

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

Faculté des sciences Biologique et science Agronomique

Département d'écologie et environnement

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de master en écologie et environnement

Spécialité : biodiversité et environnement



Contribution à l'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Présenté par :

LOURCI YASMINE

Devant le jury composé de

Présidente : Mme Landri-Ait boudrar G.

MAA

UMMTO

Examinatrice : Mlle Ali Ahmed S.

MCB

UMMTO

Promotrice : Mme Sadoudi-Ali Ahmed D.

Professeur

UMMTO

Année universitaire : 2023/2024



Remerciements

Je souhaite exprimer mes sincères remerciements à ma promotrice, Madame Sadoudi-Ali Ahmed D., Professeure à la Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri, pour son encadrement, sa direction, ses encouragements constants, son soutien précieux et sa disponibilité tout au long de l'élaboration de mon travail.

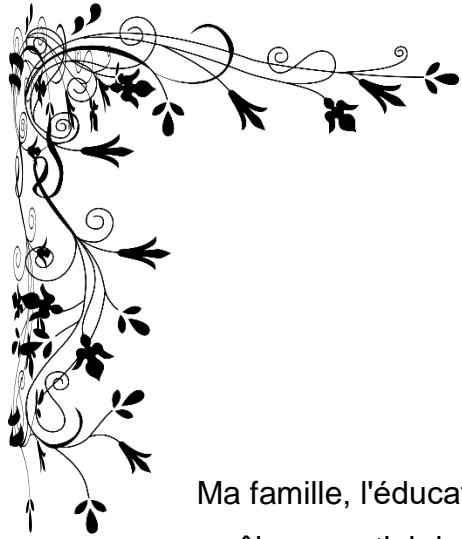
À Mlle Ali-Ahmed C., pour son aide précieuse dans les analyses statistiques.

Je tiens également à remercier chaleureusement Madame Landri-Ait Boudrar G., Maître Assistante Classe A à l'Université Mouloud Mammeri, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury.

Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance envers Madame Ali-Ahmed S., Maître de Conférences Classe B à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour avoir généreusement accepté d'évaluer mon travail.

Enfin, je désire remercier Madame Ladjel S. et tout le personnel du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) avec qui j'ai eu le privilège de travailler durant mon stage, pour l'expérience enrichissante et très instructive vécue durant cette période.





Dédicaces

Je dédie ce travail modeste.

Ma famille, l'éducation qu'elle m'a donnée et l'amour qu'elle m'a porté ont joué un rôle essentiel dans ma transformation en la personne que je suis aujourd'hui.

À ma maman adorée, source de lumière dans ma vie, je te remercie pour tout l'amour que tu m'apportes, ton soutien indéfectible, tes conseils avisés, ainsi que pour ton aide et ta présence à mes côtés.

À mon précieux père, accompagné de mes frères Fodhil et Mohand Saïd, ainsi que de mes sœurs Hadjira et Zahia.

Ma grand-mère, toute ma famille.

La personne qui occupe une place spéciale dans mon cœur S.

Ce travail vous est dédié et je vous remercie sincèrement pour votre fidélité et votre soutien indéfectibles.

Yasmine



Liste des abréviations

ADE : Algérienne des Eaux

OMS : Organisation mondiale de la santé

JORA : Journal officiel de la République algérienne

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : Titre hydrotimétrique

CT : Coliformes totaux

CF : Coliformes fécaux

SF : Streptocoques fécaux

F : Forage

Cl : Chlorure

Fe : Fer

NPP : Nombre plus probable

D/C : Double concentration

S/C : Simple concentration

E.Coli : Escherichia Coli

BCPL : Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol

$\mu\text{s/cm}$: micro-siémens par centimètre

FB1 : forage de Boukhalfa 1

FB2 : forage de Boukhalfa 2

FB3 : forage de Boukhalfa 3

FBD1 : forage de Bouaid 1

FBD2 forage de Bouaid 2

FO : forage d'Ouadhias

FBR : forage de Boubroun

Listes des figures

Figure 1 : nappe semi-captive.....	7
Figure2 : Forage (Collin, 2004).....	8
Figure 3 : situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	22
Figure 4 : situations géographiques des points de forage	22
Figure 5 : Variations de couleur au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	38
Figure 6 Variation de la température au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou	40
Figure 7 : Variations de pH au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	40
Figure 8 : Résultats de la turbidité dans les eaux des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	40
Figure 9 : Variation de la conductivité au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	42
Figure 10 : Résultats des résidus secs des eaux des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	42
Figure 11 : Résultats du titre alcalimétrique en (mg/l) des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	43
Figure 12 : Résultats des analyses de la dureté totale en mg/l des points de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	44
Figure 13 : Variation des nitrates au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	44
Figure 14 : Variation de calcium au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	45
Figure 15 : Variation de magnésium en (mg/l) au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	45
Figure 16 : Variation de phosphates en (mg/l) au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	46
Figure 17 : Variation de chlorures en (mg/l) au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	47
Figure 18 :Résultats de bicarbonate des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	47
Figure 19 : Résultats des nitrites dans les eaux des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	48

Figure 20 : Résultats des analyses d'ammonium en mg/l des points de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou	49
Figures 21 : Résultats de la teneur en matière organique des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	49
Figures 22 : Résultats du fer des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	50
Figures 23 : Résultats du sodium des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	51
Figures 24 : Résultats du potassium des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	51
Figures 25 : Résultats du manganèse des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	52
Figure 26 : Résultats des sulfates dans les eaux des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Types de turbidité de l'eau	13
Tableau 2 : récapitulatif des maladies causées par les bactéries <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>), les streptocoques fécaux, les coliformes totaux	19
Tableau 3 : points de différents prélèvements de sept forages.....	24
Tableau 4 : paramètre, méthodes et appareillages utilisé.....	26
Tableau 05 : Résultats des coliformes totaux.....	54
Tableau 06 : Résultats des streptocoques fécaux dans les eaux de forages.....	55

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1. Eau brute.....	3
I.2. Eau dans l'atmosphère.....	3
I.3. Cycle de l'eau.....	3
I.4. Ressources hydriques naturelles.....	3
I.5. Types de nappes.....	6
I.6. Méthodes pour collecter les eaux souterraines.....	7
I.7. Qualité des eaux	8
I.8. Eau potable	9
I.9. Pollution des eaux.....	10
I.10. Paramètre et qualité de l'eau potable.....	12
I.10.1. Paramètres organoleptiques.....	12
I.10.2. Paramètres physico-chimiques.....	12
I.10.3. Paramètres bactériologiques.....	17
I.11. Maladies à transmission hydrique.....	18
I.12. Ressources hydriques en Algérie.....	19

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1. Présentation et caractéristiques de la zone d'étude.....	21
II.2. Méthodes.....	24
II.2.3. Paramètres organoleptiques.....	27
II.4. Analyses physico-chimiques.....	27
II.5. Analyses bactériologique.....	35

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Résultats des paramètres organoleptiques.....	39
III.2. Résultats des paramètres physico-chimiques.....	39
III.3. Résultats bactériologiques.....	54
Conclusion.....	59

Références bibliographiques

Annexe

L'eau, composée d'oxygène et d'hydrogène, est essentielle à la vie sur Terre. Elle couvre environ 70% de la surface terrestre et se trouve sous forme liquide, solide et gazeuse. L'eau joue un rôle crucial dans les processus biologiques, la régulation climatique et le cycle de l'eau (Gerald, 2013)

Depuis de nombreuses années, la question de l'eau se résume à sa quantité, en l'absence de ressources et à sa qualité altérée par les diverses sources de pollution. Les ressources en eau naturelles se composent d'eaux souterraines et de surface, elles sont collectées afin d'être utilisées pour la consommation humaine, l'agriculture ou l'industrie (Beaudry, 1984).

La question de l'approvisionnement en eau devient de plus en plus préoccupante à l'échelle mondiale. Déjà fragile dans certaines régions, la situation risque de se détériorer dans les années à venir (Barraqué, 2004). Environ 40 000 kilomètres cubes d'eau douce s'écoulent annuellement sur les terres émergées, ce qui, réparti entre les 7 milliards d'habitants de la planète, devrait fournir environ 6 600 mètres cubes d'eau douce par personne (Barraqué, 2004).

Les eaux souterraines, présentes en grande profondeur dans des aquifères, des roches perméables et des sédiments, sont extraites par des puits de pompage (IAEA, 2021). En Algérie, l'eau est une ressource stratégique en raison de sa rareté et des perturbations naturelles du cycle hydrologique. Les ressources, tant souterraines que de surface, sont limitées. Face aux pressions démographiques croissantes et à l'urbanisation, il est essentiel d'adopter une gestion intégrée et rigoureuse des réserves pour répondre aux besoins en eau. De plus, des défis tels que la faible mobilisation des ressources et le recyclage inadéquat, dus à un manque de maîtrise des stations d'épuration et à l'envasement des retenues, aggravent la situation (Boudjadja et al., 2003).

Le traitement et la conservation adéquats de l'eau sont des interventions essentielles de santé publique pour améliorer la qualité de l'eau et réduire les maladies (OMS, 2016). Les eaux souterraines représentent environ 30 % de l'eau douce disponible sur Terre, soit une part majeure pour l'approvisionnement en eau potable. En comparaison, les calottes polaires contiennent 69 % de l'eau douce, tandis que les rivières et lacs n'en constituent que 1 %. Ces ressources souterraines, stockées en

profondeur dans des aquifères, fournissent de l'eau à près de 2,5 milliards de personnes dans le monde.

L'exploitation durable des eaux souterraines est cruciale, surtout face à une demande croissante due à l'augmentation de la population mondiale, qui devrait atteindre 9,7 milliards d'ici 2050. Les défis liés au changement climatique, à la pollution et à la gestion équitable de ces ressources rendent impératif un suivi rigoureux. La préservation de la qualité et de la quantité d'eau souterraine est donc fondamentale pour assurer la sécurité hydrique et protéger la santé publique à l'échelle mondiale.

Ce travail se concentre sur l'analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Il est crucial de comprendre certains paramètres physico-chimiques et leur impact potentiel sur la santé publique, car la mauvaise qualité de l'eau potable est un problème majeur. En contribuant à cette analyse, ce travail vise à améliorer la gestion de l'eau et à assurer une meilleure qualité de vie pour la population locale, tout en offrant des solutions pour une exploitation plus durable des ressources hydriques.

I.1. Eau brute

L'eau brute est définie comme l'eau provenant de sources naturelles telles que les rivières, les lacs, les nappes phréatiques et les eaux de pluie, avant toute intervention ou traitement pour la rendre potable. Cette eau peut contenir divers contaminants d'origine naturelle ou anthropique, incluant des matières organiques, des micro-organismes pathogènes, des produits chimiques et des particules en suspension (O.M.S, 2017)

I.2. Eau dans l'atmosphère

Dans l'atmosphère, la quantité d'eau est d'environ 13 000 km³, principalement sous forme de vapeur. Les conditions météorologiques et les saisons peuvent influencer ce chiffre.

L'eau atmosphérique est essentielle au cycle de l'eau, à la régulation du climat et au soutien de la vie sur Terre.

I.3. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau, aussi appelé cycle hydrologique, décrit le mouvement continu de l'eau à la surface de la Terre, dans l'atmosphère et sous terre. L'eau s'évapore des océans, des rivières, des lacs et des sols, devenant de la vapeur d'eau dans l'atmosphère (Brunet, 1993). Cette vapeur d'eau se condense pour former de nuages, puis précipite sous forme de pluie, de neige ou de grêle, retournant à la surface de la Terre (Boucher, 2012). Une partie de cette eau s'infiltré dans le sol, rechargeant les nappes phréatiques, tandis qu'une autre partie ruisselle vers les cours d'eau et retourne aux océans (Genthon, 2006). Ce cycle est crucial pour le climat, l'agriculture et l'ensemble des écosystèmes terrestres.

I.4. Ressources hydriques naturelles**I.4.1. Eaux de pluie**

Selon Desjardins (1997), les eaux de pluie sont de bonne qualité pour la consommation humaine. Elles sont très douces grâce à la présence d'oxygène et d'azote, et à l'absence de sels dissous, tels que les sels de magnésium et de calcium. Dans les régions industrialisées, il est possible que les eaux de pluie soient

contaminées par des poussières atmosphériques. La répartition des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que cette source d'eau soit peu utilisée.

I.4.2. Eaux superficielles

Les eaux présentes à la surface des continents, qu'elles soient en circulation ou stockées proviennent principalement du ruissellement ou des nappes phréatiques profondes. Ces eaux se regroupent dans les cours d'eau, qui se caractérisent par une surface de contact constante avec l'atmosphère et une circulation rapide. Selon Benhamida (2015), elles peuvent également être conservées dans des réserves naturelles, comme les étangs et les lacs, ou dans des structures artificielles telles que les retenues et les barrages. Dans ces derniers cas, la surface d'échange entre l'eau et l'atmosphère est presque immobile, la profondeur est importante et le temps de séjour de l'eau y est souvent prolongé.

I.4.3. Eau de mer

C'est une ressource naturelle qui se distingue par sa teneur en sel (salinité) qui fluctue entre 33000 et 37000 mg/l (Desjardins, 1997). Afin de répondre aux besoins en eau douce toujours plus importants, le dessalement de l'eau de mer a été envisagé depuis de nombreuses années et s'est aujourd'hui répandu dans de nombreux pays. Depuis les années 2000, il est considéré comme une solution techniquement envisageable et inévitable en Algérie, en particulier pour les besoins domestiques des villes côtières (Briere, 2000).

I.4.4. Eaux saumâtres

Ces eaux se distinguent non seulement par leur faible salinité, mais également par des variations très significatives de la salinité et de la température. Selon Calvez et al. (2002), ces fluctuations peuvent être saisonnières et correspondre à des périodes de pluies ou de sécheresse, mais elles peuvent également être quotidiennes et découler de l'orientation des vents et des marées.

I.4.5. Eaux souterraines

La réserve d'eau douce liquide souterraine est la plus importante de la planète, avec une capacité d'environ 8 à 10 millions de km³, soit environ 98 à 99 % du total. Il est possible de renouveler son volume annuel grâce à l'infiltration des précipitations (Margat, 2000).

Les ressources humaines utilisent les eaux provenant des nappes souterraines et superficielles pour différents usages. La composition chimique d'une eau provenant de l'environnement naturel varie considérablement. Selon Bakouan et al. (2017), cela varie en fonction de la nature géologique du sol d'origine et des substances réactives qu'elle a rencontrées lors de son écoulement.

Au cours des dernières décennies, la détérioration des ressources en eau souterraine est devenue une préoccupation mondiale (Margat, 2000).

Traditionnellement, les eaux souterraines sont les ressources en eau préférées pour la production d'eau potable, car elles sont moins exposées aux pollutions que les eaux de surface.

Les activités humaines ou les phénomènes naturels peuvent influencer la qualité naturelle de ces eaux souterraines

Il est nécessaire d'avoir certaines caractéristiques minimales afin de pouvoir les utiliser comme eau potable, qui doit elle-même respecter des normes de qualité physico-chimique et biologique (Bouziani, 2006)

I.4.5.1. Caractéristiques des eaux souterraines

Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont

La turbidité des eaux souterraines est généralement faible, car elles ont traversé des couches de sol et de roche qui filtrent les particules solides (Driscoll, 1986). Ainsi, ces eaux sont naturellement purifiées au contact du sol.

Une forte teneur en fer et en manganèse car Ces métaux sont fréquemment présents dans le sol (Desjardins, 1997).

Les eaux souterraines étaient considérées comme propres et conformes aux normes de potabilité, perçues comme des ressources pures protégées par le sol contre

les activités humaines et souvent d'une grande pureté bactériologique. Toutefois, elles sont de plus en plus vulnérables aux pollutions par infiltration (Briere, 2002).

