

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945
Université du 08 Mai 1945 de Guelma



Faculté des Sciences de la Nature et Sciences de la Terre et l'Univers

Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Département : Ecologie et génie de l'environnement

Evaluation de la qualité des eaux potables et impacts sanitaires

Présenté par :

**Menai Aya
Nezzar Abir**

Devant le jury :

Présidente :	Amri S.	(MCA)	Université 8 Mai 1945 Guelma
Examinatrice :	Abdelloui S.	(MCB)	Université 8 Mai 1945 Guelma
Encadrant :	Boussadia M.I.	(MCA)	Université 8 Mai 1945 Guelma

Juin 2025

Remerciements

*Nous remercions Allah, le Tout-Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage
d'accomplir ce travail de la meilleure façon.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude et reconnaissance à notre encadrante, **Madame M. Boussadia**, pour ses précieux conseils, ses orientations et ses compétences tout au long de ce travail.*

*Nous adressons également nos vifs remerciements à **Madame S.Amri** pour avoir accepté de
présider le jury.*

*Nos sincères remerciements vont à **Madame S.Abdellioui** pour avoir accepté d'évaluer 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, Amel, Bouthaina, Souad et warda)*

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je rends grâce à Dieu Tout-Puissant pour la patience, la force et le succès qui m'a accordés afin de mener à bien mes études.

Je dédie ce travail à :

***Mes chers grands-parents**, dont les prières ont eu un effet positif tout au long de mon parcours éducatif.*

***À ma chère mère**, source d'affection, qui m'a donné l'espoir dans la vie et n'a jamais cessé de prier pour moi, en secret comme en public*

***À mon cher père**, mon soutien et ma source d'encouragement, pour son amour constant, son soutien inestimable et ses sacrifices qui ont pavé la voie à ma réussite*

***À mes sœurs, CHAIMA et KHADIDJA**, pour leur amour et leur soutien*

***À SAFIA et OWAIÏS**, les enfants de ma sœur et la source de ma joie*

***À mes amies ABIR et IKRAM**, pour leur fidélité et leur amitié sincère;*

***À tous mes camarades** qui ont partagé ce voyage avec moi;*

***À ma cousine BOUTHEYNA**, Et à tous mes proches et êtres chers*

Et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail, je leur adresse ma profonde gratitude et reconnaissance.

Aya

Dédicace

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux,

Louange à Allah, Seigneur de l'univers, qui m'a accordé la santé, la force et la détermination pour accomplir ce travail. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude :

À mes chers grands-parents, qui m'ont entouré(e) d'amour, de tendresse et de bienveillance.

*À **mon père bien-aimé**, dont la patience et le soutien constants n'ont jamais failli tout au long de ma vie et de mon parcours scolaire.*

*À **ma précieuse mère**, qui a toujours été une source d'encouragement et de réconfort. Je souhaite qu'elle reste toujours à mes côtés.*

*À **mon frère et à ma sœur : Anwar et Assil**. À mes précieuses amies : **Randa, Ikram et Aya**, qui ont été une véritable source de soutien et de motivation tout au long de ce chemin. Merci pour votre présence constante.*

*À mes cousines chéries: **Marwa, Ilham et***

***Linda**, qui ont partagé avec moi de beaux moments et m'ont aidé(e) à surmonter les difficultés.*

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce modeste travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements.

Abir

Résumé

Résumé

Cette étude porte sur le contrôle de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines (puits, sources et forages) à partir de 25 échantillons prélevés dans différentes communes de la wilaya de Guelma. L'objectif est d'évaluer leur conformité aux normes algériennes de potabilité et d'en déterminer les impacts sanitaires potentiels pour les populations qui consomment directement ces eaux. L'analyse des paramètres physico-chimiques tels que la température, le pH, la conductivité, la dureté et les sels azotés indique, dans l'ensemble, une conformité aux normes en vigueur. Toutefois, certains échantillons présentent une alcalinité élevée, traduisant une forte minéralisation carbonatée. Sur le plan microbiologique, bien que les germes totaux restent dans les limites réglementaires, la présence significative de germes fécaux, en particulier de coliformes thermotolérants, de streptocoques fécaux et de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs, soulève des préoccupations sanitaires. Ces résultats mettent en évidence la nécessité de renforcer les mesures de protection des sources d'eau souterraine, notamment par l'amélioration de l'assainissement et la surveillance régulière de la qualité microbiologique, dans le but de préserver la santé des usagers de ces ressources en eau.

Mots-clés : Eaux souterraines ; Guelma ; Qualité physico-chimique, Qualité bactériologique, ; Potabilité.

Abstract

This study focuses on monitoring the physico-chemical and bacteriological quality of groundwater sources (wells, springs, and boreholes) based on 25 samples collected from various municipalities within the wilaya of Guelma. The objective is to assess their compliance with Algerian drinking water standards and to determine the potential health risks for populations that consume this water directly. The analysis of physico-chemical parameters such as temperature, pH, conductivity, hardness, and nitrogen compounds generally indicates compliance with national standards. However, some samples show elevated alkalinity, reflecting a high level of carbonate mineralization. From a bacteriological perspective, while total bacterial counts remain within regulatory limits, the significant presence of fecal indicators—particularly thermotolerant coliforms, fecal streptococci, and sulfite-reducing anaerobic bacteria raises health concerns. These findings highlight the urgent need to strengthen the protection of groundwater sources, particularly through improved sanitation infrastructure and regular monitoring of microbiological quality, in order to safeguard the health of populations relying on these water resources.

Keywords: Groundwater; Guelma; Physico-chemical quality; Bacteriological quality; Potability.

ملخص

تتناول هذه الدراسة مراقبة الجودة الفيزيائية-الكيميائية والبكتيريولوجية للمياه الجوفية (الآبار، والينابيع، والحفر) من خلال 25 عينة مأخوذة من مختلف البلديات التابعة لولاية قالمة. وتهدف إلى تقييم مدى مطابقتها للمعايير الجزائرية الخاصة بصلاحية مياه الشرب، وتحديد تأثيراتها الصحية المحتملة على السكان الذين يستهلكون هذه المياه مباشرة. تشير تحاليل المعايير الفيزيائية-الكيميائية مثل درجة الحرارة، والأس الهيدروجيني (pH)، والتوصيلية، والصلابة، وأملاح النيتروجين، بشكل عام، إلى مطابقة للمعايير السارية. ومع ذلك، فإن بعض العينات تُظهر قلووية مرتفعة، مما يدل على تمعدن كربوني عالي. أما من الناحية الميكروبيولوجية، وعلى الرغم من أن معظم الجراثيم تبقى ضمن الحدود المقبولة، فإن وجود جراثيم البراز، وخاصة القولونيات الحرارية، والعقديات البرازية، والبكتيريا اللاهوائية المختزلة للكبريتات، يثير مخاوف صحية. وتُبرز هذه النتائج ضرورة تعزيز إجراءات حماية موارد المياه الجوفية، لاسيما من خلال تحسين شبكات الصرف الصحي، والمراقبة المنتظمة لجودة المياه الميكروبيولوجية، وذلك بهدف الحفاظ على صحة المستخدمين والموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية؛ قالمة؛ الجودة الفيزيائية-الكيميائية؛ الجودة البكتيريولوجية؛ صلاحية الشرب.

Résumé

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre II: Matériel et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude	5
II. Echantillonnage	7
II.1. Mode de prélèvement.....	7
II.2. Transport et conservation.....	7
III. Analyse des paramètres physiques	8
IV. Analyse des paramètres chimiques	9
IV.1. Détermination de l'alcalinité	9
IV.2. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)	10
IV.3. Détermination de résidus secs (RS).....	11
IV.4. Dosage de l'ammonium (NH_4^+)	12
IV.5. Dosage des nitrates (NO_3^-) par la méthode au salicylate de sodium	12
V. Analyse bactériologique de l'eau	13
V.1. Recherche et dénombrement des germes totaux	14
V.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	15
V.3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.....	16
V.4. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs(ASR)	18

Chapitre III: Résultats et discussion

I. Résultats de l'analyse physico-chimique	20
I.1. Température	20
I.2. pH	20

Liste des figures

I.3. Conductivité	23
I.4. Turbidité	23
I.5. Dureté	26
I.6. Nitrate	26
I.7. L'ammonium	30
I.8. Alcalinité	30
I.9. Résidu sec	33
I.10. Salinité	33
II. Résultats de l'analyse bactériologique	36
II.1. Germes totaux	36
II.2. Coliformes totaux	36
II.3. Coliformes fécaux	40
II.4. Streptocoques fécaux	42
II.5. Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)	44
Conclusion et perspectives	46
Références bibliographiques	49
Annexes	56

Liste des figures

Figure 1: Localisation des sites de prélèvement des eaux de consommation de la Wilaya de Guelma	5
Figure 2: Appareils des mesures des paramètres physiques.	8
Figure 3: Photographie représentant l'analyse du TAC.	9
Figure 4: Photographie représentant l'analyse du TH.	11
Figure 5: Photographie du dispositif de filtration.	14
Figure 6: Protocole simplifié pour la recherche et le dénombrement des germes totaux.	15
Figure 7: Recherche et dénombrement des coliformes totaux et thermotolérants.	16
Figure 8: Protocole de recherche des Streptocoques fécaux.	18
Figure 9: Protocole de recherche des bactéries anaérobies sulfito- réducteurs (ASR).	19
Figure 10: Variation de la température dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : forages ; b : sources ; c : puits).	21
Figure 11: Variation de pH dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits).	22
Figure 12: Variation de conductivité dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits).	24
Figure 13: Variation de la turbidité dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits).	25
Figure 14: Variation de la dureté dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a :	28
Figure 15: Variation de Nitrate dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)	29
Figure 16: Variation d'Ammonium dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)	31
Figure 17: Variation d'Alcalinité dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)	32
Figure 18: Variation du résidu sec dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)	34
Figure 19: Variation de la salinité dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)	35
Figure 20: Variation des germes totaux dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)	38
Figure 21: Variation des coliformes totaux dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)	39

Liste des figures

Figure 22: Variation des coliforme fécaux dans les eaux de consommation de la wilaya de .	41
Figure 23: Variation des streptocoques fécaux dans les eaux de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits).	43
Figure 24: Variation des anaérobies sulfito-réducteurs dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits).....	45

Liste des tableaux

Tableau 1: Position géographique des sources, forages et des puits échantillonnés.....	6
Tableau 2: Référence de qualité des paramètres physico-chimiques dans l'eau destinée à la consommation humaine (Journal Officiel Algrien, 2011).	62
Tableau 3: Référence de qualité des paramètres bactériologique dans l'eau destinée à la consommation humaine (O.M.S, 2011).	62

Liste des abréviations

°F: Degré français.

ADE: Algérienne Des Eaux.

ASR: Aérobie Sulfite-Réducteurs.

BEA: Bile Esculine Azoture.

CCA: Chromogenic Coliform Agar.

CE: Conductivité Electrique.

CF: Coliformes Fécaux.

CT: Coliformes Totaux.

EDTA : Ethyle diamine tétra acétique.

F: Forage.

GT: Germes Totaux.

H⁺ : proton, ion hydrogène

ISO: International Standardisation Organisation.

MTH: Maladies à Transmission Hydrique.

NTU: Néphélométrie Turbidity Unites.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

P: Puits.

S: Source.

SF: Streptocoques fécaux.

TA: Titre Alcalimétrique simple.

TAC: Titre Alcalimétrique Complet.

TDS: Taux des Sels Dissous.

TGEA: Tryptone Glucose Extract Agar.

TH: Titre Hydrométrique.

UFC: Unité Formant Colonies.

VF: Viande Foie.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un élément vital, précieux, essentielle à la santé humaine et joue un rôle vital dans le bon fonctionnement de l'organisme. Constituante majeure du sang, elle participe au maintien de la pression artérielle, au transport des nutriments, ainsi qu'à l'équilibre hormonal. Elle contribue également à la régulation de la température corporelle, à la digestion des aliments, à l'absorption des éléments nutritifs et à l'élimination des déchets métaboliques (Belhadj, 2017). L'eau constitue également une ressource naturelle d'importante exploitation dans divers secteurs tels que l'agriculture, l'industrie, la production d'énergie électrique et les usages domestiques (Festy et al., 2003). Bien que l'eau couvre les trois quarts de la surface du globe, seule une infime portion - environ 0,014 % - est de l'eau douce, principalement présente sous forme d'eaux superficielles telles que les rivières, les lacs et les étangs.

Compte tenu de l'importance de cette ressource vitale et de sa rareté, notamment dans les zones arides, son exploitation représente un enjeu stratégique pour de nombreux pays, y compris l'Algérie. À l'instar de 17 autres pays africains confrontés au stress hydrique, l'Algérie fait partie des nations les plus démunies en ressources en eau. Elle se situe en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque mondiale, soit 1000 m³ par habitant et par an (Bounab, 2017).

À l'échelle mondiale, les ressources en eau - qu'il s'agisse des eaux de surface, des eaux souterraines, des eaux marines ou de celles destinées à la consommation humaine - subissent une pression croissante, particulièrement les eaux souterraines qui représentent environ 97% de l'eau douce continentale. Entre 75% et 90 % de la population mondiale dépend de ces eaux souterraines pour sa consommation quotidienne (Ziani, 2017).

Les eaux souterraines sont présentes sous la majorité des terres émergées du globe. Elles proviennent essentiellement de l'infiltration des eaux à travers le sol, un processus influencé par la porosité et la structure géologique de ce dernier. Ces eaux se distinguent généralement par leur excellente qualité physico- chimique et bactériologique, ce qui en fait, jusqu'à aujourd'hui, l'une des meilleures sources d'eau potable (Raham et Kouloughli, 2018). Toutefois, malgré cette qualité, les eaux souterraines ne sont pas à l'abri de la pollution, qui peut être d'origine naturelle ou anthropique. La pollution naturelle des nappes phréatiques est étroitement liée aux caractéristiques géologiques et minéralogiques de l'environnement, ce qui peut entraîner la présence de divers éléments chimiques, tels que le fer, le manganèse, les carbonates de calcium, les sulfates, l'arsenic, le fluor, le baryum, le plomb, le cuivre, le zinc, le sélénium, l'uranium, entre autres. En parallèle, les activités humaines peuvent générer des

polluants qui contaminent les sols et s'infiltrant vers les ressources souterraines, selon la nature et l'intensité de ces activités ainsi que la vulnérabilité de la zone concernée. Une fois altérée, la ressource peut devenir un vecteur de propagation des substances nocives à travers les formations géologiques, mettant en péril les structures des bassins versants, limitant les possibilités d'exploitation et constituant une source directe de contamination (Lebrahimi, 2020). Parmi ces polluants, la contamination chimique représente une menace particulièrement préoccupante. Les substances chimiques présentes dans l'eau, telles que les résidus de pesticides, peuvent être toxiques pour les organismes vivants, en particulier lorsqu'elles affectent des fonctions essentielles comme la reproduction ou la transmission nerveuse. Par exemple, elles peuvent provoquer une neurotoxicité en perturbant les signaux neuronaux.

De même, les métaux présentent des niveaux de toxicité variables: le cadmium, le mercure et le plomb sont extrêmement toxiques, même à faibles concentrations. Certains, comme l'arsenic, sont cancérogènes, tandis que d'autres, comme le mercure, peuvent compromettre le système immunitaire et reproducteur. Il est important de noter que les effets de ces métaux dépendent de leur forme chimique dans l'environnement, ainsi que de leur concentration, leur biodisponibilité et leur intégration dans la chaîne alimentaire (Cuniasse et Glass, 2020).

D'autres éléments chimiques, tels que le fer, le cuivre, le zinc ou le manganèse, lorsqu'ils sont présents en excès, peuvent également entraîner des effets indésirables, comme l'altération du goût et de la couleur de l'eau, ainsi que des phénomènes de corrosion (Djeghdjeh, 2014). Par ailleurs, la plupart des microorganismes pathogènes présents dans la nature peuvent se transmettre directement ou indirectement par l'eau, ce qui a conduit à la classification de trois groupes de maladies selon leur origine (Boumalek, 2020).

Dans ce contexte, il convient de souligner que l'eau contaminée représente une source majeure de maladies infectieuses, notamment dans les pays en développement. Ces maladies d'origine hydrique peuvent être causées par des agents pathogènes bactériens (comme *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi*, *Escherichia coli*), viraux (comme les virus de l'hépatite A et de la poliomyélite) ou parasitaires (comme *Giardia* et *Cryptosporidium*). La transmission s'effectue généralement par voie digestive, à travers l'ingestion d'eau ou d'aliments souillés. Ces infections peuvent entraîner divers symptômes, tels que la diarrhée, les vomissements, la fièvre, voire des complications graves. Elles constituent ainsi un enjeu majeur de santé publique, en particulier dans les régions où l'accès à l'eau potable et aux infrastructures d'assainissement est limité (Ayad, 2017). D'après l'Organisation Mondiale de la Santé, on

dénombre chaque année 4 milliards de cas de maladies d'origine hydrique. Le manque d'accès à l'eau est lié non seulement à des millions de cas de maladies, mais aussi à la diarrhée. Chaque année, 1,7 million d'individus succombent à cause de la diarrhée, la majorité étant des enfants de moins de cinq ans. Les maladies liées à l'eau ont un impact significatif sur la santé humaine, tout comme les contaminations résultant des déversements de substances chimiques dans l'eau provenant de diverses activités humaines. Selon l'UNICEF, 60% des décès infantiles dans le monde sont attribuables à des infections ou des maladies parasitaires, principalement liées à la contamination de l'eau (Guemmaz, 2023).

