).

VI.1. Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques sont des paramètres de confort qui n'ont généralement pas d'incidence directe sur la santé. Une eau peut être trouble, colorée, sentir le chlore et être consommable sans danger. Mais, cette dégradation de la qualité est souvent la cause première d'insatisfaction et de perte de confiance des consommateurs par rapport à l'eau distribuée (**Bordet, 2007**).

VI.1.1. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution, Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration (**Rodier et al., 2016**).

VI.1.2. Odeur

L'odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler (**Rodier et al., 2016**).

VI.1.3. Goût

Le goût est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche (**Rodier et al., 2016**).

VI.1.4. Saveur

La saveur est l'ensemble des sensations perçue à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles (Rodier et al., 2016).

VI.2. Paramètres physiques

VI.2.1. Température

La température est un facteur écologique important pour les milieux aqueux (tab.2). Sa perturbation peut influencer la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans les processus bactériens tels que la nitrification et la dénitrification. Plusieurs paramètres dépendant de la température de l'eau comme le pH et l'oxygène dissous (Benkaddour, 2018).

Tableau 2 : Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température. (Merzoug, 2009).

Température	Qualité	Classe
< 20°C	Normale	1A
20°C-22°C	Bonne	1B
22°C-25°C	Moyenne	2
25°C-30°C	Médiocre	3
> 30°C	Mauvaise	4

VI.2.2. pH

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau (tab.3). Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau, il représente une indication importante en ce qui concerne l'agressivité de l'eau (aptitude à dissoudre le calcaire) (Ghazali et zaid, 2013).

Tableau 3 : Classification des eaux d'après leur pH (**Ouanes, 2020**).

pH ≤ 5	Acidité forte : présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre (eau pure).
7 ≤ pH ≤ 8	Neutralité approchée : majorité des eaux de surfaces.
5,5 ≤ pH ≤ 8	Majorité des eaux souterraines.
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense.

VI.2.3. Teneur en solides dissous (TDS)

Les solides dissous sont constitués principalement de substances inorganiques dissoutes dans l'eau, dont les principaux constituants sont les chlorures, les sulfates, les bicarbonates, le calcium, le magnésium et le sodium.

Ils proviennent de sources naturelles, d'effluents municipaux et industriels, du ruissellement des terres agricoles et des retombées de matières particulaires atmosphériques. L'influence la plus importante qu'exercent les solides dissous sur la qualité de l'eau est l'altération du goût (**CEAEQ, 2014**). La concentration de TDS détermine si l'eau peut être considérée comme douce, saumâtre ou saline (**Vincent et al., 2009**).

VI.2.4. La salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^{2+}), les Chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, elle peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimée en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique.

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. Enfin, certaines sont

essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique) (Couture, 2004).

VI.2.5. Conductivité

La conductivité électrique d'une eau est fonction de la concentration en ions dans l'eau (donc de la minéralisation de l'eau) (tab.4). Elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes ; C'est l'inverse de la résistivité électrique. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre en même temps que la température de l'eau (Legube, 2015).

Tableau 4 : Relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles (Reggam, 2015).

Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation de l'eau
< 100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
> 1000	Elevée

VI.2.6. La turbidité

La turbidité permet de préciser les informations visuelles de l'eau (trouble ou limpide). Elle indique la présence des particules en suspension dans l'eau (ex: l'argile), des précipités chimiques (ex : le manganèse et le fer), des particules organiques (ex : les débris de Plantes). La turbidité est généralement exprimée en unités de turbidité néphélométriques (UTN) (OMS, 2017). Les classes de ce paramètre sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit). (Merzoug, 2009).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

VI.3. Paramètres chimiques

VI.3.1. Alcalinité

L'alcalinité est la capacité des milieux aqueux à réagir avec les ions H_3O^+ , due à la présence des ions mono-hydrogénocarbonate HCO_3^- , carbonate CO_3^{2-} et hydroxyde OH^- . Elle est quantifiée par l'alcalinité totale ou par le TAC (titre alcalimétrique complet) (Cardot et Gilles, 2013).

VI.3.2. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et l'ion hydrogène H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} (tab.6), elle s'exprime en milliequivalent par litre ou en degré français (°f) (Rodier et al., 2016).

Tableau 6 : Classification des eaux en fonction de leurs duretés (Benmoussa, 2018).

°f	Qualité
0 à 5	Eau très douce
5 à 12	Eau douce
12 à 25	Eau Moyennement dure
25 à 32	Eau dure
> 32	Eau très dure

VI.3.3. Matière organique

Elle est originaire de plusieurs sources mais principalement de l'humus, omniprésente dans tous les systèmes aquatiques (Benkaddour, 2018). Elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, odeurs, saveurs...etc (Lounnas, 2009).

VI.3.4. Résidus secs

Le résidu sec correspond au poids de la totalité des matières dissoutes par litre d'eau. Une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée de résidu desséchée et ensuite pesée (Merzoug, 2009).

VI.3.5. Matière en suspension (MES)

Ce sont des particules solides très fines présente dans l'eau que la pratique divise en matière décantables, qui se sépare naturellement sans apport de réactif quand l'eau est au repos ; et des matières colloïdales trop fines pour décanter par gravité mais éliminables par coagulation (**Mayet, 1994**). Elles sont hétérogènes de formes et variées d'origines dans les eaux de surface. Dans les eaux de forage ce sont le sable fin, le fer oxydé et quelques fois des algues filamenteuses (**Berné et Cordonnier, 1991**).

VI.3.6. Calcium

Le calcium est un élément alcalinoterreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate. Il peut provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles. Cet élément ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (**Ouanes, 2020**).

VI.3.7. Magnésium

Le magnésium est un constituant de nombreux minéraux et roches, en particulier la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium). Il provient également de la dissolution d'autres roches dans les eaux continentales. Cet élément biogène intervient de façon fondamentale dans l'ensemble de fonctionnement de la biosphère (**Ramade, 2002**).

VI.3.8. Chlorure

Ce sont des anions inorganiques importants contenues en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement se forme de sel de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution, et ont un effet sur la faune et la flore aquatique (**Makhoukh et al., 2011**).

VI.3.9. Fer

Un élément de la croute terrestre qui se trouve de manière plus importante dans les eaux souterraines (**Legube, 2015**). Il joue un rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et interfère de ce fait de façon déterminante avec les polluants de ces derniers, et

présente donc un cycle sédimentaire. Bien qu'il soit en grande partie recyclé dans les sols, une fraction soluble est entraînée par le cycle de l'eau vers l'océan (**Ramade, 2002**).

VI.3.10. Sulfate

Les sulfates sont des composés naturels des eaux, ils sont d'origines naturelles (gypse, pyrite, volcans), industriels (industrie pétrolière, tannerie, papeterie, industrie textile) et proviennent aussi des produits de traitement agricole (**Reggam, 2015**).

VI.3.11. Phosphate

Le phosphore total est l'ensemble du phosphore présent dans un échantillon sous forme de phosphates ou de composés organophosphorés, la présence de ce dernier dans les eaux naturelles provient de la décomposition de la matière organique (**CEAEQ, 2011**).

VI.3.12. Ammonium

L'ammonium ou l'azote ammoniacal constitue un des maillons de cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH_3) est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisé (NH_4^+). Les eaux profondes peuvent également se charger en ammonium par réduction des nitrates sous l'action de bactéries ou celle de sables qui renferment des minéraux ferreux (**Rejsek, 2002**).

VI.3.13. Nitrate

Les nitrates sont des éléments minéraux nutritifs solubles dans l'eau, qui sont directement assimilables par les organismes autotrophes terrestres qu'aquatiques. Ils sont ajoutés au sol soit directement par les agriculteurs soit indirectement par le fumier ou le purin, et ont une bonne solubilité dans l'eau (**Bliefert et Perraud, 2009**).

VI.3.14. Nitrite

Les nitrites se forment lorsque les conditions sont réductrices. Ils présentent une certaine toxicité pour les êtres vivants, y compris certaines bactéries anaérobies. Leur présence dans l'eau de boisson et certains aliments soulève de sérieux problèmes d'hygiène publique (**Ramade, 2002**).

VI.3.15. Sodium

Ce métal mou, est le plus important de tous les métaux alcalins, il représente 2,27% de la masse de la croûte terrestre, Se présente fréquemment sous forme ionisée. Les sels de sodium sont trouvés dans l'eau de mer, les lacs salés, les lacs alcalines et dans l'eau de source minérale (**Carmelle, 2015**).

VI.3.16. Potassium

Il est principalement présent dans les roches ignées, silicatées, et dans les argiles. Malgré son abondance, le potassium est généralement peu concentré dans les eaux naturelles (**Laurence, 2006**).

VI.4. paramètres bactériologiques

L'objectif de l'examen microbiologique de l'eau est de fournir des informations quant à la potabilité, c'est à dire sans risque d'ingestion de micro-organismes qui causent des maladies. Soulignons que les micro-organismes présents dans les eaux naturelles sont pour la plupart inoffensifs pour la santé humaine (**Brasilia, 2013**).

Universellement, la pollution bactériologique de l'eau est évaluée par la recherche et le dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale dont la présence en nombre élevé indique une pollution d'origine fécale (**Aboukacem et al., 2007**).

VI.4.1. Germes totaux

La recherche des micro-organismes aérobies dits revivifiables permet de dénombrer les bactéries se développant dans des conditions habituelles de culture et représentant la teneur moyenne en bactéries d'une ressource naturelle. Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé mais sous certaines conditions ils peuvent générer des problèmes. Ce sont des indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique (**Savary, 2010**).

VI.4.2. Coliforme totaux

Ce groupe correspond à certaines espèces de la famille des Enterobacteriaceae. Les coliformes se caractérisent par leur aptitude à fermenter le lactose en produisant des acides et du gaz (CO₂) à 35°C et en présence de sels biliaires. Ils sont Gram négatif, oxydase négatif,

non sporulant, possédant un métabolisme respiratoire ou fermentaire (aéro-anaérobie facultatif), réduisent les nitrates en nitrites en anaérobiose. On distingue les genres suivants : *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia* (**Carip et al., 2015**).

VI.4.3. Coliforme fécaux (thermo tolérants)

Sous-groupe de bactéries coliformes qui fermentent le lactose à $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ en 24 h, dont le principal représentant est la bactérie *Escherichia*, d'origine exclusivement fécale (**Brasilia, 2013**). *Escherichia coli* produit de l'indole à partir du tryptophane (**Rejsek, 2002**). Elle est présente en grande quantité dans les excréments de l'homme et de presque tous les animaux à sang chaud, c'est pourquoi il constitue un indice fiable de contamination fécale récente de l'eau (**OMS, 2000**).

VI.4.4. Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des bactéries qui appartiennent à la famille des Enterococcaceae, sont des coques ovales à Gram⁺, présentées en diplocoques ou en courtes chaîne, catalase⁻, aéro-anaérobies facultatives, fermentant le glucose (**Reggam, 2015**). Leur présence dans l'eau indique une pollution fécale et sont témoins d'une contamination ancienne (**Carip et al., 2015**). Ces bactéries très sensibles aux variations physico-chimiques du milieu et à la présence de grandes concentrations de sels (NaCl et MgCl₂) dans le milieu (**Boukrouma, 2008**).

VI.4.5. Anaérobies sulfito-réducteurs

Les *Clostridium*-sulfito-réducteurs représentent l'indice d'une contamination fécale ancienne, ils sont résistants aux conditions défavorables grâce à la sporulation, ils sont des bactéries anaérobies strictes, Gram positif, réduisent les sulfites en sulfures (**Hamed et al., 2012**).

VII. Les maladies à transmission hydrique

Les maladies d'origine hydrique (appelées également maladies des mains sales ou maladies des canalisations) sont un groupe de maladies de type épidémique, dont les symptômes sont généralement digestifs (diarrhées, vomissements, etc.) et dont la nature et la

propagation sont liées à divers facteurs, comme la mauvaise qualité de l'eau, le manque d'hygiène et la pauvreté.

Ces maladies sont très fréquentes et menacent encore de nombreux pays pauvres avec une morbidité et une mortalité très élevées notamment chez les jeunes enfants (**Taleb, 2006**).

VII.1. Maladies d'origine bactérienne

Le tableau ci-dessous présente les principales bactéries pathogènes rencontrées dans les infections bactériennes d'origine hydrique.

Tableau 7 : principales bactéries responsables d'infections d'origine hydrique
(**Rejsek, 2002**).

Bactéries	Maladies induites	Indication de la recherche
<i>Aeromonas</i>	Gastro-entérite syndrome cholérimforme.	
<i>Clostridium perfringens</i>	Gastro-entérite	Contamination fécale peu spécifique.
<i>Enterococcus</i>		Contamination fécale.
<i>Escherichia coli</i> <i>entérotoxiques et</i> <i>entéroinvasifs</i>	Gastro-entérite et autre maladies.	Contamination fécale.
<i>Campylobacter jejuni</i> ou <i>coli</i>	Gastro-entérite.	
<i>Legionella pneumophila</i>	Pneumopathie, fièvre.	
<i>Leptospira</i>	Leptospirose ictéro-hémorragique.	Maladie professionnelle.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infection cutanée, pus.	Contamination de proximité.
<i>Salmonella typhi</i> et <i>paratyphi</i> A	Fièvre typhoïde et paratyphoïde.	
<i>Shigella dysenteriae</i>	Dysenterie bacillaire.	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Infection cutanée.	Contamination de proximité.
<i>Vibrio</i>	Choléra, gastro-entérite, infections cutanées.	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro-entérite.	

VII.1.1. Fièvre typhoïde et paratyphoïde

Ce sont de véritables septicémies dues à des salmonelles : *Salmonella typhi* et *paratyphi* A, B et C. Elles sont caractérisées essentiellement par la fièvre, les céphalées, la diarrhée et les douleurs abdominales, accompagnées d'un abattement extrême (le tufhos) et peuvent avoir des complications graves, parfois mortelles : hémorragies intestinales, collapsus cardiovasculaire, atteintes hépatiques, respiratoires et neurologiques. La contamination se fait par voie digestive à partir des eaux contaminées par des matières fécales, d'aliments avariés ou encore par des mains sales (**Vilaginès, 2003**).

VII.1.2. Choléra

Le choléra est une maladie diarrhéique très contagieuse due à un bacille à Gram négatif, *Vibrio cholerae*. L'homme peut être infecté par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés, et par contact interhumain direct (**Berche, 1999**). Il est caractérisé essentiellement par une diarrhée explosive, suivie d'une déshydratation potentiellement fatale, ne se produit que chez une minorité de personnes infectées par les souches de *V. cholerae* O1 ou *V. cholerae* O139 productrices de la toxine cholérique (**Federighi, 2005**).

VII.1.3. Gastro-entérites aiguës

La gastro-entérite est une inflammation de la muqueuse digestive généralement d'origine infectieuse, transmise par l'eau dans la majorité des cas, se traduisant le plus souvent par une diarrhée aiguë qui résulte d'interactions entre les agents infectieux d'une part et la muqueuse intestinale d'autre part (**Touzani, 2010**). Les germes retrouvés sont essentiellement les *Salmonelles*, *Shigelles*, *Campylobacter jejuni* et *Escherichia coli* ; En particulier le sérotype O157:H7 (**Danjou, 2012**).

VIII. Traitement des eaux souterraines

L'eau du sous-sol (prélevée par les puits de forages et les sources) est généralement de bonne qualité (**Singleton, 1999**), mais certaines d'entre elles présentent toutefois, naturellement, des teneurs excessives en certains éléments (fer, manganèse, turbidité). D'autres dépourvues de protection naturelle, sont soumises à des pollutions ponctuelles (souvent accidentelles), diffuses (nitrates et produits phytosanitaires) ou microbiologiques (liées à certains aquifères sensibles ou à des contaminations de proximité au niveau des

installations de captage) et donc un traitement spécifique est obligatoire avant la distribution (**Jestin, 2006**).

En générale le traitement de ces eaux souterraines ne demande pas beaucoup plus qu'une :

- Aération.
- Filtration sur sable.
- Elimination des composés organiques ou minéraux indésirables ou en excès par passage sur charbon actif (adsorption des molécules organiques) ou sur résine échangeuse des ions (élimination des sels minéraux).
- Désinfection par traitement oxydant à l'ozone, au chlore, au bioxyde de chlore ou aux di-chloramines, qui élimine les micro-organismes (**Festy et al., 2003**).

Chapitre 2

I. Introduction

Le contrôle de la qualité de l'eau joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et même affecter la santé de toute la population (Aouissi et Houhamdi, 2010). Vue de cette importance majeure, nous avons essayé d'étudier et d'évaluer la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau de certains forages localisés dans la région de Guelma. Notre analyse a été effectuée dans le laboratoire de la station de traitement des eaux à Hammam Debagh (Guelma).

II. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Guelma est située au Nord-Est de l'Algérie à 60 km environ de la Méditerranée. Elle est limitée au Nord par la wilaya d'Annaba, au Nord-Ouest par la wilaya de Skikda, au Nord-Est par la wilaya d'El Tarf, à l'Ouest par la wilaya de Constantine et au Sud-Est par la wilaya de Souk Ahras et Oum -El Bouaghi. Elle s'étend sur une superficie de 3686,84 km². Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique de la région de Guelma (Aouissi, 2010).

D'après le bilan actuel de la D.R.E de la wilaya de Guelma, il y a près (71 forages) répartis à travers la plaine.

La présente étude s'est focalisée sur l'analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de 27 forages situés dans diverses communes de la wilaya de Guelma (fig.3. et tab.8).

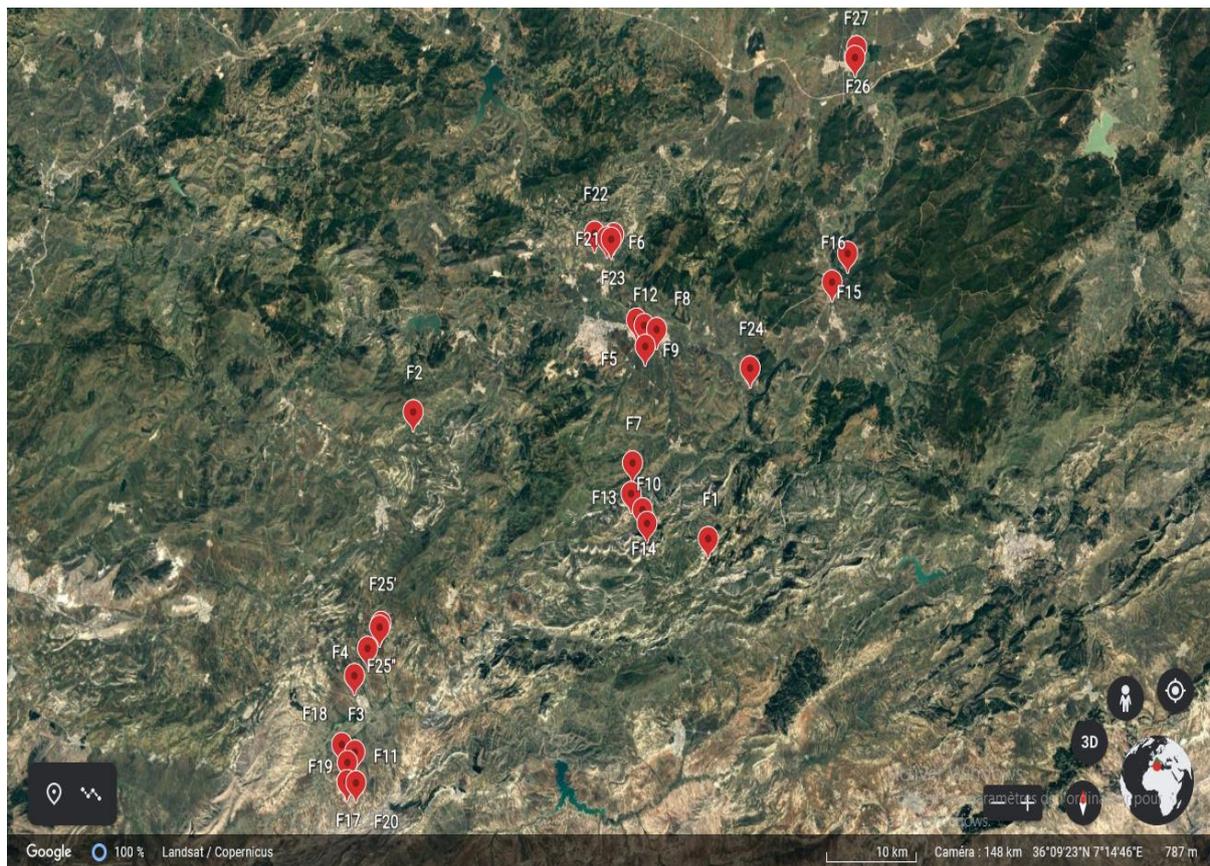


Figure 3 : Localisation géographique des sites de prélèvement (3).

Tableau 8 : Position géographique des zones d'études.