La pureté initiale de l'eau est très difficile à restaurer, car les polluants présents s'attachent et s'adsorbent aux roches et minéraux du sous-sol (Touahria, 2013).

I.5. Types de nappes

Selon Cosandey (2003), les nappes souterraines sont généralement situées dans la zone saturée d'un aquifère et selon le degré de confinement de ces nappes, on peut distinguer les nappes libres et les nappes captives.

I.5.1. Nappe libre

On retrouve les nappes libres dans des aquifères en contact direct ou indirect avec l'atmosphère, dont le niveau varie en fonction de la pluviométrie et de l'exploitation. Selon Roux (1995) et Boeghin (2001), l'eau des nappes libres est issue de la partie infiltrée des eaux de pluie. Selon la nature géologique des terrains, la vitesse d'infiltration de l'eau peut varier de 1 mm/an à 1 m/an. La circulation des eaux souterraines se fait par gravité entre la zone d'infiltration et les sources.

I.5.2. Nappe captive

Selon Boeghin (2001) et Vilagnès (2003), les nappes captives sont des nappes qui sont recouvertes par une couche de terrain imperméable ou peu perméable.

Elles se trouvent enfermées entre deux niveaux de terrains imperméables. Selon Degrement (2005), elles sont plus courantes et généralement plus profondes.

Les eaux des nappes captives sont très bien protégées contre différentes pollutions. Cependant, la qualité naturelle de cette eau n'est pas toujours optimale, car elle peut souvent présenter une minéralisation excessive en éléments principaux (chlorures et sulfates) ainsi qu'en oligo-éléments (Fer, Fluor etc.)(Collin, 2004).

I.5.3. Nappe semi-captive

Elles sont fréquemment composées d'une formation hydrogéologique semi-résistante. Dans des conditions hydrodynamiques propices, des variations de charge permettent des échanges d'eau. (Fig.1)

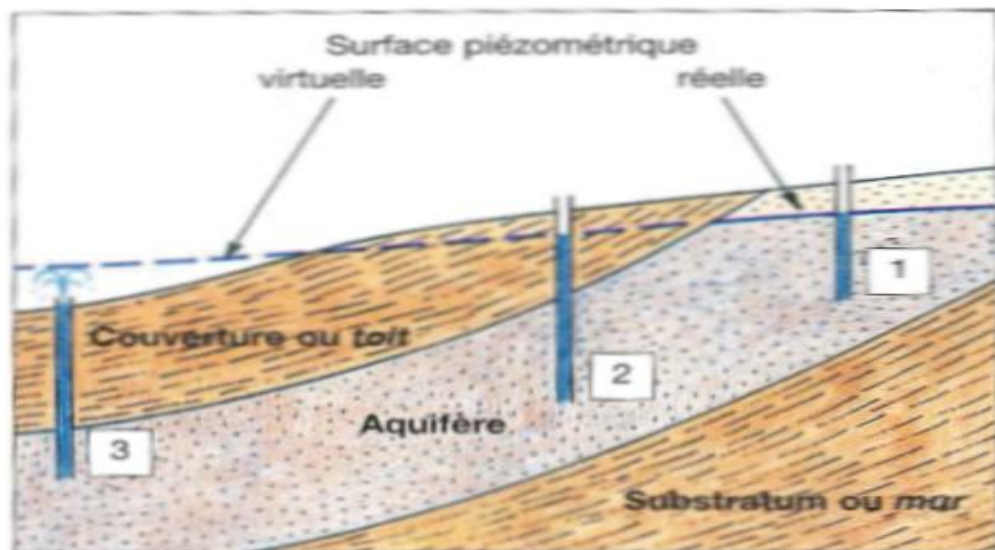


Figure 1 : Nappe semi-captive (Collin, 2004)

Aquifère

Un aquifère est une structure hydrogéologique qui se distingue par une certaine unité litho-stratigraphique (pierre, roche), un réservoir d'eau souterraine qui est assez poreux et assez perméable pour être considéré comme une réserve exploitable par l'homme (Ababou, 2004).

I.6. Méthodes pour collecter les eaux souterraines

Selon Touahria (2013), les eaux souterraines peuvent être exploitées soit de manière occasionnelle, à leur éclosion naturelle, par le captage de sources, soit par des puits et des forages répartis sur la surface du territoire où l'aquifère est prévu.

I.6.1. Puits d'eau

Il s'agit d'un édifice creusé manuellement, à l'aide de pics, par des puisatiers, principalement dans les roches en question (craie, grès etc.), généralement de profondeur moyenne ou faible (inférieure à 100m), avec un diamètre supérieur à 1,2m et des parois recouvertes au moins partiellement de béton ou de maçonnerie. Selon Touahria (2013), les puits permettent d'exploiter la nappe phréatique.

I.6.2. Forage

Ces structures creusées en profondeur sont désignées sous le terme de « forages ». Cette méthode moderne est la plus couramment utilisée pour l'exploitation des eaux souterraines, mais elle englobe en réalité toutes les opérations visant à réaliser des trous, généralement verticaux.

Le forage peut être peu profond, mais il peut également atteindre des profondeurs supérieures à 1000 mètres. Il présente un diamètre plus étroit que celui d'un puits, et ses parois sont protégées par un tube en métal ou en plastique, ainsi qu'une cimentation entre le sol et le tubage sur les premiers mètres. Des profondeurs importantes permettent de minimiser les risques de pollution et d'obtenir des débits adéquats (Touahria, 2013). (Fig.2)

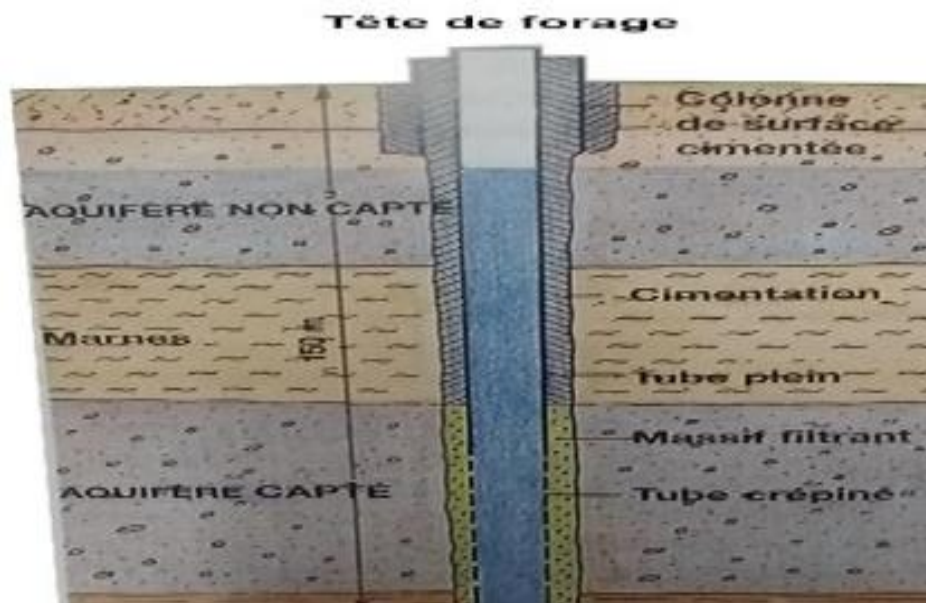


Figure 2 : Forage (Collin, 2004)

I.7. Qualité des eaux

Selon Chapman (1996), il s'agit d'un ensemble de concentrations, de spéciations et de partitions physiques de substances inorganiques ou organiques, ainsi que de la composition et de l'état du biote aquatique dans le plan d'eau. De plus,

il s'agit de décrire les variations temporelles et spatiales causées par des facteurs internes et externes de l'eau.

I.8. L'eau potable

Il est essentiel que l'eau potable ne contienne aucun élément minéral ou organique dangereux pour la santé. Elle doit respecter des normes établies par des lois et répondre à des critères qualitatifs tels que : l'absence de couleur, la fraîcheur, l'absence d'odeur ou de goût, ainsi qu'une légère saveur due à la présence de sels minéraux (O.M.S, 2017).

Selon Legube (2018), Les normes physico-chimiques et microbiologiques de l'eau potable doivent être respectées. Elle ne doit pas contenir des concentrations élevées de micro-organismes, de parasites ou de substances pouvant représenter un danger pour la santé humaine. Elle peut servir non seulement à l'alimentation, mais également à l'hygiène domestique et personnelle.

I.8.1. Normes de potabilité

Selon Zanat (2009), les normes pour définir une eau potable varient en fonction de la législation en vigueur et de la nature de l'eau, qu'elle soit industrielle ou destinée à la consommation. Il y a donc environ 63 critères pour une eau propre à la consommation. Ces critères, établis en fonction du principe de précaution maximale qui vise à préserver la santé des individus les plus vulnérables, se basent sur divers paramètres établis avec l'aide de l'Union européenne (OMS, 2004).

D'après le rapport de l'OMS (2006):

- Les critères les plus couramment utilisés et adoptés par l'OMS sont les critères physico-chimiques et toxicologiques, qui exigent que l'eau potable respecte les limites et les valeurs guides.
- Les critères sont établis par l'arrêté ministériel du 11 /01/2007 du ministère de la santé (Annexe 1).

D'après le code des eaux en Algérie :

Selon son article de 1983, une eau est considérée comme potable lorsqu'elle n'est pas susceptible d'affecter la santé du consommateur. Elle doit être dépourvue de toute couleur, odeur ou substance chimique nocive pour la santé humaine (Annexe 3).

La pollution est une altération néfaste du milieu naturel qui résulte entièrement ou en partie de l'action humaine, à travers des effets directs ou indirects qui modifient les critères de réparation des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la structure physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes (Desjardins, 1997).

I.9. Pollution des eaux

La pollution de l'eau se caractérise par la détérioration de celle-ci par l'introduction des substances toxiques, ce qui entraîne des conséquences directes sur la chaîne alimentaire. Les rejets humains dans l'eau sont liés à une grande quantité d'éléments indésirables, dont certains touchent une vaste étendue géographique (Touchart, 2010).

I.9.1.1. Origine de la pollution

La pollution des eaux peut être due à des facteurs naturels ou humains.

I.9.1.2. Origine naturelle

Il arrive parfois que certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent des problèmes de contamination de l'eau potable. L'eau potable peut être contaminée par des substances inorganiques telles que le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures (Boumelta, 2011).

I.9.1.3. Origine humaine

Selon Hounsounou et al. (2016), les principales sources de pollution anthropique sont l'agriculture, qui s'étend à travers le pays, les industries qui génèrent des rejets très variés et souvent localisés et les activités domestiques telles que les rejets des eaux usées ou les décharges.

I.9.2. Principaux types de pollution

I.9.2.1. Pollution temporaire et pollution chronique

I.9.2.1.1. Pollution temporaire

Elle correspond à une émission unique de substances polluantes suite à une mauvaise manœuvre en usine ou à un accident de la route. Il est possible que cela se propage à la nappe et la contamine. La durée de la pollution est influencée par le niveau d'autoépuration et la vitesse de percolation (Beauchamp, 2006).

I.9.2.1.2. Pollution chronique

Elles sont plus subtiles et préjudiciables, moins visibles, elles peuvent être négligées (pollution agricole par les nitrates, contamination par les hydrocarbures provenant de sols infestés) (Beauchamp, 2006).

I.9.2.2. Pollution ponctuelle et pollution diffus

I.9.2.2.1. Pollution ponctuelle

La pollution, étant confinée à une surface limitée, n'affectera qu'une zone restreinte de la nappe, bien qu'elle puisse se propager par diffusion. Seuls les captages situés à proximité de la zone contaminée et ceux en aval seront touchés. Selon la quantité de polluant et sa solubilité, la zone contaminée peut être localisée ou diffuse, qu'elle soit en surface ou à l'intérieur de la nappe (Beauchamp, 2006).

I.9.2.2.2. Pollution diffuse

Elle est causée par l'épandage de produits polluants sur une grande surface, ce qui a un impact sur l'ensemble de la nappe. Ces pollutions sont de plus en plus chroniques et perturbent la production d'eau potable (Beauchamp, 2006).

I.9.2.3. Pollution linéaire

Selon Beauchamp (2006), elle suit les routes et autoroutes, les canaux, les cours d'eau et les voies ferrées.

I.9.2.4. Pollution historique

De nombreuses régions ont été affectées par la pollution à une époque où les préoccupations environnementales étaient inconnues ou limitées à la pollution par les terres de mines et les décharges non contrôlées (Beauchamp, 2006).

I.1. Paramètre de qualité de l'eau potable

I.10.1. Paramètres organoleptiques

Couleur

La couleur de l'eau peut varier en fonction de la quantité de substances humiques dissoutes et colloïdales de l'eau. Le traitement de l'eau est plus cher lorsque l'eau est de couleur élevée (Dupont, 1978).

Odeur

L'eau utilisée pour la nourriture doit être sans odeur. Selon Rodier et al. (2009), toute odeur peut indiquer la présence de pollution ou de matière organique en décomposition.

Goût

Selon Rodier et al. (2009), le goût englobe toutes les sensations gustatives, olfactives et chimiques communes perçues lorsque l'aliment ou la boisson est en bouche. Les produits qui provoquent ces sensations sont responsables de leur goût.

I.10.2. Paramètres physico-chimiques

Température

La température joue un rôle crucial en régulant tous les phénomènes métaboliques, ce qui influence la distribution des espèces animales et végétales. Elle évalue la nature physique de l'eau. Son influence sur les grandes régions climatiques terrestres, la vitesse des réactions cellulaires et l'évaporation des plans d'eau et la transpiration des êtres vivants influence la répartition de l'ensemble des espèces dans la biosphère (Ramade, 1984).

pH (potentiel d'hydrogène)

Le pH d'une eau est utilisé pour évaluer la quantité d'ions H⁺ présente dans l'eau, ce qui lui confère son caractère acide ou basique.

Selon REJSEK (2002), le pH des eaux naturelles varie en fonction de leur origine et de la nature des terrains traversés. On utilise généralement une échelle de pH allant de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), avec une valeur médiane de 7 qui correspond à un pH neutre.

Selon l'OMS, il est recommandé d'avoir un pH compris entre 6,5 et 8,5 pour l'eau destinée à la consommation humaine (Hane et al., 2020).

Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. Il s'agit de diminuer la transparence d'un liquide en raison de la présence de substances non dissoutes. Elle est provoquée dans les eaux par la présence de particules fines en suspension, telles que les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes.

Une partie limitée de la turbidité peut être attribuée à la présence de substances colloïdales d'origine organique ou minérale. Il est important d'éliminer cette turbidité afin d'améliorer l'apparence esthétique de l'eau de consommation et de faciliter une désinfection efficace (Rejsek, 2002). Le tableau 1 présente les différentes classes de turbidité courantes.

Tableau 1 : Types de turbidité de l'eau (Rodier et al., 2009)

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

Conductivité électrique (CE)

On mesure la conductivité électrique en dissociant les substances en solution dans l'eau en anion et cation. Selon El Haissoufi et al. (2011), ce paramètre constitue

un indicateur précis du degré de minéralisation, évalue la capacité de l'eau à transporter l'électricité. Effectivement, elle offre la possibilité de mesurer la quantité de sels dissous dans l'eau, ce qui entraîne une évaluation de son pouvoir conducteur, ainsi que de vérifier l'existence de la pollution (Ghazali et Zaid, 2013). Elle est évaluée à l'aide d'un conductimètre et est exprimée en milli siemens par centimètre (ms/cm).