Pour améliorer la qualité de l'eau et assurer la sécurité des approvisionnements en eau potable, les risques doivent être gérés en identifiant les sources potentielles de contamination. Un examen détaillé des diverses origines de risque facilite la compréhension des dangers qui menacent la qualité de l'eau. Selon l'évaluation des risques effectuée, il est impératif d'instaurer des mesures préventives afin de diminuer la probabilité d'apparition d'événements indésirables. Cela peut impliquer l'application de pratiques agricoles appropriées, la réglementation des rejets industriels, l'inspection fréquente des infrastructures de traitement de l'eau, le contrôle constant des sources d'eau, et ainsi de suite. Le but est d'anticiper les sources éventuelles de contamination et de réduire les risques associés. L'évaluation fréquente de la qualité de l'eau est un aspect crucial dans la gestion des risques. Cela consiste à recueillir des échantillons d'eau à diverses étapes du procédé d'approvisionnement en eau et à réaliser des analyses pour identifier la présence de polluants. L'instauration de dispositifs de contrôle performants facilite la détection précoce des problèmes éventuels et l'adoption des actions correctives nécessaires (El Attaoui, 2023).

Dans ce contexte, notre travail vise à réaliser une analyse physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines (forages, sources et puits) dans la wilaya de Guelma, afin d'évaluer la qualité de l'eau potable et ses effets sanitaires. Le choix de cette wilaya s'explique par la forte dépendance de sa population, notamment en zones rurales, aux eaux souterraines comme principale source d'eau potable, ainsi que par l'impact potentiel des activités agricoles et industrielles sur la qualité de ces ressources. Cette recherche revêt une importance majeure, car elle permet d'identifier d'éventuels risques sanitaires liés à la qualité bactériologique de l'eau. En détectant la présence de germes indicateurs ou pathogènes, elle contribue à une meilleure compréhension des sources de contamination. Les résultats obtenus servent de base pour proposer des mesures correctives et des solutions adaptées, qu'il s'agisse d'amélioration

des pratiques de traitement, de renforcement du contrôle qualité, ou de sensibilisation des acteurs concernés.

Pour atteindre cet objectif, notre étude est structurée en plusieurs parties distinctes :

- La première partie de ce travail aborde la problématique croissante de la pénurie d'eau, qui pousse de nombreuses régions à intensifier l'exploitation des ressources en eaux souterraines. Cette dépendance accrue soulève plusieurs enjeux, notamment ceux liés à la contamination chimique (métaux lourds, nitrates, pesticides...) et biologique (présence de micro-organismes pathogènes). Ces formes de pollution peuvent compromettre la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, avec des conséquences sanitaires parfois graves ;
- La deuxième partie de ce travail est consacrée à la description du matériel utilisé ainsi qu'à la présentation des méthodes d'analyse physico-chimique et bactériologique mises en œuvre. Elle détaille les instruments de mesure, les conditions d'échantillonnage, ainsi que les protocoles suivis pour évaluer ces paramètres ;
- Le troisième chapitre est consacré à l'interprétation et à la discussion critique des résultats obtenus au cours de l'étude, en les confrontant aux données de la littérature scientifique.

Enfin, une conclusion vient clore ce travail, accompagnée de perspectives de recherche pour approfondir les investigations futures.

Chapitre II

Matériel Et Méthodes

Ce chapitre vise à examiner diverses méthodes d'analyse utilisées pour évaluer la qualité des eaux souterraines, à travers la détermination de plusieurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Cette évaluation est essentielle non seulement pour comprendre l'état des ressources en eau, mais aussi pour prévenir les risques sanitaires potentiels liés à leur consommation. La surveillance de ces paramètres permet en effet de garantir la sécurité des usagers, en limitant l'exposition à des substances toxiques ou à des agents pathogènes pouvant affecter la santé humaine.

I. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Guelma est située dans le Nord-Est algérien, à environ 60 km de la mer Méditerranée. Elle est délimitée 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 ainsi qu'Oum-El Bouaghi. Elle occupe une superficie de 3686,84 km². Les eaux souterraines au niveau de la région de Guelma représentent une composante significative du patrimoine hydraulique

La présente étude porte principalement sur l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau prélevée à partir de 15 forages, 8 sources et 2 puits, répartis dans différentes communes de la wilaya de Guelma. (fig.1. et tab.1).

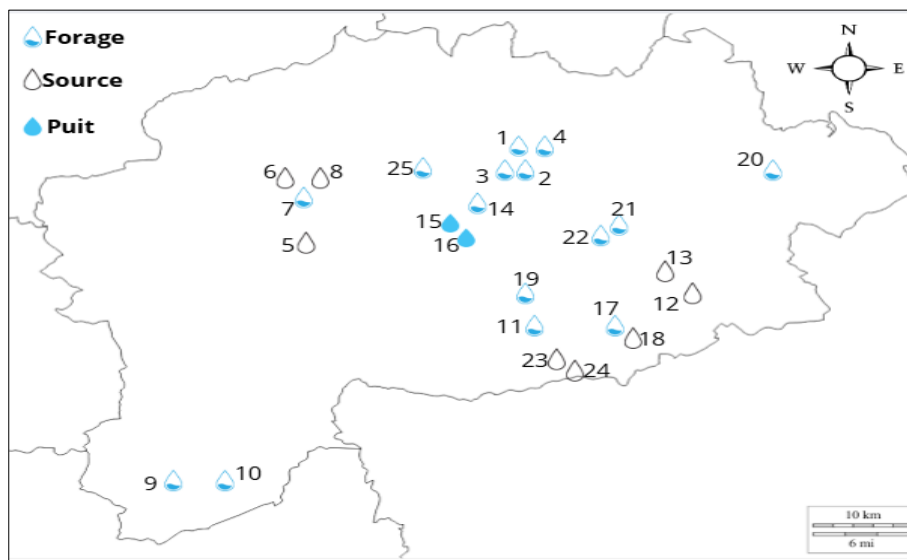


Figure 1: Localisation des sites de prélèvement des eaux de consommation de la Wilaya de Guelma

Tableau 1: Position géographique des sources, forages et des puits échantillonnés.

Lieu de prélèvement (source, forage, puit)		Commune	X km	Y km
01	Forage Bouzitoune -3-	Héliopolis	923,350	362,550
02	Forage piscine Hamam bradaa		925,500	368,500
03	Forage HB4		925,500	368,500
04	Forage maachou		925,900	369,100
05	Source Aïn ghoul	Aïn hessainia	893,702	332,617
06	Source Aïn chuikha	Hammam Debagh	903,981	351,273
07	Nouveau forage Aïn brines		908,235	348,187
08	Source selloua		908,235	348,187
09	Forage F15	Tamlouka	899,950	329,500
10	Mélange F17+Boumaarouf+ Elbir lasfar		898,243	317 ,256
11	Forage Hlia -1-	Bouhachana	923,047	354,608
12	Source Bouhraoua	Hammam Nbail	952,100	351,100
13	Source koudiat Erime		952,100	351 ,100
14	Nouveau forage Bendjerrah (Maouna)	Guelma	918,288	367,390
15	Puit Kalitousse		926,800	367,390
16	Puit Oued Maiz		926,900	361,950
17	Forage Mechta Maârouf	Aïn souda	937,400	341,500
18	Guelta Zarga		938,200	342,300
19	Forage Lakhezaras	Khezara	928,600	347,800
20	Forage BS2	Bouhegouf	948,100	362,000
21	Forage Oravie	Boumahra Ahmed	930,700	360,100
22	Forage BA2		930,800	361,000
23	Source Aïn Sandel	Aïn sandel	937,200	341,600
24	Source Aïn Souda		937,200	341,600
25	Forage El fedjoudj	El fedjoudj	915,400	366,500

II. Echantillonnage

II.1. Mode de prélèvement

Avant d'effectuer les prélèvements, il convient de laisser couler l'eau pendant au moins cinq minutes. Certaines précautions doivent être respectées durant cette opération. L'eau doit être recueillie dans des flacons stériles, remplis aux deux tiers afin de laisser un espace d'air. Pour les analyses physico-chimiques, les flacons en polyéthylène ou en verre doivent être remplis complètement afin d'éliminer toute présence de bulles d'air susceptibles de fausser les résultats.

L'eau prélevée ne doit pas être conservée plus de 24 heures, sauf si elle est maintenue à une température comprise entre 2 et 5 °C (Nascimento, 2015).

II.2. Transport et conservation

Après prélèvement, chaque flacon a été soigneusement étiqueté avec le nom du point d'eau et la date correspondante. Les échantillons ont ensuite été transportés dans une glacière isotherme, maintenue à une température constante de 4 °C et protégée de la lumière, afin d'assurer des conditions de conservation optimales jusqu'à l'analyse (Yahyaoui, 2024).

III. Analyse des paramètres physiques

Les paramètres : température, salinité et conductivité ont été mesurées à l'aide d'un multi-paramètre de type WTW LF197. Les valeurs ont été relevées après stabilisation de l'affichage sur l'appareil.

Le pH a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre. Tandis que, La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type HACH TL2300 (fig. 2).



A : Multi-paramètre de type WTW LF197.

(salinité, température, conductivité)



B: Turbidimètre de type HACH TL2300.

(turbidité)



C : pH mètre.

Figure 2: Appareils des mesures des paramètres physiques.

IV. Analyse des paramètres chimiques

IV.1. Détermination de l'alcalinité (ISO 9963-1,1994)

- **Principe**

Ces décisions reposent sur la neutralisation d'un volume déterminé d'eau à l'aide d'un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

a) Titre alcalimétrique simple (TA)

- **Mode opératoire**

- Pour 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 VTA.

- **Expression des résultats**

$$TA \text{ } ^\circ f = V_e$$

Ve : le volume en ml du H₂SO₄ 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.3).

$$TAC \text{ } ^\circ f = V_{\text{Titre}} - 0.5$$

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

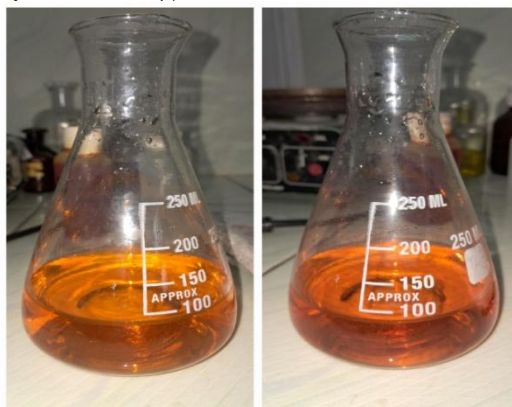


Figure 3: Photographie représentant l'analyse du TAC.

IV.2. Dosage de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) (ISO 6059, 1984)

- **Principe**

À un pH de 10, les éléments alcalino-terreux dissous dans l'eau forment généralement des complexes chélatés en présence du sel disodique de l'acide éthylènediaminetétracétique. La fin de la complexation des ions à doser est indiquée par un changement de couleur d'un indicateur spécifique.

Dans un milieu rigoureusement tamponné afin d'empêcher la précipitation du magnésium, cette méthode permet de doser l'ensemble des ions calcium et magnésium.

- **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

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

TH : dureté exprimée en °f.

VEDTA : volume de la solution titrant.

CEDTA : concentration molaire de la solution d'EDTA.

PE: Prise d'essai.

1°f = 0,1 mmol/ l.

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



Figure 4: Photographie représentant l'analyse du TH.

IV.3. Détermination de résidus secs (RS) (ISO 9197, 1994)

- **Principe**

Une capsule préalablement tarée renferme une quantité précise d'eau homogénéisée, laquelle est ensuite évaporée. Le résidu sec obtenu est ensuite pesé.

- **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 exprimés en mg/l.

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

D'où :

PP : le poids plein de la capsule.

PV : le poids vide de la capsule.

IV.4. Dosage de l'ammonium (NH_4^+) (ISO 7150/1, 1984 (F))

- **Principe**

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

- **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.5. Dosage des nitrates (NO_3^-) par la méthode au salicylate de sodium (ISO 7890-3, 1988)

- **Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates réagissent pour former du para nitrosionate de sodium, un composé jaune permettant un dosage par colorimétrie.

- **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/

V. Analyse bactériologique de l'eau

Le contrôle de la qualité bactériologique de l'eau échantillonnée a été effectué au laboratoire de microbiologie de la station de traitement des eaux située à Hammam Debagh, dans la wilaya de Guelma. L'ensemble des normes d'hygiène et de stérilisation a été rigoureusement respecté tout au long des analyses, afin d'éviter tout risque de contamination. L'analyse bactériologique a porté principalement sur la recherche des micro-organismes suivants :

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

Avant l'examen de chaque échantillon, il est indispensable d'agiter le récipient contenant la solution mère afin de remettre les micro-organismes en suspension.

- **Méthodes générales d'examen bactériologique des eaux**

L'analyse bactériologique de l'eau repose sur une double approche, qualitative et quantitative. Dans le cas d'eaux fortement contaminées, des dilutions successives sont nécessaires afin de permettre un dénombrement fiable. En revanche, pour les eaux destinées à la consommation humaine, les normes sanitaires exigent une grande sensibilité. Cela implique souvent une étape de concentration de volumes importants (100 à 1000 ml) pour détecter l'éventuelle présence de bactéries. Les méthodes utilisées incluent soit le dénombrement direct des colonies après filtration ou ensemencement sur milieu solide, soit l'estimation statistique du Nombre le Plus Probable (NPP) (Rodier et al., 2016).

Dans le cadre de notre étude, nous avons appliqué la méthode de filtration utilisant une membrane en ester de cellulose, présentant une porosité de 0,22 μm et 0,45 μm , afin de concentrer la flore bactérienne présente dans les prélèvements d'eau (fig.5).

Une fois la filtration effectuée, la membrane peut être déposée sur un milieu gélosé sélectif permettant la poussée des germes contaminants (Rodier et al., 2009).



Figure 5: Photographie du dispositif de filtration.

V.1. Recherche et dénombrement des germes totaux (ISO 6222)

- **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.6).

- **Lecture et interprétation des résultats**

Les colonies de micro-organismes revivifiables se développent sous forme de structures lenticulaires bien distinctes. Il convient de retenir la boîte de Pétri contenant entre 15 et 300 colonies, puis de calculer le nombre de micro-organismes selon l'équation suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{d}$$

Où :

- Σc : est la somme des colonies dénombrées.
- d : la dilution à partir du quelle le comptage est obtenue.

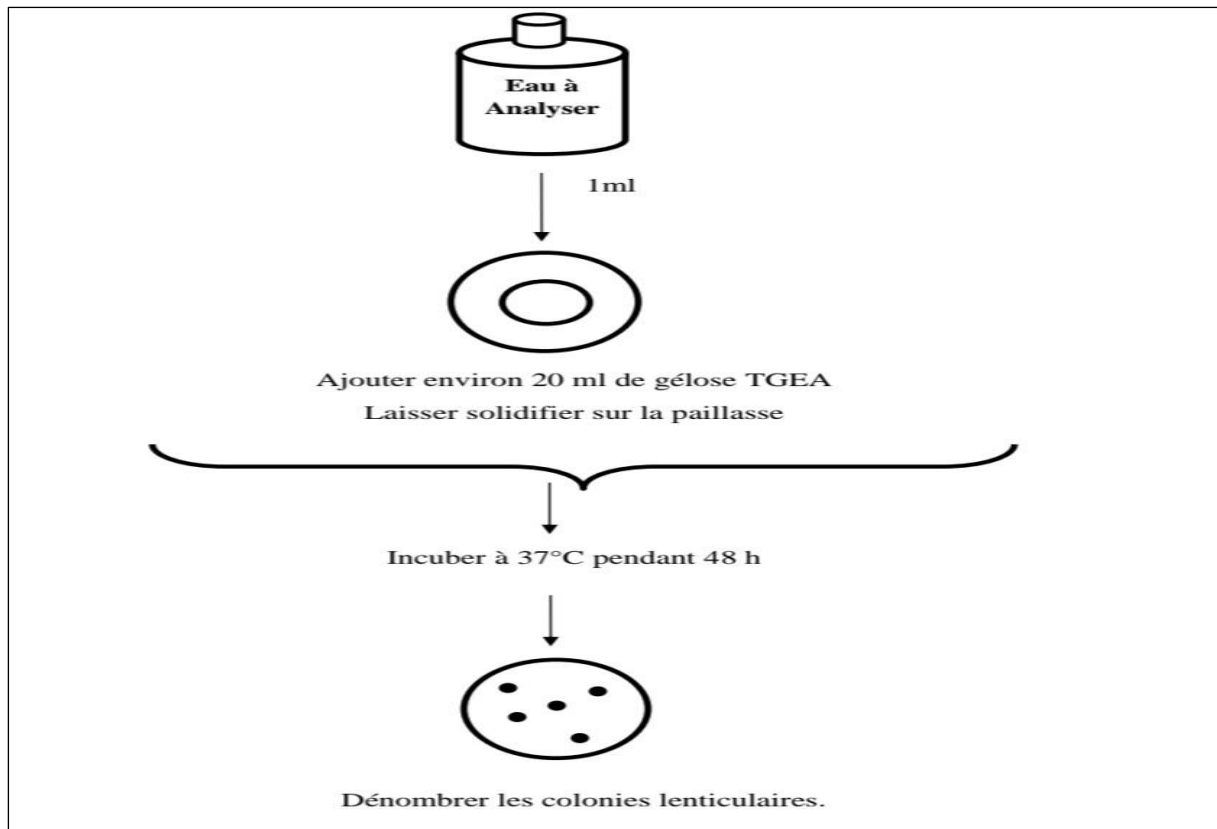


Figure 6: Protocole simplifié pour la recherche et le dénombrement des germes totaux.