Code	Les forages	La commune	Cordonnées GPS	Altitude (m)
F1	Maârrouf	Ain Sandel	36°16'24.16"N 7°34'9.19"E	255
F2	Ain Brinis	Ras el Agba	36°22'38.33"N 7°12'12.97"E	216
F3	F 10	Tamlouka	36°9'37.74"N 7°7'52.87"E	210
F4	F 15	Tamlouka	36°10'58.42"N 7°8'51.50"E	140
F5	SNTR	Belkheir	36°27'11.07"N 7°28'50.62"E	140
F6	Bouzitoune 4	Heliopolis	36°31'13.28"N 7°26'38.71"E	163

F7	K1	Khezaras	36°20'7.72"N 7°28'32.97"E	208
F8	BA4 Oravie	Boumahra	36°26'43.09"N 7°30'21.42"E	80
F9	BA2	Belkheir	36°25'53.14"N 7°29'30.12"E	100
F10	Bazina	Bouhechana	36°17'9.73"N 7°29'36.44"E	120
F11	F 8 (Bis)	Tamlouka	36°5'51.44"N 7°7'55.60"E	330
F12	BA3	Belkheir	36°26'55.05"N 7°29'25.84"E	100
F13	Helia 1	Bouhechana	36°18'37.00"N 7°28'26.27"E	100
F14	Helia 2	Bouhechana	36°17'49.50"N 7°29'16.78"E	116
F15	F B2	Bouchegouf	36°30'27.96"N 7°44'40.42"E	117
F16	F B4	Bouchegouf	36°29'3.13"N 7°43'30.59"E	60
F17	B17 bir lasfar	Ain Arko	36°4'23.95"N 7°7'21.00"E	253
F18	F 16	Tamlouka	36°6'13.47"N 7°6'57.38"E	172
F19	F18	Tamlouka	36°5'20.56"N 7°7'22.45"E	300
F20	G23	Tamlouka	36°4'20.65"N 7°8'1.12"E	160
F21	HB4	Heliopolis	36°31'23.64"N 7°27'9.24"E	177
F22	Bouzitoune 3	Heliopolis	36°31'28.66"N 7°25'43.00"E	400

F23	Pisine Bis	Galâa	36°31'11.03"N 7°26'57.77"E	127
F24	Oued el Maleh	Hammam Nbail	36°24'48.51"N 7°37'20.98"E	201
F25	F12	Tamlouka	36°12'12.54"N 7°9'51.80"E	120
	F13	Tamlouka	36°12'1.41"N 7°9'45.16"E	140
F26	AB 1	Dréan	36°40'40.24"N 7°45'25.84"E	34
F27	AB 2	Dréan	36°40'11.33"N 7°45'17.93"E	30

III. Echantillonnage

III.1. Mode de prélèvement

Pour l'analyse physico-chimique un litre d'eau a été prélevé avec des flacons en plastique (**Coulibaly, 2005**), deux prélèvements pour chaque forage sont effectués l'un destiné à l'analyse physico-chimique et l'autre pour l'étude bactériologique. Au moment du prélèvement, la bouteille sera de nouveau rincée plusieurs fois avec l'eau à analyser puis la remplir jusqu'au bord et la fermer (**Mayet, 1994**), l'échantillon peut être gardé quelques jours mais il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible, les éléments tels que les nitrates peuvent subir des modifications lors de la conservation (**Coulibaly, 2005**).

Pour les analyses bactériologiques il faut utiliser des flacons en verre avec des bouchons en acier stériles, d'une contenance de 250ml, préalablement lavés, rincés, et étiquetés, les flacons sont stérilisés par la chaleur au four pasteur à 180°C pendant 90 min ou à l'autoclave pendant 15 min à 120°C (**Chibani, 2009**). Le prélèvement s'effectue dans des meilleures conditions d'asepsie et consiste à tenir le flacon par le bas et le plonger dans l'eau, puis le tourner le flacon jusqu'à ce que le goulot pointe légèrement, l'ouverture se fait dans le sens opposé à la pression, puis le remplir. La fermeture du bouchon s'effectue sous l'eau de façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air (**Mayet, 1994**).

III.2. Transport et conservation

Si la durée du transport dépasse 1 heure, et si la température extérieure est supérieure à 10 °C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6 °C. même dans ces conditions, l'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximale de 8 heure, après le recueil de l'échantillon (**Rodier et al., 2016**).

L'échantillon destiné à l'analyse physico-chimique doit être conservé dans la glacière, dans une température comprise entre 4 à 6 °C, et l'analyse s'effectue dans un délai de 24 heures (**Rodier et al., 2016**).

IV. Analyses physico-chimiques de l'eau

IV.1. Paramètres physiques

- La mesure de la température, TDS, salinité et conductivité a été effectuée après le prélèvement à l'aide d'un multi-paramètre de type WTW LF197. La lecture est faite après stabilisation de la valeur sur l'afficheur de l'appareille.
- La mesure du pH a été effectuée à l'aide d'un pH mètre de type ADWA 1000.
- La mesure de la turbidité a été effectuée avec un turbidimètre de type HACH TL2300 (fig.4).



A : Multi-paramètre de type WTW LF197. **B** : Turbidimètre de type HACH TL2300.

(Mesure de la salinité, TDS, Température, conductivité)

(Mesure de la turbidité)



C : pH mètre de type ADWA 1000.

(Mesure du pH)

Figure 4 : Appareils de mesure des paramètres physiques.

IV.2. Paramètres chimiques

IV.2.1. Détermination des alcalinités

Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

a) Titre alcalimétrique simple (TA)

Mode opératoire

A 100 ml d'eau à analyser ; ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine, si une coloration rose apparaît, titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de la couleur. Si la couleur n'apparaît pas le TA = 0 (pH < 8.3 donc TA = 0) ; On note le volume versé V_{TA} .

Expression des résultats

$$TA \text{ °f} = V_e$$

V_e : le volume en ml du H_2SO_4 utilisé dans le titrage.

b) Titre alcalimétrique complet (TAC)

Mode opératoire

- A 100 ml d'eau à analyser, ajouter 2 à 3 gouttes de méthylorange à 0.5 %.
- Titrer par l'acide sulfurique jusqu'au virage rouge orange (fig.5).

Expression des résultats

$$TAC \text{ °f} = V \text{ titre} - 0.5$$

0,5 : le volume nécessaire pour le virage de couleur de l'indicateur.



Figure 5 : Photographie représentant l'analyse du TAC.

c) Détermination de (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La concentration des bicarbonates est calculée selon la relation suivante :

$$(\text{HCO}_3^-) \text{ mg/l} = V_A \times N_A \times M \text{ HCO}_3^- \times 1000 / \text{PE}$$

$$(\text{HCO}_3^-) \text{ mg/l} = V_A \times (N/50) \times 61 \times 1000 / 100$$

V_A : volume d'acide versé dans le titrage de TAC.

N_A : normalité de l'acide versé.

$M \text{ HCO}_3^-$: masse des bicarbonates.

$P.E$: prise d'essai.

Expression des résultats

$$(\text{HCO}_3^-) \text{ mg/l} = \text{TAC} \text{ } ^\circ\text{f} \times 12,2$$

TAC : Alcalinité totale.

$1^\circ\text{f} = 10 \text{ mg/l}$.

IV.2.2. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

a) Principe

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di-sodique de l'acide de l'éthylène-diaminetétracétique à pH=10. La disparition de dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique.

En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

b) Mode opératoire

- Prendre une prise d'essai de 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4 ml de la solution tampon NH_4OH et une pincée d'indicateur (le noir ériochrome T), bien mélanger, la solution doit se colorer en rose.
- Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA, en versant lentement jusqu'au virage au bleu, la couleur ne doit pas changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

c) Expression des résultats

$$\text{TH (mmol /l)} = V_{\text{EDTA}} \times C_{\text{EDTA}} \times 1000 / \text{PE}$$

TH : dureté exprimée en °f.

V_{EDTA} : volume de la solution titrant.

C_{EDTA} : concentration molaire de la solution d'EDTA.

PE : Prise d'essai.

1°f = 0,1 mmol/ l.

$$\text{TH (°f)} = \text{TH (mmol/l)} \times 10$$



Figure 6 : L'analyse de TH.

IV.2.3. Détermination de la matière organique (MO)

a) Principe

L'opération consiste à mesurer, en milieu acide et alcalin, la quantité d'oxygène utilisé pour la réduction du permanganate de potassium par les matières organiques d'origine animale ou végétale contenues dans une eau.

b) Mode opératoire

- Introduire dans un erlenmeyer de 250 ml, 100 ml de l'eau à analyser.
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique à 50 % et 10 ml de la solution de permanganate de potassium N/80.
- Porter l'échantillon à une ébullition ménagée pendant 10 minutes du moment où les bulles formées augmentent en surface.
- Ajouter ensuite, 10 ml d'acide oxalique N/80 pour décolorer.
- Prévenir immédiatement à la teinte rose faible.
- Retirer alors le Bêcher de la plaque et le poser sur l'agitateur.
- Titrer pendant que la solution est encore chaude avec la solution de permanganate de

potassium N/80 jusqu'à une coloration rose pâle persistante environ 30 secondes.

- Noter le volume V1 de la solution de permanganate de potassium consommée.
- Faire un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 100 ml d'eau distillée.
- Noter le volume V0 de la solution de permanganate consommée (fig.7).

Expression des résultats

MO mg/L= le nombre de ml de KMnO4



Figure 7 : Analyse de la matière organique.

VI.2.4. Détermination de résidus secs (RS)

a) Principe

Une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

b) Mode opératoire

- Tarer une capsule préalablement lavée.
- Rincer avec de l'eau distillée et dessécher.
- Prélever 200 ml de l'eau à analyser.
- Porter à l'étuve à 105°C pendant 24 heures et laisser refroidir pendant 15min au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimées en mg/l. d'où :

PP : le poids plein de la capsule.

PV : le poids vide de la capsule.

$$(PP - PV) \times 5 \times 1000 = \mu \text{ mg/l de RS.}$$

N.B : Les eaux contenant des matières en suspension (turbides) doivent être filtrées.

IV.2.5. Détermination des matières en suspension (MES)**a) Principe**

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

b) Mode opératoire

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105°C pendant 20 min, laisser refroidir dans le dessiccateur et ensuite les peser : soit P1 = poids des membranes avant filtration.

- Placer les membranes dans le dispositif de filtration sous vide et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers.
- Sécher les membranes dans l'étuve à 105°C afin de sécher les membranes pendant 20 min, les laisser refroidir au dessiccateur puis les peser une deuxième fois. Soit P2 = poids des membranes après filtration.

Expression des résultats

$$\text{M.E.S (mg/l)} = (P2 - P1) \times 5 \times 1000$$

IV.2.6. Dosage du calcium (ISO 6058 (F), 1984)

a) Principe

Le principe est identique à celui de la méthode complexométrique décrite pour la dureté totale. Comme le dosage se fait à un pH élevé, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

b) Mode opératoire

- Mettre 50 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large.
- Ajouter 2 ml de solution d'hydroxyde de sodium et une pincée d'indicateur coloré (murexide), Bien mélanger le tout.
- Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement jusqu'au virage de la couleur rose au violet.
- Noter V1 le volume de la solution d'EDTA versée.

Expression des résultats

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = \frac{V_1 \times C_{\text{EDTA}} \times F \times M_{\text{Ca}^{+2}}}{\text{PE}} \times 1000$$

D'où :

V₁ : volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

M_{Ca²⁺} : masse molaire du calcium en g.

PE : prise d'essai.

F : facteur de dilution.

IV.2.7. Dosage du magnésium (Mg²⁺) (ISO 6058 (F), 1984)**a) Principe**

Le titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide et de éthylènediaminetétraacétique(EDTA) à pH10. Le noir ériochrome T, donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

b) Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large.
- Ajouter 2 ml de la solution de NH₄OH.
- Une pincée de noir ériochrome T.
- Verser de l'EDTA jusqu'au virage de la couleur bleu V₂.

Expression des résultats

La détermination de Magnésium (mg/l) est donnée par la formule suivante :

$$(Mg^{2+}) \text{ mg/l} = \frac{V_2 - V_1 \times C_{EDTA} \times F \times M (Mg^{2+})}{P.E}$$

D'où :

V₂ : Volume titré du calcium et du magnésium.

V₁: Volume titré de calcium.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

M_{Mg²⁺} : Masse molaire du magnésium en g.

P.E : volume de l'échantillon.

F : Facteur de dilution.

IV.2.8. Dosage de chlorure (Cl⁻)

a) Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

b) Mode opératoire

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer.
- Vérifier à la phénolphthaléine, autrement dit l'absence de coloration rose après ajout de 2 à 3 gouttes de cet indicateur.
- Ajouter 1 ml de chromate de potassium et doser par l'AgNO₃ jusqu'au virage à la teinte brunâtre.
- Noter le volume versé V AgNO₃ ml (fig.8).

Expression des résultats

$$\text{Cl}^- (\text{mg} / \text{l}) = V_{\text{AgNO}_3} \times 142$$



Figure 8 : Dosage de chlorure.

IV.2.9. Dosage du fer (Fe^{2+}) (ISO 6332)

a) Principe

Le complexe fer (II)- phénanthroline -1,10 est stable dans l'intervalle de pH de 2.5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité du fer (II) présent. La relation entre la concentration et l'absorbance est linéaire jusqu'à une concentration de 5 mg de fer par litre. Le maximum d'absorbance se situe à environ 510 nm.

b) Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100 ml, ajouter 1 ml d'une solution de chlorhydrate hydroxylamine, mélanger soigneusement.
- Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5.
- Ajouter 2 ml de la solution phénanthroline -1,10. Compléter à 50 ml puis conserver les fioles à l'obscurité pendant 15 min.
- Enfin, passer au spectrophotomètre pour des mesures à $\lambda = 510$ nm.

Le résultat est exprimé en mg/l.

IV.2.10. Dosage des sulfates (SO_4^{2-}) (NF ISO 22743)

a) Principe

Les ions sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique et pesés à l'état de sulfates de baryum.

b) Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum ; Agiter énergiquement pendant 1 min.
- Passer au spectrophotomètre UV-visible et faites des mesures à $\lambda = 420 \text{ nm}$.

Le résultat est donné en mg /l.

IV.2.11. Dosage des phosphates (PO_4^{3-}) (ISO 6878)

a) Principe

- Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium.
- Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm).

b) Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser et 1 ml d'acide ascorbique.
- Ajouter 2 ml du réactif- mélange et attendre 10 min ; l'apparition de la coloration bleue indique la présence des phosphates.
- Faire la lecture à l'aide du spectrophotomètre UV-visible à 700 ou 880 nm.

Le résultat est donné directement en mg/l.

IV.2.12. Dosage de l'ammonium (NH_4^+) (ISO 7150/1, 1984 (F))**a) Principe**

Mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate (III) de sodium.

b) Mode opératoire

- Prélever 40 ml d'échantillon d'eau à analyser, dans une fiole de 50 ml ajouter 4 ml du réactif coloré homogénéisé (réactif **I**) puis ajouter 4 ml du réactif de dichloroisocyanurate de sodium (réactif **II**) et homogénéiser.
- Compléter la fiole jusqu'au trait de jauge.
- Attendre 1h30min pour le développement de la couleur.
- l'apparition de la couleur verte indique la présence de l'ion ammonium.
- Effectuer les mesures spectrophotométriques UV-visible à 655 nm.

Le résultat est donné directement en mg/l.

IV.2.13. Dosage des nitrates (NO_3^-) par la méthode au salicylate de sodium**a) Principe**

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

b) Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de Na OH à 30 %, 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve (75-88°C) (ne pas surcharger ou surchauffer très longtemps). Laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec de 2ml d' H_2SO_4 , Laisser reposer 10 min.

- Ajouter 15 ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium.
- Faire la lecture au spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 415 nm.

Le résultat est donné directement en mg/l.

IV.2.14. Dosage des nitrites (NO_2^-) (ISO 5667)

a) Principe

Les ions nitrites réagissent en milieu acide ($\text{pH} = 1,9$) avec la sulfamilade en formant un sel de diazonium (diazotaion) qui forme à surtout avec le N-(1-naphtyle)-éthylène diamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

b) Mode opératoire

- Prendre 50 ml de l'eau à analyser, Ajouter 1 ml de réactif mixte, attendre 10 min.

l'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- .

- Faire la lecture au spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 543 nm.

Le résultat est lue directement en mg/l.

IV.2.16. Dosage du sodium et de potassium

a) principe

Le sodium et le potassium sont dosés par spectrophotométrie de flamme. Lorsque les atomes d'un élément sont excités par une flamme, ils émettent des radiations de longueur d'onde déterminée dont l'intensité peut être mesurée par spectrophotométrie (fig.9) (**Rodier et al., 1984**).



Figure 9 : Spectrophotomètre à flamme de type (LANGE GENWAY).

V. Analyse bactériologique de l'eau

Les analyses bactériologiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de la station de traitement des eaux (ADE Hammam Debagh). Au cours de ces analyses nous avons respecté toutes les conditions d'hygiène et de stérilisation afin d'éviter toute contamination possible.

Dans notre travail nous avons effectué une analyse réduite qui comprend la recherche de :

- ✓ Germes totaux.
- ✓ Coliformes totaux et fécaux.
- ✓ Streptocoques fécaux.
- ✓ Spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs.

Avant d'entamer l'analyse de chaque échantillon, il faut agiter le flacon contenant la solution mère, pour mettre les organismes y existant en suspension.

• Méthodes générales d'examen bactériologique des eaux

Dans la plupart des examens usuels, l'analyse bactériologique n'est pas seulement qualitative mais aussi quantitative. Dans les eaux très polluées il convient donc de pratiquer de nombreuses dilutions. Dans d'autres cas, comme dans celui des eaux destinées à l'alimentation, au thermalisme, à la baignade, les exigences réglementaires imposent une sensibilité telle qu'une concentration est au contraire nécessaire (absence de bactéries dans 100, 250, 1000 ml).

Ces déterminations qualitatives et quantitatives sont établies à partir :

- Soit d'un dénombrement direct des colonies après concentration par filtration ou inoculation d'un volume donné de l'échantillon en milieu solide.
- Soit d'une évaluation par calcul statistique du nombre le plus probable d'unités infectieuses (NPP) (**Rodier et al., 2016**).

Dans notre recherche nous avons utilisé la méthode par filtration basée sur une filtration d'un volume d'échantillon d'eau à travers une membrane filtrante en ester de cellulose de porosité 0,22 μ m ou de 0,45 μ m (fig.10).

La membrane après la filtration peut être déposée sur la surface d'une gélose, les bactéries retenues à la surface sont nourries à travers la membrane par les pores de celle-ci.



Figure 10 : La rampe de filtration utilisée dans la méthode de filtration.

V.1. Recherche et dénombrement des micro-organismes revivifiables (ISO 6222)

a) Mode opératoire

- A partir de l'eau à analyser, placer un volume de prise d'essai de 1 ml d'échantillon au fond d'une boîte de Pétri vide.
- Compléter avec une quantité d'environ 15 à 20 ml de gélose TGEA fondue et refroidir à 45°C.
- Faire ensuite des mouvements circulaires de va et vient en forme de (8) pour permettre à l'eau de se mélanger à la gélose.
- Laisser le milieu quelques minutes sur la paillasse pour se solidifier.
- Rajouter une deuxième couche d'environ 5ml de la même gélose.
- Incuber les boîtes à 37°C pendant 48 heures (fig.11).

b) Lecture

Les germes totaux se présentent sous forme de colonie lenticulaire.

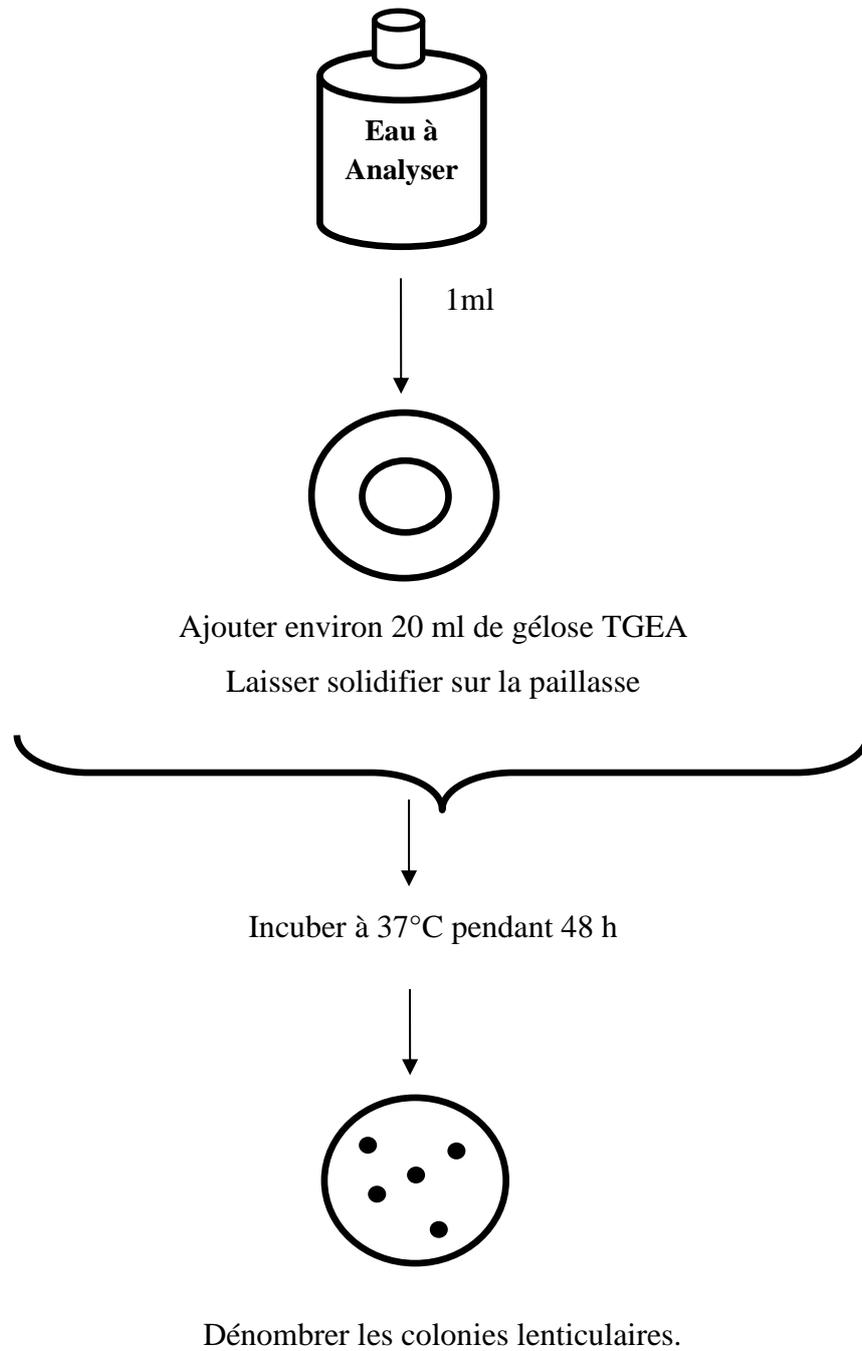


Figure 11 : Recherche et dénombrement des micro-organismes revivifiâbles à 37°C.