Résidus secs

Le reste d'échantillon obtenu après une dessiccation complète au four à 105 °C est un indicateur qui mesure le taux de minéraux (Mekaoussi, 2014),

Matières organiques

Les substances organiques qui peuvent se retrouver dans les eaux sont des déchets de décomposition d'origine animale ou végétale, créés par les microorganismes. En général, une forte concentration en matières organiques devra toujours susciter des soupçons de contamination microbienne (Rodier, 1996)

Dureté totale de l'eau

La dureté totale de l'eau est une évaluation globale de la concentration en sels dissous de calcium et de magnésium dans l'eau (Bouziani, 2000)

Titre Alcalimétrique (TA) et Titre Alcalimétrique Complet (TAC).

L'alcalinité d'une eau est exprimée par le Titre Alcalimétrique (TA) et le Titre Alcalimétrique Complet (TAC).

L'alcalinité d'une eau est principalement due à la présence des ions bicarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). L'alcalinité composite, également connue sous le nom de titre alcalimétrique (T.A), d'une eau permet de déterminer la quantité d'alcalins libres et de carbonates alcalins caustiques.

Le titre alcalimétrique complet (T.A.C), également connu sous le nom d'alcalinité totale d'une eau, permet de déterminer la quantité d'alcalins libres, de carbonates et de bicarbonates présents dans cette eau.

Les roches carbonées, l'anhydride carbonique de l'atmosphère et l'altération météorique des feldspaths et d'autres minéraux sont à l'origine du bicarbonate et du carbonate (Rhajaoui, 2019)

Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont le stade final de l'oxydation de l'azote, ils sont généralement produits par oxydation bactérienne des nitrites de la matière organique. Ainsi, les nitrates représentent la forme d'azote avec le plus haut taux d'oxydation (Akil et al., 2014).

Leur présence au fond des lacs, des étangs ou des rivières constitue un risque pour la santé humaine, car elle constitue le dépôt organique qui entraîne une détérioration de la qualité de l'eau.

Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites se forment lorsque la matière azotée est dégradée, mais elles se transforment rapidement en nitrate (NO_3^-) dans les sources d'eau potable (Levallois et Phaneuf, 1992).

D'après les informations de l'OMS. Il est important que leur valeur ne dépasse pas 0,2 mg/l à la sortie.

Fer

Dans les roches, le fer est relativement présent (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et d'hydroxydes, de carbonates et de sulfures. Certains types de bactéries précipitent le fer ou corrodent les canalisations en raison de la présence de fer dans l'eau.

Ammoniac (NH_4^+)

La présence de l'ammoniac dans les eaux est principalement présente sous forme d'ion ammonium (NH_4^+). Il est fréquent de le trouver dans les eaux de surface et les eaux pluviales, mais il est rare de le trouver dans les eaux souterraines. L'ammoniac peut être éliminé dans les usines de traitement des eaux grâce à des procédés biologiques tels que la régulation de la nitrification et des processus physico-chimiques tels que la chloration et la filtration sur membrane (Santé Canada, 2013). La présence de micro-organismes dans les réservoirs et les réseaux de distribution favorise leur croissance. La valeur limite dans les eaux brutes est de 4 mg/l, tandis que la référence de qualité est de 0,1 mg/l.

Phosphates

Sont des anions facilement adhérents au sol. Les eaux naturelles sont sujettes à leur présence en raison de la nature des terrains traversés, de la dégradation de la matière organique et des émissions urbaines. Selon Rodier (1996), des niveaux supérieurs à 0,5 mg/l doivent être considérés comme un indicateur de pollution.

Magnésium

En général, la plupart des eaux naturelles renferment une faible quantité de magnésium.

La plupart des eaux naturelles sont peu riches en magnésium, sa quantité varie en fonction de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Il est causé par l'attaque de roches magnésiennes par l'acide carbonique et la présence de carbonates et de bicarbonates dans la solution (Nouayti et al., 2014).

Chlorures

Dans les eaux naturelles, les chlorures sont des anions inorganiques essentiels présents à des concentrations variées, principalement sous forme de sels de sodium (Na Cl) et de potassium (KCl). On les utilise fréquemment comme un indicateur de pollution. (Nouayti et al, 2014).

Calcium

En général, le calcium occupe une place prépondérante dans les eaux potables, et sa quantité varie principalement en fonction de la nature des terrains traversés (terrains calcaires et gypseux (Nouayti et al, 2014).

Sodium

Le sodium présent dans l'eau est issu des formations géologiques qui contiennent du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux (Bouziani, 2000). En règle générale, le taux de sodium dans l'eau potable ne dépasse pas 20 mg/l (O.M.S, 2017).

Potassium

En règle générale, le potassium est le troisième élément le moins présent dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium, il ne se classe que rarement au troisième rang des cations (Nouayti et al., 2014). Les niveaux de potassium dans les eaux peuvent être causés par des changements météorologiques et l'érosion des minéraux potassiques tels que le feldspath, ainsi que par le lessivage des sols contenant des engrais (Al-qawati et al., 2015).

Manganèse

Dans de nombreuses eaux de surface et les eaux souterraines, le manganèse se trouve naturellement, notamment dans des conditions anaérobies ou de faible oxydation. C'est la principale source de manganèse pour l'eau de boisson (O.M.S, 2017).

Bicarbonate (HCO_3^-)

Dans les eaux de forage provient de la dissolution du CO_2 et des minéraux carbonatés. Il stabilise le pH, indique des processus géochimiques et influence la qualité de l'eau (Blavoux, 2017).

Sulfates

Les sulfates se trouvent naturellement dans l'eau. Les cations majeurs calcium, magnésium et sodium sont associés à eux. La forme la plus courante dans les eaux souterraines est le sulfate de calcium et les concentrations les plus élevées sont généralement naturelles.

La dissolution du gypse fournit les sulfates présents dans l'eau souterraine (Al-qawati et al., 2015).

I.10.3. Paramètres bactériologiques

Coliformes totaux

Depuis longtemps, les bactériologistes emploient le terme "coliforme" pour désigner un groupe de bactéries servant de marqueurs de contamination fécale. Ce terme a été utilisé comme substitut à *E. coli* pour évaluer la présence de contamination d'origine fécale (Benmerine, 2016).

Streptocoques fécaux

Ils font partie de la famille des *Streptococcaceae*, du genre *Streptococcus* et du groupe sérologique D répertorié par Lance Field (Dekhil et al., 2013). Les cocci sont

décrites comme étant des cocci sphériques, légèrement ovales, positifs au gramme, avec un catalase négatif et un anaérobie possible. La majorité des espèces se présentent en diplocoques ou en chaînettes, elles ne produisent pas d'endospores et certaines espèces sont mobiles (Delarras et al., 2010).

Escherichia coli

C'est une bactérie du groupe coliforme qui fermente le lactose et le mannitol, produit de l'acide et du gaz à une température de $44,5 \pm 0,2$ °C pendant 24 heures, produit de l'indole à partir du tryptophane, oxydase négative, n'hydrolyse pas l'urée et possède des enzymes β , β -galactosidase et glucuronidase. Selon Marinaldo (2013), *E. Coli* est considéré comme le meilleur indicateur de la contamination fécale récente et de la présence éventuelle de micro-organismes pathogènes.

I.2. Maladies à transmission hydrique

Voici un tableau récapitulatif des agents pathogènes, des maladies associées, des symptômes et des modes de transmission liés à la contamination de l'eau. Ce tableau met en évidence l'impact de différents contaminants sur la santé humaine, ainsi que les voies par lesquelles ces agents peuvent être transmis.

Tableau 2 : récapitulatif des maladies causées par les bactéries *Escherichia coli* (*E. coli*), les streptocoques fécaux, les coliformes totaux (O.M.S, 2004)

Contaminant/Agent Pathogène	Maladies/Problèmes de Santé	Symptômes	Mode de Transmission
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	Gastro-entérites, infections urinaires, syndrome hémolytique et urémique (SHU)	Diarrhée, crampes abdominales, nausées, vomissements	Ingestion d'eau contaminée
<i>Streptocoques fécaux</i>	Infections intestinales, infections cutanées, septicémie	Diarrhée, douleurs abdominales, fièvre, infections cutanées	Ingestion d'eau contaminée, contact avec de l'eau infectée
<i>Coliformes totaux</i>	Indicateur de contamination fécale, risque de maladies infectieuses	Varie selon les pathogènes spécifiques présents	Ingestion d'eau conta

I.12. Les ressources hydriques en Algérie

En Algérie, l'eau représente une préoccupation majeure en raison de sa rareté et de la désorganisation du développement économique et social. Selon Boudjadja et al. (2003), cela engendre une série de problèmes de gestion, tels que les pertes, les gaspillages, les traitements aléatoires, les dégradations et le manque de protection de la ressource. Ces problèmes sont amplifiés par les conditions naturelles défavorables.

Le pays compte cinq bassins hydrographiques regroupant 19 bassins versants. Selon Touahria (2013), la répartition des ressources en eau n'est pas équitable, tant sur le plan géographique que quantitatif, et cela concerne également la nature des ressources (eaux superficielles ou souterraines). Ces ressources sont également influencées par le climat. Dans le nord du pays, on estime qu'il existe 126 nappes majeures. D'après Laid et al. (2017), ces ressources, relativement faciles à exploiter, sont actuellement utilisées à plus de 90%. De nombreuses nappes, notamment dans la Mitidja et d'autres zones urbaines, industrielles et touristiques, sont même en situation de surexploitation.

Les ressources en eau souterraine de la Wilaya de Tizi Ouzou sont principalement situées dans la nappe alluviale de l'oued Sebaou. Cette nappe est alimentée par l'infiltration directe des eaux de pluie, dont la moyenne annuelle est d'environ 1000 mm, ainsi que par les crues de l'oued et ses affluents. La disponibilité de cette ressource est estimée à 60 Hm³ par an

L'étude repose sur l'analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau souterraine dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Les analyses ont été effectuées sur 7 points de forages au laboratoire de contrôle de la qualité de l'eau de la société algérienne des eaux (ADE).

Certains paramètres physico-chimiques, susceptibles de provoquer divers problèmes, sont essentiels, car une mauvaise qualité de l'eau constitue un enjeu majeur pour la santé publique.

II.1. Présentation et caractéristiques de la zone d'étude

Les ressources en eau de surface de la Wilaya de Tizi-Ouzou proviennent principalement des écoulements des oueds Sebaou et Bougdoura, qui drainent la majeure partie du territoire, ainsi que d'une multitude de petits oueds côtiers. La wilaya possède un potentiel significatif en eaux de surface, mais seule une infime partie de ce potentiel est exploitée.

L'inventaire des forages dans la Wilaya de Tizi Ouzou recense 195 forages, dont 168 sont effectivement en exploitation. Le volume d'eau extrait par ces forages et puits s'élève à 45 Hm³ par an, destiné à l'approvisionnement en eau potable, à l'eau pour l'industrie et à l'irrigation.

L'analyse a été effectuée sur 7 sites de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou, sont principalement situées dans la nappe alluviale de l'oued Sebaou

La wilaya de Tizi-Ouzou, située dans la région montagneuse de la Kabylie au nord de l'Algérie, s'étend sur une superficie d'environ 2 956 km². Elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la wilaya de Béjaïa, à l'ouest par la wilaya de Boumerdès, et au sud par les wilayas de Bouira et de Bordj Bou Arreridj (Fig.3).



Figure 3 : situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou

II.1. 1. Situation géographique des points de forages

Le prélèvement a été effectué par le personnel de l'ADE, l'emplacement des sept points de forage est illustré dans la (Fig.4)



Figure 4 : situations géographiques des points de forage

II.1.2. climat

Située en Kabylie, la wilaya de Tizi-Ouzou a un climat méditerranéen avec des hivers doux et humides (de 5°C à 15°C) et des étés chauds et secs (jusqu'à 35°C).

Elle reçoit entre 800 mm et 1 000 mm de pluie par an, principalement pendant l'hiver (Ferradji, 2017)

II.1.3. Hydrologie

Deux principaux aquifères sont présents dans la wilaya de Tizi-Ouzou.

Alluvions et dépôts grossiers de l'aquifère quaternaire

Cet aquifère consiste en des dépôts d'alluvions et de matériaux grossiers récents. Ils se trouvent généralement dans les plaines alluviales et près des rivières.

Aquifère Grèso-calcaire Astien

Ce type d'aquifère est constitué de couches géologiques de grès et de calcaire de l'ère astienne. Ils sont généralement plus profonds que l'aquifère quaternaire. Ils ont une plus grande capacité de stockage de l'eau.

Les deux aquifères indiquent la présence d'une formation d'argiles de marne qui est un type de couche géologique imperméable ou semi-imperméable. C'est similaire à la formation d'El-Harrach qui est observée dans différentes régions (Benziada, 2003).

Un aquifère quaternaire, composé d'alluvions grossières, se développe au centre du bassin avec une épaisseur variant entre 100 et 200 mètres, puis diminue vers le sud. Au nord, l'astien se réduit à une gouttière synclinale dont l'épaisseur peut atteindre 150 m, également en déclin vers le sud, où les surfaces deviennent plus argileuses. Entre ces deux aquifères, une formation semi-perméable d'environ 100 m d'épaisseur est présente au centre du bassin (Benziada, 2003).

II.1.4. Points des prélèvements

L'échantillonnage a été effectué au niveau de sept forages par les préleveurs du laboratoire dans de plusieurs communes à différentes dates (voir Tableau 3).

Forage	Symbole	Date de prélèvement
Boukhalfa 1	FB1	28/01/2024
Boukhalfa 2	FB2	28/01/2024
Boukhalfa 3	FB3	28/01/2024
Bouaid 1	FBD1	05/02/2024
Bouaid 2	FBD2	05/02/2024
Oudias	FO	05/02/2024
Boubroun	FBR	01/02/2024

Tableau 3 : points de différents prélèvements de sept forages

II.2. Méthodes

II.2.1. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une étape essentielle qui nécessite une grande précaution, car il influe sur les résultats analytiques et leur interprétation. L'échantillon doit être homogène et représentatif, tout en préservant les caractéristiques de l'eau sans les altérer.

Le laboratoire de l'Algérienne des eaux a effectué les analyses physico-chimiques et bactériologiques à l'unité de Tizi-Ouzou située à Boukhalfa, qui se spécialise dans l'autocontrôle de l'eau distribuée. Ces analyses ont été effectuées en utilisant des méthodes standardisées.

II.2.2. Échantillons destinés aux analyses physico-chimiques

Le prélèvement des échantillons se fait dans des bouteilles en verre de 1 litre, préalablement rincées avec de l'eau distillée, qui sont à nouveau rincées trois fois avec de l'eau à analyser. Ensuite, ils sont remplis jusqu'au bord afin d'éviter toute entrée d'air.

II.2.3. Échantillons destinés aux analyses bactériologiques.

Les prélèvements sont réalisés dans des conditions aseptiques à l'aide de flacons en verre de 250 ml, soigneusement lavés et stérilisés au préalable. Ils sont remplis aux cinq sixièmes de leur volume pour garantir la viabilité des bactéries aérobies. Chaque flacon est étiqueté, indiquant l'emplacement et la date du prélèvement.

II.2.4. Conservation et transport des échantillons

Les échantillons sont transportés dans des glacières maintenues à une température de 4 à 6 °C. Afin d'éviter toute altération de la teneur initiale en germes dans les eaux contenues dans le flacon, il est crucial de réaliser l'analyse le plus rapidement possible. Le délai entre la collecte et l'examen de l'échantillon ne doit pas excéder 24 heures.