V.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (ISO 9308-1, 2000)

Selon cette technique, les coliformes sont des bacilles à Gram négatifs, aéro-anaérobies facultatifs, non sporulés, dépourvus d'oxydase. Ils peuvent se reproduire en présence de sels biliaires et fermentent le lactose, produisant de l'acide et du gaz dans un délai de 24 à 48 heures à une température de 37°C' (fig.7).

Cette approche de référence implique l'identification et le comptage des coliformes totaux et des coliformes thermo-tolérants éventuellement présents dans les eaux destinées à la consommation humaine. Ceci se fait par le dénombrement des colonies cultivées sur un milieu solide après une incubation aérobie de 24 à 48 heures à 37°C, puis à 44°C pour les coliformes totaux et thermo tolérants respectivement.

• Mode opératoire

La recherche de cette flore a été réalisée à l'aide de milieux de culture (Tergitol et CCA), après une filtration sur membrane, selon les étapes suivantes :

- Déposer à spécifiquement une membrane de porosité nominale de 0,45µm sur le dispositif de filtration.

- Verser un volume d'eau à analyser (100 ml).
- Déposer les membranes sur la boîte de Pétri contenant le milieu Tergitol ou CCA
- Sur milieu Tergitol : les colonies caractéristiques apparaissent sous forme de petites colonies lisses, légèrement bombées, aux contours réguliers, et pigmentées en jaune orangé ou jaune, indiquant une fermentation positive du lactose.
- Sur milieu CCA : Après incubation, les colonies caractéristiques apparaissent sous forme de petites colonies lisses, légèrement bombées, aux contours réguliers, avec une pigmentation jaune clair et mauve.
- **Test confirmatif (uniquement pour le Tergitol)**
 - Déplacez 5 à 10 colonies distinctes de couleur jaune dans un tube contenant le milieu Schubert. Après une incubation de 24 heures à 44°C, vérifiez la production d'indole en ajoutant 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.
 - L'émergence d'un anneau rouge à la surface indique la production d'indole.

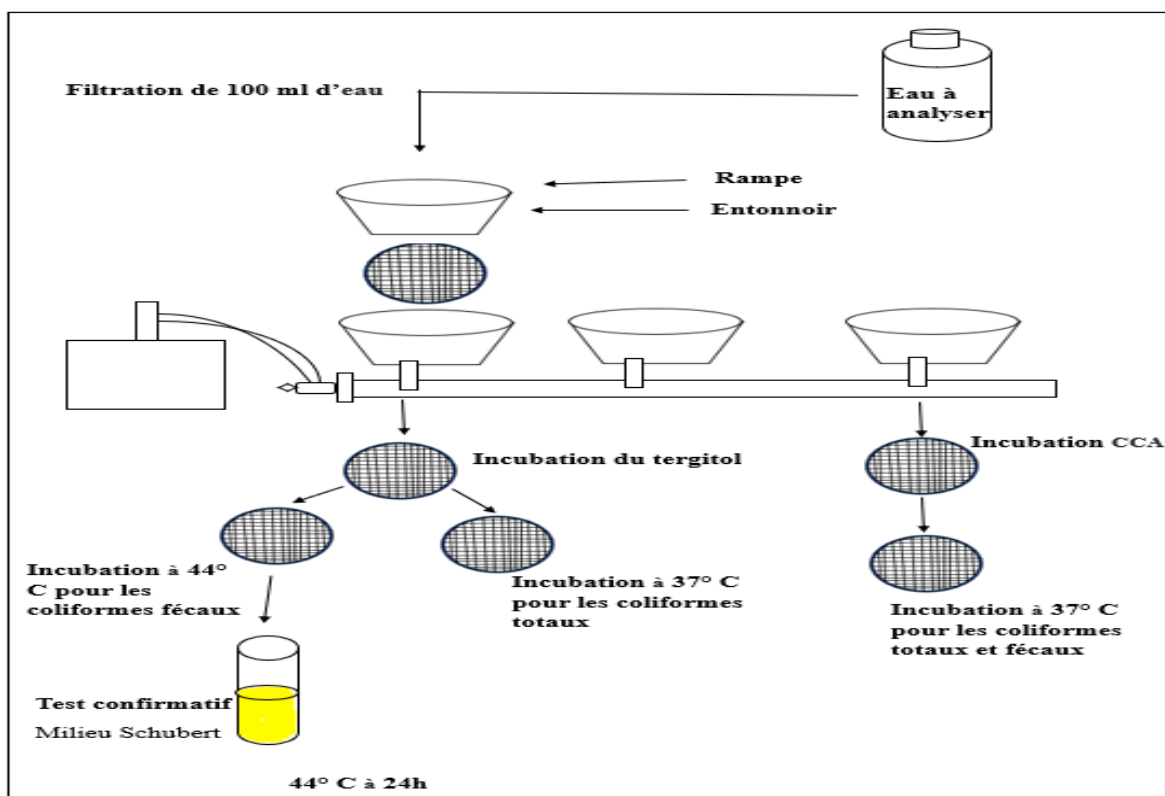


Figure 7: Recherche et dénombrement des coliformes totaux et thermotolérants.

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

- **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 placée sur la surface d'une plaque de gélose Slanetz et Bartley.
- Incuber à 37°C pendant 48 heures (fig.8).

- **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.

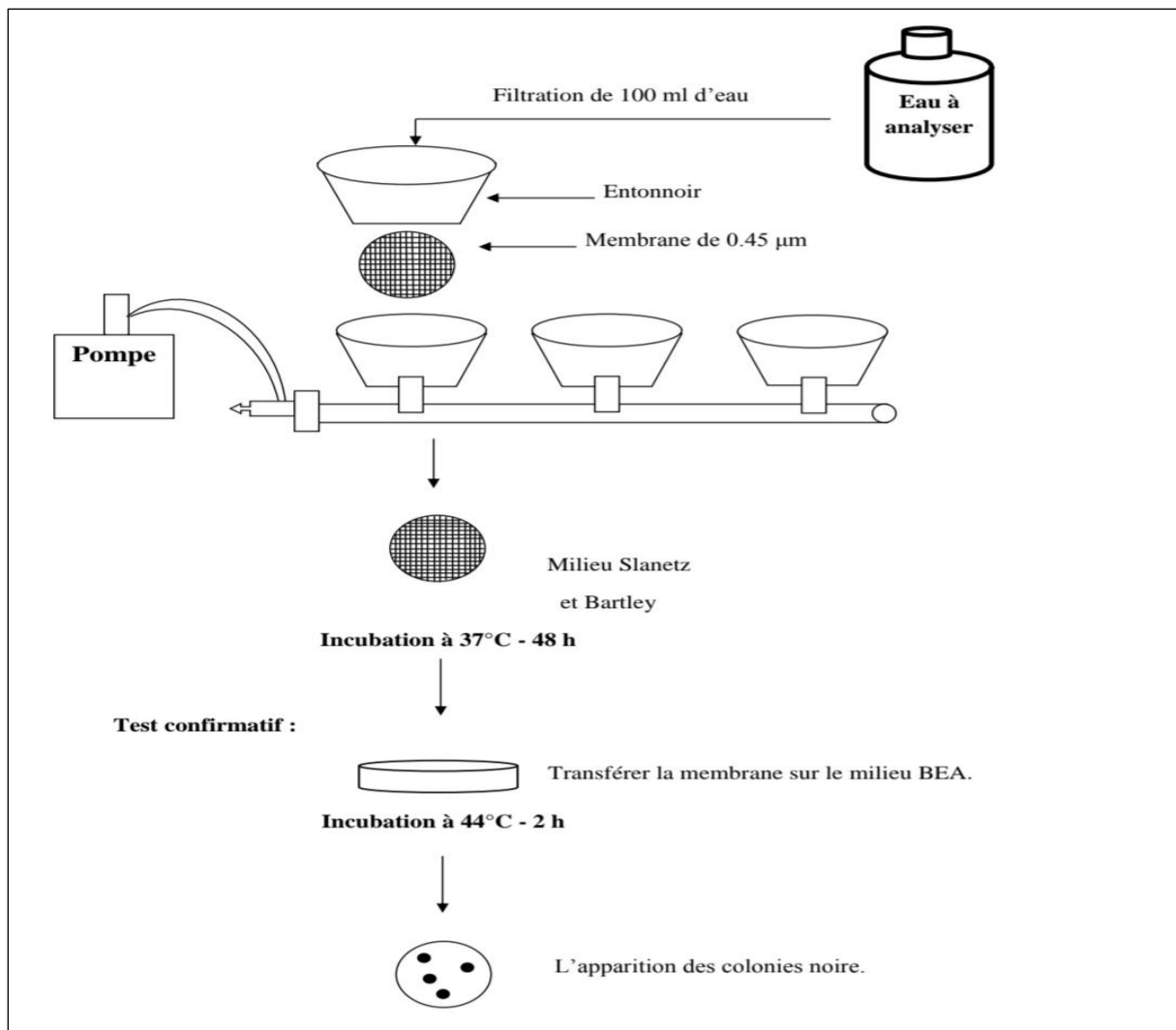


Figure 8: Protocole de recherche des Streptocoques fécaux.

V.4. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfite-réducteurs(ASR) (NF T 90-415)

• Mode opératoire

- Mettre en place de façon aseptique un filtre de 0,22 µm de porosité entre la membrane poreuse et l'entonnoir du dispositif de filtration à l'aide d'une pince stérile.
- Verser 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 (fig.9).

• **Lecture**

Les colonies de bactéries sulfito-réductrices anaérobies apparaissent sous forme de spores noires d'un diamètre de 0,5 mm (**Rodier et al., 2016**).

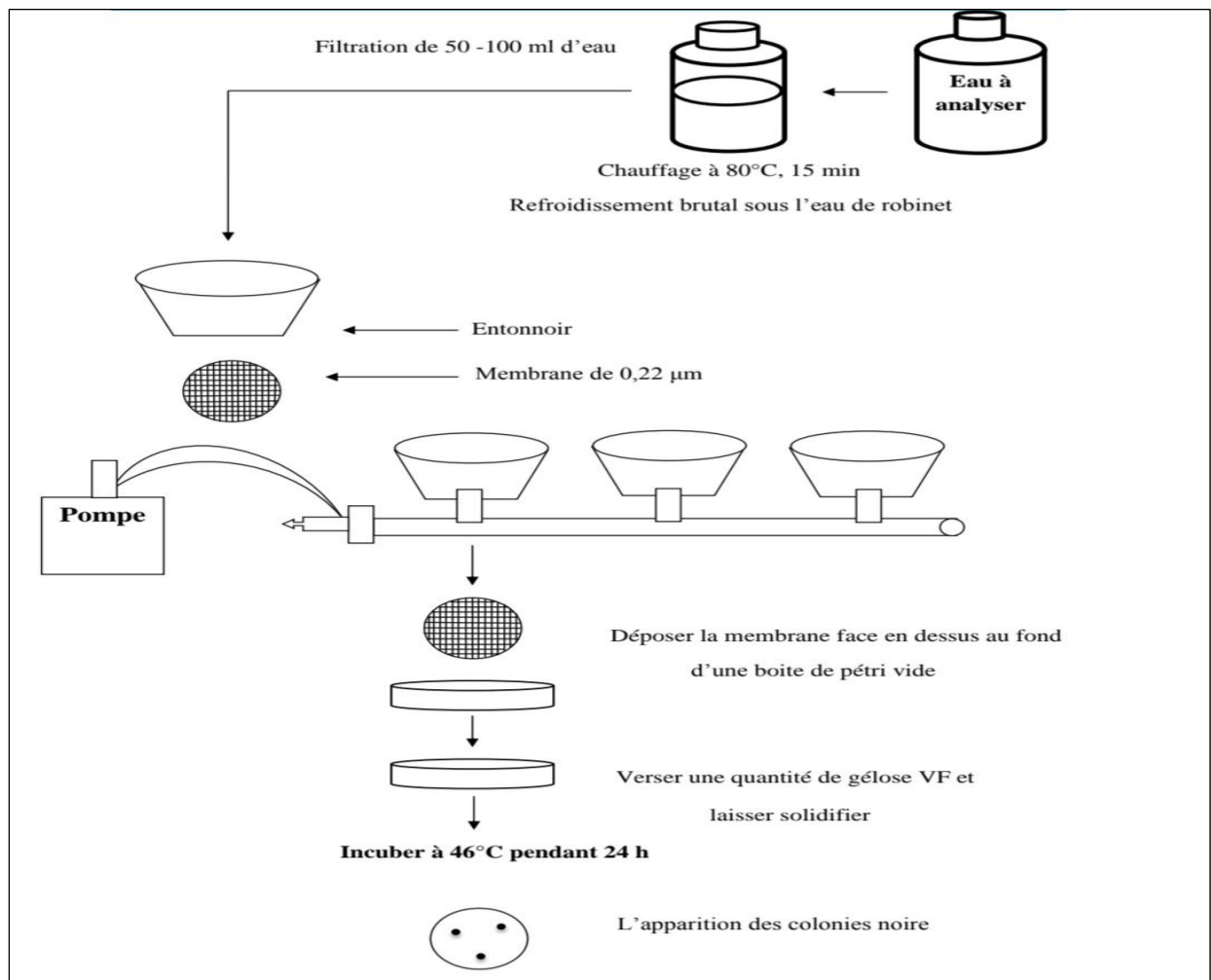


Figure 9: Protocole de recherche des bactéries anaérobies sulfito- réducteurs (ASR).

Chapitre III

Résultats et discussion

I. Résultats de l'analyse physico-chimique

I.1. Température

La température de l'eau est un facteur clé dans le milieu aquatique, car elle influence les propriétés physiques, chimiques et biologiques, ainsi que le développement des microorganismes (Touati, 2018).

La température des eaux échantillonnées varie entre 12,4 °C et 20 °C (fig.10). Toutes les valeurs mesurées restent inférieures à la limite de potabilité fixée par le Journal Officiel Algérien (2011), qui établit un seuil maximal de 25 °C. Selon Aouissi et Houhamdi (2014), des températures proches de celles de l'environnement ambiant indiquent généralement une origine peu profonde de l'eau analysée. Par ailleurs, les températures relevées dans nos échantillons (forages, sources et puits) sont inférieures à celles rapportées par Nouayti *et al.*, (2015) dans des contextes similaires.

I.2. pH

Le pH joue un rôle essentiel dans l'eau, notamment en influençant son goût, ce qui en fait un paramètre crucial pour les eaux destinées à la consommation publique (Bouchemal, 2017). D'après les résultats illustrés dans la figure (11), les valeurs de pH varient entre 6,93 et 8,19. Ces valeurs, légèrement alcalines, restent inférieures aux limites fixées par le Journal Officiel algérien (2011), qui recommande une plage de 6,5 à 9.

Les caractéristiques du pH des eaux sont étroitement liées à la nature géologique des formations aquifères ainsi qu'aux types de sols traversés (Amlan et al., 2023). Les résultats obtenus dans nos échantillons (forages, sources et puits) présentent des valeurs comparables à celles rapportées par Abdaoui et al. (2022), Nechad (2014) et Ladghem Chikouche et Lebouezda (2022).

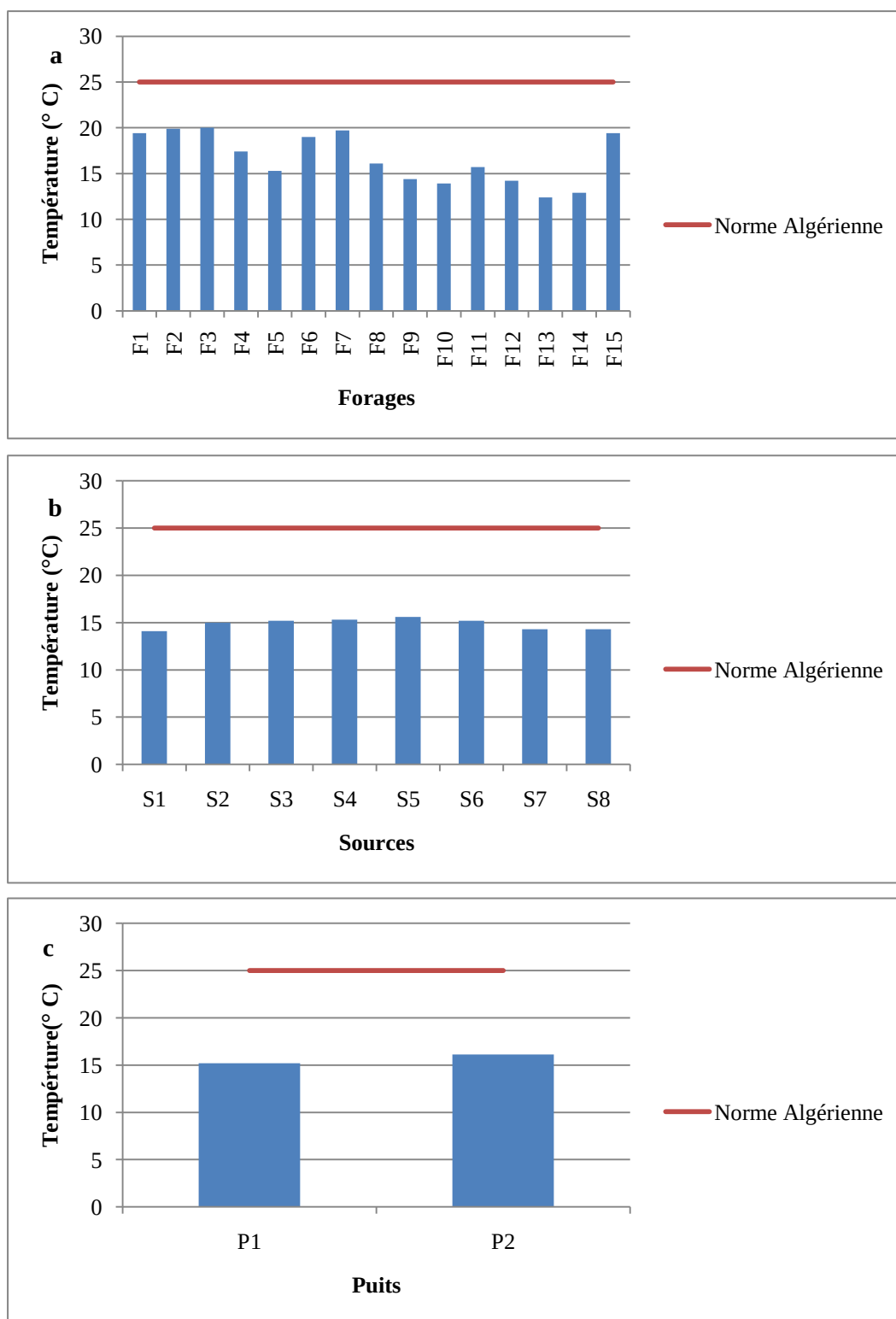


Figure 10: Variation de la température dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : forages ; b : sources ; c : puits).