V.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (ISO 9308)

a) Mode opératoire

La recherche des bactéries coliformes par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

- Déposer spécifiquement une membrane de porosité nominale de 0,45 μm sur le dispositif de filtration.
- Remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100ml de l'eau à analyser.
- Actionner la rampe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane.
- Retirer ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile.
- Ensemencer la membrane qui renferme les germes dans une boîtes de Pétri contenant la gélose Tergitol.
- Incuber à 37°C pendant 24 heures.

b) Lecture

Après 24 heures d'incubation à 37°C, les coliformes totaux et fécaux apparaissent sous forme de petites colonies jaunes ou orangé (fig.12).

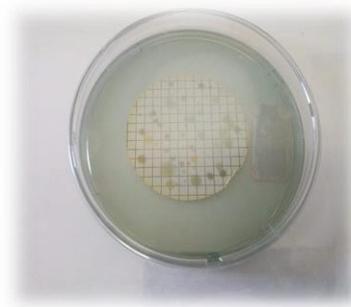


Figure 12 : Croissance des coliformes sur milieu tergitol.

➤ **Test confirmatif**

Transférer 5 à 10 colonies caractéristiques de couleur jaune dans un tube contenant le milieu Schubert, après incubation à 44°C pendant 24h, la présence d'Escherichia coli est confirmée par l'apparition d'un anneau rouge en surface après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.

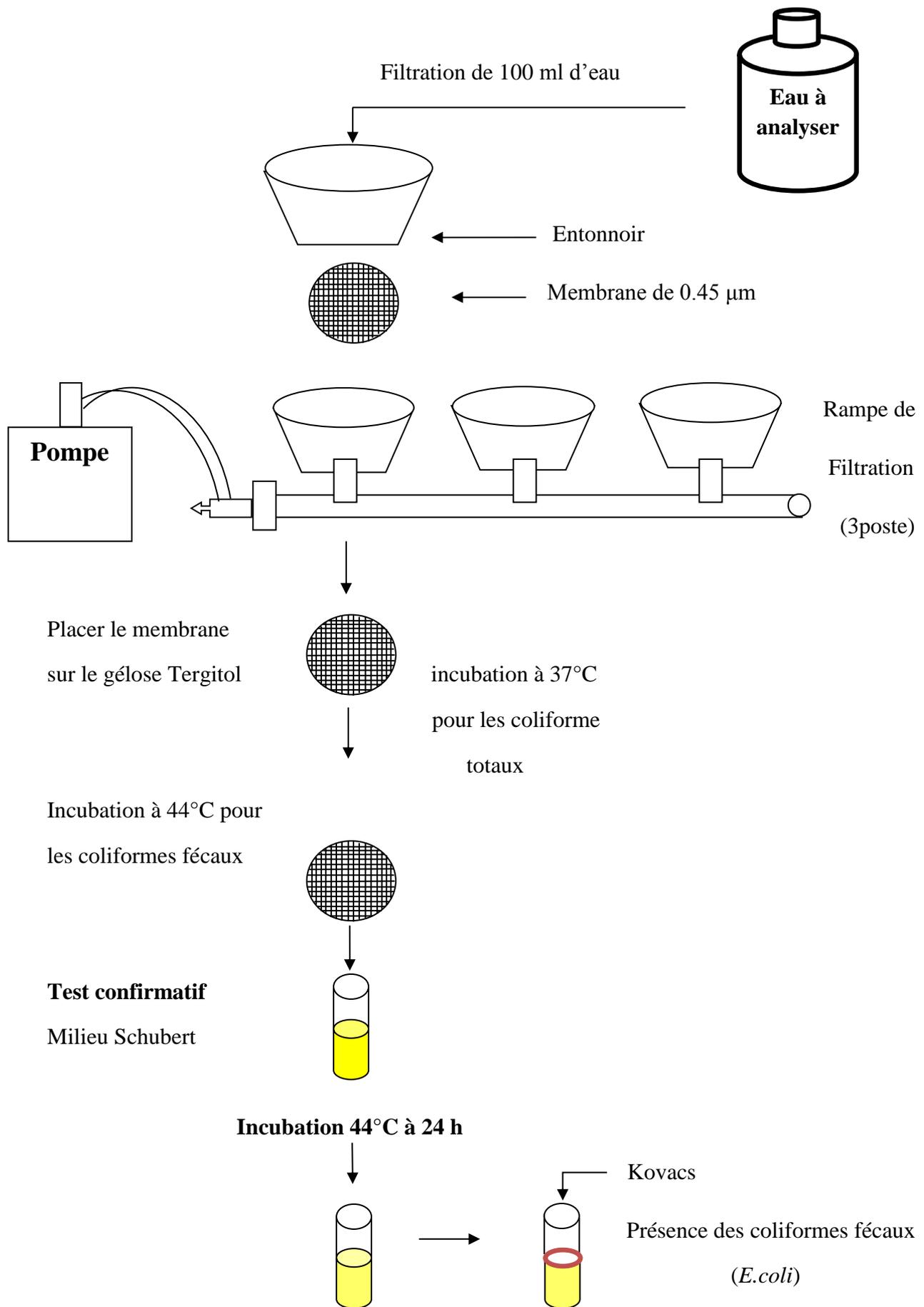


Figure 13 : Protocole de recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

V.3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (ISO 7899-2 et NF T 90-416)

a) Mode opératoire

- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de 0,45µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ml de l'eau à analyser.
- Actionner la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer la membrane à l'aide de la pince stérile, et la placer sur la surface d'une plaque de gélose Slanetz et Bartley.
- Incuber à 37°C pendant 48 heures (fig.14).

b) Lecture

Les Streptocoques fécaux se présentent sous forme des petites colonies lisses, légèrement bombées, pigmentées en rouge, marron ou rose.

➤ Test confirmatif

- Transférer aseptiquement la membrane du milieu Slanetz et Bartley sur une plaque de gélose Bile esculine azoture (BEA) préchauffée préalablement à 44°C.
- Incuber à 44°C pendant 2 heures.

Considérées comme positives, toutes colonies de couleur noir.

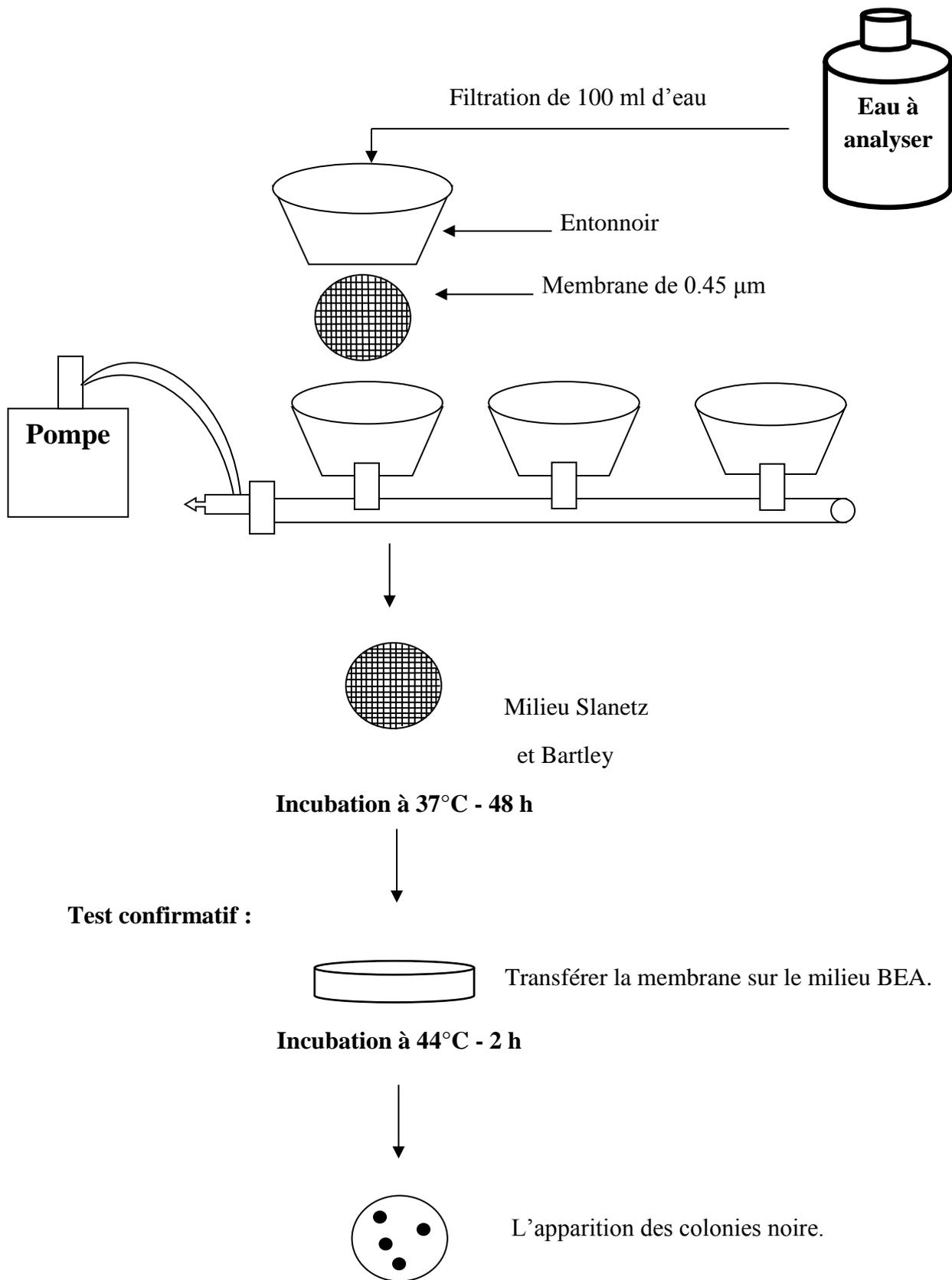


Figure 14: Protocole de recherche des Streptocoques fécaux.

V.4. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

a) Mode opératoire

- Après stérilisation et le refroidissement de l'entonnoir.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane 0,22 μm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Mettre environ 50 -100 ml de l'eau à analyser, dans un tube stérile, puis chauffer à 80°C pendant 15 min pour assurer la destruction des formes végétatives.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce flacon dans l'entonnoir.
- Actionner la rampe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane.
- Retirer ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile.
- Déposer la membrane, face en-dessus, au fond d'une boîte de Pétri.
- Verser une quantité de gélose viande foie, fondue, puis refroidie à $45 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Laisser solidifier sur une surface horizontale.
- Incuber à 46°C pendant 24 heures.

b) Lecture

Les spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs se présentent sous forme de colonies noires de 0,5 mm de diamètre (fig.) (Rodier et al., 2016) [Modifier].

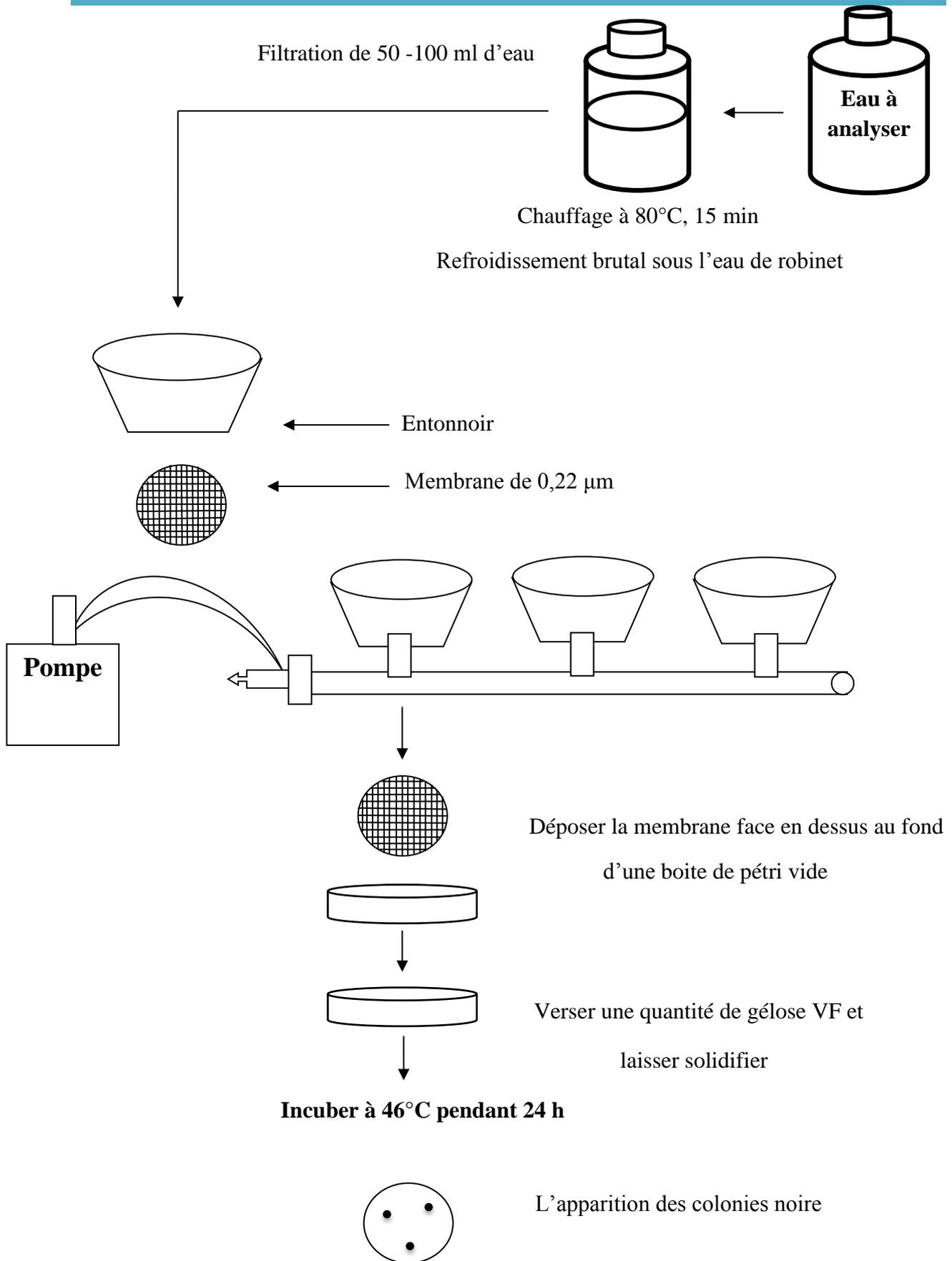


Figure 15 : Protocole de recherche des bactéries anaérobies sulfite- réducteurs (ASR).

Chapitre 3

I. Résultats de l'analyse physico-chimique

I.1. Température (°C)

La température de l'eau est un paramètre très important pour les milieux aqueux, elle joue un rôle dans l'augmentation des activités chimiques, bactériennes et de l'évaporation de l'eau.

Elle varie de 9,9 à 20,4°C comme valeur maximale (fig.16), Tous les résultats enregistrés montrent des valeurs inférieures à la norme de potabilité exigée par l'OMS (2011) (Max 25°C). Selon **Aouissi et Houhamdi (2010)**, ces température sont proches de la température ambiante et indiquent une origine peu profonde de l'eau étudiée.

Nos résultats sont moins élevés par rapport à ceux notés par **Mehda et al., (2021)** réalisés à la wilaya de El Oued.

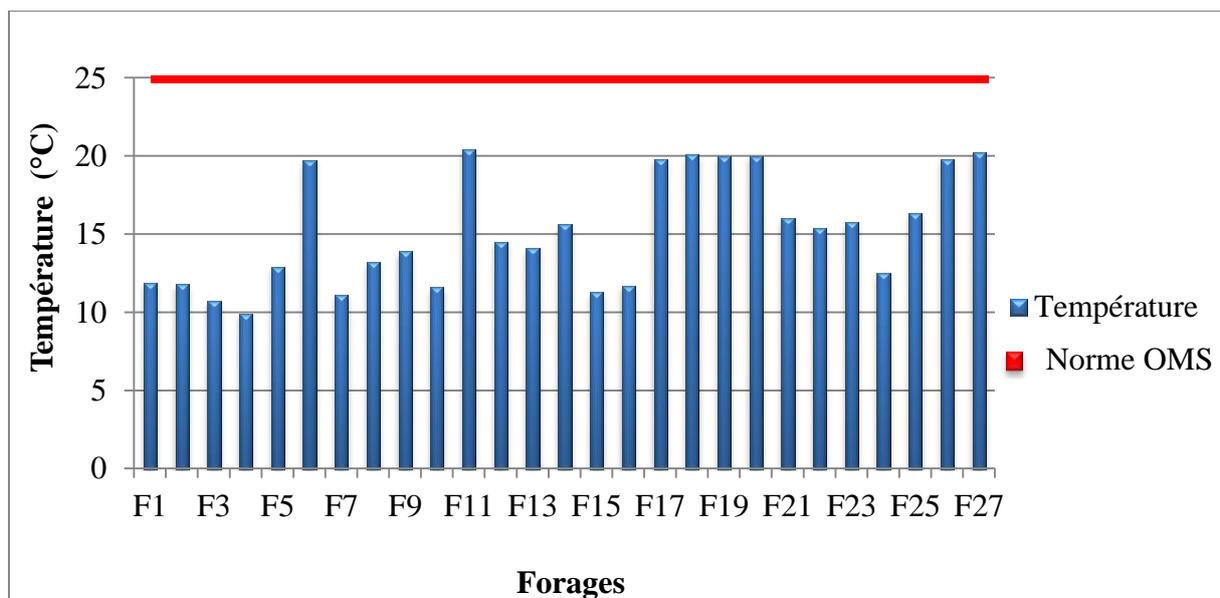


Figure 16: Variation de la température dans les eaux de forages (Janvier- Mars 2022).

I.2. pH

Les valeurs de pH varient entre 6,98 et 8,06 (fig.17), ces valeurs restent aux dessous de la normes fixée par l'OMS (2011).

Ce paramètre représente le degré d'acidité ou d'alcalinité d'un milieu aquatique. La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations importantes du pH (Allaoua, 2016).

Les résultats de **Badaoui et Taleb (2019)** relevés des eaux de forages de la wilaya de Bouira montrent des valeurs prochent de nos valeurs.

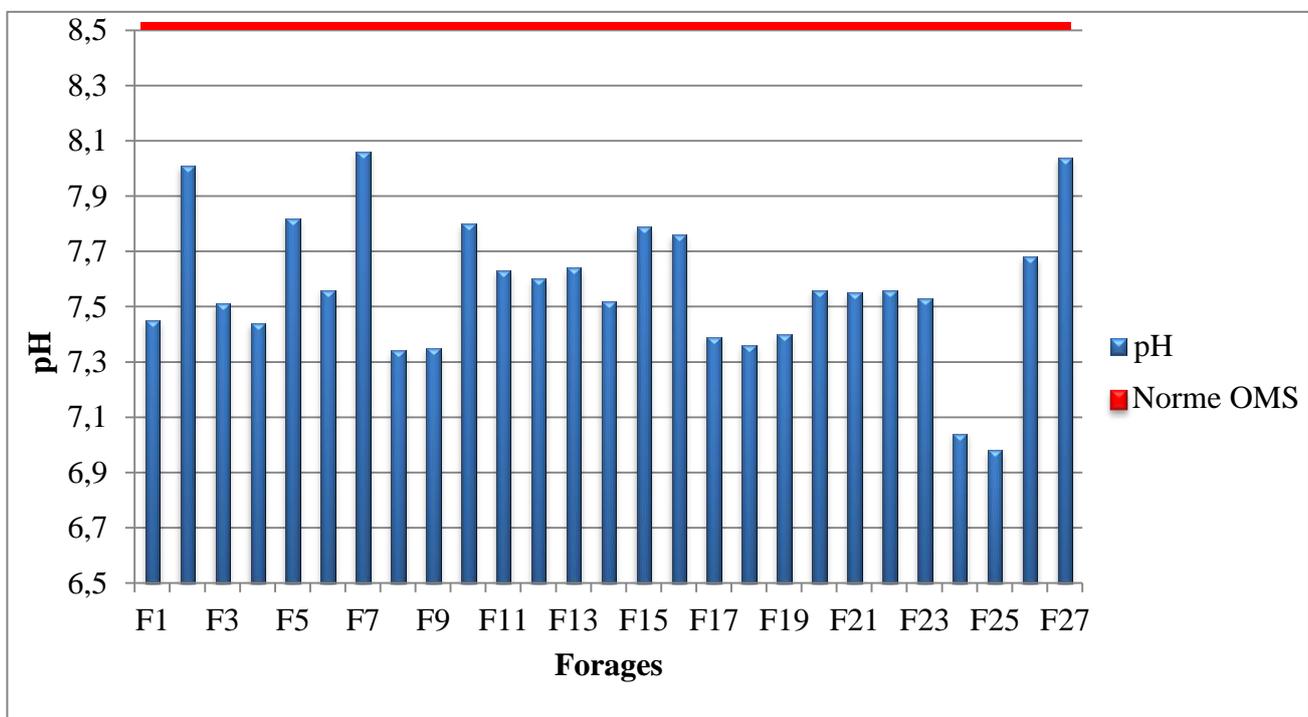


Figure 17: Variation du pH dans les eaux de forages (Janvier- Mars 2022).