Tableau 4 : Paramètres, méthodes et appareillages utilisés

Paramètre	Méthode	Appareillage
pH	Potentiométrie	pH mètre AD 100
Turbidité	/	Turbidimètre HACH2100N
Conductivité	/	Conductimètre Cond7110
Alcalinité (TA-TAC)	Titrimétrie avec acide sulfurique	Burette de titration
Dureté	Titrimétrie à l'EDTA	Burette de titration
Calcium	Titrimétrie à l'EDTA	Burette de titration
Magnésium	Titrimétrie à l'EDTA	Burette de titration
Chlorure	Titrimétrie au nitrate d'Argent	Burette de titration
Ammonium	Spectrophotométrie à UV	Spectrophotomètre DR6000
Nitrite	Spectrophotométrie à UV	Spectrophotomètre DR6000
Nitrate	Spectrophotométrie à UV	Spectrophotomètre DR6000
Phosphates	Spectrophotométrie à UV	Spectrophotomètre DR6000
Sulfates	Spectrophotométrie à UV	Spectrophotomètre DR6000
Sodium	Spectrophotométrie d'émission à flamme	spectrophotomètre à flamme 410
Potassium	Spectrophotométrie d'émission à flamme	Spectrophotomètre à flamme 410
Fer	Spectrophotométrie à UV	Spectrophotomètre DR6000
Matière Organique	Méthode à chaud en milieu acide	Burette de titration

II.3. Paramètres organoleptiques

Couleur

Le test de couleur a été évalué par observation oculaire de plusieurs flacons remplis d'eau de forage.

Odeur et saveur

Le test de l'odeur a été identifié par une simple sensation olfactive, la saveur par dégustation nécessitant de rincer la bouche avec de l'eau distillée avant de déguster.

Nous avons évalué l'odeur en ressentant simplement le lieu de prélèvement.

II.4. Paramètre physico-chimiques

pH

Le pH est mesuré en utilisant un pH-mètre électronique connecté à une électrode en verre. L'appareil a été calibré à l'aide d'une solution tampon avec un pH de 4 (acide), 7 (neutre) et 10 (basique). Par la suite, l'électrode a été immergée dans le flacon contenant l'échantillon à examiner. La valeur affichée sur l'écran de l'appareil après sa stabilisation a été enregistrée

Chlore résiduel

On mesure automatiquement le néaiveau de chlore résiduel dans l'eau en utilisant un chloromètre en présence du DPD N°1, qui donne une teinte rose lorsqu'il se mélange avec le chlore.

Après avoir ajusté l'appareil, on verse 10 ml d'eau à analyser dans la cellule d'analyse du chlore. Ensuite, on ajoute le DPD N° 1 directement de l'emballage protecteur dans l'échantillon de 10 ml. Ensuite, on ferme le couvercle et on mélange le contenu en agitant. Ensuite, on place la cellule dans le chloromètre et on prend note de la valeur affichée à chaque déplacement. Le résultat de l'analyse est exprimé en mg/l de chlore total.

Turbidité.

La mesure de la turbidité a été réalisée en utilisant un turbidimètre appelé néphélométrie. Nous avons utilisé des cuves en verre soigneusement nettoyées et séchées, puis nous les avons remplies avec de l'eau distillée comme solution témoin, puis avec de l'eau à analyser. Après avoir stabilisé l'appareil, nous avons obtenu les résultats qui sont exprimés en unités de turbidité néphélométrique (NTU).

Température

L'évaluation de la température de l'échantillon prélevé sur place a été réalisée en utilisant un thermomètre avec une électrode en verre. Une fois que nous avons passé 10 minutes dans l'eau, nous avons enregistré la valeur affichée sur l'écran de l'appareil en °C.

Dureté la totale

En utilisant une pipette, nous avons versé 50 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml. Ensuite, nous avons ajouté 4 ml de la solution tampon et 2 à 3 gouttes de l'indicateur coloré noir eriochrome. Une teinte violet-rose s'est développée. Ensuite, nous avons titré avec la solution d'EDTA jusqu'à ce que la teinte rose-violacée se transforme en bleue. Nous avons noté le volume de la solution d'EDTA versée.

Conductivité

La conductivité est mesurée en utilisant un conductimètre attaché à une électrode. Une solution tampon (l'eau distillée) a été utilisée pour étalonner l'appareil, puis l'électrode a été immergée dans le bécher d'eau à analyser. Le résultat affiché sur l'écran de l'appareil a été enregistré en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Calcul de l'alcalinité

On évalue l'alcalinité de l'eau prélevée en mesurant la présence d'hydrogénocarbonates et de carbonates. Les deux conclusions sont :

Le titre alcalimétrique, également appelé TA, permet d'évaluer la présence de carbonates (CO_3^{2-}) dans l'eau.

Le titre alcalimétrique complet, également appelé TAC, permet d'évaluer la concentration de bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau.

Les mesures sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué (acide sulfurique) en présence d'une solution alcoolique de phénophtaléine (0,5%)

Dosage du titre d'alcalimétrique (TA)

Dans un récipient de 250 ml, nous avons versé 100 ml d'échantillon, puis nous avons ajouté 1 à 2 gouttes de la solution phénophtaléine, ce qui a donné une teinte rose. (Le pH doit être supérieur à 8.3, sinon la couleur rose ne se manifesterait pas, donc le TA est nul). Ensuite, notre solution a été tirée avec de l'acide sulfurique en utilisant une burette tout en agitant en permanence, jusqu'à ce que la solution soit complètement décolorée (pH=8.3). Nous avons enregistré la quantité d'acide sulfurique versée, qui correspond à la concentration des carbonates en mg/l de notre échantillon.

Analyse complète du titre alcalimétrique (TAC)

Le dosage du titre alcalimétrique complet (TAC) suit celle du TA. Nous avons utilisé le même échantillon traité précédemment à qui nous avons ajouté 2 gouttes de solution de méthyle orange. Une couleur orange apparaît. Ensuite, nous avons titré avec le même acide sulfurique jusqu'à ce que la couleur orange se transforme en jaune orangé, avec un pH de la solution de 4.3. La quantité de bicarbonates correspond au volume de l'acide sulfurique versé en mg/l.

La détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) est calculée selon la loi : $\text{TAC} = V_t \times 10$ Avec : V_t : le volume versé en millilitre de l'acide sulfurique dans la burette.

Sodium

Préparation de l'essai à blanc : nous avons pesé 2,54 g de chlorure de sodium (NaCl) et l'avons dissous dans de l'eau distillée. Cette solution a été diluée jusqu'à un volume d'un litre, atteignant ainsi une concentration de 1000 mg/l de sodium. Après

avoir conservé cette solution mère, nous avons préparé une solution de 10 mg/l destinée à l'essai à blanc, qui sera analysée trois fois au spectrophotomètre à flamme.

La valeur du sodium est affichée en mg/l sur l'écran de l'appareil après avoir passé notre bécher contenant notre échantillon à l'analyse au spectrophotomètre à flamme. Si cette valeur est supérieure à 10 mg/l, nous diluons la concentration et obtenons ainsi le résultat. Ce qui signifie que le résultat obtenu après la lecture est multiplié par le facteur de dilution

Potassium

Pour le dosage du potassium, nous avons suivi les mêmes étapes que pour le dosage du sodium, à l'exception de l'étalonnage de l'appareil, où nous avons utilisé la solution de chlorures de potassium.

Chlorures

Dans un erlenmeyer de 250 ml, nous avons placé 100 ml de l'échantillon, puis nous avons ajouté 1 ml de chromate de potassium (K_2CrO_4) à une concentration de 100 g/l. Nous avons agité, ce qui a donné lieu à une couleur jaune. Ensuite, nous avons ajouté de la solution de nitrite d'argent ($AgNO_3$) à une concentration de 0,02 mol/l, jusqu'à ce que la couleur jaune se transforme en rouge brique. La concentration des chlorures dans la solution titrée en mg/l est égale au volume de nitrite d'argent versé.

Calcium

En utilisant une pipette pour introduire 50 ml de l'échantillon, nous avons ajouté 2 ml du fixateur de l'hydroxyde de sodium (NaOH) et agité. Ensuite, nous avons ajouté 0.2 g de l'indicateur colorimétrique le murexide (HSN) et on a agité, puis titrer avec la solution d'EDTA tout en agitant, le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette. La quantité d'EDTA versée est proportionnelle (égale) à la concentration de calcium dans l'échantillon. Elle a été enregistrée en mg/l.

Dosage de la somme du calcium et magnésium

Les ions calcium et magnésium ont été mesurés par complexométrie dans une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tétra acétique (EDTA) à

un pH de 10. Le noir ériochrome T, utilisé comme indicateur, apparaît rose en présence des ions calcium et magnésium. Lors du titrage avec l'EDTA la solution vire au bleu

Commencer par prélever 50 ml de l'échantillon, puis ajouter 4 ml de la solution tampon et une pincée d'indicateur NET. Bien mélanger : la solution doit devenir rose. Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA, en versant lentement jusqu'à ce que la couleur vire au bleu. Il est important que la couleur ne change plus avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

Le facteur de correction F_c est égal à $F_c = \frac{\text{volume theorique (12.5ml)}}{v_0}$

La concentration totale en ions calcium et magnésium ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$), exprimée en °F, ou mg/l (1°f = 4mg/l) 2408, elle est donnée par la formule : **TH = V2 x 2 x F x Fc**

TH : dureté exprimée en °F

V2 : le volume, en millilitres, d'échantillon dosé

Fc : facteur de correction

F : facteur de dilution

Un spectrophotomètre DR 6000 est utilisé pour toutes les analyses qui reposent sur la spectrophotométrie d'adsorption moléculaire. Cela représente une méthode d'analyse qualitative et quantitative où un faisceau de lumière monochromatique traverse la solution à analyser, mesurant ainsi l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique spécifique présente en solution.

Nitrate (NO_3^-)

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

Prendre 10 ml d'eau pour l'analyse, puis ajouter 3 gouttes de solution de sodium hydroxyde à 30 % et 1 ml de solution de salicylate de sodium à 0,5 %. Évaporer le mélange à sec au bain-marie ou dans une étuve à une température de 75 à 88 °C. Ajouter ensuite 2 ml d'acide sulfurique concentré au résidu, laisser reposer pendant 10 minutes, puis incorporer 15 ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et potassium. Utiliser un spectromètre UV-Visible pour effectuer la lecture à une longueur d'onde de 415 nm.

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre UV-Visible en mg/l des nitrates.

Nitrite (NO_2^-)

Dans une prise d'essai, les ions nitrites réagissent avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide à un pH de 1,9 en présence d'aide orthophosphorique, créant ainsi un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose. L'absorbance est mesurée à 540 nm.

Il faut ajouter 50 ml d'échantillon et 1 ml de réactif mixte et attendre au moins 20 mn. Les NO_2 sont présents lorsque la coloration rose apparaît. Il est possible de mesurer l'absorbance de chaque étalon à une longueur d'onde d'environ 540 nm.

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l des nitrites.

Ammonium (NH_4^+)

Remplir une fiole de 50 ml avec 40 ml d'eau distillée à l'aide d'une pipette (ceci constitue le blanc). Dans une autre fiole, analyser 40 ml de l'échantillon. Ajouter ensuite 4 ml de réactif coloré et 4 ml de réactif de dichloro-isocyanurate de sodium. Mélanger homogènement, puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre le trait de jauge de la fiole (environ 2 ml). Laisser réagir pendant une heure. En présence d'ammonium, la teinte jaune évolue vers le vert. Placer la cuve contenant l'échantillon d'ammonium dans le spectrophotomètre UV, déjà calibré avec de l'eau distillée, et enregistrer la valeur affichée sur l'écran de l'appareil en mg/l.

Phosphates (PO_4^-)

Une réaction entre les ions orthophosphates et une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine forme un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

Dans une fiole de 50 ml, 40 ml d'échantillon d'eau sont mélangés avec 1 ml d'acide ascorbique et 2 ml d'un mélange de réactifs, puis laissés à réagir pendant 10 minutes. Les résultats sont lus à l'aide d'un spectrophotomètre UV calibré avec une solution d'orthophosphate. L'apparition d'une couleur bleue indique la présence de phosphate.

Dosage de la matière organique

L'analyse a été réalisée en ajoutant 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml, suivi de 20 ml d'acide sulfurique. Après avoir porté le mélange à ébullition, 20 ml de permanganate de potassium (2 mmol/l) ont été ajoutés et maintenus à ébullition pendant 10 minutes. Ensuite, 20 ml de la solution fille (5 ml de solution mère, oxalate de sodium et 45 ml d'eau distillée) ont été ajoutés pour décolorer le mélange. Après avoir retiré l'erlenmeyer de la plaque chauffante, la solution a été agitée, et du permanganate de potassium (KMnO_4) a été ajouté jusqu'à obtenir une teinte rose pâle, indiquant l'oxydation totale de la matière organique. La quantité de KMnO_4 ajoutée reflète le taux de matière organique en mg/l dans l'échantillon.

L'Indice de permanganate, IMn, exprimé en milligrammes d'oxygène par litre, est calculé selon la formule : Formule : $\text{IMn} = \left(\frac{V_1 - V_0}{V_2} \right) \times f$

V_0 : volume en millilitres de la solution de permanganate consommé dans le dosage à blanc

V_1 : volume en millilitres de la solution de permanganate consommé dans le dosage de la prise d'essai ;

V_2 : volume en millilitres de la solution de permanganate consommé lors de la vérification de la solution titrant

f : facteur correctif utilisé, compte tenu des unités, pour exprimer le résultat en milligrammes d'oxygène par litre.

Résidus secs à 105°

La mesure des résidus permet d'évaluer la quantité de matières dissoutes. Elle implique de verser une quantité d'eau dans une capsule tarée, puis de la porter dans une étuve afin que l'eau s'évapore. Ensuite, le résidu desséché est pesé.

Premièrement, Il faut d'abord nettoyer la capsule avec de l'acide chlorhydrique (HCl), puis l'eau distillée et la séchée en passant par l'étuve et il est nécessaire de la peser. Ensuite, à l'aide d'une éprouvette graduée, il est nécessaire de prélever une

quantité de 50 ml d'eau à analyser et de la verser dans la capsule. Cette dernière doit être placée dans une étuve pendant 1 heure à une température de 105 C°. Ensuite, elle doit refroidir dans un dessiccateur pendant 1/4 d'heure avant d'être pesée sur la balance analytique.

La concentration des résidus secs dans nos échantillons est calculée selon l'équation suivante:

$$RS = (M1 - M0) \times 1000 / V \text{ Soient :}$$

V : Le volume en millilitres de la prise d'essai (jusqu'à mi-hauteur de la capsule).

M0 : La masse en milligrammes de la capsule vide.

M1 : La masse en milligrammes de la capsule et de son contenu après séchage à 105°C

Fer

En ajoutant une solution de phénantroline-1.10 à une prise d'essai, on peut mesurer photométriquement le complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510 nm.

Après avoir placé 50 ml de l'échantillon d'eau dans une fiole jaugée de 100 ml, nous avons ajouté 1 ml de chlorhydrate hydroxylamine, 2 ml de solution tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5 et rajouter 2 ml de phénanthroline. Nous avons ensuite laissé le mélange agir pendant 15 minutes dans l'obscurité.

Pour mesurer l'absorbance, nous avons employé un spectrophotomètre à UV étalonnée avec de l'eau distillée. Cette mesure permet de déterminer la concentration en mg/l de fer présente dans l'échantillon d'eau analysé.

Sulfate

Les ions sulfates sont mesurés en sulfate de baryum en fonction de la réaction : $BaCl_2 + SO_4^{-2} \rightarrow BaSO_4 + 2Cl^-$

Effectuer un prélèvement de 20 ml d'eau pour l'analyse, puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre 100 ml. Ajouter 5 ml de la solution stabilisante et agiter vigoureusement pendant une minute. Incorporer ensuite 2 ml de la solution de BaCl_2 et agiter à nouveau pendant une minute. La gamme doit être mesurée et enregistrée à l'aide du spectrophotomètre HACH DL6000 à une longueur d'onde de 420 nm.