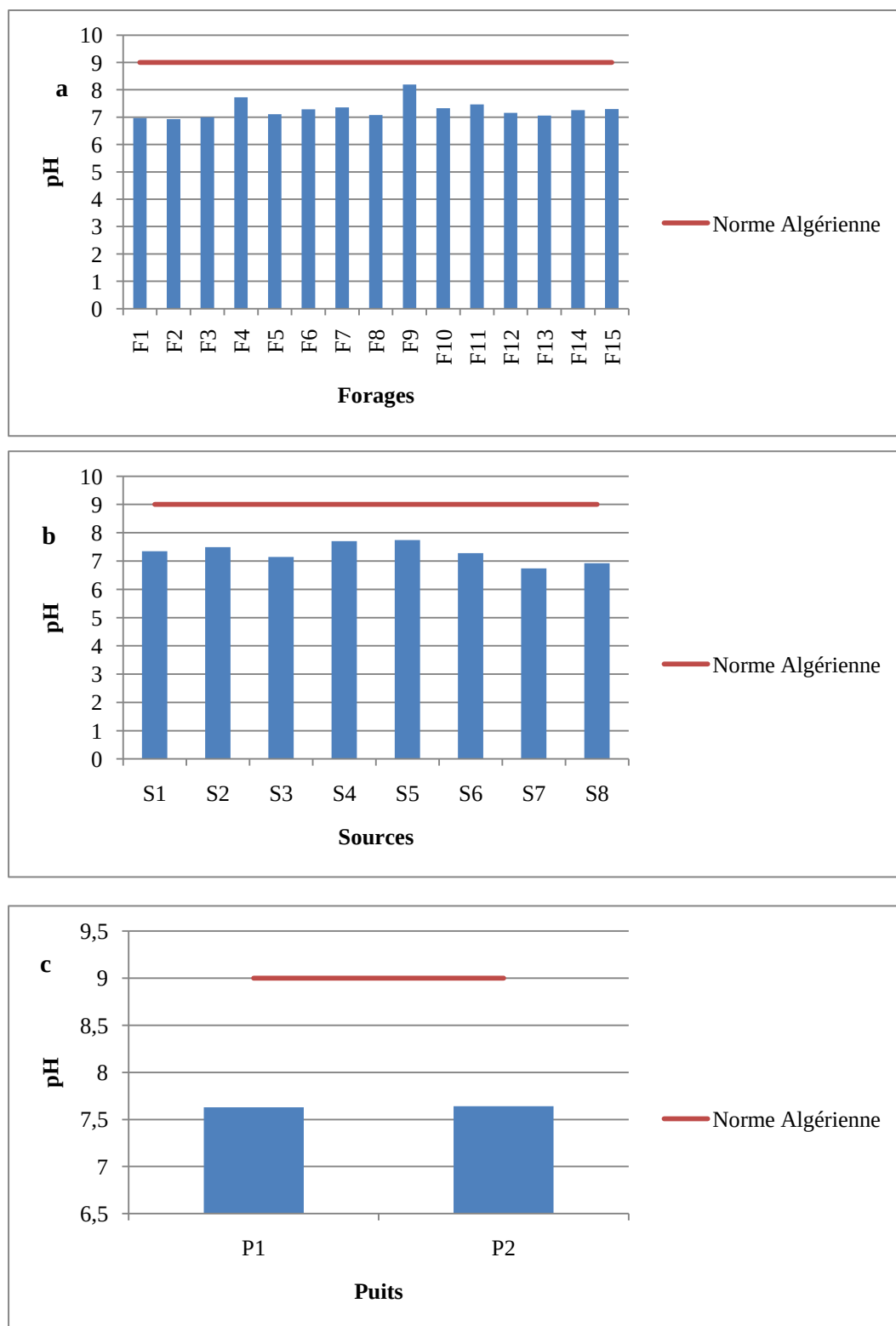


Figure 11: Variation de pH dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits).

I.3. Conductivité

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer la concentration en sels dissous dans l'eau, ce qui reflète directement son niveau de minéralisation (Bouderka et al., 2016). La valeur maximale enregistrée, atteignant 2360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au point F12, s'explique par l'influence des rejets urbains et industriels en provenance de la ville de Guelma (Aissaoui et al., 2017).

Les résultats obtenus dans nos échantillons (fig.12) sont comparables à ceux rapportés par Abdaoui et al.(2022) ; Djetten et Touahri (2016), ainsi que Mehounou *et al.*,(2016), mettant en évidence une tendance similaire de minéralisation dans des contextes hydrogéologiques analogues.

Il convient de souligner que toutes les valeurs mesurées restent inférieures à la limite fixée par la réglementation algérienne en matière d'eau potable. Les valeurs les plus élevées ont été principalement observées dans les eaux de forage, ce qui pourrait être lié à un temps de séjour plus long de l'eau dans les formations géologiques, favorisant la dissolution des minéraux.

I.4.Turbidité

La mesure de la turbidité constitue un indicateur visuel important de la qualité physique de l'eau, car elle reflète la présence de particules en suspension telles que les débris organiques, les argiles, ou encore les micro-organismes (Mehounou et al., 2016). Ce paramètre est particulièrement utile pour évaluer l'efficacité des traitements de clarification, ainsi que les risques microbiologiques.

Les résultats obtenus montrent que la majorité des échantillons analysés (fig.13) présentent une turbidité conforme à la norme algérienne (Journal Officiel, 2011), qui fixe une limite maximale de 5 NTU pour les eaux destinées à la consommation humaine. Toutefois, deux forages (F5 et F9) enregistrent des valeurs de turbidité élevées, ce qui peut s'expliquer par la proximité de zones agricoles, combinée à l'effet des premières pluies, susceptibles d'entraîner des matières en suspension par ruissellement (Mehounou et al., 2016).

Sur le plan comparatif, les valeurs observées dans cette étude sont supérieures à celles rapportées par Bensalah et Benzitouna (2021), mais inférieures à celles enregistrées par Ayad (2017).

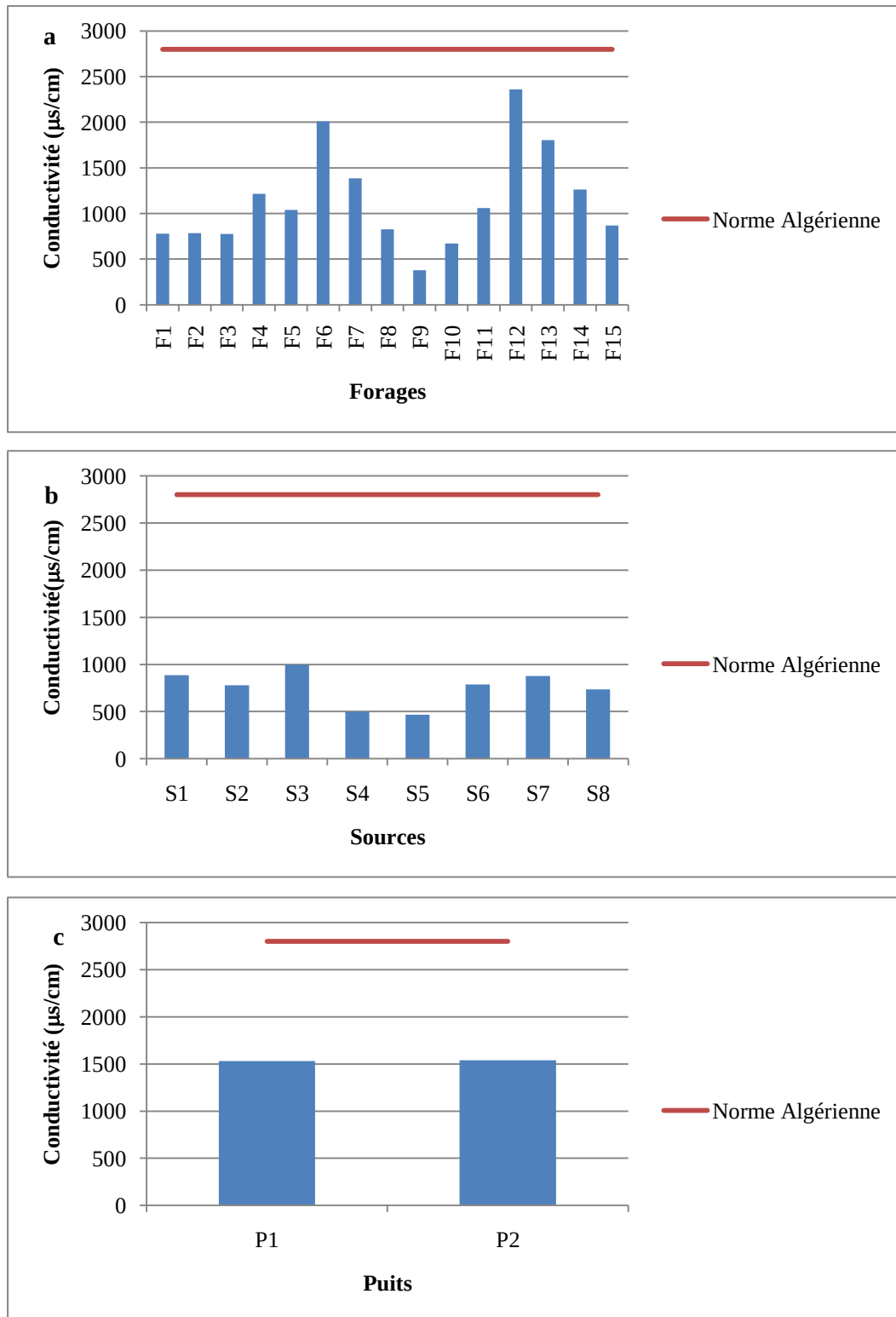


Figure 12: Variation de conductivité dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

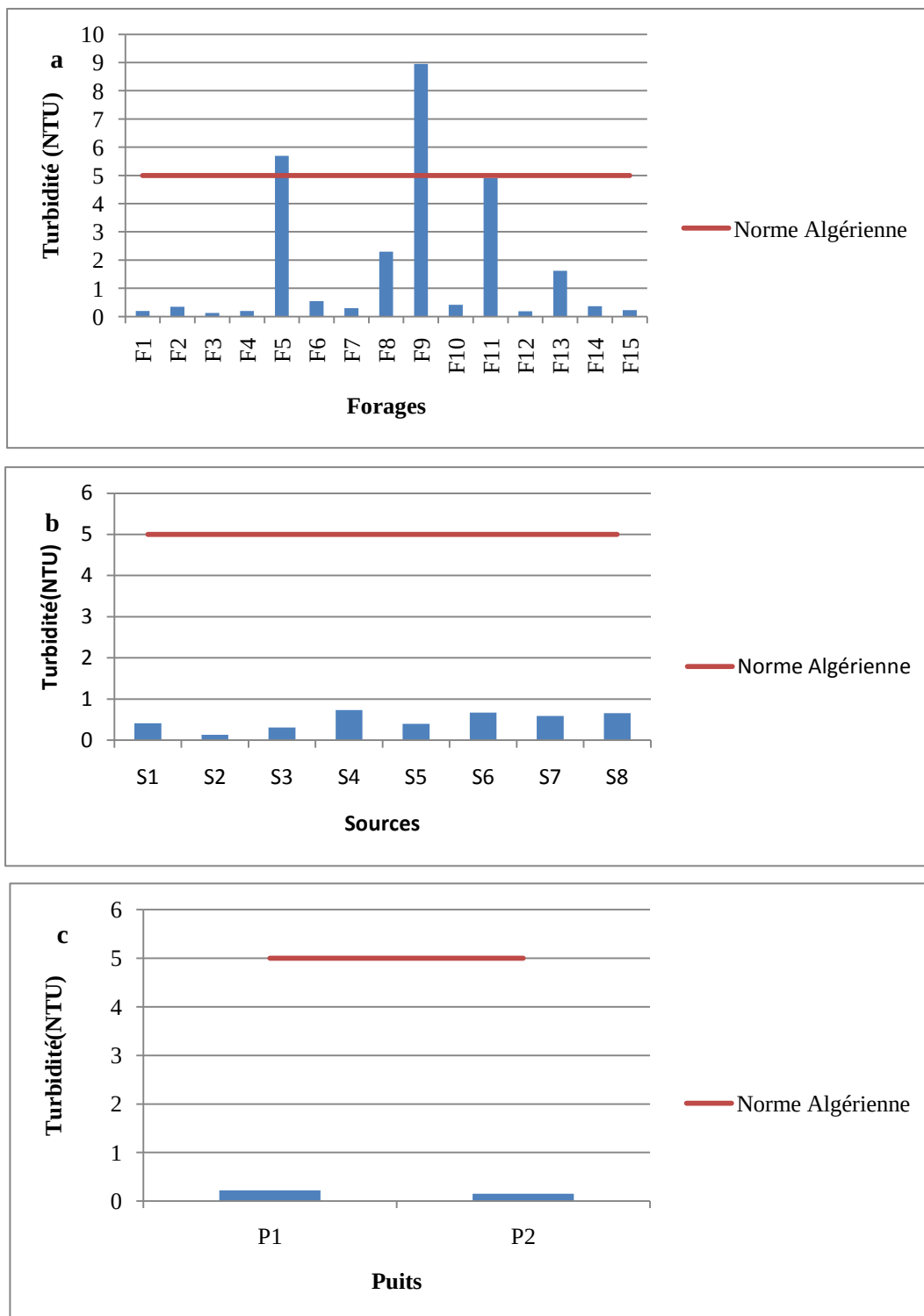


Figure 13: Variation de la turbidité dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

I.5. Dureté

La dureté de l'eau reflète la présence d'ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), et joue un rôle essentiel dans la réduction de la toxicité des métaux lourds dans les systèmes aquatiques. Elle est généralement exprimée en milligrammes de carbonate de calcium par litre (mg/L CaCO_3) (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2005).

Selon les données présentées dans la figure 14, les concentrations de dureté totale varient entre 13,4 mg/L et 138,2 mg/L, et respectent l'ensemble des normes algériennes relatives à l'eau potable (Journal officiel, 2011). Cette variabilité est principalement influencée par la nature lithologique de l'aquifère, notamment par la présence de roches carbonatées ou dolomitiques, riches en calcium et magnésium (Ghazali et Zaid, 2013).

Les valeurs mesurées dans nos échantillons (forages, sources et puits) sont supérieures à celles rapportées par Khelifati et Khelifa (2019) et Slama et al., (2021), mais inférieures à celles enregistrées par Ayad (2017). Cette dispersion pourrait être liée à la diversité géologique des formations traversées et à l'origine géochimique des ions responsables de la dureté.

I.6. Nitrate

Les nitrates (NO_3^-) représentent le stade ultime de l'oxydation de l'azote organique, et leur présence dans une eau polluée indique que le processus d'autoépuration est déjà engagé (Nouayti et al., 2015). Ce paramètre est un indicateur important de la qualité des eaux souterraines, en particulier dans les zones soumises à une pression agricole.

Selon la figure 15, les concentrations mesurées dans les échantillons varient entre 0,297 mg/L et 19,14 mg/L, et restent conformes aux normes algériennes relatives à l'eau destinée à la consommation humaine (Journal Officiel, 2011).

D'après Guettaf (2015), la présence de nitrates dans les eaux souterraines résulte principalement de l'usage excessif d'engrais chimiques, dont le lessivage favorise l'infiltration vers les nappes.

Les résultats obtenus dans cette étude sont inférieurs à ceux rapportés par Ladghem Chikouche et Lebouezda (2022) et Slama et al.(2021), ce qui pourrait indiquer une activité

agricole moins intensive ou une meilleure capacité de filtration naturelle des sols dans les zones étudiées.