I.3.Taux des sels dissous (TDS)

Nos résultats relatifs à ce paramètre montrent des valeurs qui varient entre 237 et 1430 mg/l. C'est au niveau des forages F3, F15, F16, F26 et F27 que les concentrations dépassent la norme OMS (2011) fixée à 1000 mg/l (fig.18).

Le total des solides dissous (TDS) reflète de l'ensemble des sels inorganiques dans l'eau (calcium, magnésium, potassium, sodium, bicarbonates, chlorures, et sulfates). Sa concentration dépend du climat, de la roche hôte et de la durée de contact de l'eau souterraine dans la matrice géologique (**Vincent et al., 2009**).

Nos résultats se rapprochent à ce signalés par **Bougasmi (2020)**, réalisés dans la wilaya de Médéa.

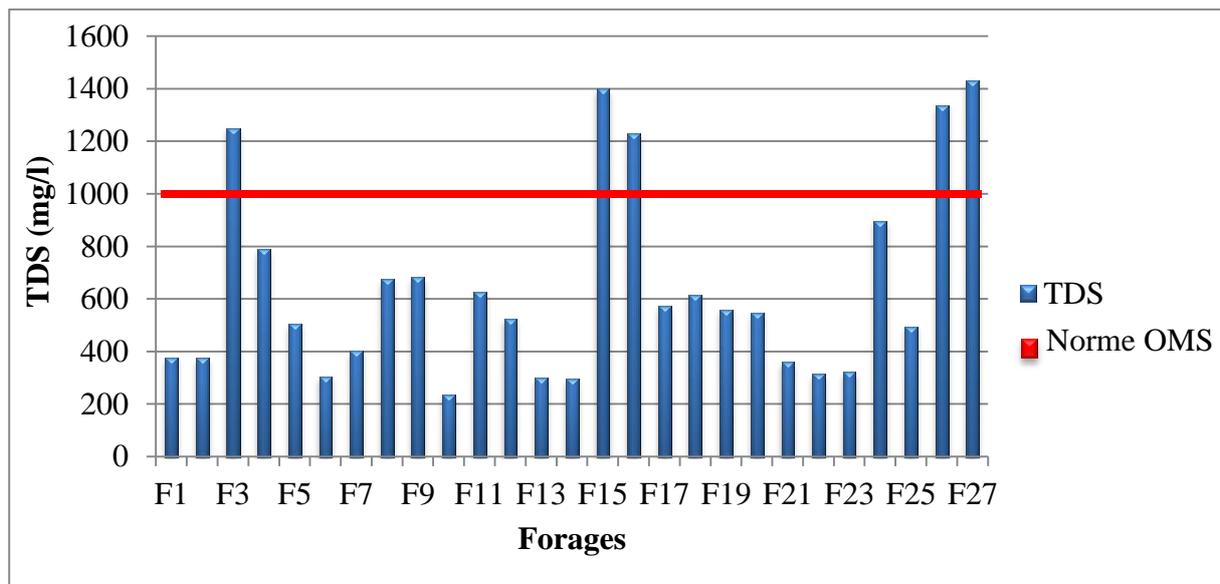


Figure 18: Variation de la TDS dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.4. Salinité

D'après la présentation graphique ci-dessous, on remarque que les résultats enregistrés oscillent de 0 à 1,4 mg/l. Notons que les teneurs en sels relevées dans les eaux de forages F3, F15, F16, F26 et F27 sont supérieures à la valeur guide préconisée par l'OMS (2011) fixée à 1 mg/l.

La salinité reflète de l'ensemble des sels (NaCl) des eaux ou des sols (**Ramade, 2002**).

Les travaux de **Hamada et salah salah (2012)** réalisés dans la même wilaya présentent des résultats presque similaires.

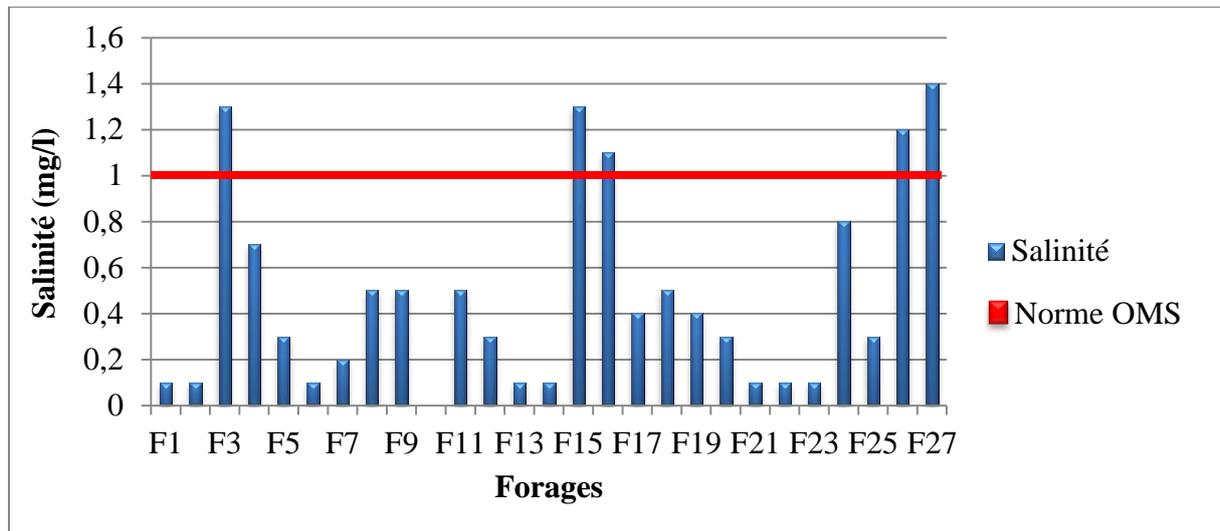


Figure 19: Variation de la salinité dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.5. Conductivité

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau, donc elle renseigne sur le degré de sa minéralisation.

Les valeurs enregistrées varient de 504 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 2860 $\mu\text{s}/\text{cm}$, le minimum étant enregistrées dans le forage (F10) et le maximum au niveau de forage (F27) (fig.20). En se basant sur les normes admissibles par l'OMS (2011), les eaux de forages F3, F15, F16, F24, F26 et F27 sont non conforme.

Nos résultats sont inférieurs par apport à ceux de **Mehda et al., (2021)** réalisés à la wilaya de El Oued.

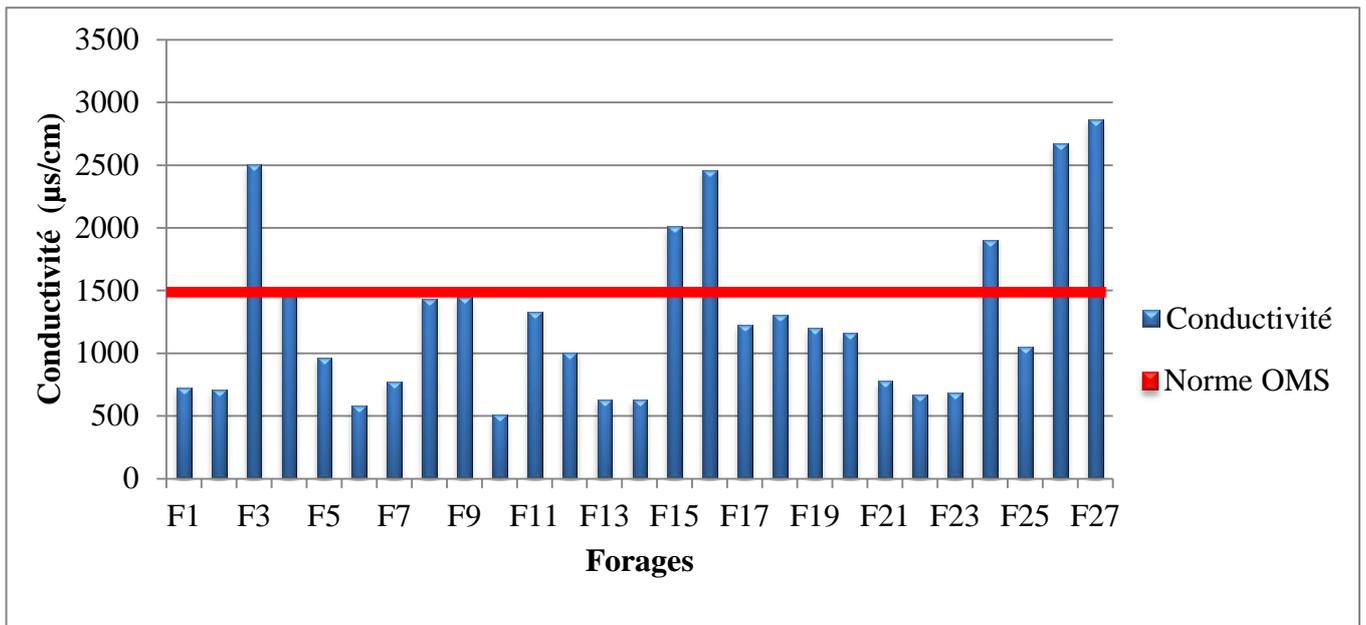


Figure 20: Variation de la conductivité dans les eaux de forages (Janvier- Mars 2022).

I.6. Turbidité

La turbidité permet de préciser les informations visuelles de l'eau (trouble ou limpide). Elle indique la présence des particules en suspension dans l'eau. Nos résultats montrent que les eaux de forages étudiés sont de bonne qualité, répondant à la norme exigée par l'OMS (2011) pour les eaux destinées à la consommation humaine (5 NTU) à l'exception d'un seul forage (F11) qui représente une forte turbidité (14,6 NTU) (fig.21), cette teneur est due à la mauvaise protection du forage et sa localisation dans une zone d'agglomération.

Les résultats de **Attig et Bernou (2020)** relevés dans les eaux de forages de la wilaya de bouira montrent des valeurs inférieures qui s'échelonnent entre 0.66 et 0.98 NTU.

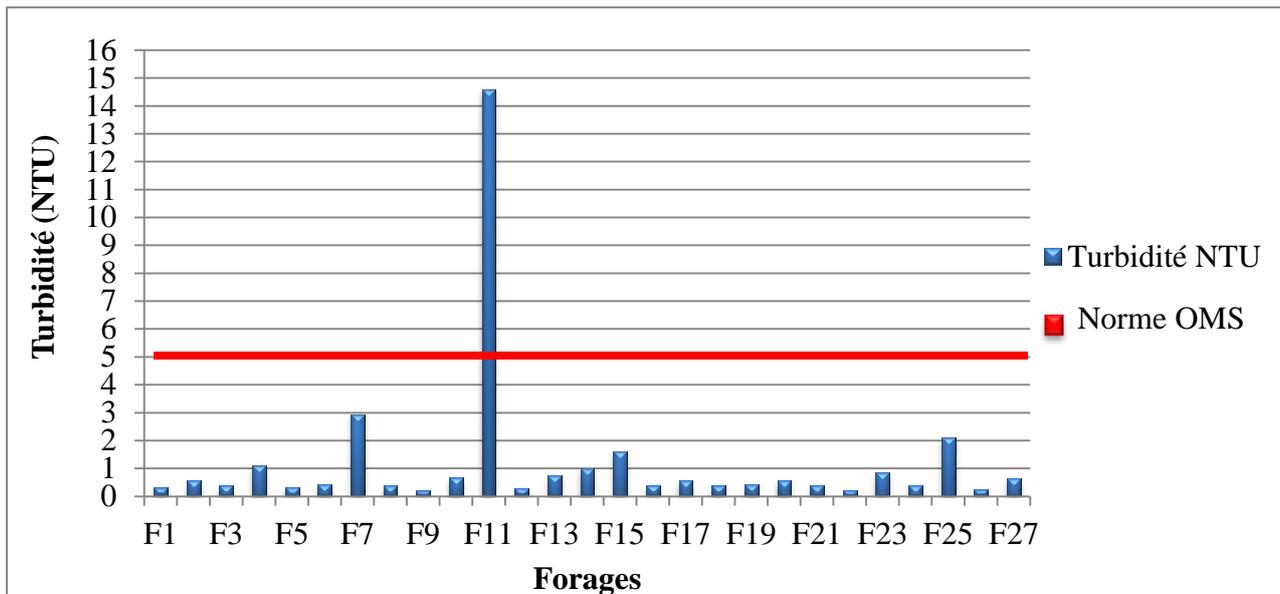


Figure 21: Variation de la turbidité dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.7. Alcalinité

Le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC) traduisent l'alcalinité d'une eau. La connaissance de ces valeurs est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau puisqu'elles dépendent de l'équilibre calco-carbonique (**Savary, 2010**).

On observe que le TA est nul dans l'ensemble des eaux de forages échantillonnées., ce qui explique que les alcalins libres (OH^-) et les carbonates (CO_3) existent dans l'eau en quantité négligeable (**Monod, 1989**). Les travaux d'**Aggoune et Bouchemel (2019)** réalisés dans la nappe phréatique d'Oued El Maiz (Guelma) présentent des résultats similaires. Par ailleurs, les teneurs du TAC variant de 11,7 à 38,4 °f dont la valeur maximale est enregistrée au niveau du F27 (fig.22).

Les résultats enregistrés sont presque similaires aux données relevées par **Attig et Bernou (2020)**.

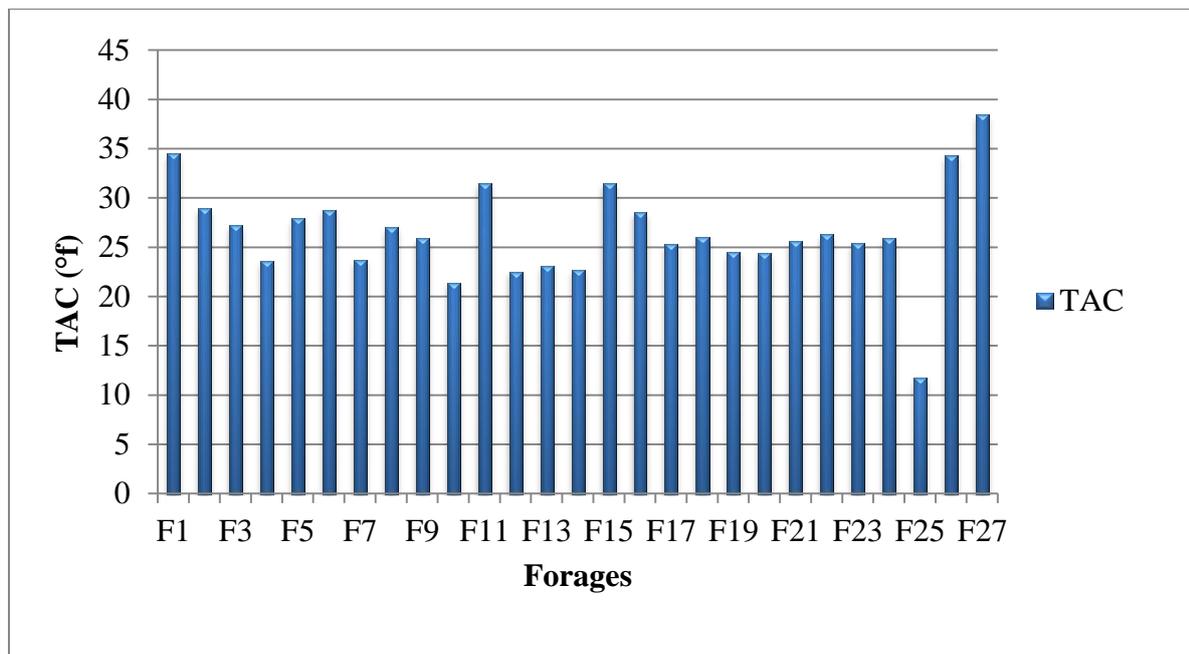


Figure 22: Variation du TAC dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.8. Bicarbonates

Les teneurs en bicarbonates des eaux de forages étudiés (fig.23) varient généralement entre un minimum de 142,74 mg/l et un maximum de 468,48 mg/l.

Ces valeurs élevées sont dues vraisemblablement à la circulation de ces eaux dans le réservoir aquifère de nature calcaro-dolomitique (Nouayti et al., 2015).

Les résultats enregistrés sont plus élevés par rapport à ceux signalés par **Khelifati et Khelifa (2019)**, réalisés dans la wilaya de Souk Ahras.

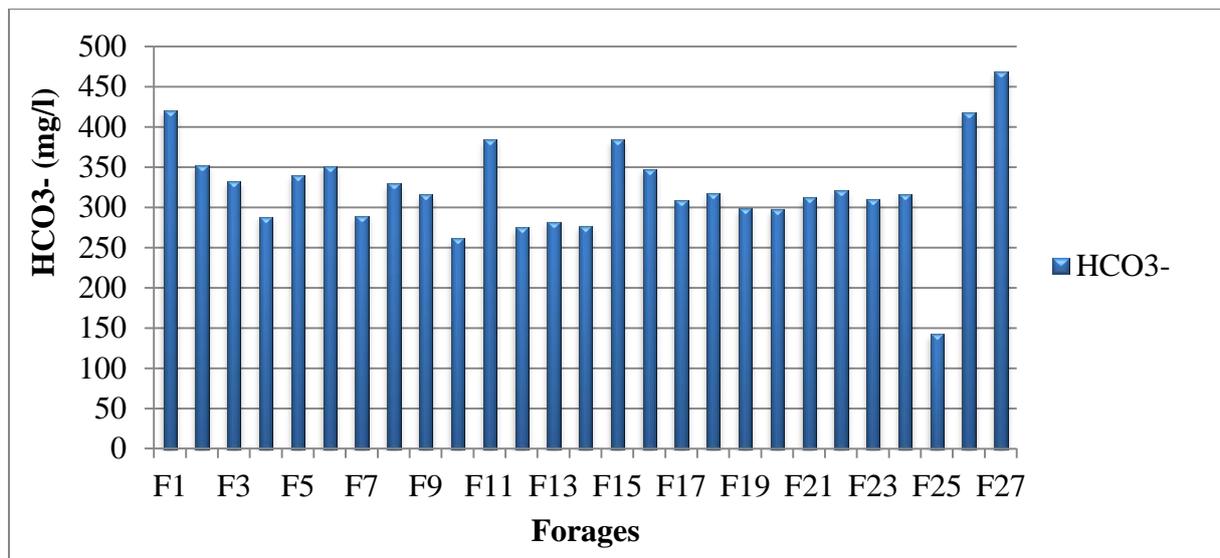


Figure 23: Variation de bicarbonates dans les eaux de forages (Janvier- Mars 2022).

I.9. Dureté totale

La dureté de l'eau est proportionnelle à sa teneur en calcaire et en magnésium et se mesure par le titre hydrotimétrique (TH). L'eau souterraine est généralement plus dure qu'une eau de surface (**Bordet, 2007**).

L'ensemble de résultats enregistrés montrent des valeurs supérieures à la norme exigée par l'OMS (2011) (20°f), sauf exception du F10 (fig.24). Selon **Ghazali et Zaid (2013)** l'origine de la dureté d'une eau peut être liée à la nature lithologique de la formation aquifère et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium.

Nos valeurs enregistrées sont supérieures à celle de **Khelifati et Khelifa (2019)**.

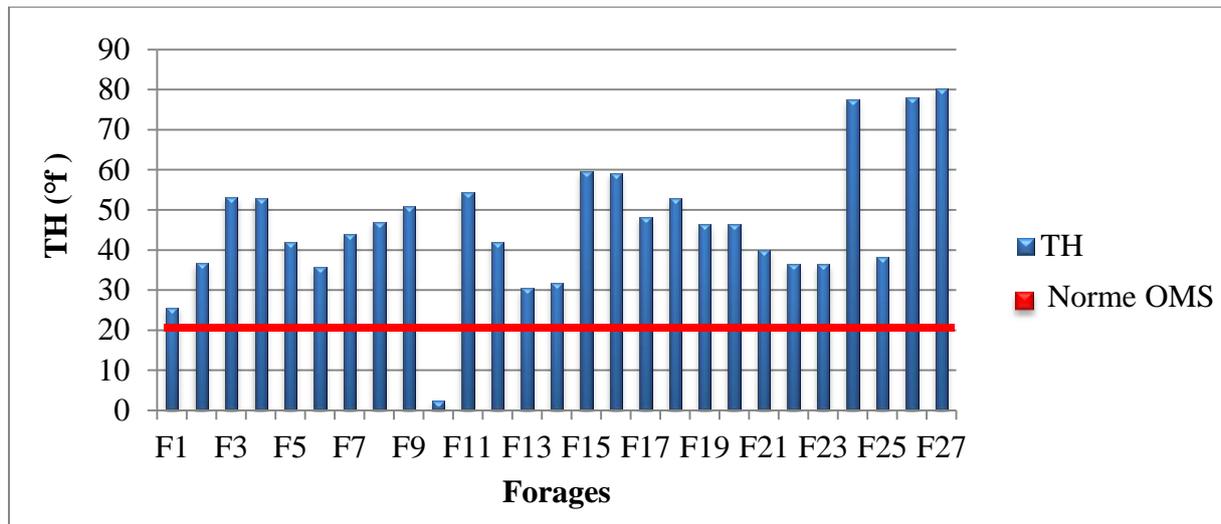


Figure 24: Variation du titre hydrotimétrique dans les eaux de forages (Janvier- Mars 2022).