Les résultats sont exprimés SO_4^{-2} .en mg/L de

Bicarbonate HCO_3^-

Des échantillons filtrés sont titrés avec une solution d'acide sulfurique standardisée. Un indicateur coloré permet de déterminer le point d'équivalence de la titration, et le volume d'acide utilisé est mesuré pour calculer la concentration de bicarbonate. Cette méthode assure la précision nécessaire pour évaluer la qualité de l'eau conforme aux réglementations.

II.3. Analyses bactériologique

Dénombrement des coliformes et coliformes thermo tolérants (*Escherichia coli*) et les streptocoques fécaux.

Méthode en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable (NPP)

Il est possible d'utiliser cette méthode pour tous les types d'eaux, en particulier lorsqu'il s'agit de grandes quantités de matières en suspension et d'une charge bactérienne très élevée (eaux souterraines, eaux brutes, eaux troubles).

L'objectif de cette méthode est de chercher et de dénombrer les coliformes totaux et les coliformes thermo-tolérants (*E. coli*) dans le milieu de bouillon lactosé au pourpre bromocresol (BCPL) à concentrations simple et double, ainsi que les streptocoques fécaux dans le milieu Roth, à concentrations simple et double, dans l'eau de source à analyser, le tout en utilisant la technique du nombre le plus probable (NPP).

La recherche d'*Escherichia Coli*, des coliformes et des streptocoques fécaux se déroule en deux étapes successives : Test de présomption suivi d'un test de confirmation pour les tubes montrant une présence positive.

Les milieux de culture comprennent le bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol (BCPL) à double concentration, le BCPL à simple concentration, ainsi que le bouillon de Schubert et le réactif de Kovacs pour la recherche de l'indole.

Test de présomption pour *E. coli* et coliformes totaux

L'objectif de ce test est de détecter les coliformes en ensemençant sept tubes de bouillon lactosé au pourpre de Bromocrésol (BCPL), chacun équipé d'une cloche de Durham, dont cinq tubes utilisent une double concentration et deux tubes utilisent une simple concentration. Ainsi, de manière aseptique, nous avons introduit 10ml d'eau à analyser dans chaque tube de double concentration contenant 50ml de milieu BCPL. Une fois que nous avons éliminé toute bulle d'air possible dans les cloches de Durham et bien mélangé le milieu de culture, nous l'avons fait incuber à une température de 37°C pendant 24 à 48 heures.

Les tubes qui sont considérés comme positifs montrent à la fois un trouble microbien avec une couleur du milieu qui se transforme en jaune et un dégagement de gaz (plus de 1/10 de la hauteur de la cloche), ces deux signes sont considérés comme des signes de fermentation du lactose. La lecture finale est effectuée conformément aux directives de la table du NPP.

Test de confirmation

L'objectif de ce test est d'identifier des coliformes thermo-tolérants (*E. coli*) présentant des caractéristiques de fermentation à 44°C. Les tubes de BCPL détectés comme positifs lors du comptage des coliformes seront prélevés à l'aide d'une pipette et transférés dans des tubes contenant le milieu Schubert avec une cloche de Durham. Ceux-ci seront ensuite incubés à 44°C pendant 24 heures, après avoir éliminé l'air de la cloche et mélangé soigneusement les différents milieux.

Les tubes jugés positifs montrent un trouble microbien, un dégagement de gaz, et la présence d'un anneau rouge en surface, indicateur de la synthèse d'indole par

E.coli après ajout du réactif de Kovacs, avec une lecture effectuée conformément aux directives de la table de NPP, considérant que les *E. coli* génèrent du gaz et de l'indole à 44°C.

Test d'identification des streptocoques fécaux.

Les milieux de culture comprennent le milieu de Roth et le milieu d'Eva Litsky.

Test de présomption

Ce test est effectué à l'aide du milieu Roth, dont la forte efficacité est due à la présence d'une proportion élevée de polypeptone et de glucose, ainsi que d'acide de sodium qui inhibe la croissance des micro-organismes à Gram négatif tout en favorisant la culture des streptocoques fécaux. À partir de l'eau à analyser, nous avons prélevé aseptiquement 50 ml dans un flacon contenant le milieu Roth à double concentration, répartissant 10 ml dans cinq tubes.

Les tubes considérés comme présomptifs sont ceux qui présentent un trouble microbien et ils sont soumis au test confirmatif

Test de confirmation

L'objectif de ce test est de confirmer la présence des streptocoques. Les tubes positifs de Roth dans le test précédent sont repiqués avec une pipette pasteur et transférés vers le milieu d'Eva Litsky afin d'être vérifiés précisément pour la présence des streptocoques. L'incubation se déroule à une température de 37°C pendant une durée de 24 heures.

Les tubes positifs sont ceux avec un problème microbien et une pastille violette ou blanchâtre au fond. La lecture finale est réalisée conformément aux prescriptions de la table du NPP.

Filtration par membrane

Dénombrement des coliformes

Les coliformes totaux et fécaux (*E.coli*) présents dans l'échantillon d'eau à analyser doivent être dénombrés et recherchés en comptant les colonies obtenues après 24 ou 48 heures d'incubation à 37°C, puis à 44°C. Cette procédure s'effectue à travers une membrane de porosité de 0,45 µm, qui retient les bactéries.

Les Milieux de culture comprennent la gélose chromogène (CCA) utilisée par les bactéries coliformes, et le disque d'oxydase ou réactif à l'oxydase.

Mode opératoire

L'entonnoir et les membranes poreuses ont été stérilisés à l'aide d'un bec

Benzène, puis immédiatement refroidis avec de l'eau à analyser. Ensuite, à l'aide d'une pince stérile, une membrane de porosité de 0,45 µm a été placée entre la membrane poreuse et l'entonnoir. En utilisant une pompe à vide, 100 ml d'eau à analyser ont été aseptiquement transférés à travers la membrane. Enfin, l'entonnoir a été connecté et la membrane a été transférée immédiatement et aseptiquement, à l'aide d'une pince, sur la surface d'une boîte de pétri contenant une plaque de gélose (RC) préalablement préparée, qui a été incubée à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Les colonies présentant une teinte rouge sont des coliformes qui réagissent négativement à l'oxydase, tandis que celles qui montrent une réaction positive à l'indole se distinguent par une teinte bleue, indiquant qu'il s'agit d'*E. coli*.

Détermination des streptocoques

L'identification et le comptage des streptocoques fécaux dans les eaux de forages sont effectués par filtration sur membrane.

Les milieux de culture comprennent la gélose Slanetz et Bartley. Et la Gélose de la Bile Esculine (BEA).

Mode opératoire

Dans un premier temps, l'entonnoir et la membrane poreuse ont été stérilisés à l'aide d'un bec benzène, puis refroidis avec l'eau à analyser. Ensuite, à l'aide d'une pince stérile, un filtre de porosité de 0,45 µm a été installé entre la membrane poreuse et l'entonnoir. Par la suite, 100 ml d'eau à analyser ont été versés dans l'entonnoir, et la pompe à vide a été actionnée pour permettre l'absorption de l'eau à travers la membrane. Enfin, la membrane a été transférée immédiatement et aseptiquement, à l'aide d'une pince stérile, sur la surface d'une plaque de gélose préalablement préparée, qui sera maintenue à une température de 37°C pendant 48 heures.

Les streptocoques se présentent sous la forme de petites colonies lisses, légèrement bombées et pigmentées en rouge après 48 heures d'incubation. Ensuite, la membrane du milieu Slanetz et Bartley a été transférée aseptiquement dans une autre boîte de pétri contenant de la gélose Bile Esculine Azoture (BEA), puis incubée à une température de 44°C pendant 2 heures. La coloration noire des colonies caractéristiques indique l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu, ce qui permettra de comptabiliser le nombre de colonies.

L'analyse des eaux des différents points de forage de la wilaya de Tizi-Ouzou a permis d'obtenir des résultats des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Ces résultats seront comparés aux normes nationales (JORA, 2011) et internationales (OMS, 2017).

III.1. Résultats des paramètres organoleptiques

Couleur

Les eaux de forage analysées sont incolores pendant la période d'étude, ce qui suggère l'absence d'ions métalliques comme le fer ferreux (Fe^{2+}) et le fer ferrique (Fe^{3+}).

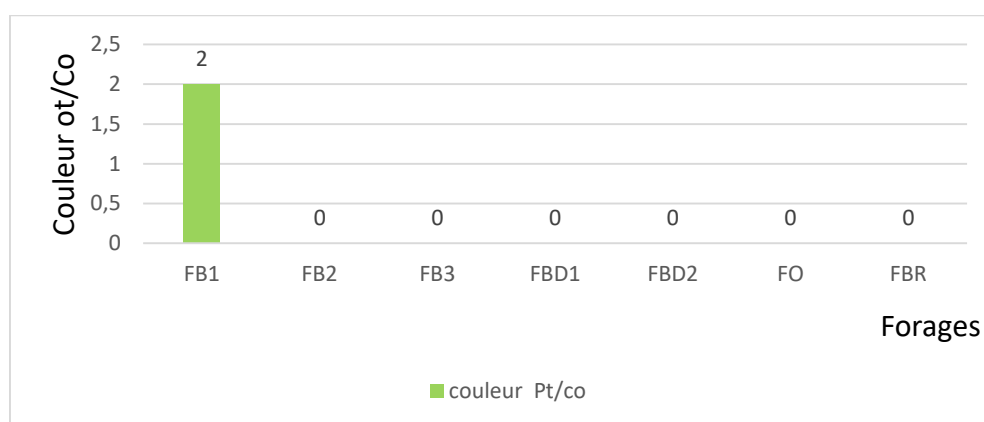


Figure 5 : Variations de couleur au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Cela pourrait expliquer le changement de couleur de l'eau. Dans le forage FB1, une légère coloration de 2 Pt/co a été enregistrée, mais cela reste conforme aux normes et ne pose pas de problème majeur pour la consommation d'eau potable

Odeur

L'analyse a révélé que les eaux des forages étudiés sont inodores, ce qui suggère probablement l'absence de substances chimiques, de matières organiques en décomposition et de protozoaires.

III.2. Paramètres physico-chimiques

Température

Les eaux de forage de la wilaya de Tizi-Ouzou affichent une température variant de 15,1 °C à 19,4 °C pour les échantillons prélevés entre janvier et février (Fig.6).

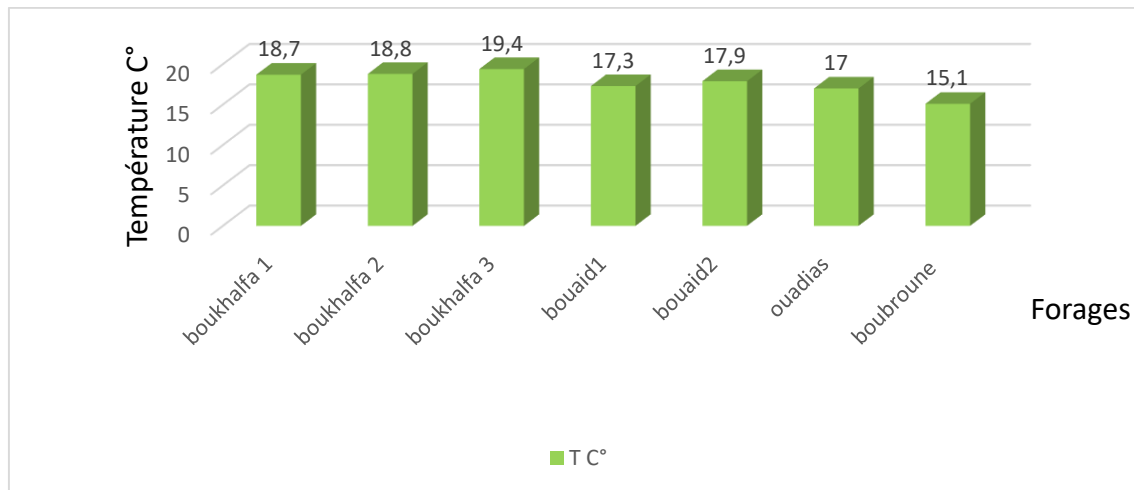


Figure 6 : Variation de la température au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

La plupart des valeurs de température restent inférieures à la norme ($< 25 \text{ }^\circ\text{C}$) établie pour cette étude (JORA, 2011). Selon Schurch (2018), la température et ses fluctuations dépendent du type d'aquifère, du régime des eaux souterraines, de la profondeur de l'aquifère et de l'interaction entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH des eaux brutes des forages a varié entre 7,04 et 7,52 durant la période d'étude. Ces valeurs se situent dans l'intervalle de la neutralité (Fig. 7).

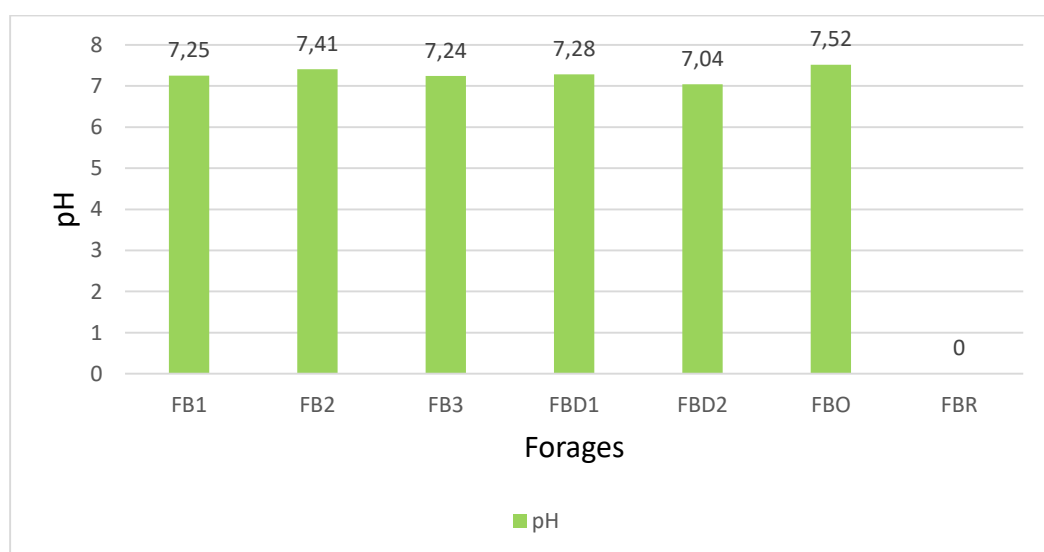


Figure 7 : Variations de pH au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Bien que le pH n'affecte pas directement les consommateurs, il représente l'un des paramètres opérationnels les plus importants de la qualité de l'eau. Selon l'OMS (2017), toutes les eaux analysées respectent les normes internationales de potabilité, qui se situent entre 6,5 et 9,5.

Turbidité

Les valeurs de turbidité varient de 0.16 NTU à 0.76 NTU pour la plupart des points, et elle s'élève à 1.16 NTU, pour le point FB3.