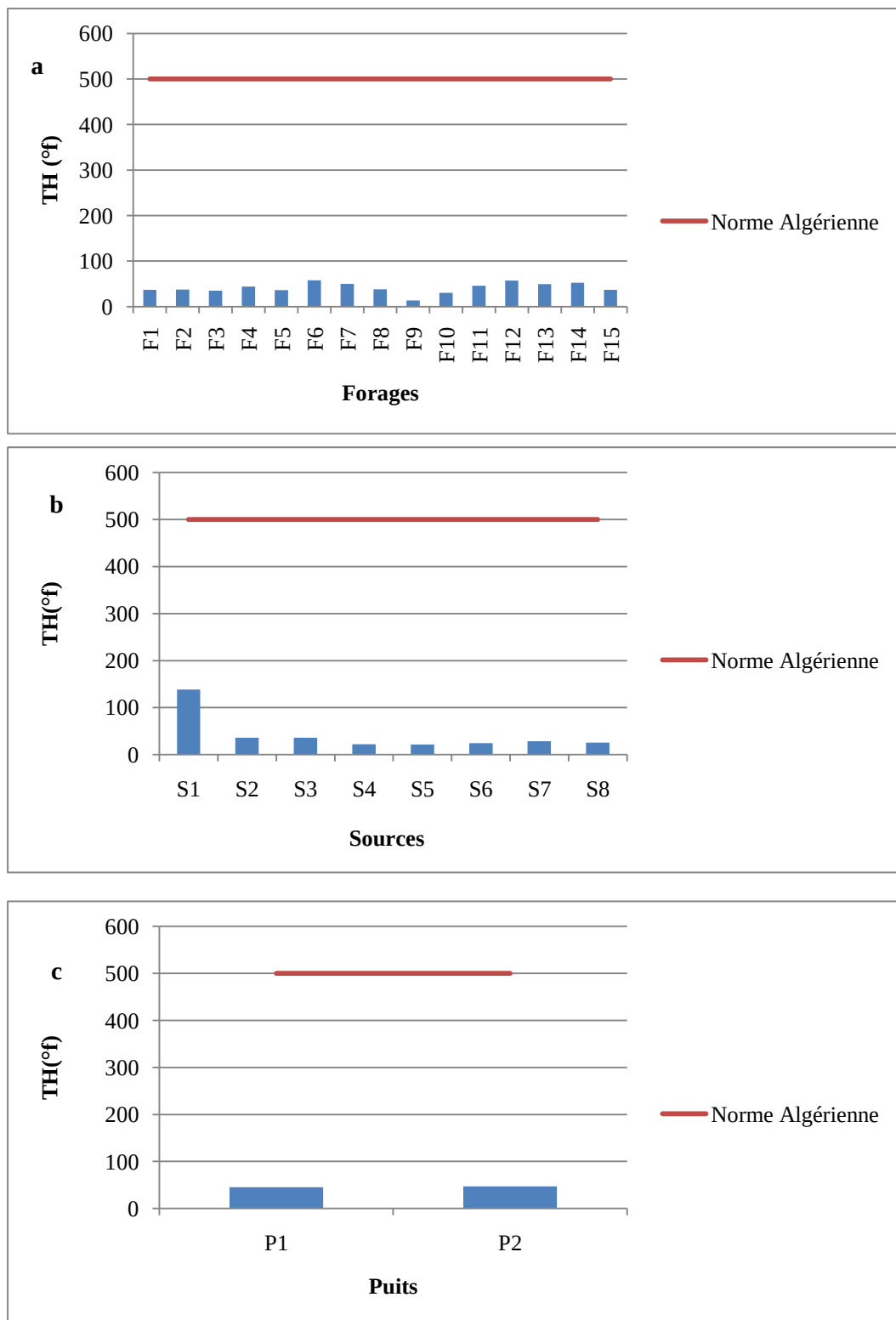


Figure 14: Variation de la dureté dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

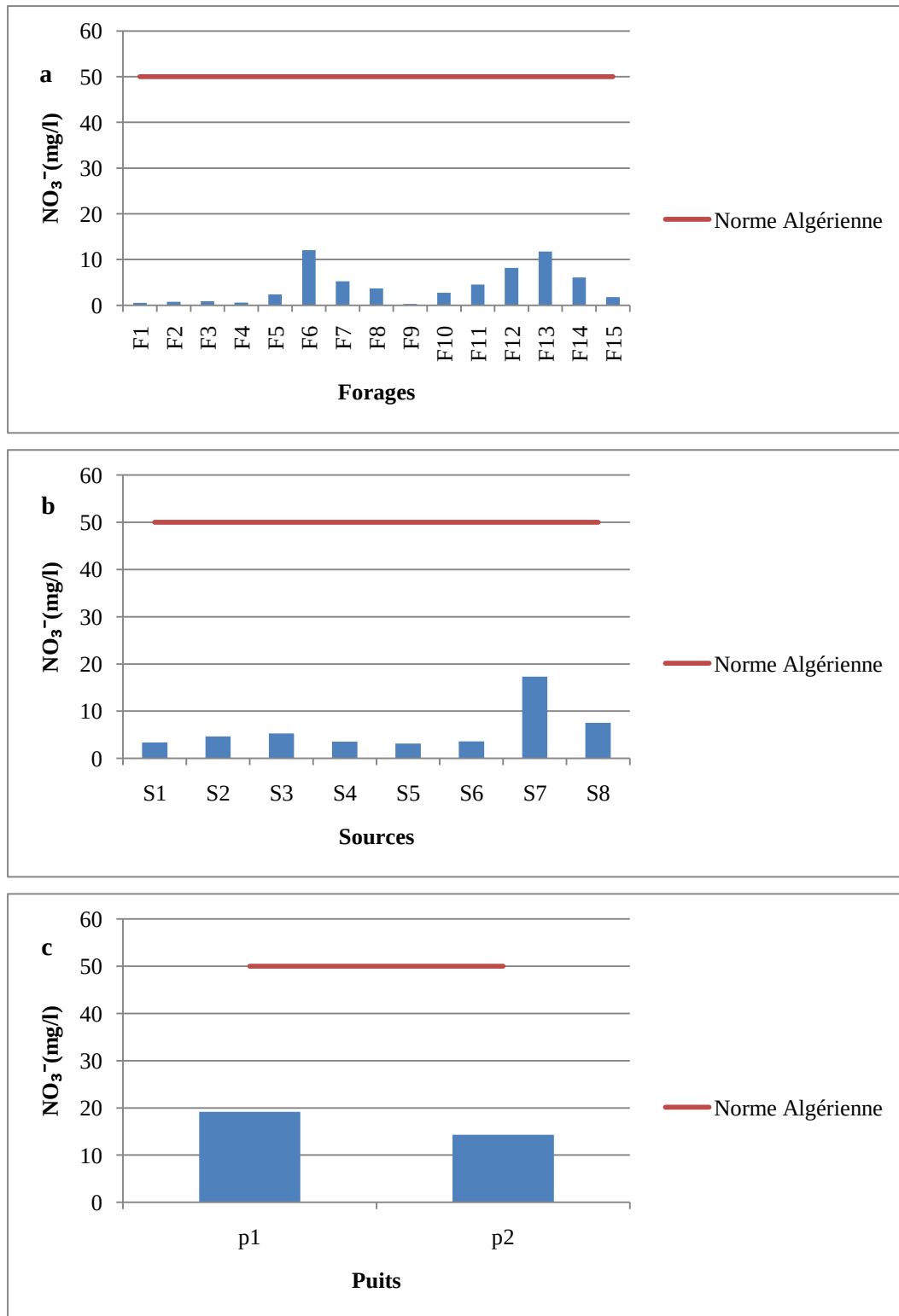


Figure 15: Variation de Nitrate dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

I.7. L'ammonium

L'azote ammoniacal constitue l'une des formes fondamentales de l'azote dans son cycle naturel complexe. Il s'agit d'un gaz soluble dans l'eau, souvent utilisé comme indicateur fiable de la pollution des eaux de surface, en particulier celle causée par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle (Ben Abbou et al., 2014).

Les résultats présentés dans la figure 16 indiquent une faible concentration en ammonium dans la majorité des échantillons, avec des valeurs inférieures à la limite maximale de 0,5 mg/L fixée par la norme algérienne pour l'eau destinée à la consommation humaine (Journale officiel, 2011). Une exception notable est observée au niveau du point F1, qui présente une concentration de 1,6 mg/L. Selon Herairivony *et al.* (2015), la présence d'ammoniac dans les nappes phréatiques résulte généralement de l'infiltration de matières organiques azotées, d'origine naturelle ou anthropique, dans le sol. Les concentrations relevées dans nos échantillons (forages, sources et puits) sont globalement proches de celles rapportées par Abdaoui *et al.* (2022) et Amokrane et Mokhtari (2023).

I.8. Alcalinité

L'alcalinité de l'eau, également appelée Titre Alcalimétrique Complet (T.A.C), correspond à la concentration des ions bicarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). Elle représente la capacité de l'eau à neutraliser les acides, ce qui joue un rôle essentiel dans le maintien de la stabilité du pH. L'alcalinité composite, ou Titre Alcalimétrique (T.A), permet quant à elle de mesurer la teneur en bases libres ainsi que celle des carbonates et hydroxydes alcalins présents dans l'eau (Lebrahimi, 2021).

Dans cette étude, la valeur de la TA s'est révélée nulle dans l'ensemble des échantillons analysés, indiquant l'absence de bases fortes libres. En revanche, les teneurs en TAC varient entre 10 et 32,1 °F, cette dernière constituant la valeur maximale enregistrée au niveau de l'échantillon F15 (fig.17). Selon Ben Abbo et al. (2014), une telle concentration peut être attribuée à une dissolution importante des minéraux carbonatés (comme la calcite), favorisée par le contact direct avec l'atmosphère, la présence éventuelle de sources de gaz naturel, ou encore la dégradation de la matière organique.

Les résultats obtenus dans les échantillons de forages, sources et puits sont globalement comparables à ceux rapportés par Attig et Bernou (2020), ainsi que par El Moustaine et al. (2013), dans des contextes géologiques similaires.

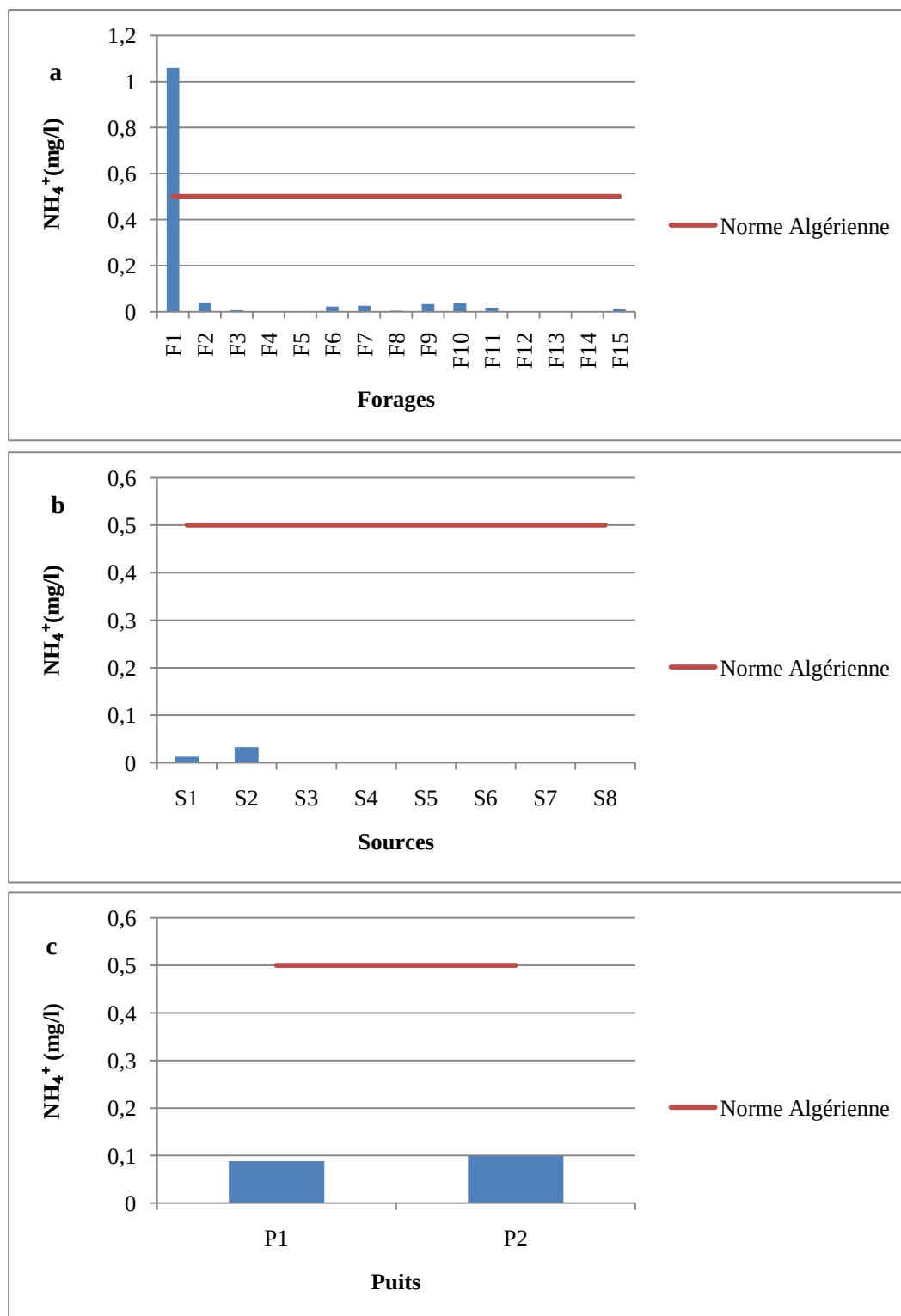


Figure 16: Variation d'Ammonium dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

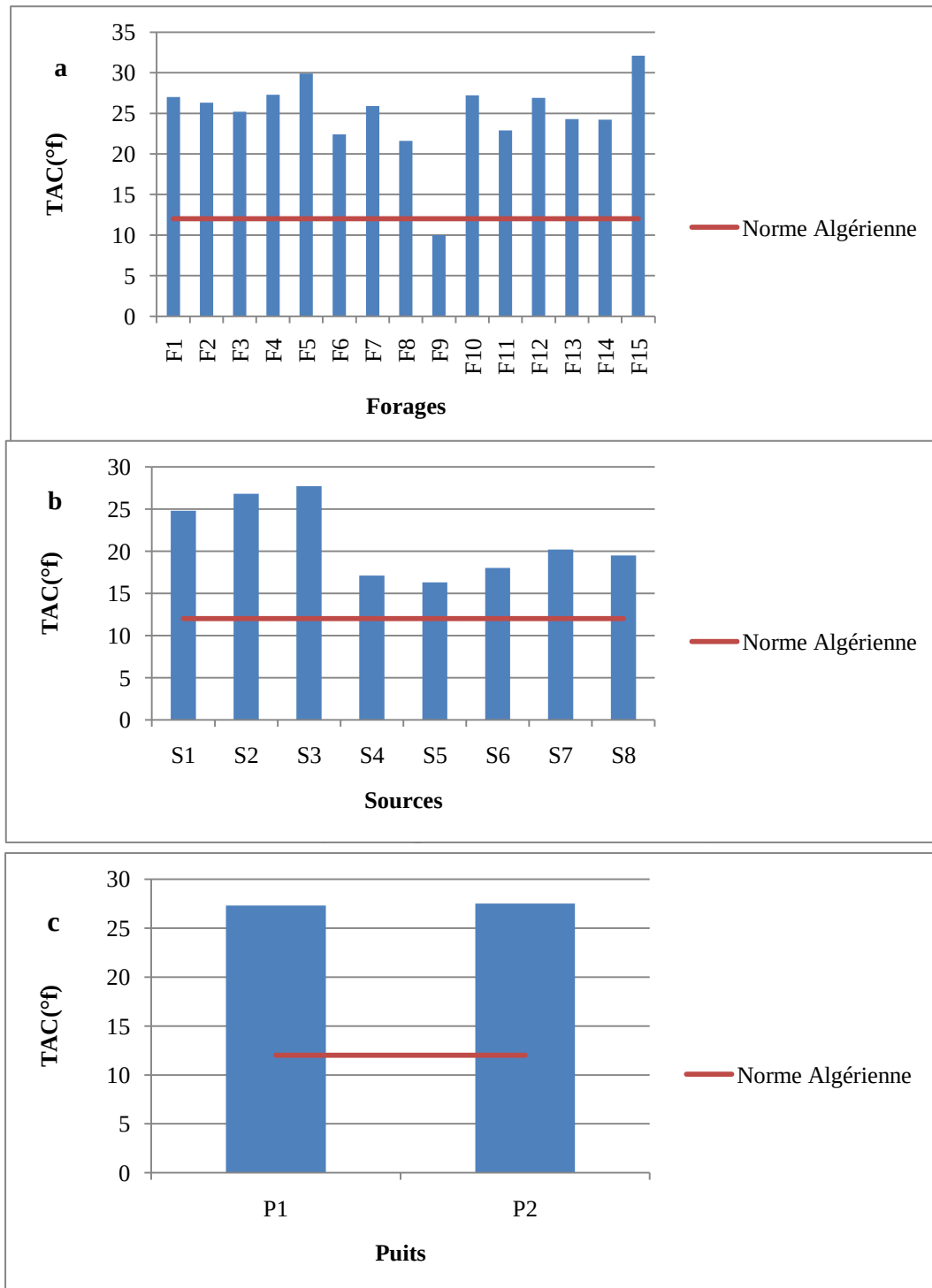


Figure 17: Variation d'Alcalinité dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

I.9. Résidu sec

L'évaluation du résidu sec constitue un indicateur essentiel pour estimer la concentration des matières dissoutes et en suspension dans l'eau. Cependant, lorsque l'analyse est réalisée après filtration, elle ne permet de quantifier que la fraction dissoute (Ziani, 2017).