I.10. Matière organique

D'après les résultats illustrés dans la figure 25, les teneurs en matières organiques oscillent entre 0 et 7,5 mg/l. On note toutefois que les eaux de forages (F3, F4, F15 et F16) dépassent la norme de potabilité.

La matière organique permet d'apprécier les teneurs en substances oxydables. Elle peut être utilisée comme indicateur de la qualité de l'eau en raison de sa labilité et de sa réactivité (**Benkaddour, 2018**). Les teneurs élevées reflètent à la décomposition d'origine animale ou végétale élaborées sous l'influence des micro-organismes (**Vilaginès, 2010**).

Nos relevés en matière organique sont élevés à ceux rapportés par **Ben azzouz et al., (2019)** réalisés à Bouira.

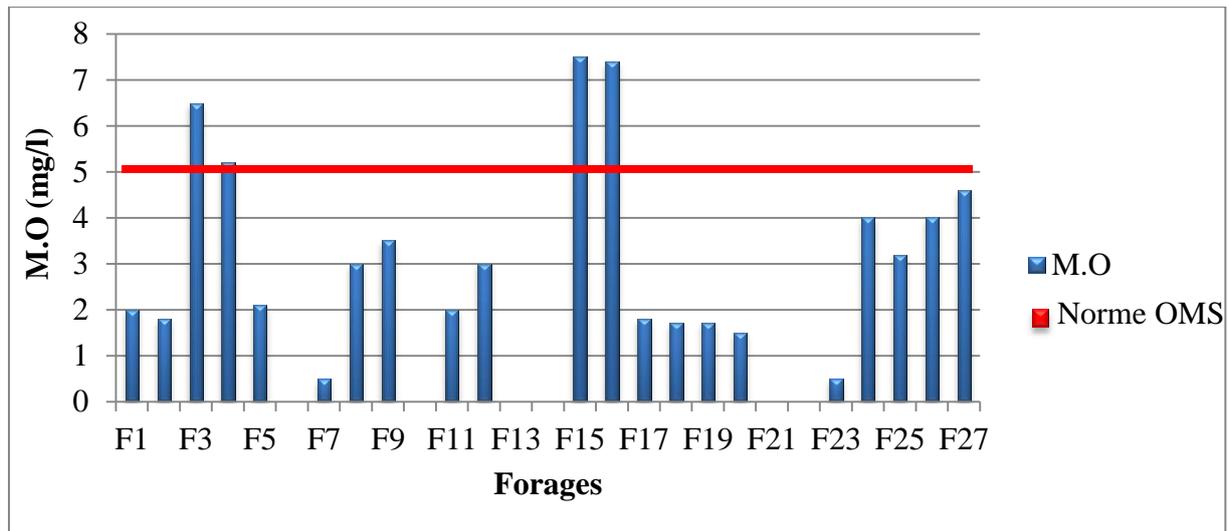


Figure 25: Variation de la matière organique dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.11. Résidu sec

Les résidus secs présentent la quantité de la matière dissoute dans l'eau ce qui influence sur sa saveur, ils permettent d'apprécier la minéralisation d'une eau. Cette dernière est habituellement plus élevée dans les eaux souterraines que superficielles. Les résultats de la figure 26 montrent que les valeurs de ce paramètre varient de 302 mg/l (minimum au point F10) à 1988 mg/l (maximum au point F27).

Les fortes concentrations en résidus secs semblent être liées au contact des eaux avec les roches sédimentaires (Savary, 2010).

Les résultats de Frahtia et Nezzar (2016) relevés dans les forages d'Oum El Bouaghi oscillent de 1840 à 5400 mg/l, elles sont supérieures à nos résultats.

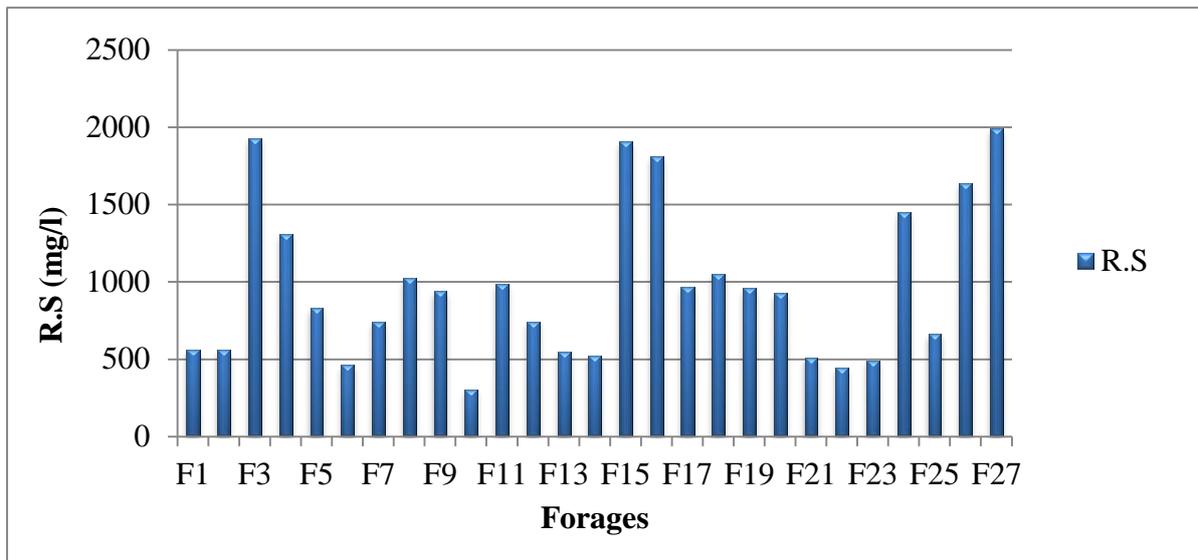


Figure 26: Variation des résidus secs dans les eaux de forages (Janvier- Mars 2022).

I.12. Matière en suspension

Les MES représentent des impuretés non dissoutes dans l'eau, elles sont un facteur important dans le plan esthétique car elles contribuent à la turbidité de l'eau (**charchar, 2009**). Les résultats de la figure 27 montrent qu'il y a une absence totale des matières en suspension dans 10 forages échantillonnés. Pour le reste, les teneurs en MES s'échelonnent entre 0,5 et 4 mg/l.

Les teneurs élevées dans les eaux pourraient être attribuées à la nature des terrains traversés, de la saison et de la pluviométrie (**Savary, 2010**).

Le résultat de **Bessaklia et Gheraba (2012)** relevé dans l'eau de puits de Oued el Maleh montre un valeur moins important.

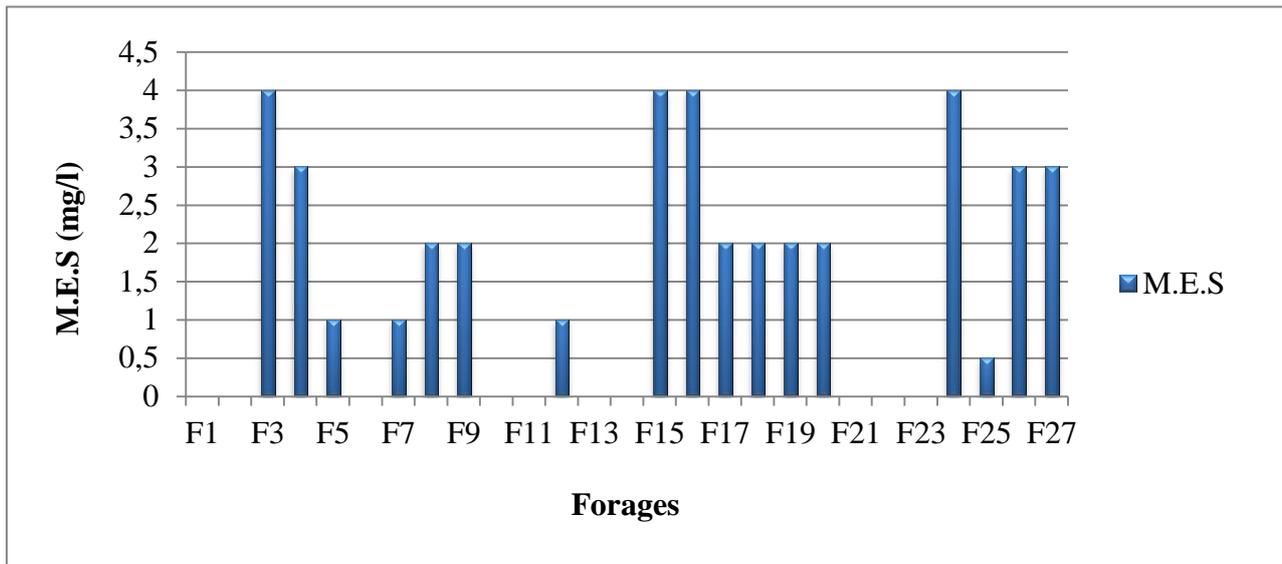


Figure 27: Variation de la matière en suspension dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.13.Calcium

Les teneurs en calcium des eaux de forages étudiés (fig.28) varient de 82,5 mg/l à 209,06 mg/l. On remarque ainsi qu'à l'exception des forages (F24, F26 et F27), les eaux de Forages échantillonnés contiennent des concentration inférieures à la valeur admissible par l'OMS (2011) et qui est fixée à 200 mg/l.

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables, sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés et pourraient être attribuées à la dissolution de la calcite ainsi que d'autres minéraux calciques tels que le gypse (Nouayti et al., 2015).

Les résultats enregistrés sont similaires à ceux signalés par Frahtia et Nezzar (2016).

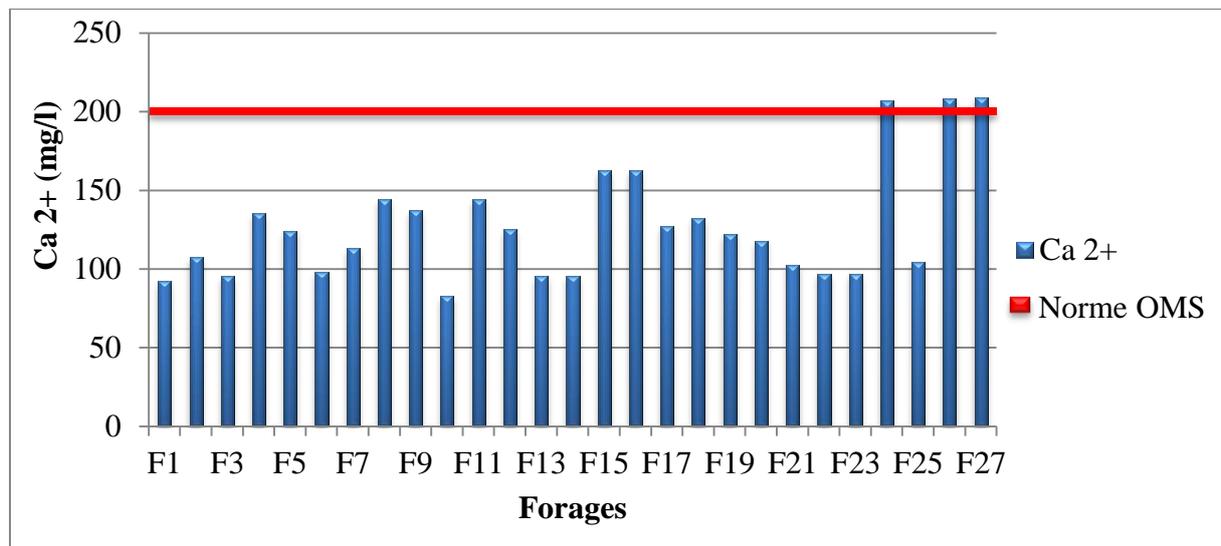


Figure 28: Variation du calcium dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.14. Magnésium

La teneur en magnésium varie entre un minima de 6,31 mg/l et un maxima de 71,45 mg/l relevés respectivement dans les forages F1 et F3. Sur un total de 27 échantillons, seuls les 4 forages (F3, F24, F26 et F27) ayant des teneurs qui dépassent la norme OMS (2011) limitée à 50 mg/l (fig.29).

Le magnésium est un élément qui contribue à la dureté de l'eau que le calcium, il est présent en petite quantité dans la majorité des eaux naturelles, sa teneur élevée semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires, dolomitiques, magnésites, basaltes et argiles (Nouayti et al., 2015).

Les résultats de **Gueroui (2015)** relevés dans les eaux de forages F8 (F11), F10 (F3), F15 (F 4) et F16 (F 18) de la même wilaya montrent des valeurs moins importantes qui s'échelonnent entre 12,63 et 26,24 mg/l.

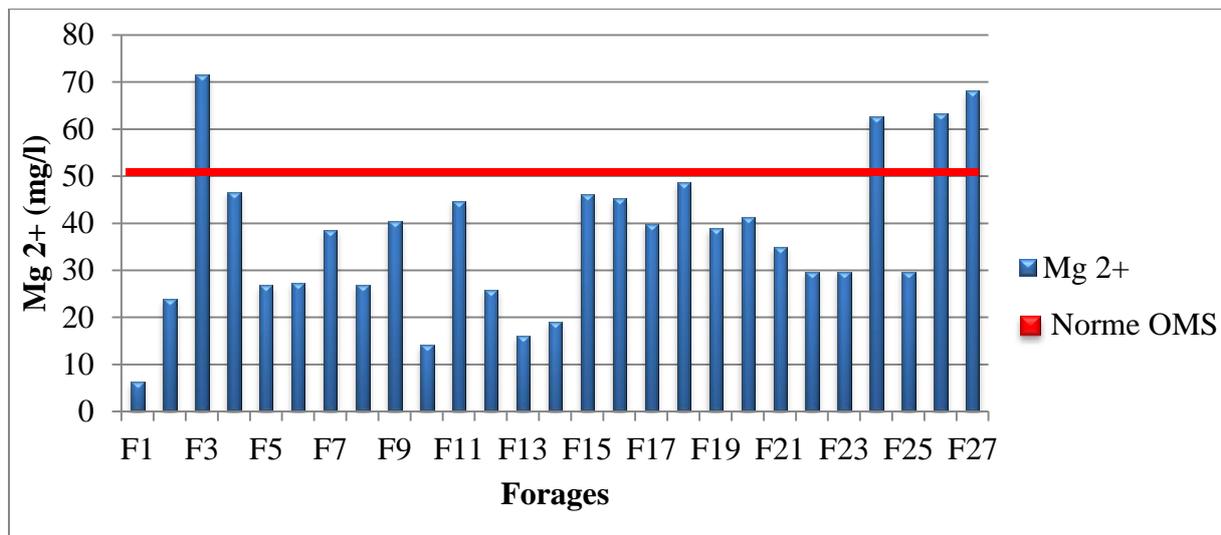


Figure 29: Variation du magnésium dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.15. Chlorure

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (**Nouayti et al., 2015**).

Généralement, nos relevés montrent que la teneur en chlorure des eaux de forages est conforme aux normes OMS (2011) fixée à 250 mg/l sauf exception des forages F3, F8, F9, F15, F16, F26, F27 (fig.30) les teneurs élevées sont attribuées probablement à plusieurs facteurs tels que : la dissolution des sels naturels, l'effet de l'activité humaine et le contact des eaux avec des dépôts triasiques salifères (**Ayad, 2017**).

Les résultats enregistrés dans les forages SNTR (F5) et Oravie (F8) sont similaires par rapport à ceux de **Kouarta et hammidi (2020)**.

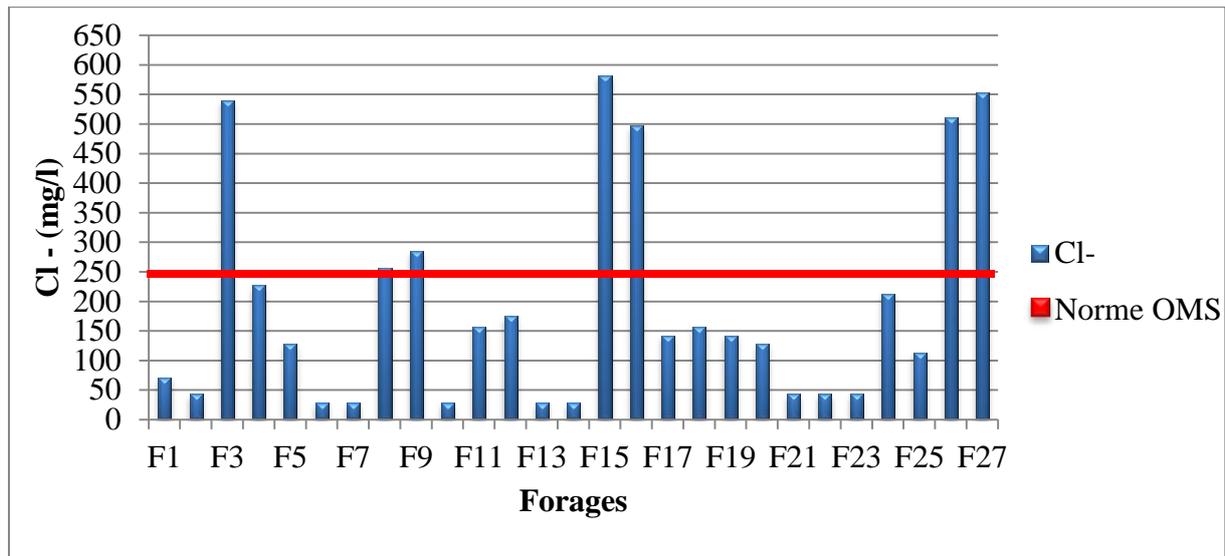


Figure 30: Variation du chlorure dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.16. Fer

Le fer (Fe^{2+}) est un élément métallique présent dans de nombreux types de roche. Cet élément est également fréquent dans l'eau et indispensable, en petites quantités, à tous les organismes vivants (Abda, 2014).

Nos résultats montrent que la concentration maximale a été relevée dans les eaux du forage 27 (fig.31). Une absence marquée est toutefois signalée dans presque la moitié des forages. Ces concentrations restent au-dessous de la norme de la qualité des eaux de boisson, selon la directive de l'OMS (2011) (0,2 mg /l). La présence de cet élément peut être liée au lessivage des terrains avec dissolution des roches et des minerais contenus dans le sous-sol (Savary, 2010).

Les travaux de Hamada et salah salah (2012) réalisés sur le forage de BA3 (F12) de la même wilaya présentent des résultats plus importants.

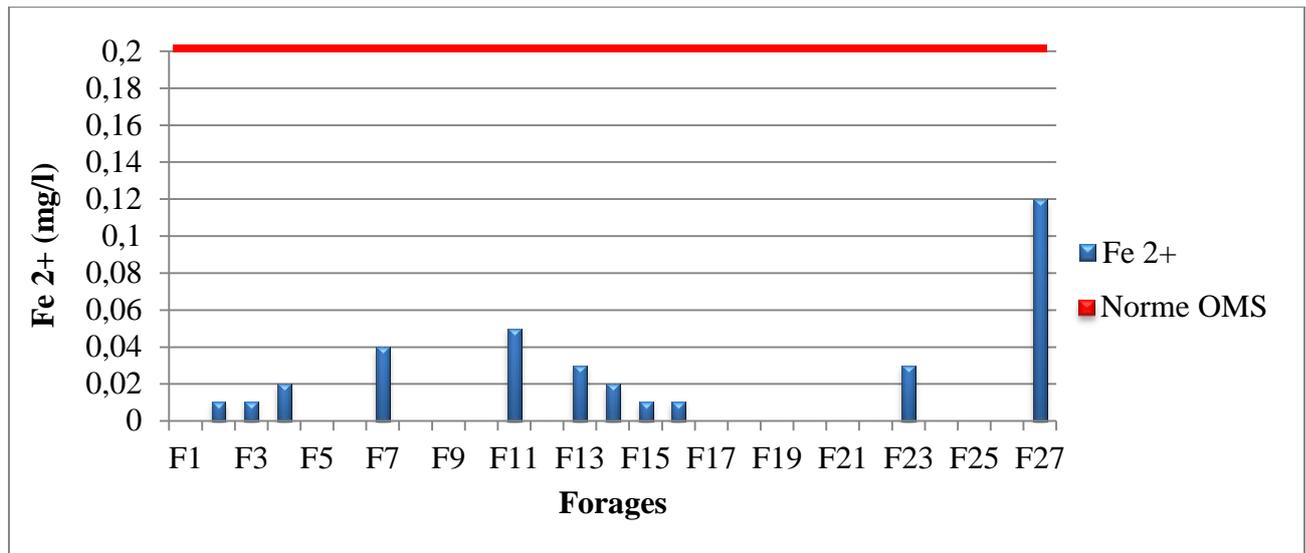


Figure 31: Variation du fer dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.17. Sulfate

La présentation graphique ci-dessus montre la variation des teneurs en sulfate des eaux de forage. On note que les valeurs oscillent entre 15 et 411 mg/l, la teneur la plus élevée est enregistrée dans le F3. En se référant aux valeurs guide de l'OMS (2011), les eaux des forages F3, F4, F15, F26 et F27 sont non conformes.