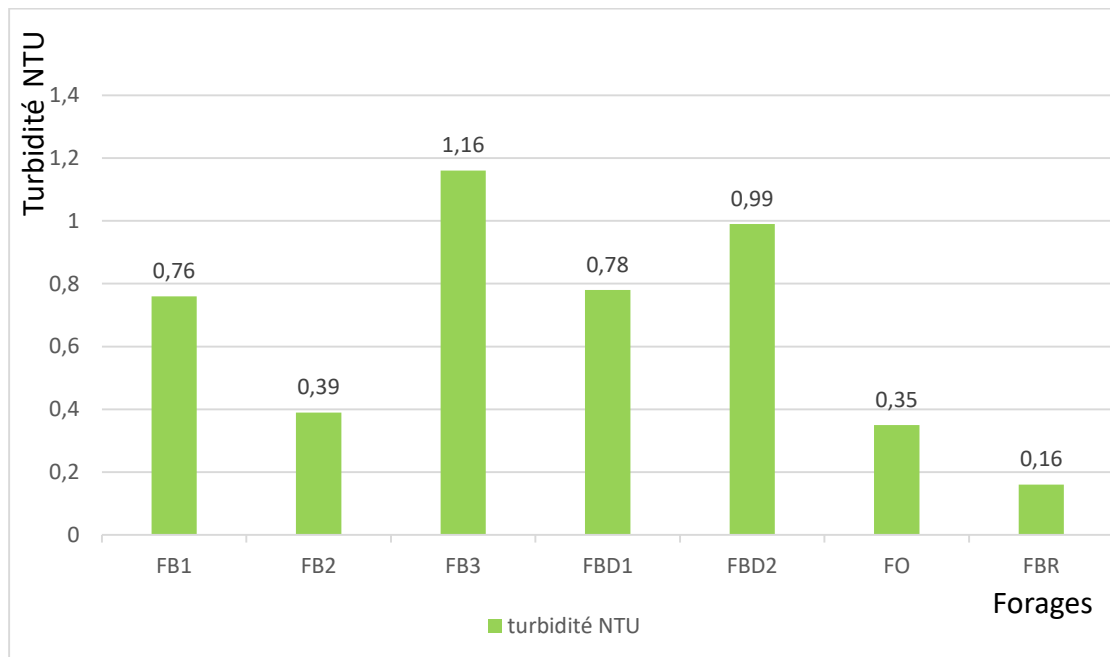


Figure 8 : Résultats de la turbidité dans les eaux des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Selon le journal algérien n° 18 23 de 2011 la norme fixée pour la turbidité est de 5 NTU, la turbidité des eaux de forages répond donc à la norme et ne posent pas de problème majeur pour la consommation d'eau potable.

Conductivité électrique

La conductivité électrique constitue un indicateur essentiel de la qualité de l'eau, influencée par les charges de matière organique, qu'elles soient endogènes ou exogènes, qui engendrent des sels lors de leur décomposition et minéralisation, (Belghiti et al., 2013). Ce phénomène est également accentué par l'évaporation, qui concentre ces sels dans l'eau. Par ailleurs, la conductivité électrique varie en fonction du substrat géologique traversé, déterminant ainsi la nature hydrogéochimique des eaux souterraines, en relation avec les ions majeurs prédominants (Kouassi et al., 2017).

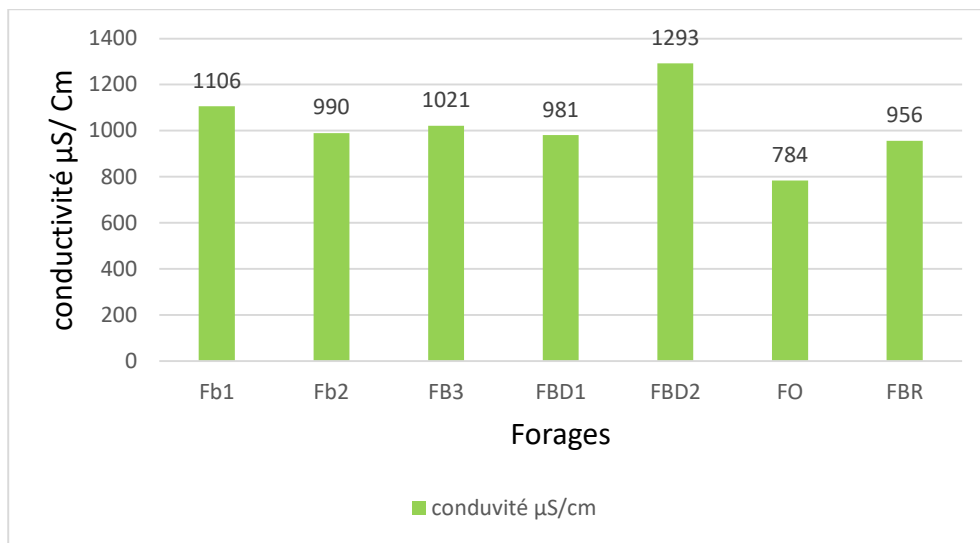


Figure 9: Variation de la conductivité au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Les valeurs de conductivité sont conformes aux normes des eaux de consommation, étant toutes inférieures à 2800 $\mu\text{S/cm}$ (JORA, 2011).

Résidus secs

Les résultats des analyses des résidus secs dans les eaux des points de forage indiquent une valeur minimale de 487 mg/l et une valeur maximale de 772 mg/l. Toutes ces valeurs se situent en dessous de la norme nationale de < 1500 mg/l (JORA, 2011) et de la norme internationale de < 1000 mg/l (OMS, 2017).

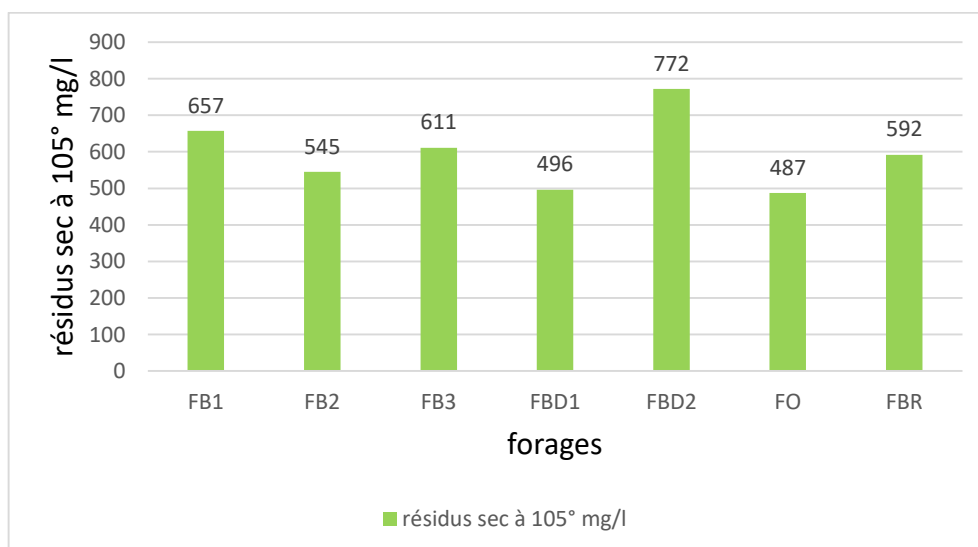


Figure 10: Résultats des résidus secs des eaux des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

L'origine des résidus secs provient principalement de la roche mère, de la matière organique solide et des rejets anthropiques. Les fractions autochtones et allochtones se composent d'un mélange de matières organiques (algues, bactéries, débris végétaux, composés humiques) et de composés inorganiques (carbonates, quartz) (Collin, 2004)

Alcalinité

Les résultats du titre alcalimétrique complet (TAC) varient entre 276 et 412 mg/l d'un forage à l'autre (Fig. 11). Selon JORA (2011), les mesures des sept points analysés sont toutes inférieures à la norme nationale de < 500 mg/l.

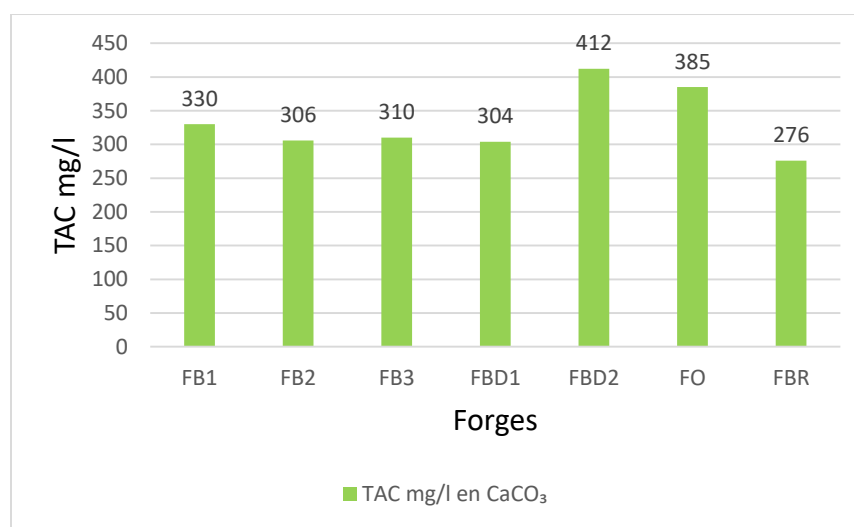


Figure 11 : Résultats du titre alcalimétrique en (mg/l) des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Les bicarbonates sont étroitement liés à l'alcalinité. Les eaux analysées présentent une douceur et une alcalinité faibles, principalement en raison des concentrations réduites d'ions bicarbonates (HCO_3^-).

Dureté totale (Th)

Le titre hydrotimétrique TH, également connu sous le nom de dureté totale, est la somme des concentrations de calcium et de magnésium, ou en fonction de la concentration de carbonate de calcium. Dans les analyses, cette variable varie d'un forage à un autre. La formation géologique des nappes souterraines et leurs composantes chimiques sont liées à cela.

Les données présentées dans la figure 12 montrent que la dureté totale des eaux de forage analysées varie entre 394 mg/l, valeur minimale, et 478 mg/l, valeur maximale.

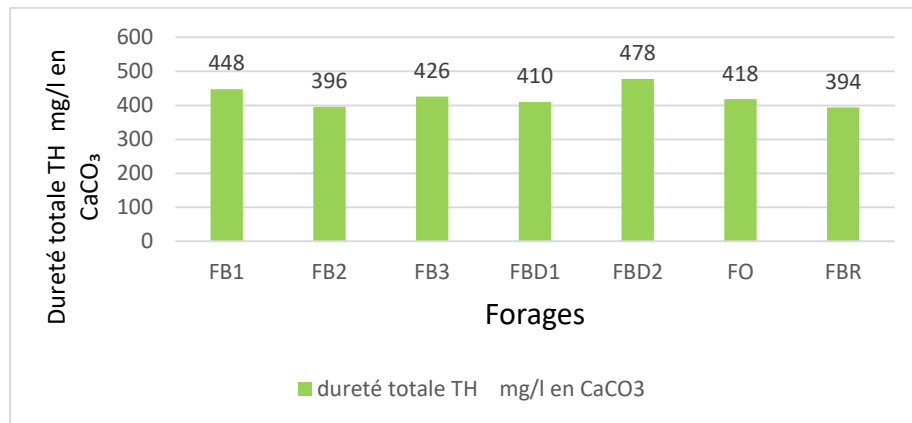


Figure 12: Résultats des analyses de la dureté totale en mg/l des points de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout des terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 1 g/L de CaCO₃. Par contre, les eaux en provenance de terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux auront des duretés très faibles (Rodier et al., 2009)

Nitrates

Les niveaux de nitrates mesurés dans les sept points de forage de la wilaya de Tizi-Ouzou (Fig.13) varient de 1,32 à 57,1mg/l. Les valeurs les plus élevées sont observées dans les forages FBD2 et FBR avec des concentrations respectives de 48,69 et 57,1 mg/l. Ces deux forages sont les vulnérable, à la contamination par les nitrates du fait que leurs valeurs sont les plus élevés.

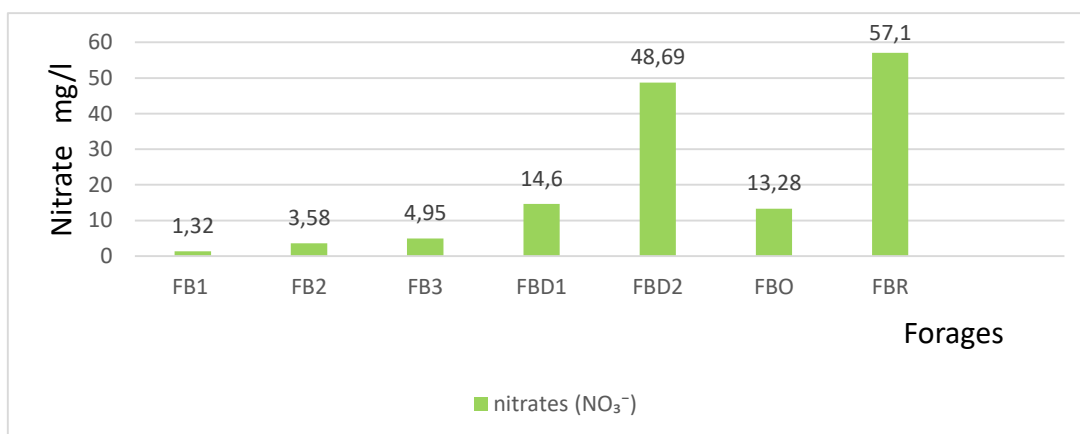


Figure 13: Variation des nitrates au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Dans FBR, on observe une augmentation des valeurs, ce qui peut être attribué à l'utilisation intensive des engrais chimiques et organiques dans l'agriculture. Ces engrais parviennent probablement aux nappes d'eau souterraines par le ruissellement

de ces terres, ainsi qu'à la décomposition de la matière organique, comme le souligne Rodier et al. (2009).

Calcium (Ca^{++}) et magnésium

Selon la figure 14, on peut observer des concentrations élevées dans les eaux de forage. Ces valeurs dépassent 100 mg/l.

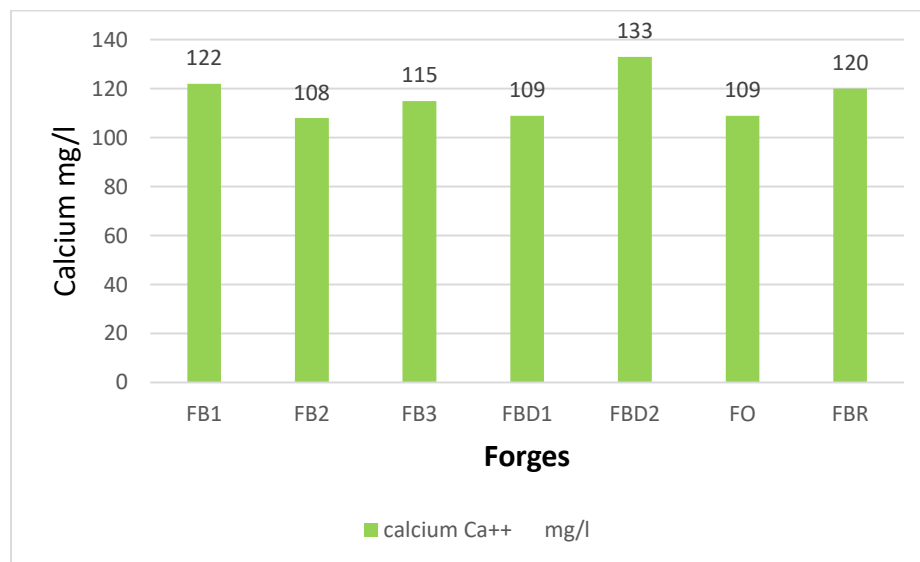


Figure 14: Variation de calcium au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Le taux de Magnésium (Fig.15) oscille entre 23 et 35 mg/l.

Les points des forages fournissent des résultats inférieurs à la norme nationale (JORA, 2011).