Les valeurs obtenues pour le résidu sec dans les échantillons analysés sont présentées dans la figure 18. Elles varient entre 212 mg/L et 1388,5 mg/L, et restent conformes aux normes algériennes en vigueur (Journal Officiel, 2011) relatives à l'eau destinée à la consommation humaine. Les concentrations les plus élevées peuvent s'expliquer par l'interaction prolongée entre les eaux souterraines et les formations géologiques traversées, notamment les roches sédimentaires, reconnues pour leur richesse en éléments solubles tels que les sels minéraux (Savary, 2010).

I.10. Salinité

La salinité influence plusieurs propriétés physico-chimiques de l'eau, telles que la densité, la compressibilité, le point de congélation et la température de densité maximale, en fonction de la concentration en sels dissous (Chouafa et Munjovo 2022).

D'après la présentation graphique ci-dessous, les valeurs de salinité enregistrées varient entre 0 et 1,6 mg/L. Il convient de noter que la concentration mesurée au niveau du forage F12 dépasse la valeur guide fixée par la réglementation algérienne (Journal Officiel, 2011), qui est de 1 mg/L.

Les résultats obtenus pour les échantillons issus des forages, sources et puits sont globalement similaires à ceux rapportés par Djetten et Touahri (2016) ; Mehounou et al. (2016) ; Abdaoui *et al.*(2022), traduisant une homogénéité relative des conditions géochimiques dans les milieux étudiés.

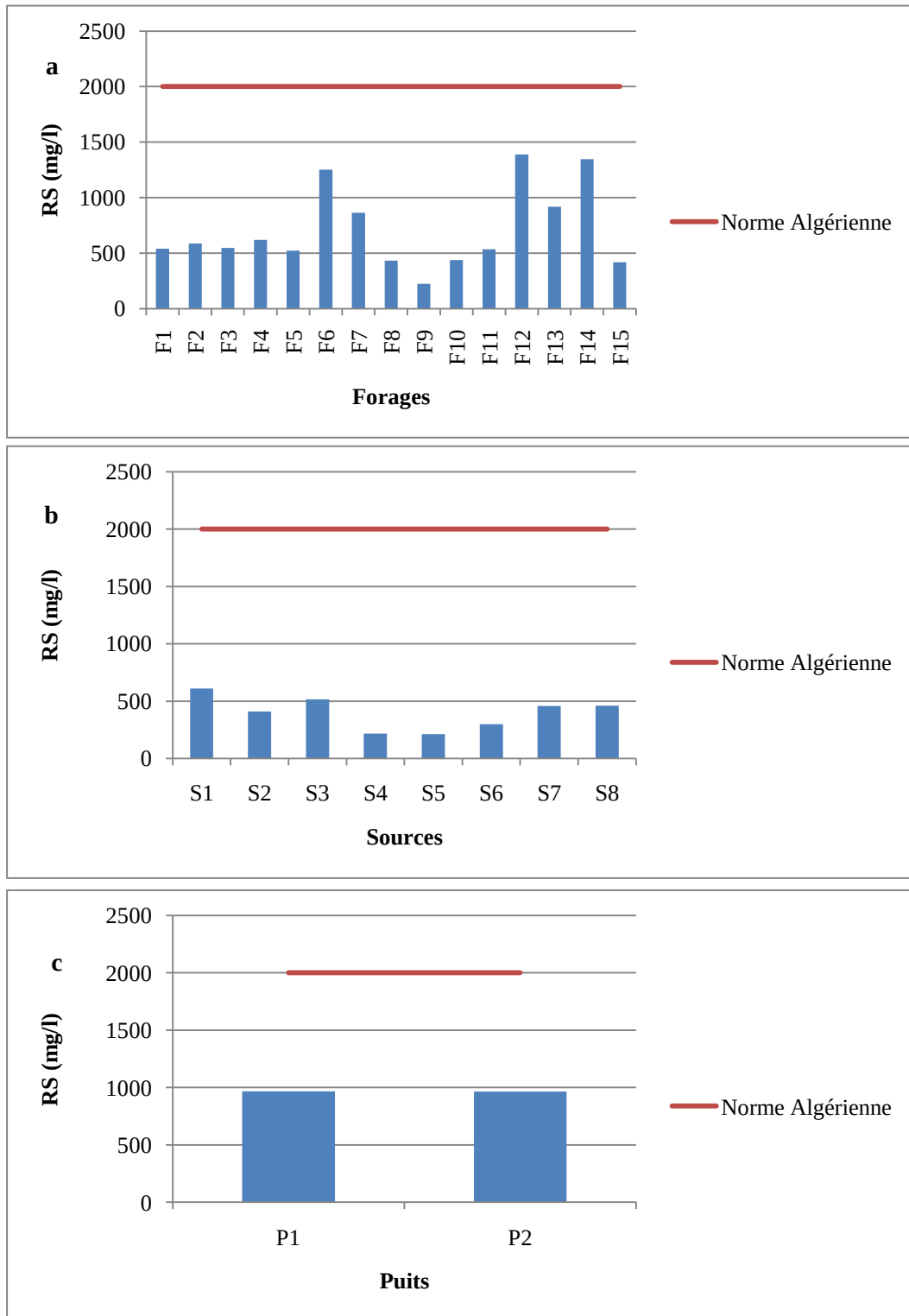


Figure 18: Variation du résidu sec dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

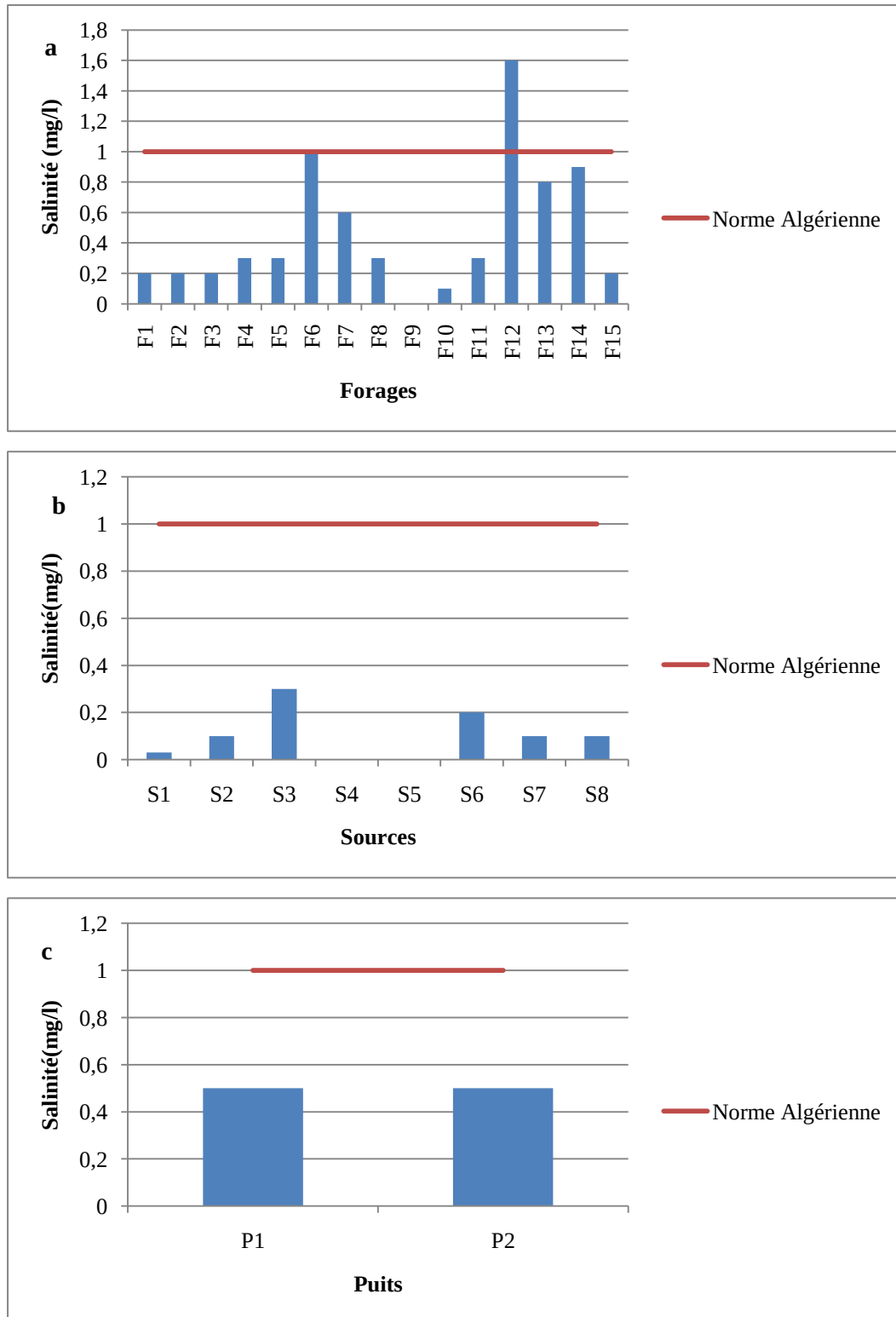


Figure 19: Variation de la salinité dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

II. Résultats de l'analyse bactériologique

II.1. Germes totaux

La présence de ces micro-organismes traduit une contamination bactérienne, et leur quantification constitue un indicateur clé de la qualité hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine. Elle fournit également des informations sur le niveau de vulnérabilité des ressources en eau (Ghodbane et Rehabi, 2021).

D'après les résultats présentés (fig.20), L'ensemble des échantillons montrent des concentrations de germes totaux conformes à la norme OMS fixée à 100 UFC/ml., à l'exception des eaux de forages F10, F12, F13. Ces dépassements témoignent d'une contamination microbiologique significative probablement liée à des infiltrations de matières organiques issues d'activités agricoles voisines. L'usage fréquent de fumier non composté et l'absence de dispositifs de protection autour des ouvrages de captage (forages, puits et sources) peuvent expliquer cette situation (Guessoum et al., 2014).

Ces résultats soulignent la nécessité d'un suivi sanitaire renforcé des points concernés, ainsi que la mise en œuvre de mesures de prévention pour limiter les risques de contamination.

II.2. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont couramment utilisés comme indicateurs de la qualité microbiologique de l'eau, car leur présence peut refléter, même de manière indirecte, une contamination d'origine fécale ou environnementale (Hamed et al., 2012). Leur détection dans les eaux destinées à la consommation humaine signale un risque potentiel de présence de micro-organismes pathogènes.

Les résultats présentés dans la figure 21 indiquent que la majorité des échantillons analysés présentent des concentrations en coliformes totaux supérieures à la norme de l'OMS (2011), qui fixe un seuil maximal à 10 UFC/100 mL pour les eaux destinées à la consommation. Selon L'absence ou l'insuffisance de structures de protection (telles que margelles, couvercles hermétiques ou clôtures de périmètre) favorise l'infiltration rapide des polluants microbiens, notamment après les précipitations.

Par ailleurs, des facteurs tels que le mauvais entretien des forages et des puits, la proximité de zones agricoles non réglementées, et le défaut d'assainissement liquide, peuvent également contribuer à la présence persistante de coliformes totaux dans les eaux souterraines.

Comparativement, les concentrations mesurées dans les forages, sources et puits de cette étude sont supérieures à celles rapportées par Soncy et al.(2015) ainsi que par Bouteffas et Benoughidene (2016), mais restent inférieures à celles observées par Tchoumou et al.(2024), soulignant une situation intermédiaire mais préoccupante en matière de qualité microbiologique.

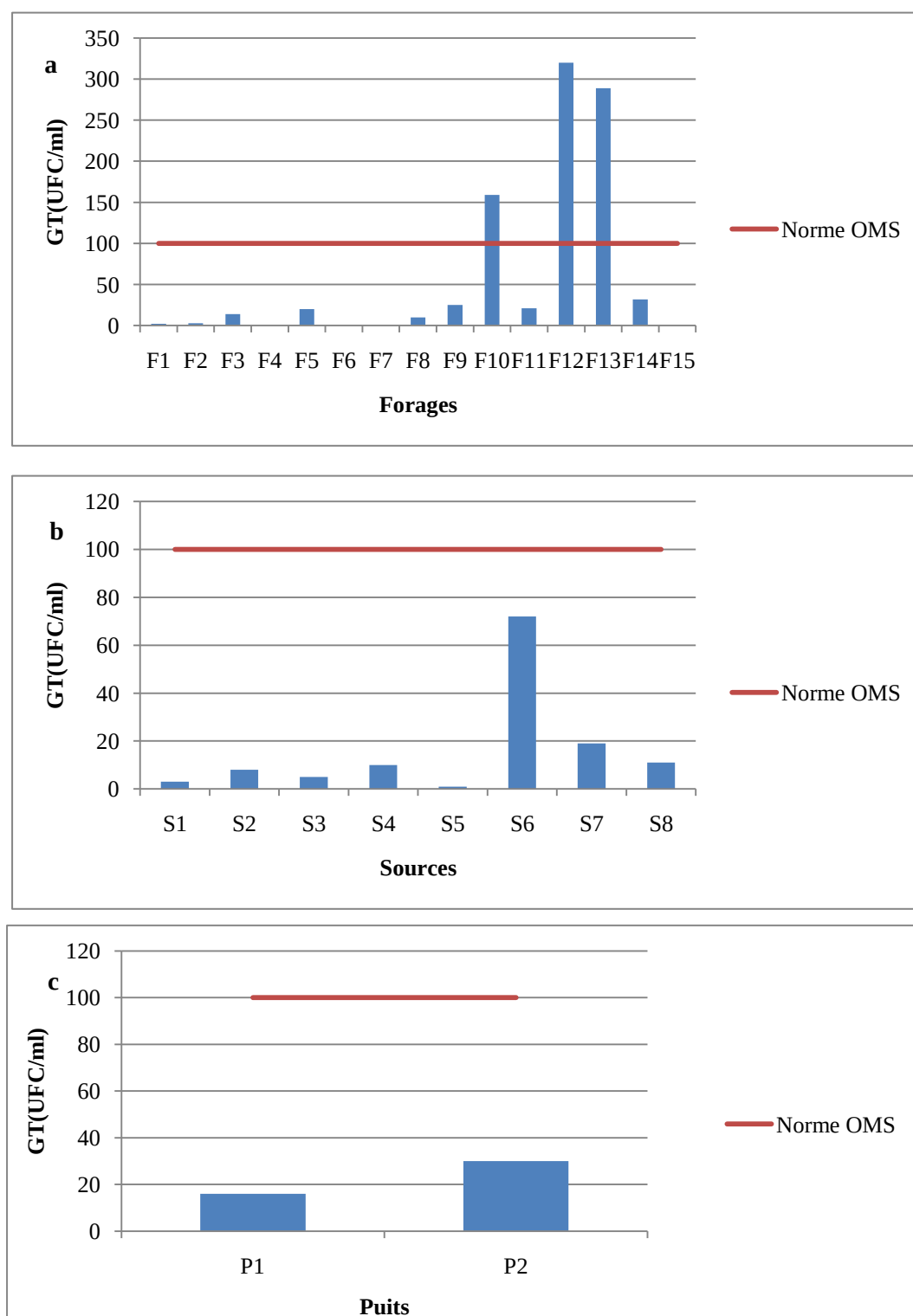


Figure 20: Variation des germes totaux dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

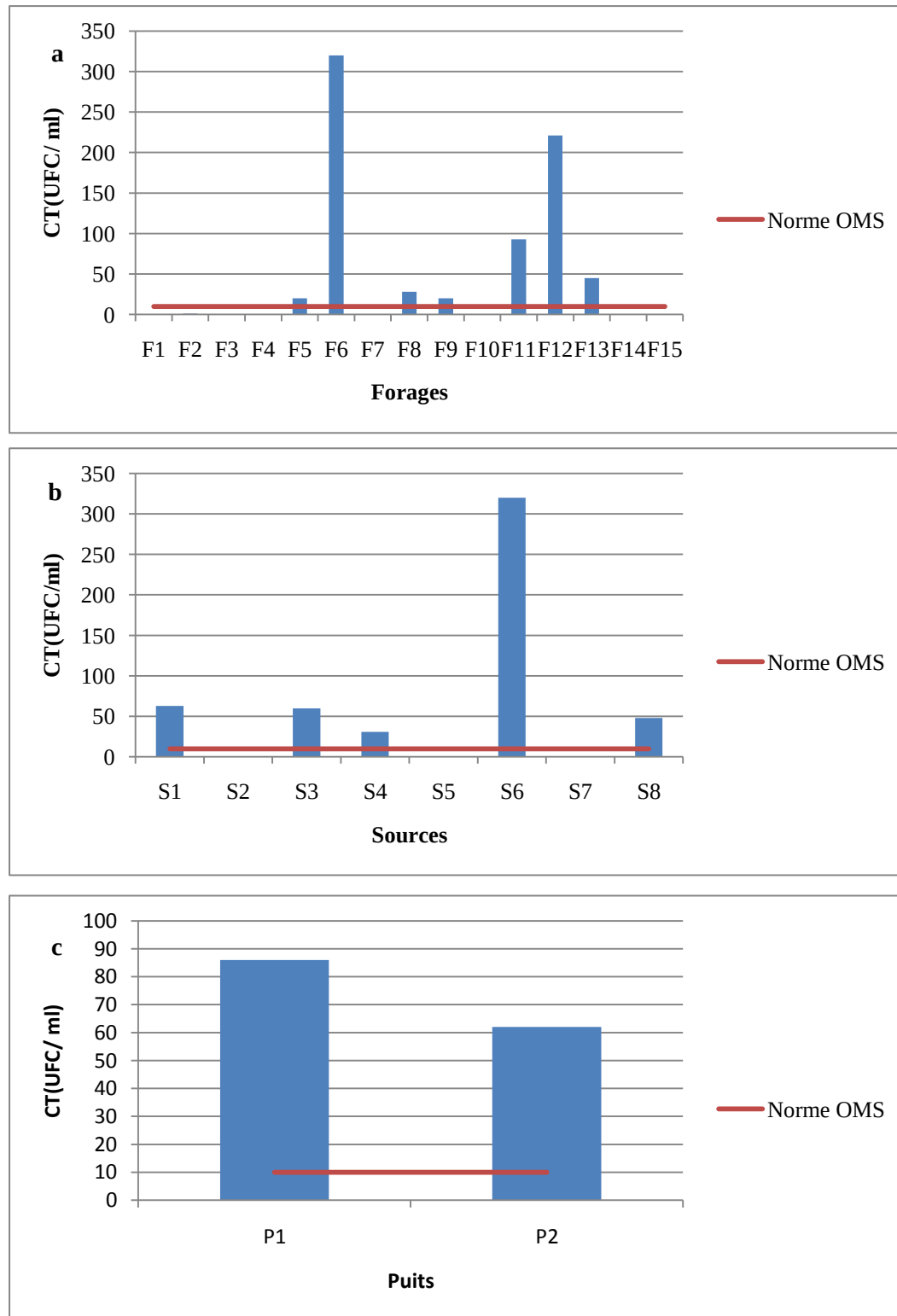


Figure 21: Variation des coliformes totaux dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a :Forages ; b : Sources ; c : Puits)

II.3. Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont des indicateurs microbiologiques fiables permettant de détecter une contamination d'origine fécale dans l'eau. Leur présence signale un risque potentiel de pollution d'origine humaine ou animale et suggère la possible présence d'agents pathogènes tels que des bactéries, virus ou parasites, représentant un danger pour la santé publique (Metna, 2023).