Selon **Gueroui (2015)**, une forte concentration en sulfate peut être liée à la dissolution de la formation gypseuse.

Les travaux de **Bensalah et Benzitouna (2021)** sur les eaux de forages de la wilaya de constantine montrent des valeurs proches.

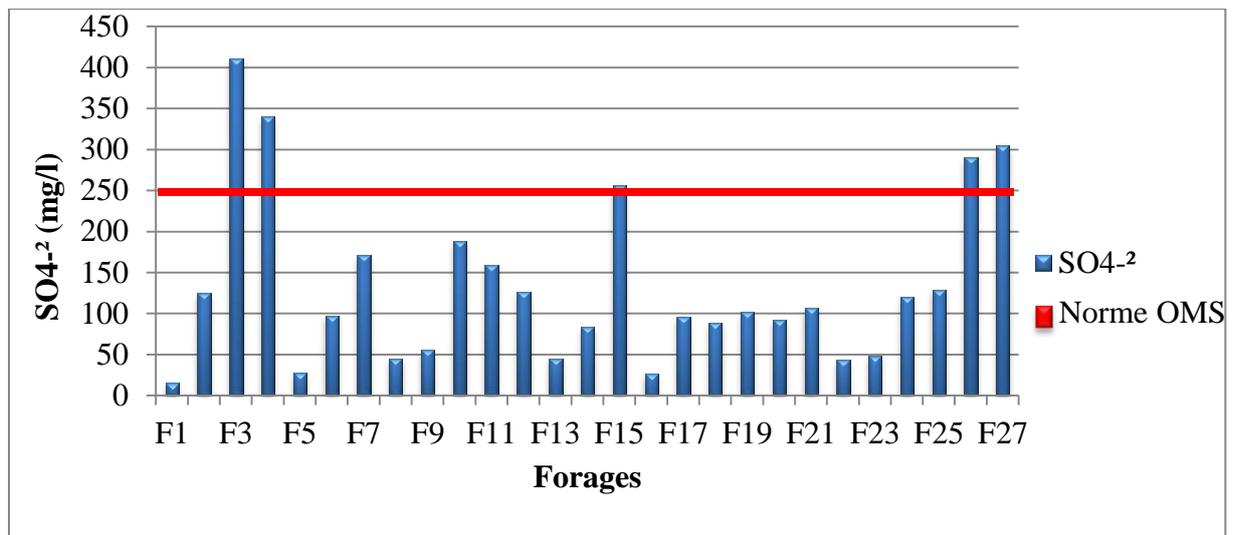


Figure 32: Variation du sulfate dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.18. Phosphate

Les résultats (fig.33) indiquent que les concentrations de phosphate dans les eaux des forages étudiés ne dépassent pas la norme de l’OMS (2011) (0,5 mg /l).

La présence de phosphate dans les eaux souterraines est souvent liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique (**Salghi, 2001**).

Les valeurs enregistrées sont faibles par rapport à celles notées par **Kouarta et Hammidi (2020)**.

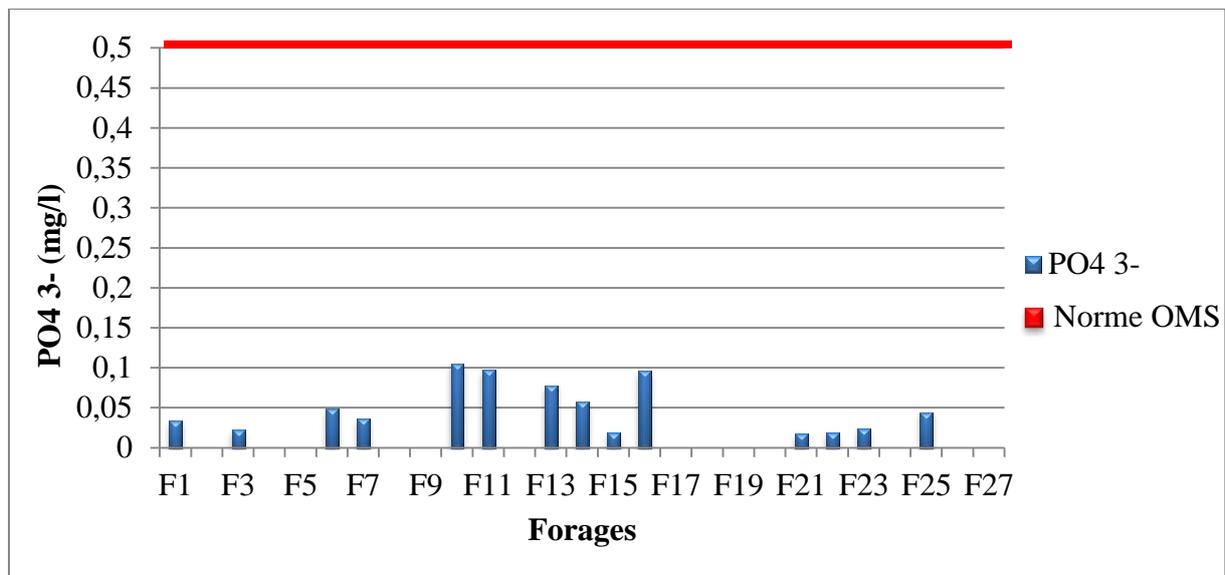


Figure 33: Variation du phosphate dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.19. L'ammonium

Les eaux souterraines sont habituellement pauvres en azote ammoniacal, c'est pourquoi on note des valeurs nulles de l'ammonium dans la majorité des forages, à l'exception de F1, F21, F23, F24 et F27 (fig.34). Globalement nos relevés restent inférieurs à la norme de l'OMS (2011) (0,5 mg/l).

La présence de l'ammoniac dans la nappe phréatique est généralement due à l'infiltration de matière organique azotée (d'origine anthropique ou naturelle) dans le sol (Heriarivony et al., 2015).

Nos résultats se rapprochent à ceux de **Ben azzouze et al., (2019)**.

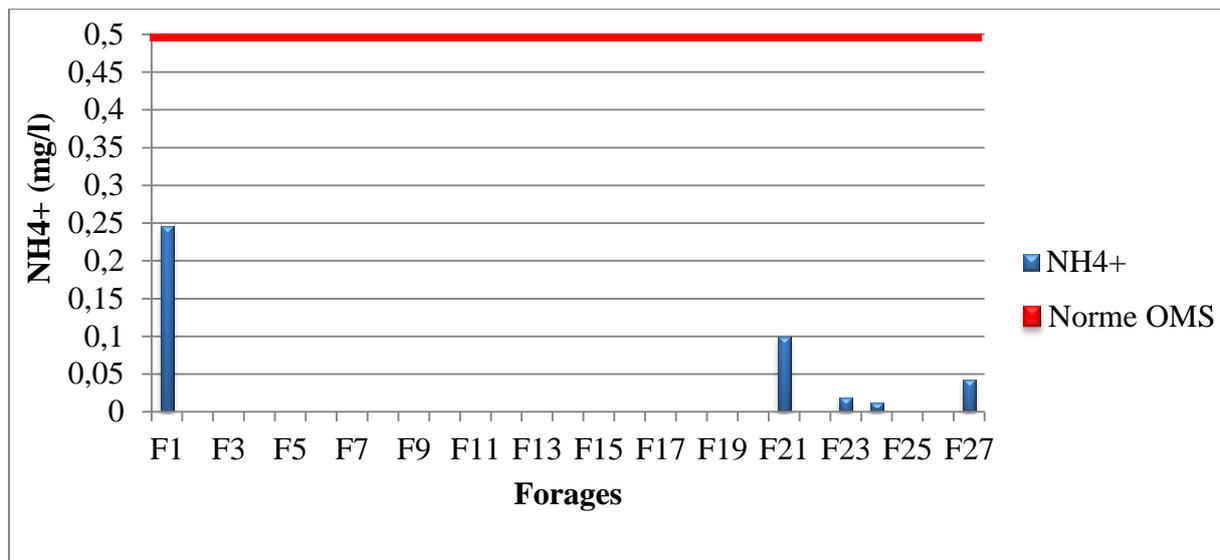


Figure 34: Variation de l'ammonium dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.20. Nitrates

Les nitrates constituent la forme oxydée finale de l'azote. C'est une forme très soluble. Nos données montrent que la teneur des nitrates dans les eaux de forages varie d'un site à un autre, on note toutefois des valeurs inférieures à 20 mg/l dans l'ensemble à l'exception du F4, F16 et F25. Ces teneurs restent inférieures à la norme OMS (2011) fixée à 50 mg/l (fig.35).

Selon **Aouissi et Houhamdi (2010)**, la présence des nitrates dans les eaux sont liée à l'usage intensive des engrais chimiques.

Les résultats de **Bensalah et Benzitoune (2021)** montrent des valeurs supérieures qui s'échelonnent entre 69,1 et 69,4 mg/l.

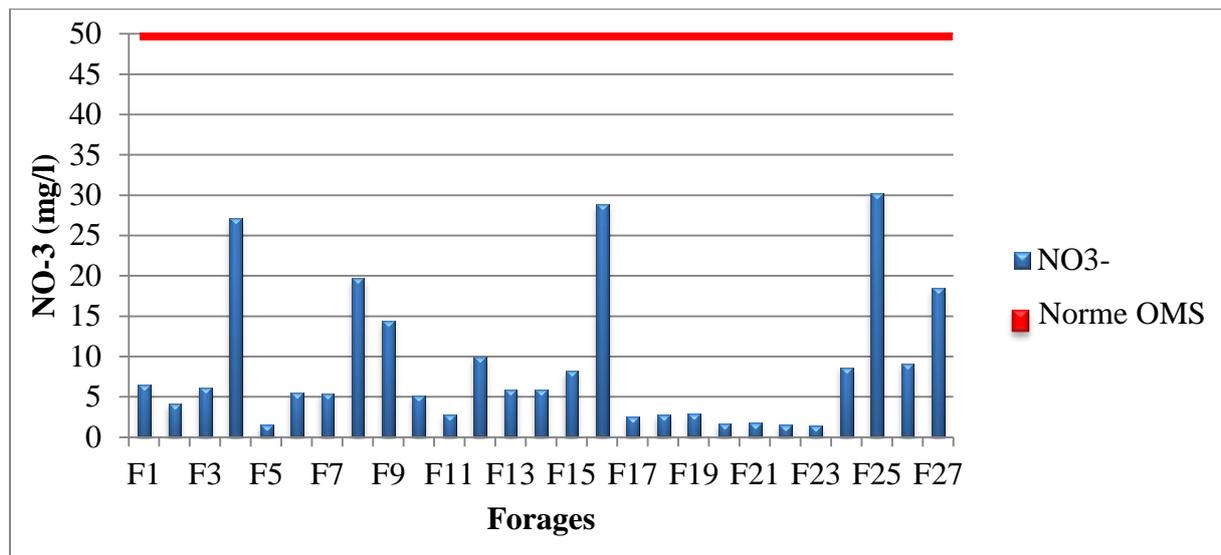


Figure 35: Variation des nitrates dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.21. Nitrite

Cet élément est largement présent, mais à des niveaux bien moindres que les Nitrates. Les teneurs en nitrites (fig.36) Oscillent entre 0 et 0,035 mg/l, c'est au niveau du F1 que la valeur maximale est enregistrée. Les nitrites restent inférieurs aux normes OMS (2011).

La présence des nitrites dans l'eau est le résultante d'une oxydation incomplète des matières organiques ainsi qu'une oxydation bactérienne de l'ammoniac (**Belghiti et al., 2013**).

Les résultats de **Bougasmi (2020)** relevés dans les eaux des forages de la wilaya de Médéa montrent des valeurs presque similaire.

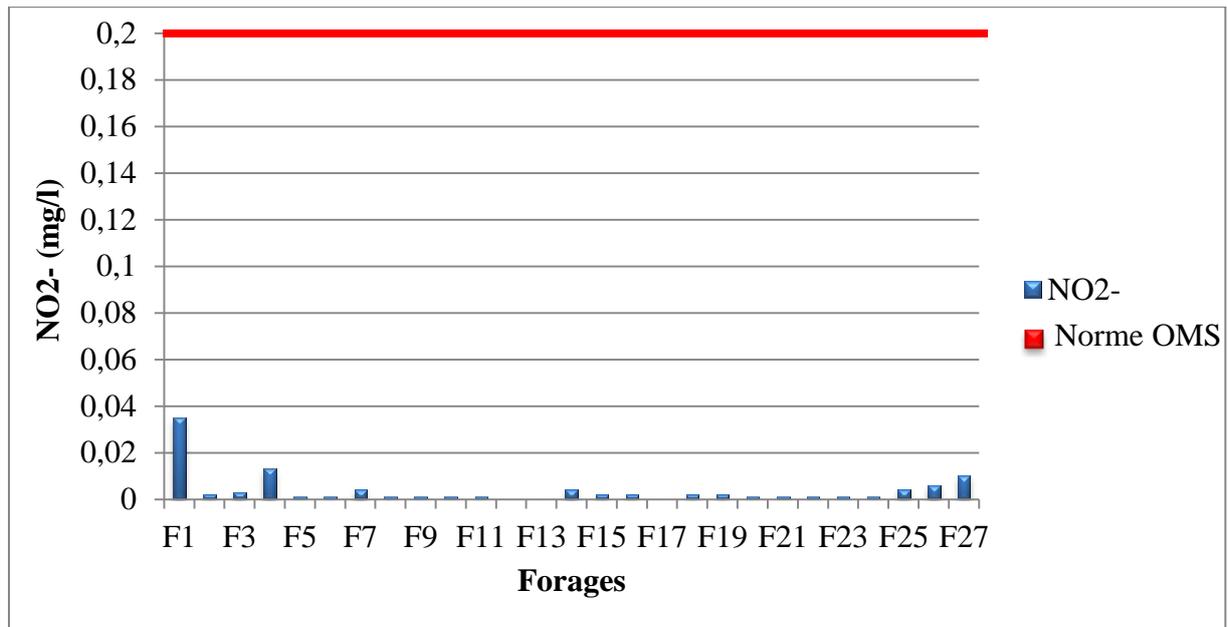


Figure 36: Variation des nitrites dans les eaux de forages (Janvier- Mars 2022).

I.22. Sodium

C'est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité de ces sels est très élevée. Le sodium est nécessaire à l'homme pour maintenir l'équilibre hydrique de l'organisme (Mekaoussi, 2014).

La concentration du Na^+ dans les forages contrôlés (fig.37) varie entre 0,8 et 95mg /l, la valeur maximale est relevée dans le F15. Ces résultats sont inférieurs à la norme fixée par l'OMS (2011) (200 mg /l). Généralement, le sodium peut provenir du lessivage des sels, ou de la percolation à travers des terrains salés (Nouayti et al., 2015).

Les relevés du sodium sont moins importants par rapport à ceux notés par Amaramadi et Touati (2013) au niveau des forages de la plaine de Tamlouka.

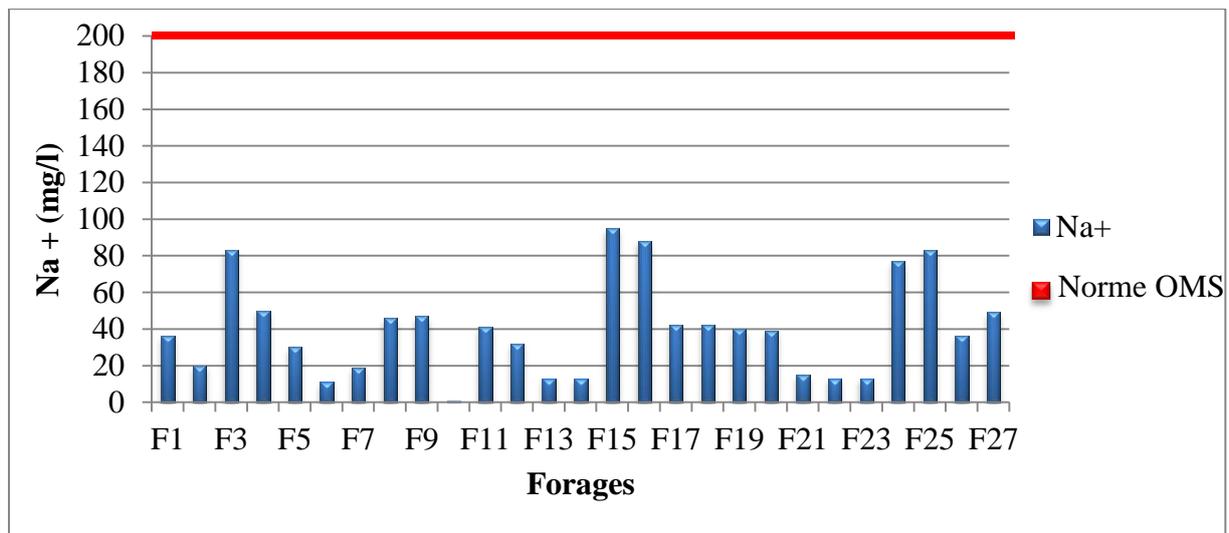


Figure 37: Variation du sodium dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

I.23. Potassium

Les valeurs du potassium enregistrées présentent une variation spatiale, on note un maximum 5,8 mg/l et un minimum de 0,2 mg/l, ces valeurs restent inférieures à la limite de potabilité (12 mg/l) (fig.38).

Le potassium peut provenir de l'altération des formations silicatées (gneiss, schistes), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (**Aouissi, 2010**).

Nos résultats sont élevés par rapport à ceux signalés par **Badaoui et Taleb (2019)**.

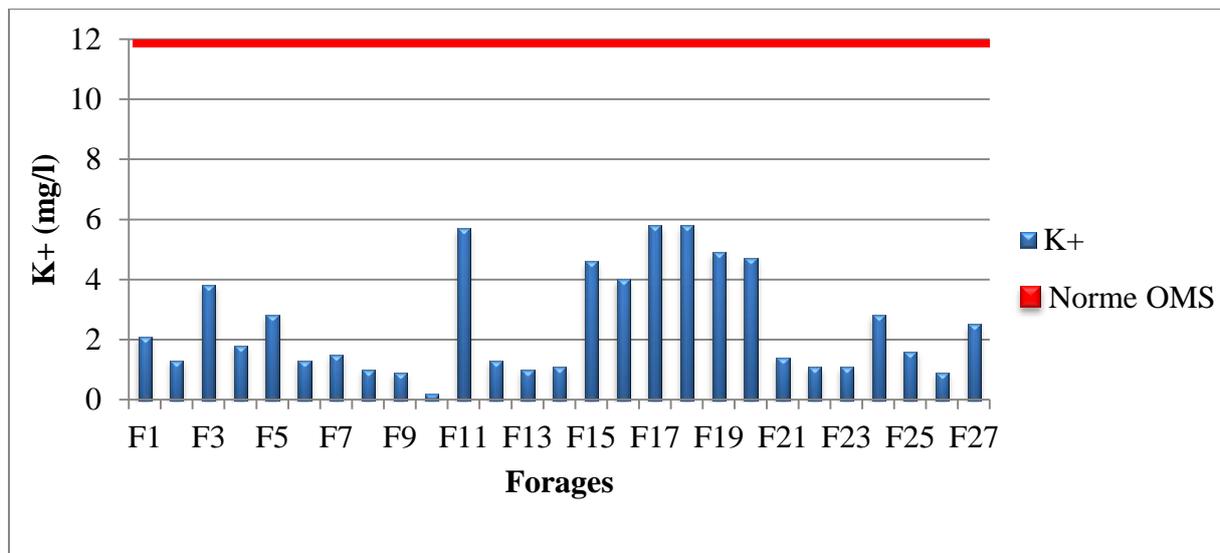


Figure 38: Variation du potassium dans les eaux de forages (Janvier- Mars 2022).

II. Résultats de l'analyse bactériologique

II.1. Germes totaux

Les résultats du dénombrement relatifs à ces germes montrent que dans l'ensemble des forages contrôlés la charge bactérienne ne dépasse pas 50 UFC /ml à l'exception des sites 1 ,15 et 22 où les valeurs enregistrées dépassent la norme de potabilité exigée par l'OMS (2011) (100 UFC/ml) (fig.39).

Bien que ces micro-organismes n'ont pas d'effets directs sur la santé, sous certaines conditions, ils puissent générer des problèmes dans les systèmes de dialyse. Une concentration en germes totaux trop importante peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique (Savary, 2010).

D'après **El haissoufi et al., (2011)** La forte contamination des eaux par les germes totaux pourrait être due à : la mauvaise protection des forages, la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, la pollution avoisinante (terres agricoles, élevage des bétails, existence des fosses septiques et des latrines).

Nos résultats ne concordent pas avec le travail d'**Amaramadi et Touati (2013)** qui rapporte une charge maximale de 53 UFC/ml.