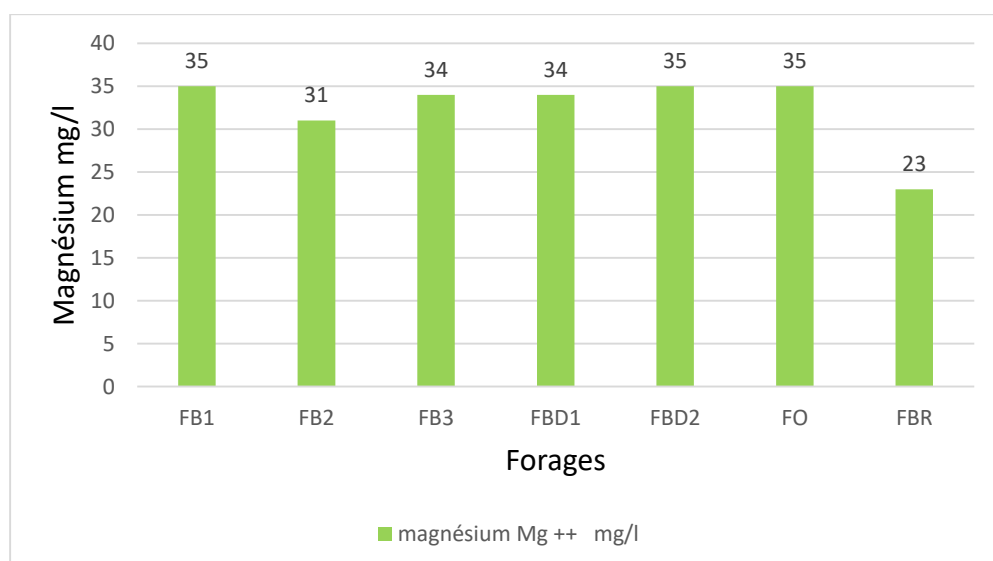


Figure 15 : Variation de magnésium en (mg/l) au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

La dureté est généralement associée à la teneur en calcium et en magnésium de l'eau. Ces deux composants sont issus de l'altération de la roche principale. Dans les eaux souterraines, la concentration en calcium est généralement supérieure à celle en magnésium (Couture et al., 2004). Ils résultent principalement de la dissolution des roches carbonatées en raison de la présence du gaz carbonique (Dib, 2009). Le calcium peut également être obtenu à partir de formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui peuvent être dissoutes.

Orthophosphates

Les orthophosphates des forages sont nul dans tous les points sauf FB2 (Boukhalfa 02) et FB3 (Boukhalfa 03)

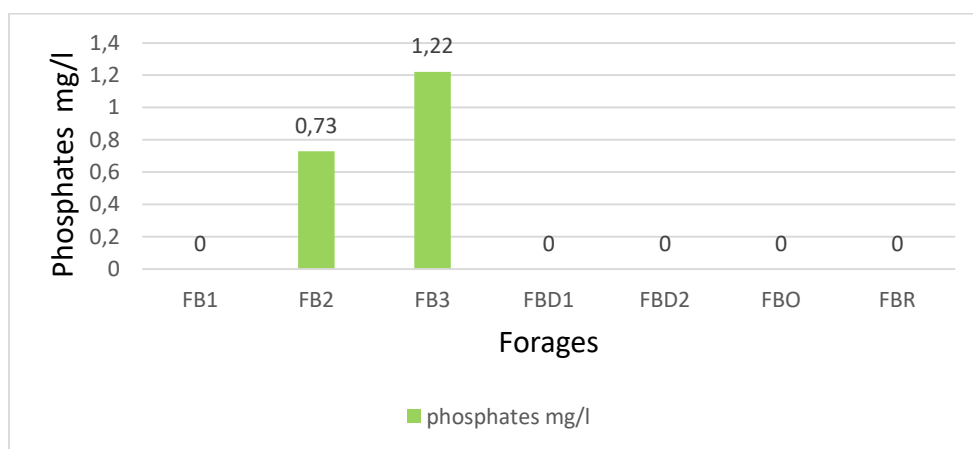


Figure 16 : Variation de phosphates en (mg/l) au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

On trouve rarement des orthophosphates dans les eaux souterraines : ils ne contribuent en effet pas à la balance ionique entre cations et anions. Dans les eaux souterraines, les apports phosphatés sont principalement, voire exclusivement, associés à des problèmes d'assainissement, plutôt qu'à des pratiques agricoles (Barbier et al., 2000).

Chlorures

Les résultats des analyses des eaux de sept points de forages présentés dans la figure 21 révèlent des concentrations en chlorures fluctuent entre une valeur maximale de 121 mg/l pour FBD2 et une valeur minimale de 80 mg/l pour FO

Les résultats obtenus sont tous en dessous des valeurs indicatives de la norme nationale de 500 mg/l (JORA, 2011). Ce qui les rend aptes à être consommées par les humains.

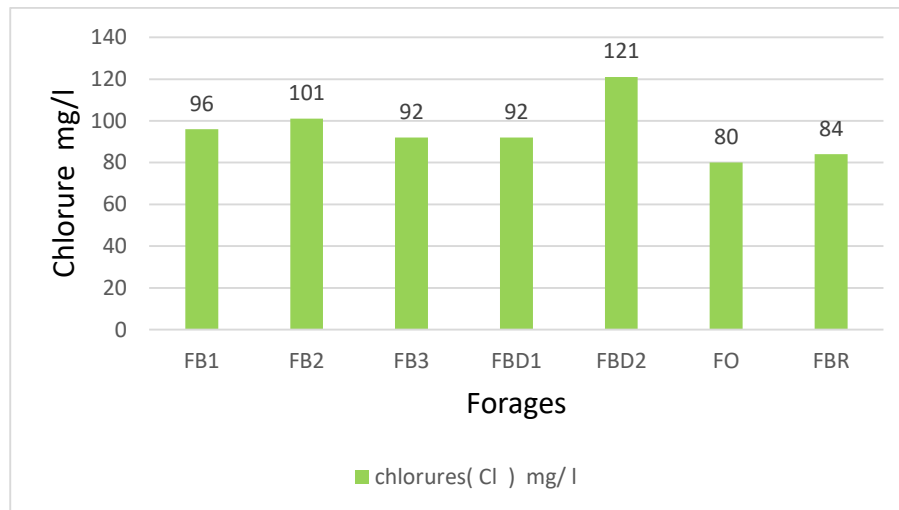


Figure 17: Variation de chlorures en (mg/l) au niveau des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

D'après Dib (2009), les chlorures peuvent provenir de différentes sources : soit par contamination par les eaux usées, soit par la dissolution des sels par lessivage des terrains

Bicarbonate

Les carbonates se présentent avec des traces d'acides carboniques et d'ions carbonates, aux pH des eaux naturelles variant entre 7 et 8. On peut réaliser facilement le dosage des carbonates totaux en mesurant l'alcalinité, en particulier les titres TA et TAC. La concentration des ions carbonates est corrélée au pH. Les résultats montrent une variation allant de 337 à 502 mg/l (Fig. 18).

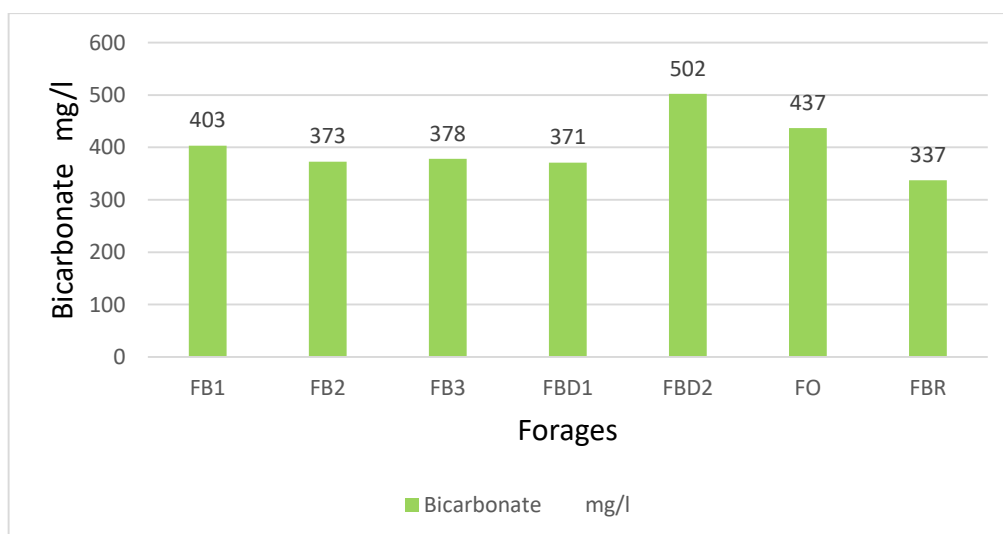


Figure 18 : Résultats de HC_3O^- des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

La station FBD2 enregistre la valeur la plus élevée avec un pH de 7.04. Il est possible d'expliquer cette augmentation par la régularité du pH par les ions de bicarbonate (d'acide à basique).

Nitrites

Les concentrations fluctuent entre une valeur minimale de 0 mg/l observée dans 70% des points et une valeur maximale de 0.25 mg/l observée dans le cas du forage FB2 (Fig.19)

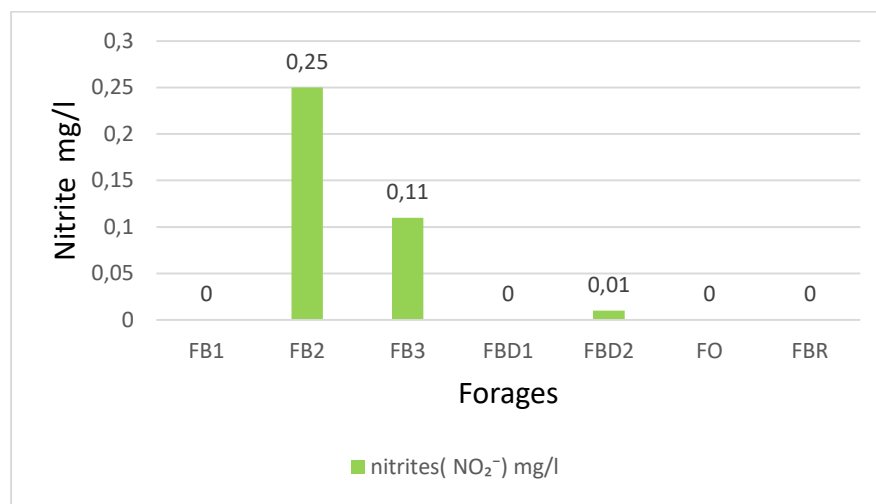


Figure 19 : Résultats des nitrites dans les eaux des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Dans la majorité des points de forages présentent des valeurs inférieures à 0.2 mg/l. Selon la réglementation algérienne pour la présence de nitrites dans les eaux souterraines, ces eaux sont acceptables pour la consommation humaine (JORA ,2011). Cependant, il faut signaler que le forage FB2 présente une concentration en nitrites légèrement supérieure à cette valeur seuil.

Les eaux en contact avec certains terrains peuvent contenir des nitrites, on les trouve également dans les eaux pauvres en oxygène. Ces éléments sont toxiques pour les êtres vivants. Ils transforment l'hémoglobine du sang en une substance proche, la méthémoglobine qui ne joue plus son rôle dans l'oxygénation des cellules et des tissus (El Ouedghiri et al., 2014)

Ammonium

Les valeurs enregistrées dans FB1 et FB2 sont supérieures aux normes de potabilité nationale 0.5mg/l (JORA, 2011) et internationale (O.M.S, 2017) tandis que

les valeurs de FB3, FBD1, FBD2, FO et FBR sont toutes inférieures aux normes de potabilité.

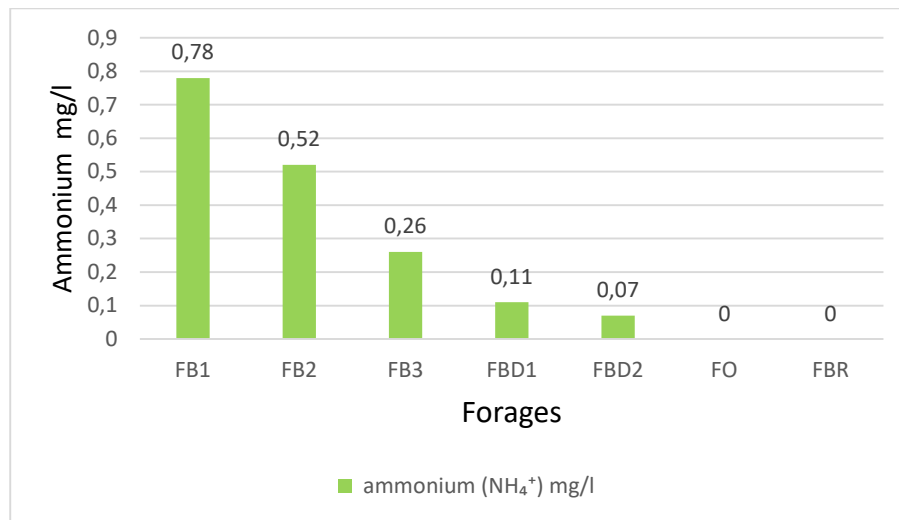


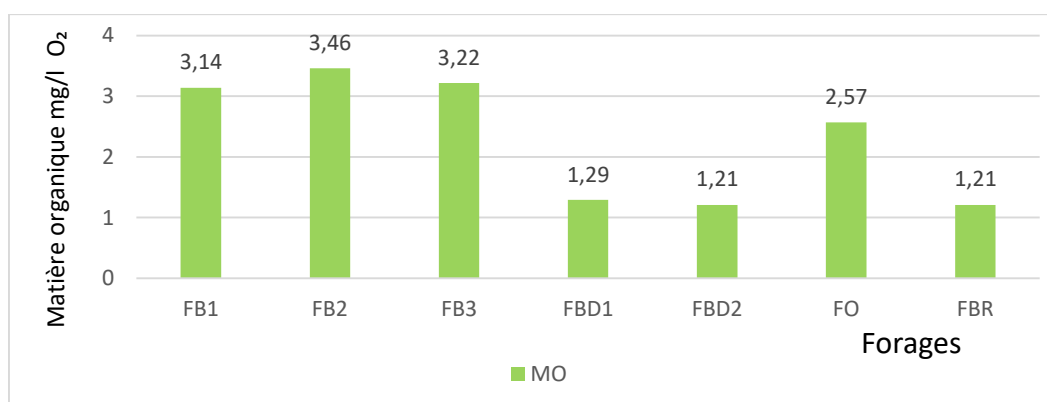
Figure 20 : Résultats des analyses d'ammonium en mg/l des points de forages de la wilaya

L'ammonium est généralement perçu comme un indicateur de pollution, car cette forme d'azote n'est présente que dans les eaux riches en matière organique en décomposition, en particulier lorsque la teneur en O_2 est insuffisante pour la transformer en ions NO_3^- (Dovonou et al., 2012).

Selon Dib (2009), la présence d'ammonium dans l'eau est associée soit à une diminution des formes azotées (nitrates et nitrites) dans des conditions réduites, soit aux rejets urbains dans les oueds et Chotts.