Selon la présentation graphique ci-dessous, les concentrations en coliformes fécaux respectent les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2011), qui exigent une absence totale de ces micro-organismes dans l'eau potable, dans la majorité des forages et sources. Toutefois, des contaminations ont été enregistrées au niveau des forages F6, F8, F11 et F12, ainsi que des sources S6 et S8. En ce qui concerne les puits, les deux sites analysés présentent une contamination avérée.

La présence marquée de coliformes fécaux dans ces points de prélèvement peut s'expliquer par plusieurs facteurs : une protection inadéquate des ouvrages de captage, l'absence de zones tampons sanitaires, la proximité de fosses septiques, de latrines ou de décharges animales, ainsi qu'un manque de sensibilisation aux bonnes pratiques d'hygiène. Ces conditions favorisent l'infiltration des eaux usées domestiques ou agricoles vers les nappes souterraines, en particulier dans les zones à sol perméable ou lors de précipitations intenses (Ben Hida et al., 2012).

Les concentrations relevées dans notre étude pour les forages, sources et puits sont supérieures à celles rapportées dans les travaux d'Aggoune et Bouchemel (2019), Abda (2015) et Belghiti et al. (2013), ce qui témoigne d'une vulnérabilité accrue des ressources en eau dans la zone étudiée.

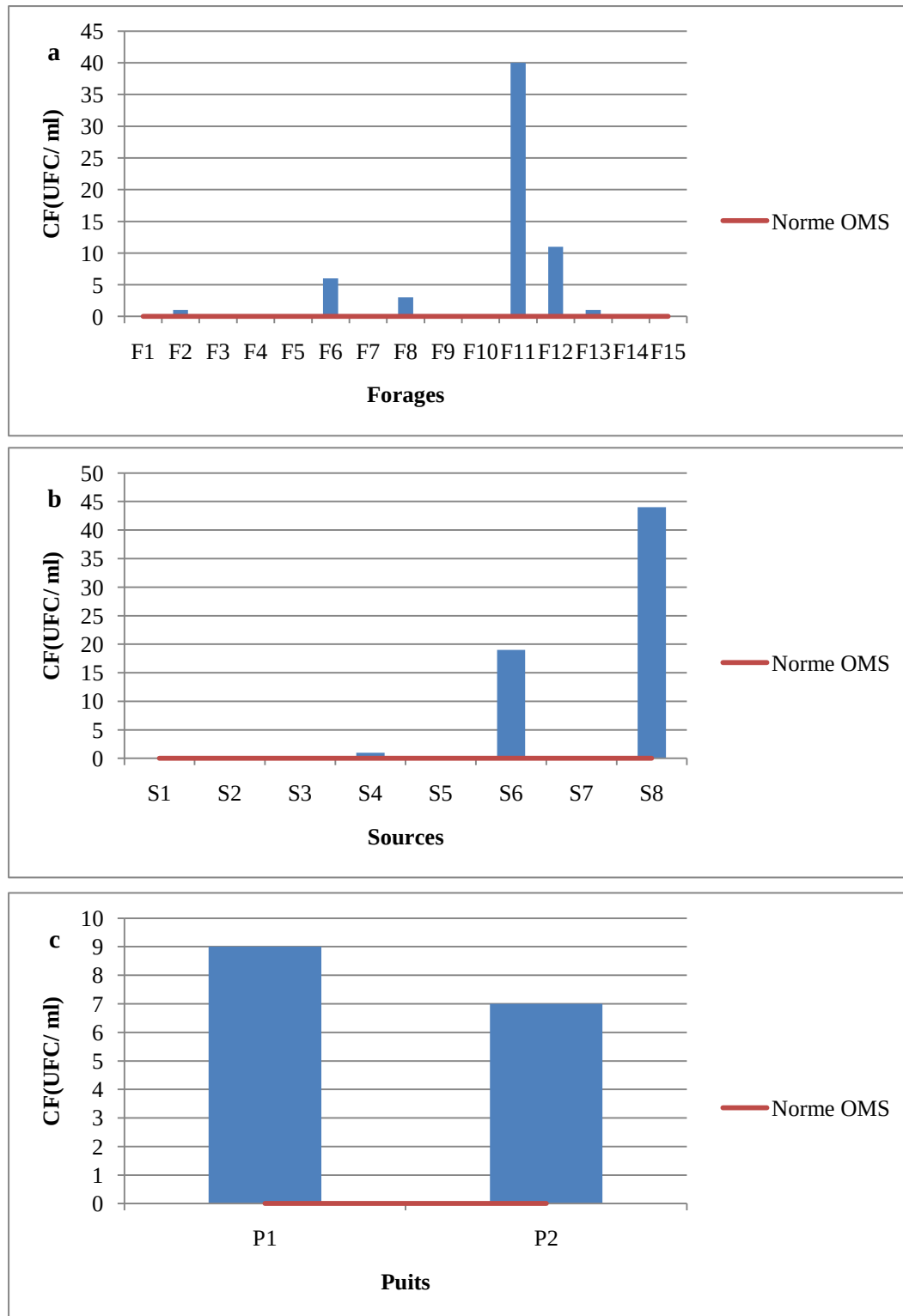


Figure 22: Variation des coliformes fécaux dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits)

II.4. Streptocoques fécaux

Le streptocoque fécal est une bactérie considérée comme un indicateur spécifique de contamination fécale de l'eau, en raison de sa présence naturelle dans le tube digestif des humains et des animaux à sang chaud (Djeghdjogh, 2014). Contrairement aux coliformes, il offre une meilleure résistance dans les milieux aquatiques, ce qui le rend particulièrement utile pour évaluer une pollution fécale ancienne ou persistante.

Les résultats obtenus (fig.23) montrent que sur un total de 25 échantillons analysés, 9 présentent des concentrations dépassant la norme OMS (2011), qui exige une absence totale de streptocoques fécaux dans les eaux destinées à la consommation humaine.

Selon les travaux de Youmbi et al. (2013), la présence élevée de streptocoques fécaux dans les eaux souterraines est souvent liée à l'infiltration de matières fécales issues de latrines rudimentaires, mal isolées, ou situées à proximité des ouvrages de captage. Ce type de pollution peut également être accentué par des conditions d'assainissement déficientes, en particulier dans les zones rurales.

Comparativement, les concentrations mesurées dans les forages de notre étude sont supérieures à celles rapportées par Soncy et al. (2015), tandis que celles relevées dans les puits sont inférieures. Les sources, quant à elles, présentent des concentrations plus faibles que celles mentionnées par Ben Moussa et al. (2011), ce qui suggère un niveau de contamination plus modéré, mais non négligeable.

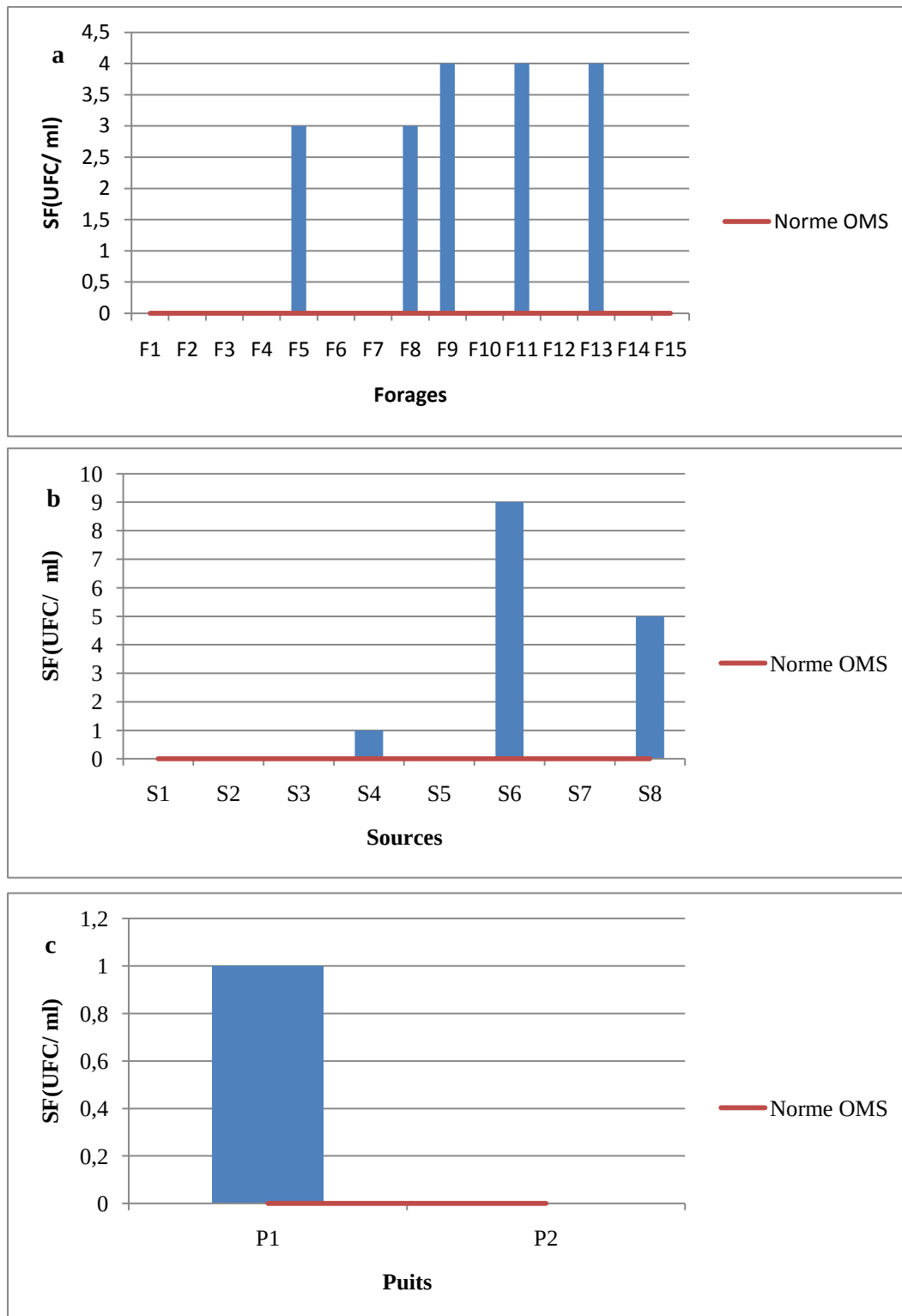


Figure 23: Variation des streptocoques fécaux dans les eaux de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits).

II.5. Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

Les anaérobies sulfito-réducteurs sont des micro-organismes capables de former des spores résistantes, leur permettant de survivre pendant de longues périodes dans l'eau, même en conditions défavorables. En raison de cette capacité, leur présence est considérée comme un indicateur de pollution ancienne. De plus, leur résistance supérieure à celle des coliformes face aux désinfectants en fait un bon marqueur de l'efficacité des traitements de potabilisation (Hamed et al., 2012).

Les résultats de l'analyse montrent une absence totale de ces bactéries dans la majorité des échantillons d'eau. Toutefois, quelques sites, notamment les forages F5, F9, F13 (fig.24) ainsi que la source S6, présentent des concentrations dépassant la norme fixée par l'OMS (2011).

Selon Yapo et al. (2023), la présence d'anaérobies sulfito-réducteurs est généralement liée à une pollution environnementale persistante, souvent aggravée par l'absence de systèmes d'assainissement adéquats. Ces bactéries sont donc considérées comme un indicateur fiable de la présence potentielle de micro-organismes pathogènes d'origine hydrique, notamment dans les eaux souterraines vulnérables.

Les concentrations mesurées dans les forages et puits concordent avec les données publiées par Gnazou et al. (2015), tandis que celles enregistrées dans les sources sont inférieures à celles rapportées par Ben Moussa et al. (2011), indiquant une variabilité de la contamination en fonction du type de captage.

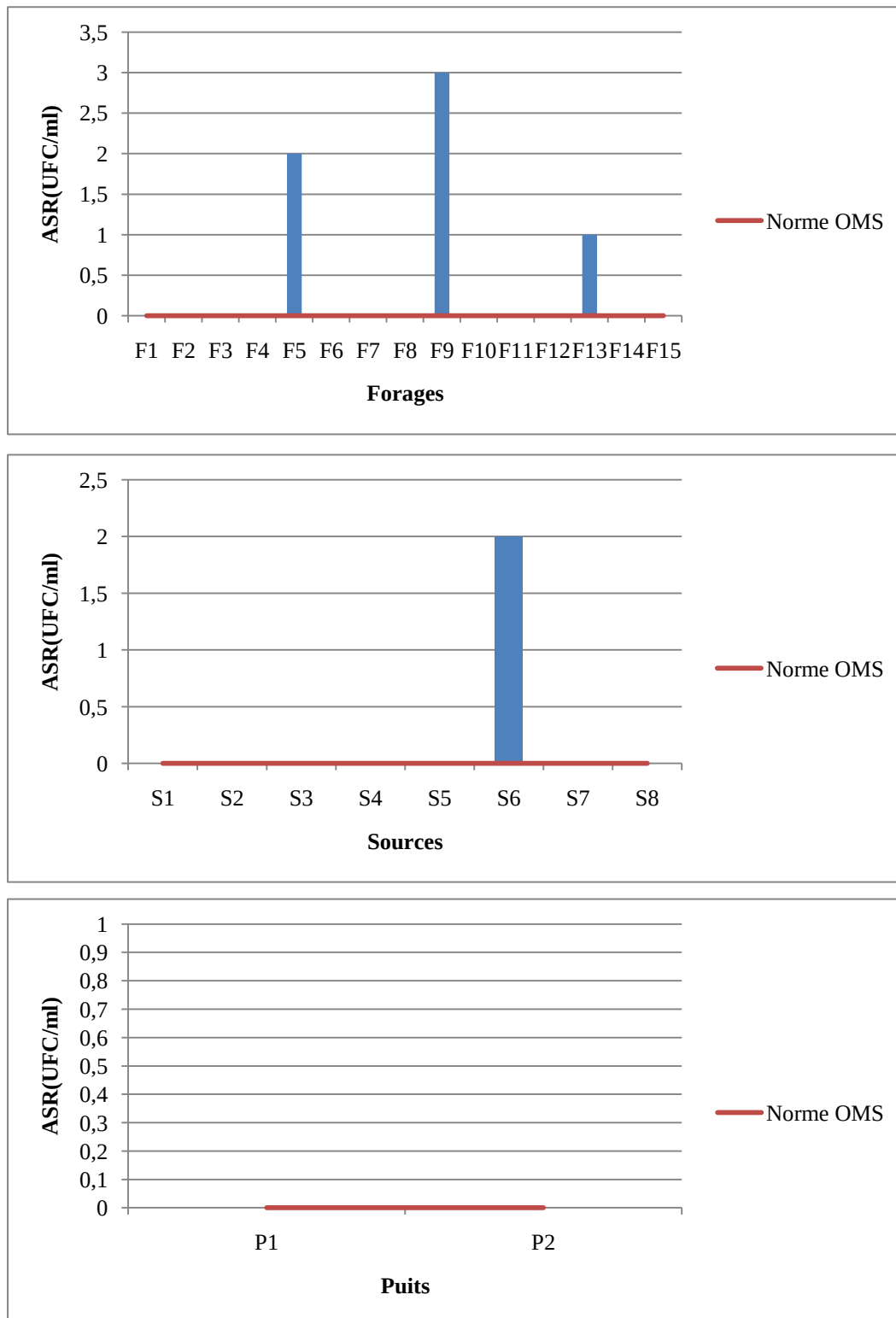


Figure 24: Variation des anaérobies sulfito-réducteurs dans les eaux de consommation de la wilaya de Guelma (a : Forages ; b : Sources ; c : Puits).