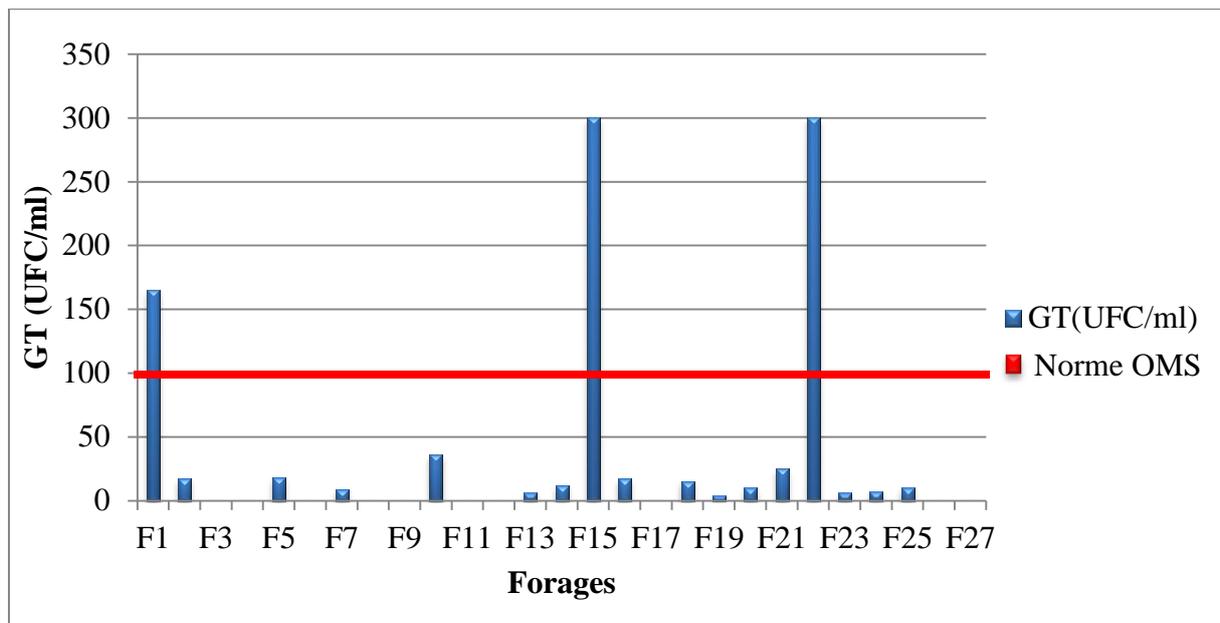


Figure 39: Variation des germes totaux dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

II.2. Coliformes totaux

D'après les résultats enregistrés sur la figure ci dessous, on remarque que seul le quinzième forage, dépasse le seuil fixé par l'OMS (10 UFC/ml) avec une charge estimée à 16 UFC/ml.

Un nombre important de coliformes totaux reflète à une pollution fécale qui a des origines multiples comme l'exposition directe aux eaux de ruissellement qui sont chargées d'une masse importante de germes d'origine terrestre et la mauvaise protection des forages (Aouissi, 2010).

Les résultats de notre étude se rapprochent aux travaux de (Gueroui, 2015).

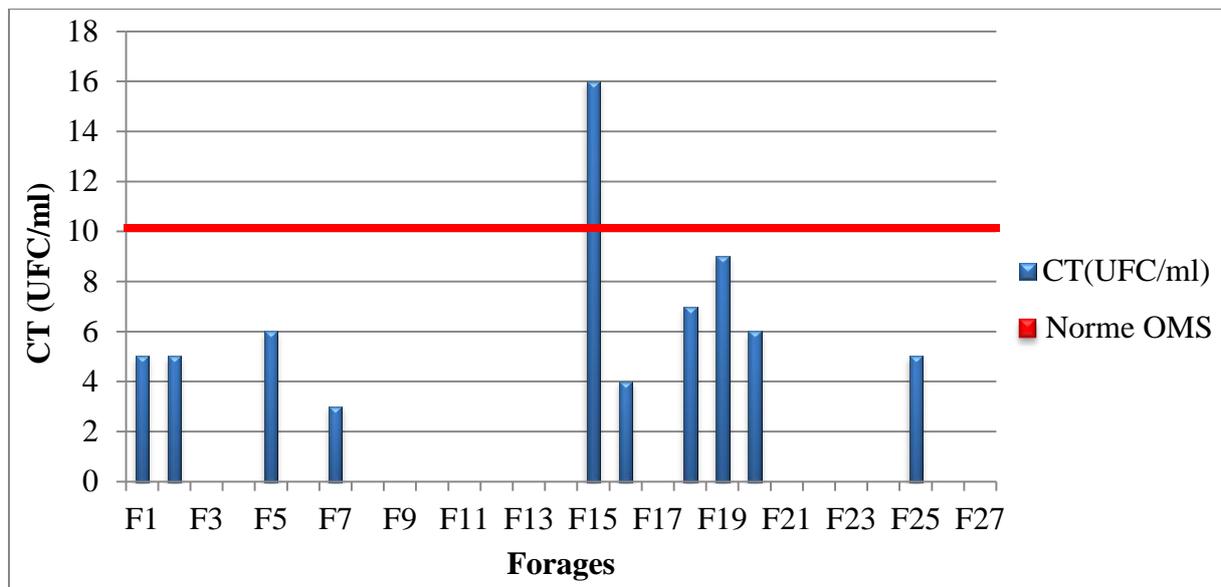


Figure 40: Variation des coliformes totaux dans les eaux de forages
(Janvier- Mars 2022).

II.3. Coliformes fécaux

La présence des coliformes fécaux témoigne d'une contamination fécale, et peut être une indication de la présence des micro-organismes entéropathogènes, comme les salmonelles (Chevalier, 2003).

Nos résultats montrent l'absence totale de ces germes dans l'ensemble des prélèvements analysés.

II.4. Streptocoques fécaux

Les SF sont d'excellents indicateurs d'une contamination fécale récente, leur présence doit s'accompagner de la présence des coliformes fécaux (Abda, 2014).

Le présent travail montre clairement l'absence de ces micro-organismes dans les eaux de forages analysées.

II.5. Les anaérobies sulfito-réducteurs

Les bactéries anaérobies sulfite réducteurs sont considérées comme des indicateurs de contamination fécale ancienne. Les ASR sont difficilement éliminés par rapport aux coliformes par la désinfection, ils constituent donc un bon indicateur de l'efficacité des traitements (Hamed et al., 2012).

Les résultats obtenus montrent une absence totale de ces germes dans tous les échantillons analysés, ce qui répond à la norme de potabilité établit par l’OMS. Selon **Gueroui, (2015)** l’absence des ASR peut constituer un signe d’efficacité de la filtration naturelle.

L’absence des CF et SF et les ASR confirme que les eaux des forages étudiés sont de bonne qualité. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par **Aggoune et Bouchemel (2019)**.



Conclusion et perspectives

Les eaux souterraines, dit aussi eaux propres, sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles et répondant naturellement aux normes de potabilité. Elles doivent être traitées avant distribution toutes les fois que la concentration de ses éléments dépasse largement les normes de potabilité.

La présente étude dont l'objectif principal était d'évaluer les propriétés physico-chimiques de l'eau de 27 forages dans la wilaya de Guelma, et à évaluer sa qualité bactériologique par la recherche et le dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale, nous permet de conclure que :

Sur le plan physico-chimique :

- ✚ Les valeurs de la température et du pH sont excellentes et conformes aux normes.
- ✚ Une différence notable dans les teneurs de la salinité, TDS, conductivité et turbidité. La majorité des eaux sont considérées comme des eaux équilibrées et répond aux normes de l'OMS.
- ✚ Tous les forages présentent des eaux très dures.
- ✚ Les teneurs en ions majeurs restent conformes aux normes et respectent les valeurs limites de la qualité d'une eau potable destinée à la consommation humaine.
- ✚ Les forages Oued el maleh (F24), Dréan 1(F26) et Dréan 2 (F27) sont considérés comme des forages calciques et magnésiens.
- ✚ Les forages f10 (F3), f B2 (F15), Dréan 1 (F26) et Dréan 2 (F27) sont chlorurés et sulfatés.
- ✚ La plus part des forages sont très pauvres en ammonium, nitrite, ortho-phosphate et en fer.

Sur le plan bactériologique, les résultats obtenus montrent :

- ✚ Une charge importante en germes totaux qui dépasse la norme OMS (100UFC/ml) est relevée dans les forages Maârrouf (F1), B2 (F15) et Bouzitoune 3 (F22), avec des valeurs respectives de 165, 300 et 300 UFC/ml.
- ✚ Une contamination importante en coliformes totaux est enregistrée dans les eaux du forage B2 (F15).

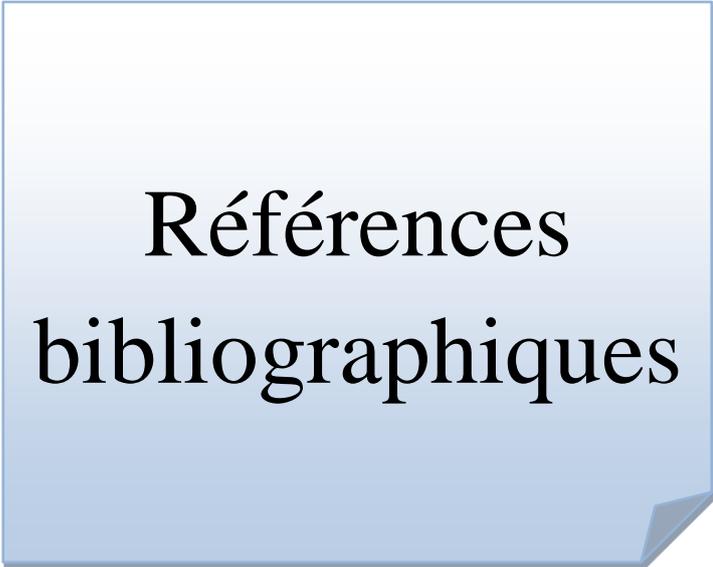
✚ Sur l'ensemble des forages échantillonnés, le nombre des coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux et les anaérobies sulfito-réductrices est conforme à la législation de l'OMS.

Dans le but d'améliorer la qualité des eaux de forages, nous recommandons :

- ✓ Mettre en place un réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées.
- ✓ Interdire les nouvelles constructions ou installations susceptibles d'engendrer un risque de pollution de ces eaux.
- ✓ La sensibilisation des populations sur les meilleures pratiques d'hygiène de leur cadre de vie et une gestion rationnelle de l'eau.

En perspectives, il serait judicieux de :

- ✓ Elargir la période d'étude (plusieurs saisons).
- ✓ Faire un dosage des contaminants chimiques tels que les métaux lourds et les pesticides.
- ✓ Élargir l'éventail de recherche des germes tests, d'intérêt sanitaire, tel que les salmonelles, les virus, les levures et les moisissures.
- ✓ Améliorer le protocole de contrôle pour un suivi systématique et continu qui permet une intervention rapide en cas de pollution sévère de l'eau.



Références
bibliographiques

Abda A. 2014. Traitement des eaux de surface et les risques génotoxiques des sous- produits de chloration. Thèse de doctorat. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 48.

Aboukacem A. Chahlaoui A., Soulaymani A., Dhaz-Filali., Benali D. 2007. Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc). *REMISE, vol 1, (1):* 10-22.

Aggoune K., Bouchemel N. 2019. Analyses des paramètres physico-chimique et bactériologique des eaux du barrage Bouhamdane de Hammam Debagh et des quatre forages de la nappe phréatique d'oued El Maiz- Guelma. Mémoire de master. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 58, 68, 69, 71.

Allaoua N. 2016. Contribution à l'étude de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau des écosystèmes aquatique et des puits de la région d'Oum El bouaghi (Hautes plaines de l'Est algérien). Thèse de doctorat. Université 8 mai 1945, Guelma. P 87.

Amaramadi A., Touati H. 2013. Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la plaine de Tamlouka (Nort-Est de l'Algérie). Mémoire de magister. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 47, 62.

Anctil F., Rousselle J., Lauzon N. 2005. Hydrologie : cheminements de l'eau. Presse internationales polytechnique. Canada. 317 p.

Aouissi A. 2010. Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie). Mémoire de Magister. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 3.

Aouissi A., Houhamdi M. 2014. Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra ahmed (wilaya de Guelma, nord-est Algérien). Université Mohamed chérif Messaadia de Souk Ahras. P 12.

Attig I., Bernou A. 2020. Evaluation des propriétés physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de Bouira. Mémoire de master. Université Akli Mohand oulhadj, Bouira. P 58, 61.

Ayad W. 2017. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El Harrouch (Wilaya de Skikda). Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba. P 9.

- Belghiti M.L., Chihlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R. 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio- Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*, 14. P 21-36.
- Ben hida A., Merzouki M., Aboukacem M., Moumni M. 2012.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de certains puits de la ville de Maknès, Maroc. *Revue Agrobiologia*, (2), 57-66.
- Benkaddour B. 2018.** Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'oued Chélif (Algérie). Thèse de doctorat. Université de perpignan ; université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. France. P 22.
- Benmoussa H. 2018.** Chimie des eaux. Cours de Master 1, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 121 p.
- Bensalah Y., Benzitoune R. 2021.** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines brutes dans la wilaya de Constantine. Mémoire de Master. Université des frères Mentouri Constantine 1. P 62, 64.
- Berche P. 1999.** Choléra et environnement. *Méd Mal infect*, 29 (8), 301-307.
- Berné F., Cordonnier J. 1991.** Traitement des eaux .Editions TECHNIP. Paris 306 p.
- Bliefert C., Perraud R. 2009.** Chimie de l'environnement : Air, eau, sols, déchets, 2^{ème} édition. De boeck. Belgique. 478 p.
- Bordet J. 2007.** L'eau dans son environnement rural. Éditions johanet.paris.317 p.
- Bosca C. 2002.** Ground law and administration of sustainable development. *Medit Mag, Science, Training & Technology*, (2), 13-17.
- Boukrouma N. 2008.** Contribution à l'étude de la qualité microbiologique de l'eau d'un écosystème aquatique artificiel : cas de la retenue collinaire d'Ain Fakroune (W. D'Oum El Bouaghi). Mémoire de Magister. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 33.
- Brasilia. 2013.** Manuel pratique d'analyse de l'eau, 4^{ème} édition. Fondation Nationale de la santé. 150 p.
- Cardot C., Gilles A. 2013.** Analyse des eaux, réglementation, analyses volumétriques et spectrophotométriques, statistique, cours et exercices corrigés. Ellipses Edition Marketing S.A. Paris. 296 p.

Carip C., Salavert M-H., Tandeau A. 2015. Microbiologie, hygiène et droit alimentaire, 2^{ème} édition. Lavoisier. Paris. 317 p.

Carmelle G.M.A. 2015. Apport alimentaire de sodium, potassium et iode, relation avec l'état nutritionnelle au Bénin. Thèse de doctorat. Université de Limoges/ université D'Abomey-Calavi. P 17.

CEAEQ (2011). Centre d'Expertise en Analyse Environnementales du Québec ; Détermination du phosphore total dans les effluents : digestion à l'autoclave avec persulfate, méthode colorimétrique automatisée, MA.315-p2.0, Ministère du Développement durable, de l'environnement et des parcs.11 p.

CEAEQ (2014). Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec ; Détermination des solides dissous totaux et volatils : méthode gravimétrique, MA.115-S.D.1.0, Rév.4, Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 9 p.

Centre d'information sur l'eau (CIE),, 2013. Le cycle naturel de l'eau <https://www.cieau.com/> (consulté le 02/04/2022 à 14 :05).

Charchar N. 2009. Contribution à l'étude de la pollution d'Oued Seybouse (LAS). Mémoire de magister. Université 8 mai 1945, Guelma. P 21.

Chekroud H. 2007. Etude de la pollution des eaux de la plaine de telezza due aux activités agricoles et commerciales. Mémoire de Magister. Université du 20 Août 1955, Skikda. P 1.

Chevalier P. 2003. Coliforme totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, institut national de santé publique du Québec, 4 p.

Chibani S. 2009. Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraine de la région de Ain Makhoulf (Wilaya de Guelma) Mémoire de Magister. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 63, 64.

Collin J-J. 2004. Les eaux souterraines : connaissance et gestion. Brgm édition ; HARMANN, Editeurs des sciences et des arts. Paris. 165 p.

Coulibaly K. 2005. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains Quartiers du district de Bamako. Thèse de Doctorat. Université de Bamako. P 63.

Couture I. 2004. Analyse d'eau pour fin d'irrigation. *MAPAQ Montérégie -Est*, Canada.8 p.

Danjou L. 2012. Prise en charge de la gastro entérite aigue du nourrisson de moins de 2 ans par les médecins généralistes d'Eure-et-Loir en 2011. Thèse de doctorat en médecine. Université François-Rabelais. P 19.

Defranceschi M. 1996. L'eau dans tous ses états. ellipses. paris. 127 p.

Desjardins R. 1997. Le traitement des eaux, 2^{ème} édition revue et enrichie. Presses internationales polytechnique. Canada. 304 p.

El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlimlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Oualilalami A. 2011. Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de fes, maroc. *Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 5, N°1. P 37-68.

Federighi M. 2005. Bactériologie alimentaire ; compendium d'hygiène des aliments, 2ème édition. Lavoisier. Paris. 317 p.

Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment O., Tricard D. 2003. Qualité de l'eau. *Environnement et santé publique.* Edition Tec & Doc. Paris. P 333-368.

Frahtia S., Nezzar S. 2016. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de trois communes : Birchouhada, Souk naamane et ouledzouai. (WD'O.E.B). Mémoire de master. Université Larbi ben M'hidi – Oum Elbouaghi. P 38, 41.

Gaagai A. 2017. Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Thèse de doctorat. Université Mostefa Benboulaïd- Batna 2. P 11.

Ghazali D., Zaid A. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source ain Salama-jerri (Region de Meknes- Maroc). *Larhyss Journal*, (12), 25-36.

Gilli E., Mangan C., Mudry J. 2004. Hydrogéologie ; objets, méthodes, applications. Dunod. Paris. 303 p.

Gueroui Y. 2015. Caractérisation hydrochimique et bactériologique des eaux souterraines de l'aquifère superficiel de la plaine de Tamlouka (Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 70, 111.

Hamed M., Guettache A., Bouamer L. 2012. Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djorf-Torba Bechar. Mémoire d'ingénieur d'état en biologie. Université de Bechar. P 18.

Hartemann P. 2013. Eau de consommation, risque, santé. *Sciences eaux et territoire. N°10* : 14- 21.

Herairivony S.C., Razanamparany B., Rakotomalala J.E. 2015.Caractères physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de consommation (puits) de la commune rurale d'antanifotsy, region vakanankaratra, madagascar. *Marhyss Journal, 24, 7-17.*

Jestin E. 2006. La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaire, agence de l'eau Seine-Normandie, Hérouville Saint Clair, P 17-32.

Khelifati A., Khelifa I. 2019. Hydrochimie et qualité physico-chimique des eaux de quelques forages de la Taoura (W.Souk-Ahras). Mémoire master. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 28, 36.

Laurence C. 2006.Qualité naturelle des eaux souterraines ; méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français. BRGM Edition.France.238 p.

Legube B. 2015. Production d'eau potable : filières et procédés de traitement. Dunod. Paris. 413 p.

Lounnas A. 2009. Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamad-krouma de Skikda. Mémoire de Magister. Université du 20 Août 1955 Skikda. P 21.

Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van. Clooster M. 2011. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss journal, 9, 149-169.*

Malesherbes M. 1992. Larousse de poche ; Dictionnaire des noms communs des noms propres précis de grammaire. Le livre de poche. Paris. 719 p.

Mayet J. 1994. La pratique de l'eau ; traitements de l'eau aux points d'utilisation comportement l'eau dans les installations origine des désordres et solutions, 2^{ème} édition. LE MONITEUR. Paris.382 p.

Mekaouissi N. 2014. Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam debagh (Est algérien). Mémoire de Magister. Université Hadj Lakhdar, Batna. P 8.

Merzoug D., Khairi A., Aït Boughrous A., Boutin C. 2010. Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région d'Oum-EL-Bouaghi (Nord-Est algérie). *Hydroécologie Appliquée, 17, 77-97.*

Merzoug S. 2009. Etude de la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher (Benazzouz, wilaya de Skikda). Mémoire de Magister. Université 8 mai 1945, Guelma. P 72, 82.

Monod J. 1989. Memento technique de l'eau, 9^{ème} édition. Degremont. Paris.592 p.

NF ISO 22743. Dosage des sulfates (SO_4^{2-}).

Norme ISO 5667. Dosage des ions nitrite (NO_2^-) Méthode spectrométrique.

Norme ISO 6058 (F). 1984. Qualité de l'eau : Dosage de calcium et magnésium : Méthode titrimétrie à l'EDTA.

Norme ISO 6332. Détermination du fer.

Norme ISO 6878. Détermination des phosphates.

Norme ISO 7150/ 1-1984. Dosage de l'ammonium.

Norme ISO 7899-2 et Norme NF T 90-416. Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux. Partie 2 méthode par filtration sur membrane.

Norme NF EN ISO 6222. Dénombrement des micro-organismes revivifiables. Comptage des colonies par ensemencement dans un *milieu* de culture nutritif gélosé.

Norme NF EN ISO 9308-1. Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes partie 1. Méthode par filtration sur membrane.

Nouayti N., Khattach D., Hilali M. 2015. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4). 1068-1081.

OMS (2000). Directive de qualité pour l'eau de boisson, 2^{ème} édition, vol 2 (critères d'hygiène et documentation à l'appui). Organisation mondiale de la santé, Genève.334 p.

OMS (2017). Organisation Mondiale de la Santé ; Directives de qualité pour l'eau de boisson, 4^{ème} édition. Intégrant le premier additif, Genève.539 p.