Conclusion et perspectives

Cette étude a été menée dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines utilisées à des fins de consommation ou d'usage domestique dans la wilaya de Guelma. Pour ce faire, un total de 25 points d'eau a été analysé, comprenant 15 forages, 8 sources naturelles et 2 puits, répartis dans différentes communes représentatives de la région.

Les analyses physico-chimiques ont permis d'évaluer des paramètres essentiels tels que la température, le pH, la conductivité, la salinité, la turbidité, ainsi que les concentrations en ions majeurs (ammonium, nitrate, etc.). De manière générale, les résultats obtenus révèlent que :

- Les températures mesurées ainsi que les valeurs du pH se situent dans les plages recommandées.
- La conductivité électrique est restée, pour l'ensemble des échantillons analysés, dans les limites fixées par la réglementation.
- Les eaux présentent une forte minéralisation, avec un résidu sec allant de 212,2 à 1388,5 mg/l. Seul le nouveau forage d'Aïn Brines se distingue par une turbidité supérieure à la norme algérienne (5 NTU).
- La majorité des échantillons sont considérés comme très durs, atteignant une dureté maximale de 138,2 °F.
- Les concentrations en ammonium (NH_4^+) et en nitrate (NO_3^-) relevées dans les échantillons analysés sont très faibles, ce qui constitue un indicateur favorable de la qualité chimique de l'eau. De faibles teneurs en ces composés azotés suggèrent une absence ou une très faible présence de pollution d'origine agricole (engrais azotés), domestique (eaux usées), ou industrielle.

Sur le plan bactériologique, les analyses révèlent que la plupart des échantillons présentent une qualité satisfaisante. Toutefois, quelques points d'eau notamment le nouveau forage de Ben Djerrah, la source d'Aïn Brunes, le forage d'Oravie et Guelta Zarga affichent une contamination bactériologique notable, marquée par des charges importantes de Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et de bactéries ASR dépassant les seuils autorisés.

À la lumière de ces résultats, les recommandations suivantes sont proposées en vue d'une meilleure gestion et préservation des eaux souterraines :

Conclusion et perspectives

- Renforcer la sensibilisation des populations aux risques liés à la consommation d'eau contaminée et aux maladies hydriques transmises ;
- Améliorer les systèmes d'assainissement, en particulier dans les zones rurales ;
- Mettre en place une surveillance régulière de la qualité des eaux, tant sur le plan physico-chimique que microbiologique ;

En perspective, il serait judicieux de :

- Analyser en détail la composition minérale de ces eaux (teneurs en calcium, magnésium, potassium, sodium, etc.) pour évaluer leur impact potentiel sur la santé humaine ;
- Étendre la recherche microbiologique à d'autres groupes de micro-organismes, notamment les champignons microscopiques, les protozoaires et certains parasites hydriques ;
- Contrôler la présence de polluants chimiques émergents tels que les métaux lourds (plomb, cadmium, arsenic, mercure) et les résidus de produits phytosanitaires ou pharmaceutiques, souvent retrouvés dans les zones à forte activité agricole ou urbaine ;
- Prolonger la durée de l'étude pour inclure une surveillance sur plusieurs saisons, ce qui permettrait de mieux comprendre les variations spatio-temporelles de la qualité de l'eau en fonction des conditions climatiques, des usages anthropiques et des phénomènes naturels (infiltrations, ruissellements, etc.) ;

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abda A., 2015. Traitement des eaux de surface et les risques génotoxiques des sous-produits sa chloration. Thèse de doctorat. Université 08 Mai 1945, Guelma.

Abdaoui A .,Ayache M., Guessoum R. 2022. Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages (Wilaya de Guelma). Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 , Guelma.

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.

Aissaoui M., Benhamza M., Guettaf M. 2017. Caractéristiques hydrochimiques des eaux de l'oued Seybouse – Cas de la région de Guelma (Nord est Algérien) [Hydro chemical characteristics of the Seybouse river – Case study of the Guelma region Northeast of Algeria]. Revue des Sciences et de la Technologie, Synthèse, 35, 178–186.

Amlan P. G., Chouti W. K., Dedjiho C. A., Fangnon K. R., Chitou N. E. 2023. Évaluation de la pollution chimique des eaux par les éléments traces métalliques (ETM) : cas de la rivière Mekrou (nord-ouest Bénin). Journal of Applied Biosciences, 192, 20331–20346.

Amokrane N., Mokhtari A. 2023. Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau de source Tizi Tghidet au niveau de la commune de Yakourene dans la région de Tizi-Ouzou .Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

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.

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.

Ayad W. 2017. Évaluation 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.

Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R. 2013. Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe Plio-Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). Larhyss Journal, (14), 21–36.

Belhadj M. 2017. L'eau et la santé humaine : un enjeu vital .Mémoire de Master.Université d'Alger.

Ben Abbou M., El Haji M., Zenzami M., Bougarne L., Fadil F. 2014. Degradation of water quality in the alluvial aquifer of Wadi Larbaa by waste from the city of Taza (Morocco). International Journal of Innovation and Scientific Research, 10(2), 282–294.

Ben Hida A., Merzouki M., Aboukacem A., Moumn M. 2012. Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de certains puits de la ville de Meknès, Maroc. Revue Agrobiologia, 2, 57–66.

Ben Moussa A., Chahlaoui A., Rour E. H. 2011. Qualité de la source Ain Hamma et effet du déversement de ses eaux sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued Khoumane, Maroc. Afrique Science, 07(2), 115–130.

Bensalah Y., Benzitoun 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.

Bouchemal F. 2017. Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra: Hydraulique. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider, Biskra.

Bouderka N., Souid A. K., Lakhili F., Lahrach A., Benabdelhadi M. 2016. Évaluation de l'impact de la pollution agricole sur la qualité des eaux souterraines de la nappe du Gharb. European Scientific Journal, 12(11), 509–526.

Boumalek W .2020. Etudes des possibilités de valorisation agricole des sous-produits d'épuration et l'amélioration de la gestion des processus épuratoires d'une station d'épuration .Thèse de doctorat. Ecole Nationale Polytechnique.

Bounab A. 2017. La problématique de l'eau en Algérie : entre rareté et mauvaise gouvernance. Revue des Sciences Sociales et Humaines, Université de Constantine.

Bouteffas W., Benoughidene S. 2016. Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de quatre sources d'eau dans le bassin de Guelma. Mémoire de master. Université 8 Mai 1945, Guelma.

Chouafa N., Munjovo G. M. 2022. Analyse de la qualité de l'eau potable distribuée à Guelma. Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 ,Guelma.

Cuniasse B., Glass T. 2020. Rapport Secten édition 2020: Emissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France-Métaux lourds. CITEPA.

Djeghdjagh F. 2014. Les analyses de la qualité de l'eau potable dans la ville d'Ourlal .Mémoire de master. Université Mohamed Khider ,Biskra.

Djetten A., Touahri I. 2016. Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de source Ras El Ma et Héliopolis (Wilaya de Guelma). Mémoire de master. Université 08 Mai 1945, Guelma.

El Attaoui Z ., Sossi F. Z. A.,El Khatori Y. 2023. La gestion des risques menaçant la qualité de l'eau: application du PGSSE et la méthode HACCP. In SHS Web of Conferences EDP Sciences.

El Moustaine R., Chahlaoui A., Rour E. H., Bengoumi D., Belghiti M. I. 2013. Étude de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de certains puits et sources par l'utilisation d'une analyse en composantes principales (ACP): Une étude de cas de la région de Meknès (MAROC). Les Technologies de Laboratoire, 8(33), 112–119.

Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P. Tricard D. 2003. Qualité de l'eau. In Environnement et santé publique-Fondement et pratiques •

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

Ghodbane S., Rehabi Y. 2021. Analyse en amont et en aval de l'eau de la station de traitement du barrage Hammam Debagh-Guelma .Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945, Guelma.

Gnazou M. D. T., Assogba K., Sabi B. E., Bawa L. M. 2015. Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux utilisées dans les écoles de la préfecture de Zio (Togo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(1), 504–516.

Guemmaz F. 2023. Impact de la réutilisation des eaux usées brutes de la ville de Biskra sur l'homme et l'environnement. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas , Sétif

Guessoum H., Benbrahim F., Halliat M. T., Laouar F., Bensalama M., Darem S. 2014. Caractérisation microbiologique des eaux de la nappe phréatique de la région de Ghardaïa (cas de Sebseb). *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 1(1), 18–27.

Guettaf M. 2015. Caractérisation hydrochimique et évaluation des indicateurs de pollution dans l'environnement : cas de l'oued Seybouse et ses affluents dans le sousbassin de Guelma (Nord-Est Algérien). thèse de doctorat. Université 08 mai 1945, Guelma.

Hamed M., Guettache A., Bouamer L. 2012. Étude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF-TORBA Bechar .Mémoire de diplôme d'ingénieur d'État en biologie. Université de Bechar.

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

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. 2005. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : Cadre général. Observatoire des Données de l'Environnement.

ISO 6059.1984. Qualité de l'eau — Dosage de la somme du calcium et du magnésium - Méthode titrimétrique à l'EDTA.

ISO 7890-3.1988. Qualité de l'eau — Dosage des nitrates- Partie 3: Méthode

ISO 9197.1994. Détermination de résidus secs.

ISO 9308-1.2000. Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes – Partie 1 : méthode générale par filtration sur membranes

ISO 9963.1994. Qualité de l'eau — Détermination de l'alcalinité.

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.

Ladghem Chikouche A.,Lebouezda B. 2022. Caractérisation physico-chimique des eaux des puits et des forages de la région de Boussada .Mémoire de master. Université Mohamed Boudiaf, M'Sila.

Lebrahimi H. 2021. Fluor dans les eaux souterraines de la région de Khouribga : Effet et traitement .Thèse de doctorat. Université Mohammed V, Rabat, Maroc.

Mehounou J. P., Josse R. G., Dossou-Yovo P., Senou S. F., Toklo R. M. 2016. Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production cotonnière d'Aplahoué. Journal of Applied Biosciences, 103, 9841–9853.

Merouani M., Bouguedah A. E. B. 2013. Étude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla .Mémoire de master. Université Kasdi Merbah ,Ouargla.

Metna F. 2023. Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Adardar sur deux périodes d'échantillonnage au niveau de la commune de Bouzeguène dans la région de tizi-ouzou.memoire de master.université mouloud Mammeri de tizi-ouzou.

Nascimento A. 2015. Surveillance de la qualité de l'eau potable à la société REDAL. Mémoire de licence, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc.

Nechad I., Fadil K., Fadil F. 2014. Qualité physico-chimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain sidi Bouali dans la région de Séfrou (Moyen Atlas, Maroc). Mémoire de master. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

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 revivifiants. Comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé.

Norme NF T 90-415. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfitoréducteurs. Méthode générale par incorporation en gélose en

Nouayti N., Khattach D., Hilali M. 2015. Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco). Journal of Materials and Environmental Science, 6(4), 1068–1081.

Observatoire du Sahara et du Sahel. 2008. Système aquifère du Sahara septentrional (Algérie, Tunisie, Libye) : gestion concertée d'un bassin transfrontalier (Collection Synthèse n° 1). OSS.Observatoire du Sahara et du Sahel. (2008).

Raham F. Z., Kouloughli.R. 2018. Évaluation de la qualité des eaux souterraines d'Ouled Rahmoun .Mémoire de Master.Université des Frères Mentouri , Constantine.

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

Rodier, J., Legube, B et Merlet, N. 2009. L'analyse de l'eau (9^e éd). Malakoff, France: Dunod.

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

Slama I .,Himri A. E. H., Rahdoun K. 2021. Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau des sources de la région de Guelma .Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 ,Guelma.

Soncy K., Djeri B., Anani K., Eklou-Lawson M., Adjrah Y., Karou D. S., Ameyapoh Y., de Souza, C. 2015. Évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo. Journal of Applied Biosciences, 91, 8464–8469.

spectrométrie avec l'acide sulfosalicylique.

Tchoumou M., Louzayadio Mvouezolo R. F., Malera Kombo M. A., Moussoki Nsona P., Ouamba J.-M. 2024. Évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits consommées dans le quartier Kombé à Brazzaville. European Scientific Journal, ESJ, 20(12), 82.

Touati M., Benhamza M., Bouhafs F. 2018. Impact de la pollution agricole sur la qualité des eaux souterraines dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheougouf (Nord Est Algérien). Revue des Sciences et Technologies, Synthèse, 37, 103–112.

Yahyaoui W. 2024. Étude de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau potable .Mémoire de Master. Université Belhadj Bouchaib , Ain Temouchent.

Yapo T. W., Kpaibe S. A. P., Kouassi A. T., Meless D. F., Gbagbo T. A. G., Amin, N. C. I. 2023. Assessment of the quality of water for recreational use: Case of the waters of the Agneby River (Agboville, Ivory Coast). Journal of Research in Environmental and Earth Sciences, 9(6), 1–7.

Youmbi J. C. T., Feumba R., Njitat V. T., de Marsily G., Ekodeck G. E. 2013. Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun [Water pollution and health risks at Yaoundé, Cameroon]. Comptes Rendus Biologies, 336(6–7), 310–316.

Ziani D. 2017. Quantification de la pollution anthropique des eaux souterraines de l'aquifère de Ain Djasser. Thèse de doctorat. Université Ben Boulaïd, Batna.

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: ammoniacale 34%.

Dosage d'ammonium

1. Réactifs

*** Eau exempte d'ammonium**

*** Réactif coloré (réactif 1):** 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 1 h 30 min						
[NH4] en mg/l	0	0.002	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 OH.....400 g.

Tartrate de sodium et de potassium.....60 g.

Eau distillée.....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 anhydre... ..0.722 g.

Eau distillée1000 ml.

Chloroforme..... 1 ml.

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

2. Courbe d'étalonnage

N° 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

Annexe 2

I - Mode de préparation de certaines solutions biologiques

***Milieu slanetz**

Eau distillée.....	1 L
Peptone.....	20 g
Extrait de levure	5 g
Glucose.....	2 g
K ₂ HPO ₄	4 g
Acide 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.....	1 L

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 ammoniac.....	0.5 g
Citrate de sodium.....	1 g
Chlorure de sodium.....	5 g
Agar.....	13 g
Eau distillée.....	1 L

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.....	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	

***Milieu Viande – Foie**

Préparé en deux étapes sont :

Milieu de base

Base de Viande de Foie	30 g
Glucose	2 g
Amidon.....	2 g
Agar... ..	1 g
Eau distillée.....	1000 ml

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°.

***Milieu CCA**

Agar15 g

Pepton5 g

Extrait de levure..... 3 g

Sulfate de sodium 1 g

Glucose1 g

Eau distillée1 L

(Facultatif) Indicateur de pH (ajouter à votre choix)

Mode de préparation :

Peser les ingrédients : Utilisez une balance pour peser avec précision chaque

Ingrédients:

15 g d'agar

5 g de pepton

3 g d'extrait de levure

1 g de sulfate de sodium 1 g de glucose

- Dissoudre les ingrédients : Dans un bécher, ajouter l'eau distillée (1 L) et dissoudre progressivement les ingrédients en agitant avec une tige en verre.
- Ajustement du pH : Si nécessaire, ajustez le pH du mélange à environ 7,0 à l'aide d'une solution d'acide ou de base (en général, HCl ou NaOH).
- Ébullition: Porter le mélange à ébullition pour assurer la dissolution complète de l'agar.
- -Stérilisation : Verser le milieu dans des flacons ou des plaques de Petri et stériliser au autoclave à 121 °C pendant 15 à 20 minutes.
- Refroidissement et stockage : Laissez refroidir le milieu à température ambiante avant de l'utiliser. Il peut être conservé au réfrigérateur en attendant.

II - Composition des réactifs :

Kovacs

Diméthyle-amino4 benzaldehyde.....50 g

Pentanol.....750 g

Acide chlorhydrique pur.....250 g

Annexe 3

Tableau 2: Référence de qualité des paramètres physico-chimiques dans l'eau destinée à la consommation humaine (Journal Officiel Algrien, 2011).

Paramètres	ALG
Couleur (Pt/Co)	60
Turb (NTU)	05
pH	6.5 - 9
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2800
TDS (mg/l)	-
Salinité	-
T ($^{\circ}\text{C}$)	25
TH ($^{\circ}\text{f}$)	500
TA ($^{\circ}\text{f}$)	12
TAC ($^{\circ}\text{f}$)	12
HCO_3^- (mg/l)	350
Ca^{2+} (mg/l)	200
Mg^{2+} (mg/l)	150
Cl^- (mg/l)	500
MO (mg/l)	05
MES (mg/l)	<30
RS (mg/l)	2000
NO_2^- (mg/l)	0.2
NH_4^+ (mg/l)	0.5
NO_3^- (mg/l)	50
SO_4^{2-} (mg/l)	400
PO_4^{3-} (mg/l)	0.5
Fe^{2+} (mg/l)	0.3
Al^{3+} (mg/l)	0.2

Tableau 3: Référence de qualité des paramètres bactériologique dans l'eau destinée à la consommation humaine (O.M.S, 2011).

Paramètre	Unité	Normes OMS
GT	UFC/ml à 37 $^{\circ}\text{C}$	100
CT	UFC/100 ml	10
CF	UFC/100ml	00
SF	UFC/100ml	00
ASR	UFC/20ml	00