Ouanes M. 2020. Effet de changements climatiques sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de F'kirina de la W. D'Oum el boughi. Thèse de doctorat. Université 8 Mai 1945 Guelma. P 57.

Ramade F. 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, 2^{ème} édition. Dunod. Paris. 1075 p.

Reggam A. 2015. Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux d'oued Seybouse. Thèse de doctorat. Université 8 Mai 1945, Guelma. P 40.

Rejsek F. 2002. Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. *Sceren*. Paris. 360 p.

Rodier J., Legube B., Merlet N. 2016. L'analyse de l'eau ; contrôle et interprétation, 10^{ème} édition. Dunod. Paris. 1759 p.

Salghi R. 2001. Différents filières de traitement des eaux. Cour préparé, université IBN ZOHR, Ecole nationale des sciences appliquées d'agadir. 22 p.

Savary P. 2010. Guide des analyses de la qualité de l'eau. Territorial édition, Paris. 264 p.

Schriver- Mazzuoli L. 2012. La gestion durable de l'eau : ressource, qualité, organisation. Dunod. Paris. 249 p.

Singleton P. 1999. Bactériologie, 4^{ème} édition. Dunod. 415 p.

Soulsby D. 2012. Revue technique : Réalisation et réhabilitation de forages dans les conditions du terrain. CICR, Genève. 137 p.

Taleb M.K. 2006. Etat de l'assainissement d'une zone côtière analyses et perspectives d'aménagement cas : Commune d'ain el Turck. Mémoire de Magister. Université D'Oran-esenia. P 34.

Touzani F. 2010. Les gastro entérites aiguës à rotavirus chez le nourrisson (A propos de 42 cas). Thèse des doctorats en médecine. Université sidi Mohamed ben abdellah. P 10.

UNICEF (1999). Manuel sur l'eau. *Série de directives techniques relatives à l'eau, l'environnement et l'assainissement*, 2, Fonds des Nations unies pour l'enfance, New York, 110 p.

Vilaginès R. 2003. Eau, environnement et santé publique : introduction à l'hydrologie, 2^{ème} édition. Edition TEC & DOC. Paris. 198 p.

Vincent W-U., Baron J-A., Davis W-W., Warner D-B., Seremet C-C. 2009. Exploitation des eaux souterraines, concepts de base pour l'élargissement des programmes d'hydraulique du CRS. *Catholic Relief Services*. 71 p.

Zentrum Für Ökologie Schattweid (ZFaO), Steinhuserberg LU., Daniela Jost., Jost@Schattweid.ch., Ruth Schürmann., Lucerne. 2003. L'eau souterraine. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), CH-3003 Berne. 31 p.

Zerluth J., Gienger M. 2006. L'eau et ses secrets. Edition Désiris. Paris.223 p.

Webographie

- (1) **Boeglin J.C., 2001.** Propriétés des eaux naturelles. Environnement.
<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/eaux-industrielles-42438210/proprietes-des-eaux-naturelles-g1110/> (consulté le 06/03/2022 à 10:20).
- (2) <https://www.vermilionenergy.fr/nosactivites/larecherchedupetrole/les-differents-types-de-forage-en-france.cfm> (consulté le 30/03/2022 à 14:55).
- (3) <https://earth.google.com/web/search/36%c2%b031%2711.03%22N+7%c2%b026%2757.77%22E/@36.37423139,7.42578003,853.25021812a,146893.10683044d,30.00000471y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCUXMFAbtQkJAEZIZawYgQkJAGXjzzVTx0x1AITm0VYZjxB1A> (Consulté le 15/05/2022 à 17:30).

Résumé

Les besoins en eau de bonne qualité et en quantité abondante ont augmenté avec la croissance démographique et le développement industriel, surtout en Algérie. L'exploitation des eaux souterraines est l'une des solutions pour la satisfaction des besoins en eau d'excellente qualité conforme à la consommation humaine. Dans ce contexte, le présent travail se focalise sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de 27 forages situés dans la wilaya de Guelma durant la période Janvier - Mars 2022. Les résultats de l'analyse physico-chimique de ces eaux montrent que la température, le pH, la turbidité et les sels : Fe^{2+} , PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , Na^+ , et K^+ répondent aux normes de potabilité préconisées par l'OMS. Tandis que, les valeurs de conductivité, salinité, dureté, TDS, matière organique, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} sont non conformes à la législation. L'analyse bactériologique révèle une bonne qualité vis-à-vis des germes totaux et coliformes totaux de l'ensemble des eaux de forages analysées à l'exception des forages Maârouf (F1), B2 (F15) et Bouzitoune 3 (F22). En outre, une absence de coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et *Clostridium* sulfito- réducteurs est marquée dans tous les échantillons analysés ce qui indique la conformité de la qualité de ces eaux.

Mots clés : Eau souterraine; Forage; Guelma; physico-chimie; bactériologie; Qualité; normes.

The need for good quality and abundant water has increased with population growth and industrial development, especially in Algeria. The exploitation of groundwater is one of the solutions for the satisfaction of the needs of water of excellent quality in accordance with human consumption. In this context, the present work focuses on the assessment of the physico-chemical and bacteriological quality of the water of 27 boreholes located in the wilaya of Guelma during the period January - March 2022. The results of the physico-chemical analysis of these waters show that the temperature, pH, turbidity and salts: Fe^{2+} , PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , Na^+ , and K^+ meet the potability standards recommended by the WHO. While the conductivity, salinity, hardness, TDS, organic matter, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} values are not in compliance with the legislation. The bacteriological analysis reveals a good quality with respect to the total germs and coliforms of all the drill waters analysed with the exception of the Maârrouf (F1), B2 (F15) and Bouzitoune 3 (F22) boreholes. In addition, the absence of faecal coliforms, faecal streptococci and Clostridium sulfito-reducers is marked in all the samples analysed, indicating the conformity of the quality of these waters.

Keywords: Groundwater; Drilling; Guelma; physico-chemistry; bacteriology; Quality; standards.

ازدادت الحاجة إلى المياه ذات النوعية الجيدة والوفرة مع النمو السكاني والتنمية الصناعية ، لا سيما في الجزائر. يعد إستغلال المياه الجوفية أحد الحلول لتلبية احتياجات المياه ذات الجودة الممتازة و المناسبة للاستهلاك البشري. في هذا السياق ، يركز العمل الحالي على تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه من 27 بئراً تقع في ولاية قالمة خلال الفترة يناير - مارس 2022. تظهر نتائج التحليل الفيزيائي والكيميائي لهذه المياه أن درجة الحرارة ودرجة الحموضة والعكارة والأملاح والحديد و الفوسفات و الامونيوم و النترات و النتريت و الصوديوم و البوتاسيوم تفي بمعايير القابلية للشرب التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية. بينما قيم الناقلية ، الملوحة ، الصلابة ، المواد الصلبة الذائبة ، المادة العضوية ، الكالسيوم، المغنيزيوم، الكلور، الكبريت لا تتوافق مع التشريعات. يكشف التحليل البكتريولوجي عن جودة جيدة مقابل الجراثيم الكلية والقولونيات الكلية لجميع مياه الآبار التي تم تحليلها باستثناء بئر معروف (F1) و (F15) B2 و بوزيتون 3 (F22). بالإضافة إلى ذلك ، تم وضع علامة على عدم وجود القولونيات البرازية والمكورات العقدية البرازية والمطثيات المخففة للكبريت في جميع العينات التي تم تحليلها ، مما يشير إلى مطابقة جودة هذه المياه مع التشريعات.

الكلمات الرئيسية: المياه الجوفية؛ بئر؛ قالمة؛ كيمياء فيزيائية؛ علم الجراثيم؛ جودة؛ المعايير.

Annexes

Annexe 1

Dosage du TA et TAC

Réactifs

- Acide Chlorhydrique ou sulfurique N/50.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5%.
- Solution de méthylorange à 0,5%.
- Eau permutée exempte d'anhydrique carbonique libre (par ébullition de 15 min).

Dosage de titre hydrométrique (TH)

Réactifs:

Indicateur noir l'eriochrome T.

Solution EDTA (0,2N).

Solution tampon: ammoniacque 34%.

Dosage de calcium

Réactifs

Indicateur colore: **Murexide**.

Solution d'EDTA (N/50) ($C_{10}H_{14}N_2NO_2O_2 \cdot 2H_2O$) : (0,02N ou 0,01 M).

Solution d'hydroxyde de sodium à 2N.

Détermination du fer

1-Réactifs

*Tampon d'acétate

Dissoudre 40g d'acétate d'ammonium (CH_3COONH_4) dans l'eau, ajouter 50 ml d'acide acétique cristallisable (CH_3COOH).

$\rho = 1,06g/ml$. Compléter à 100 ml avec de l'eau.

*Chlorhydrate d'hydroxylamine : solution à 100g/l.

Dissoudre 10g de chlorhydrate d'hydroxylamine ($NH_2OH \cdot HO$) dans l'eau et compléter à 100ml, cette solution reste stable pendant une semaine au moins.

* Solution de phénanthroline-1,10

Alternativement, dissoudre 0,42g de phénanthroline -1,10 mono hydratée ($C_{12}H_8N_2H_2O$) dans 100ml d'eau contenant 2 gouttes de la solution d'acide chlorhydrique.

Cette solution est stable pendant une semaine s'elle est conservée à l'obscurité.

* **Solution mère** : 1g de fer par litre.

Peser 4,9776g de sulfate de fer et d'ammonium (correspondant à 1g de fer) dans une fiole jaugée de 100 ml.

* **Solution fille** : étalon de fer à 0,01g/l.

Diluer 1/100 la solution précédente.

2-Gamme d'étalonnage

Numéros de tub	T	1	2	3	4	5	6
Solution fille de fer à 0,01g/l	0	0.25	0.5	1	2	4	5
Eau distillée (ml)	50	49.75	49.5	49	48	46	45
Solution Chlorhydrate d'hydroxylamine (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Tampon d'acétate	2	2	2	2	2	2	2
Solution de phénanthroline1-,10	2	2	2	2	2	2	2
Correspondance en mg/l de fer par litre	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1

Dosage du sulfate

1- Réactifs

* **Solution mère de sulfate à 1g/l à partir de Na₂SO₄**

peser 4,43g de Na₂SO₄.....100ml d'eau distillée.

* **Solution stabilisante**

- Acide Chlorhydrique.....60 ml.
- Ethanol.....200 ml.
- Chlorure de sodium.....150 ml.
- Eau distillée.....600 ml.

* **Solution de Chlorure de baryum**

- Chlorure de baryum.....150g.
- Acide Chlorhydrique.....5 ml.
- Eau distillée.....1000 ml.

2-Gamme d'étalonnage

- Prendre 8 béchers de 250 ml.
- Laver très bien avec du savon et une lavette.
- Rincer abondamment avec l'eau de robinet.

- Rincer avec une solution d'acide chlorhydrique.
- Rincer avec l'eau de robinet puis avec de l'eau distillée.

Tableau:

N° de bécher	0	1	2	3	4	5	6	7
S. mère à 1g/l	0	1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml	6 ml	7 ml
Qsp	100 ml	100ml	100 ml					
S. stabilisante	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml	5 ml
S. chlorure de baryum	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml
Agitation 1 min								
Concentration finale mg/l SO₄²⁻	0	10	20	30	40	50	60	70

Enregistrer la gamme dans le spectro- à la longueur d'onde $\lambda = 420\text{nm}$.

Détermination du phosphate

1. Réactifs

* réactif- mélange

A- 13g d'heptamolybdate d'ammonium.....qsp 100 ml H₂O distillée.

B- 0.35g de tartrate d'antimoine.....qsp 100 ml H₂O distillée.

C- 150 ml d'acide sulfurique concentré.....qsp 300 ml H₂O distillée.

Mélanger (A+C) +B= 150 ml (stable pendant deux mois).

* acide ascorbique

10g d'acide ascorbique.....qsp 100 ml H₂O distillée.

* Solution mère d'orthophosphate à 50mg/l PO₄³⁻

a partir de K₂HPO₄ de potassium hydrogène phosphate préalablement séché pendant 2h à 105°C.

- K₂HPO₄..... 0.281g.
- Eau distillée.....1000 ml.
- H₂SO₄ 4,5N..... 10 ml.

A partir de solution d'acide sulfurique 9 mol/l (50% eau + 50% H₂SO₄), prélever un volume de cette solution et diluer à 50%.

Solution fille à 2 mg/l PO_4^{3-} .

20 ml de la solution à 50 mg/l dans une fiole de 500 ml et compléter au volume par l'eau distillée.

2. Gamme d'étalonnage

N° de fiole	0	1	2	3	4	5
S. fille à 2 mg/l P	0 ml	0.3	0.6	1.2	2.4	4.8
Qsp 40 ml eau distillée	40 ml	40	40	40	40	40
Mg/l de P	0	0.0015	0.03	0.06	0.120	0.240
Mg/l de PO_4^{3-}	0	0.0459	0.0918	0.1836	0.3672	0.7340
Formule : $P \times 3,06 = \text{PO}_4^{3-}$						
Acide ascorbique	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml
Réactif-mélange	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml
Attendre 10 min						

Dosage d'ammonium

1. Réactifs

* Eau exempte d'ammonium.

* **Réactif coloré (réactif I)** : peser 13g + ou - 1g de salicylate de sodium, 13g + ou - 1g de citrate trisadique dihydraté et 0.097g de sodium nitropentacyanoferrate (III) dihydraté à dissoudre dans 100 ml d'eau distillée. Conserver dans un récipient en verre brun.

Cette solution est stable pendant 2 semaines.

* **Dichloroisocyanurate de sodium (réactif II)** : prendre 3.2g d'hydroxyde de sodium dans 50 ml d'eau distillée, + 0.2g + ou - 0.002g de dichloroisocyanurate dihydraté. Dissoudre dans 100 ml d'eau distillée. Conserver dans un récipient en verre brun.

* **Solutions étalons** : chlorures d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ou le sulfate d'ammonium.

2. Courbe d'étalonnage

S. fille 1mg/l	0	1	2,5	5	25	40
Eau distillée (ml)	50					
Réactif I (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactif II (coloré) (ml)	4	4	4	4	4	4
Attendre 1h 30 min						
[NH₄] en mg/l	0	0.02	0.05	0.1	0.5	0.8

Dosage des nitrates

1. Réactifs

* Solution de salicylate de sodium à 0.5% (renouveler toutes les 24h).

0.5 g de salicylate dans 100 ml d'eau distillée.

* Solution d'hydroxyde de sodium à 30% (30 g de Na OH dans 100 ml d'eau distillée).

* H₂SO₄ concentré.

* Tartrate double de sodium et de potassium.

Hydroxyde de sodium Na OH400g.

Tartrate de sodium et de potassium60 g.

Eau distillée qsp 100 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc. Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

* Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l.

Nitrate de potassium anhydre0.722 g.

Eau distillée1000 ml.

Chloroforme 1 ml.

* Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/l.

2. Courbe d'étalonnage

N° de capsule	B	I	II	III	IV
S étalon 5 mg/l	0	1	2	5	10
Eau distillée	10	9	8	5	0
S de salicylate de Na	1	1	1	1	1
Correspondant en mg/l de N nitrique	0	0.5	1	2.5	5

Dosage des nitrites

1. réactifs

Solution du réactif

20 g de sulfamide ($C_6H_8N_2O_2S$) à dissoudre dans un mélange de 50ml d'acide phosphorique ($d = 1.71 \text{ g/ml} = 85\%$ de masse) et 250 ml d'eau distillée.

Dans cette solution dissoudre 1g de N-1- naphthyl - éthylènediamine - dichlorohydraté ($C_{12}H_{16}Cl_2N_2$). Compléter avec de l'eau distillée dans une fiole jaugée à un volume de 500ml, cette solution est stable pendant un mois s'elle est gardée à l'obscurité (bouteille en verre marron bien fermée) à 4°C au frigo.

Solution d'acide phosphorique

Dans une fiole jaugée de 250 ml, dissoudre 25 ml d'acide phosphorique ($d = 1.71 \text{ g/ml} = 85\%$ en masse) dans 150 ml d'eau distillée. Après refroidissement à a température ambiante, on complète à l'eau distillée à 250 ml.

Solution standard de 100 mg/l

Dissoudre 0.492 g + ou - 0.0002 g de nitrites de sodium ($NaNO_2$), sécher pendant 2h à 105°C dans 750 ml d'eau distillée, compléter à 1L.

1 ml = 100 g = 0.1 mg de NO_2-N . Cette solution est stable pendant 1 mois à l'obscurité à 4°C.

2. Prélèvement et préparation des échantillons

Conserver l'échantillon à 4°C et effectuer le dosage dans les 6h qui suivent le prélèvement. En cas d'impossibilité, ajouter une goutte de chloroforme à l'échantillon.

Pour le prélèvement, il faut utiliser des bouteilles en verre.

3. Courbe d'étalonnage

S. fille 1 mg/l	0	1	2.5	5	7.5	10
------------------------	---	---	-----	---	-----	----

Eau distillée (ml)	50	49	47.5	45	42.5	40
Réactif mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre 10 min						
[NO₂-] en mg/l	0	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2

Détermination de la matière organique

Réactifs

- Solution d'acide sulfurique 50%.
- Solution de permanganate de potassium N/80.

A préparer à partir d'une solution N/10 récemment titrée.

- vérifier le titre de cette solution.
- 1ml de la solution N/80 correspond à 0.1 mg d'oxygène.
- Solution d'acide oxalique N/80, à préparer à partir d'une solution N/10 récemment titrée.

Chlorure

Réactifs

- Solution de chromate de potassium à 10%.
- Solution de nitrate d'argent N/10.

Annexe 2**I - Mode de préparation de certaines solutions biologiques****Milieu slanetz et bartley**

Eau distillée.....	1L
Peptone.....	20 g
Extrait de levure.....	5 g
Glucose.....	2 g
K ₂ HPO ₄	4 g
Azide de sodium.....	0.4 g
Agar.....	10 g

pH = 7.2

Milieu T.G.E.A

Tryptone	5 g
Glucose.....	1 g
Extrait de levure.....	2 g
Gélose.....	15 g
Eau distillée.....	1L

pH = 7, autoclavage pendant 20 min à 120°C.

Milieu B.E.A

Tryptone.....	17 g
Peptone pepsique de viande.....	3 g
Extrait de levure.....	5 g
Bile bœuf déshydratée	10 g
Azide de sodium.....	0.25 g
Esculine.....	1 g
Citrate ferrique ammoniacal.....	0.5 g
Citrate de sodium.....	1 g
Chlorure de sodium.....	5 g
Agar.....	13 g
Eau distillée	1L

pH final = 7.1

Milieu Schubert

Tryptone.....	0.2 g
Acide glutamique.....	0.2 g
Sulfate de magnésium.....	0.7 g
Sulfate diammonium.....	0.4 g
Citrate de sodium.....	2 g
Tryptone oxide.....	10 g
Mannitol.....	7.5 g
Eau distillée.....	500 ml

Milieu Tergitol

Peptone pancréatique de viande.....	10 g
Extrait de viande.....	5 g
Extrait autolytique de levure.....	6 g
Lactose.....	20 g
Tergitol 7.....	0.10 g
Bleu de bromothymol.....	0.05 g
Chlorure de 2,3,5 triphényltétrazolium.....	0.025 g
Agar.....	10 g
Eau distillée.....	1000 ml

pH = 7.2

Milieux Viande - Foie

Préparé en deux étapes sont :

- Milieu de base :

Base de Viande de Foie	30g
Glucose.....	2g
Amidon.....	2g
Agar.....	1g

Eau distillée : 1000ml dissoudre les constituants, répartir en tubes ou en flacon, Autoclavage (15 min à 120°C).Au moment de l'emploi :

- Ajouter à 20 ml de milieu de base fondé.
- Ajouter 1ml d'une solution de sulfate de sodium à 5%.
- Ajouter 4, gouttes d'alun de fer commoniacol.

Le pH final du milieu est de 7,4 à 7,6 à 45°.

II - Composition des réactifs

Kowacks

Diméthyle-amino-4 benzaldéhyde.....	50 g
pentanol.....	750 g
acide chlorhydrique pur.....	250 g

Annexe 3

Tableau 10: Référence de qualité des paramètres physico-chimiques dans l'eau destinée à la consommation humaine (O.M.S, 2011).

Paramètre	Unité	Norme O.M.S
TDS	mg/l	1000
Salinité	mg/l	1
Turbidité	NTU	5
Température	°C	Max 25
pH	Unité pH	6,5 à 8,5
Conductivité	µs/cm à 20°C	1500
TH	°F	20
TA	°F	/
TAC	°F	/
HCO₃⁻	mg/l	/
M.O	mg/l	5
R.S	mg/l	/
M.E.S	mg/l	/
Ca²⁺	mg/l	200
Mg²⁺	mg/l	50
Cl⁻	mg/l	Max 250
Fe²⁺	mg/l	0,2
SO₄²⁻	mg/l	Max 250
PO₄³⁻	mg/l	Max 0,5
NH₄⁺	mg/l	Max 0,5
NO₃⁻	mg/l	Max 50
NO₂⁻	mg/l	Max 0,2
Na⁺	mg/l	200
K⁺	mg/l	12

Tableau 11: Référence de Qualité des paramètres bactériologiques dans l'eau destinée à la consommation humaine (O.M.S, 2011).

Paramètre	Unité	Norme O.M.S
G.T	UFC/ml à 37°C	100
C.T	UFC/100 ml	10
C.F	UFC/100 ml	0
S.F	UFC/100 ml	0
A.S.R	UFC/20 ml	0