Matière organique (MO)

La matière organique dans l'eau brute des eaux de forages est représentée par des teneurs qui varient entre 1.21 et 3,46 mg /l O_2



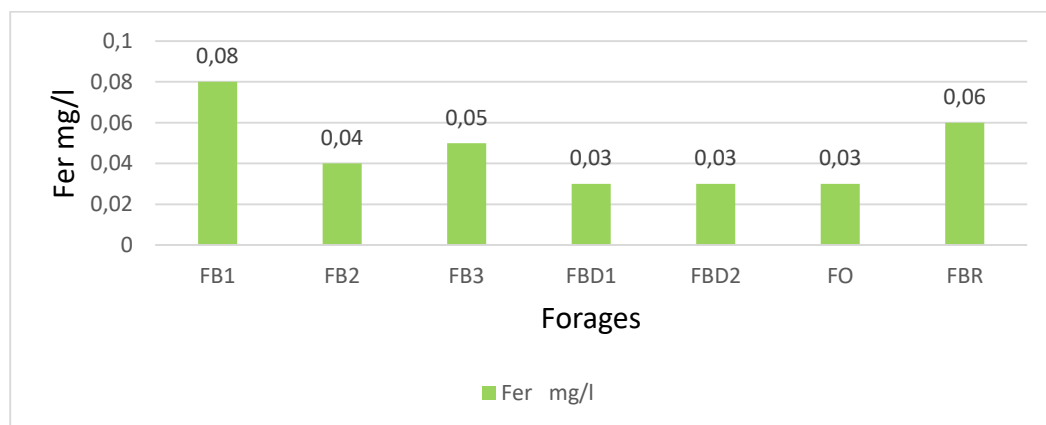
Figures 21 : Résultats de la teneur en matière organique des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

La présence de MO peut être due à des facteurs naturels tels que l'érosion, la dégradation des végétaux et des animaux, ou à des causes humaines telles que les rejets agricoles et industriels (Harrat, 2013)

Fer

Les valeurs obtenues après l'analyse des eaux de forage de la wilaya de Tizi-Ouzou sont toutes inférieures à 0.1 mg/l (Fig.22)

La teneur en fer des eaux est inférieure aux valeurs indiquées par le journal national estimées à 0,3 mg/l (JORA, 2011).



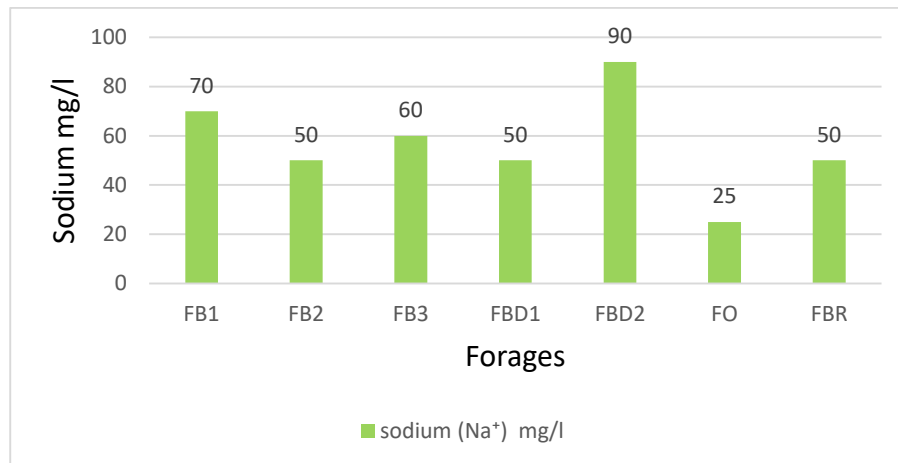
Figures 22 : Résultats du fer des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Les maladies hydriques sont souvent causées par le fer, de manière indirecte (Anonyme, 1996). Si le fer provient de sources de surface, telles que les effluents industriels ou les eaux usées, cela peut suggérer la présence d'éléments pathogènes ou d'autres contaminants provenant des eaux de surface (Drouiche, 2012).

Dans la plupart des sols, le fer se trouve sous forme minérale. Il se dissout dans l'eau. La hausse de la concentration totale en fer dans l'eau brute des forages est associée à la nature du sol après l'infiltration de l'eau qui se propage en profondeur jusqu'à la nappe (Anonyme, 1996).

Sodium

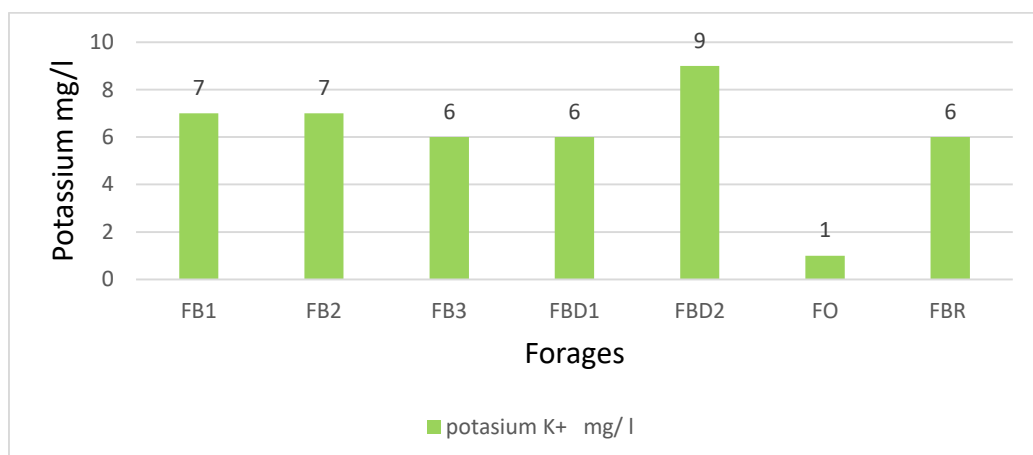
Les valeurs de sodium dans les échantillons des forages varient entre (25-90 mg/L) (Fig.23). L'OMS ne fixe pas de limite spécifique pour le sodium, mais recommande de maintenir les niveaux aussi bas que possible pour les populations sensibles aux risques de santé associés à une consommation excessive de sodium



Figures 23: Résultats du sodium des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Potassium

Les concentrations en potassium (K⁺) dans les échantillons des forages varient entre 1 mg/L et 9 mg/L (Fig.24). L'OMS ne définit pas de limite spécifique pour le potassium dans l'eau potable en raison de sa nature non toxique à des niveaux normalement présents. En Algérie, bien qu'il n'y ait pas de norme précise pour le potassium dans l'eau potable, sa surveillance vise à maintenir des niveaux acceptables pour la consommation humaine.



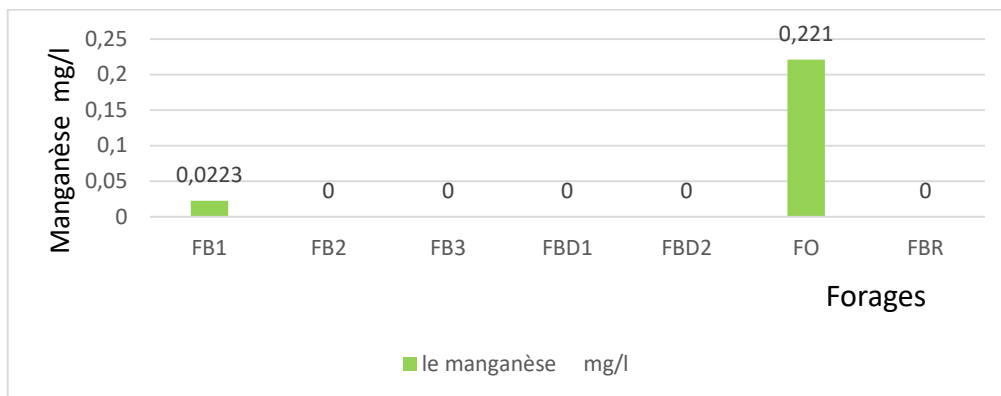
Figures 24: Résultats du potassium des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

La variation observée peut refléter des influences géologiques locales ou des activités agricoles. Il est essentiel de surveiller ces niveaux pour assurer la qualité de l'eau potable et l'intégrité environnementale des sources d'eau souterraine.

Manganèse

Les niveaux de manganèse sont conformes aux normes de l'OMS et aux directives algériennes, à l'exception du forage FO où il dépasse la norme recommandée. Une observation inquiétante, contrairement aux autres forages.

Le manganèse dans le forage FO avec une valeur de 0.221 mg/l ne s'oxyde pas même en présence d'oxygène dissous, ce qui soulève des préoccupations quant à la qualité de l'eau et à la possibilité de contamination persistante par le manganèse.



Figures 25 : Résultats du manganèse des eaux de forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Suite à des analyses, des hypothèses ont été formulées pour expliquer pourquoi le manganèse ne s'oxyde pas dans le forage FO.

Hypothèse 1 : le pH légèrement alcalin (7,52) de FO favorise la formation de complexes de manganèse avec les bicarbonates (437 mg/L), stabilisant le manganèse sous forme Mn^{2+} et empêchant son oxydation.

Hypothèse 2 : La matière organique présente (2,57 mg/L) peut agir comme réducteur, consommant l'oxygène dissous et maintenant le manganèse sous forme Mn^{2+} .

Hypothèse 3: La concentration en sulfates dans le forage FO est de 5 mg/L, beaucoup plus basse que dans les autres forages (62 à 124 mg/L). Les ions sulfate (SO_4^{2-}) peuvent influencer la chimie de l'eau en formant des complexes avec le manganèse. Cependant, les sulfates ne réagissent pas directement avec le manganèse pour le maintenir sous forme réduite. Leur rôle est plus indirect, influençant d'autres paramètres comme le pH et l'oxygène dissous.

Hypothèses 4 : Certains ligands peuvent stabiliser le manganèse sous forme réduite en formant des complexes, empêchant ainsi son oxydation.

Hypothèse 5 : La faible turbidité et la faible couleur de l'eau de FO indiquent une eau plus claire, probablement avec une faible teneur en oxygène dissous, ce qui retarde l'oxydation du manganèse.

Les conditions suggérées par la faible turbidité, la faible couleur et les faibles résidus secs indiquent un environnement avec un ORP faible, créant un milieu réducteur défavorable à l'oxydation du manganèse.

La non-oxydation du manganèse (Mn^{2+}) dans le forage FO est probablement due à une combinaison de facteurs, incluant un pH légèrement alcalin, une faible concentration en oxygène dissous, la présence de matière organique, l'absence de catalyseurs spécifiques, une faible concentration en sulfates, et un ORP faible

Recommandations

Effectuer des mesures directes de l'oxygène dissous dans le forage FO pour confirmer les hypothèses sur les faibles niveaux d'oxygène.

Mesurer l'Analyse de potentiel oxydo-réduction de l'eau pour déterminer si l'environnement est effectivement réducteur et défavorable à l'oxydation du manganèse.

Réaliser des analyses pour identifier la présence et la concentration de micro-organismes spécifiques qui pourraient influencer l'oxydation du manganèse.

Étudier la formation de complexes solubles de manganèse avec des bicarbonates ou d'autres ions pour comprendre leur rôle dans la stabilisation du Mn^{2+}

Sulfates

Les sulfates dans les eaux analysées présentent des niveaux allant de 5 à 110 mg/l (Fig.26). Les concentrations les plus élevées sont observées dans les forages FB3, FBD1 avec des valeurs respectives de 110 mg/l et 94 mg/l.

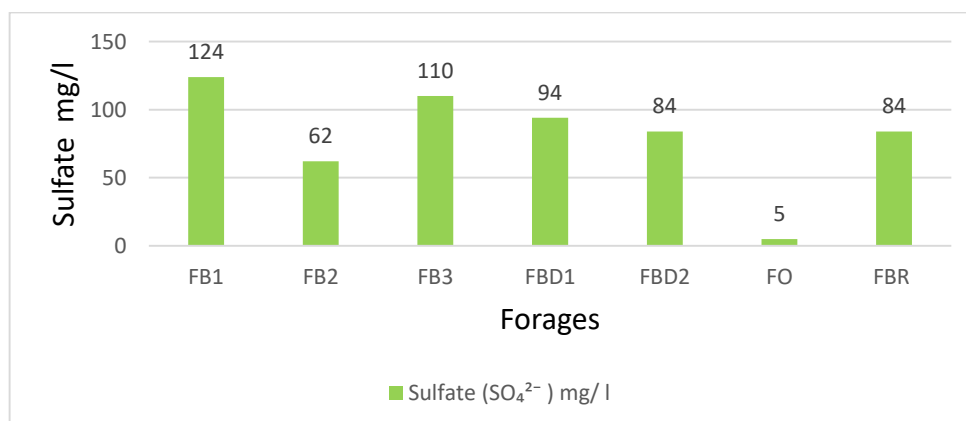


Figure 26 : Résultats des sulfates dans les eaux des forages de la wilaya de Tizi-Ouzou

Les eaux provenant des forages sont considérées comme de qualité supérieure, car les taux de sulfates sont inférieurs aux normes tolérées par la réglementation algérienne de 400 mg/l (JORA, 2016).

Les composés sulfatés sont généralement causés par l'oxydation des minerais de sulfites ou par la présence de schistes ou de déchets industriels. Certains sols et certaines pierres renferment des sulfates minéraux. Étant donné que l'eau souterraine traverse ces zones, certains sulfates se dissolvent dans l'eau (Zouaoui, 2014).

III.3. Résultats des paramètres bactériologiques

Coliformes totaux

Selon les données du tableau 6, on a constaté la présence de coliformes totaux aux points FB2, FB3 et FBR avec une valeur maximale pour FB3 de ce dernier. Ces germes sont totalement absents (0 UFC/100 ml) dans les forages FB1, FO, FBD1 et FBD2.

La valeur limite n'a pas été mentionnée dans le journal officiel algérien (JORA, 2011), ce qui rend impossible de déterminer si les résultats sont conformes au règlement.

Tableau 05 : Résultats des coliformes totaux

Forages	Coliformes totaux
FB1	00
FB2	01
FB3	07
FBD1	00
FBD2	00
FO	00
FBR	03

Les valeurs élevées des CT révèlent une détérioration de la qualité de l'eau. Il est possible que cette contamination soit due à la proximité des fosses septiques, à l'épandage de fumier ou d'engrais chimiques près des points de forage. De plus, elle peut également résulter d'une mauvaise protection du forage.

Le groupe des coliformes totaux présente souvent un faible risque sanitaire, à l'exception de certaines souches d'*Escherichia coli* et de certaines bactéries

opportunistes qui peuvent entraîner des maladies graves chez les patients débilisés (El Haissoufi et al., 2011), mais il y a eu des situations où une corrélation a été observée entre la détection des coliformes totaux et l'émergence d'épidémies d'origine fluide (Barwick et al., 2000).

Escherichia-coli

Pour *E. coli*, les eaux des forages (FB1, FB2, FB3, FBD1, FBD2, FO et FBR) présentent une excellente qualité bactériologique avec une concentration de 0 coliformes par 100 ml, largement en dessous de la limite autorisée de 20 coliformes par 100 ml. Cela confirme qu'elles sont conformes aux normes, ce qui indique l'absence de contamination fécale et garantit leur qualité pour la consommation.

Streptocoques fécaux

Tableau 6 : Résultats des streptocoques fécaux dans les eaux de forages

Forages	Streptocoques fécaux
FB1	00
FB2	00
FB3	00
FBD1	00
FBD2	00
FBO	00
FBR	03

La recherche des streptocoques fécaux dans les forages étudiés a montré que tous les points ne sont pas contaminés, sauf le forage FBR, qui présente 3 streptocoques fécaux par 100 ml. Conformément à la réglementation algérienne, pour être qualifiée de bonne qualité bactériologique (JORA, 2011), l'eau de forage doit ne pas contenir de streptocoques fécaux dans 100 ml

Conclusion

Les zones de forage sélectionnées abritent les plus importantes réserves d'eau de la wilaya de Tizi-Ouzou, essentielles pour l'approvisionnement en eau de plusieurs communes. L'étude a mis en évidence la vulnérabilité des nappes souterraines face aux contaminants d'origine humaine et naturelle.

Les analyses réalisées par le laboratoire régional de l'ADE, dans le cadre de l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de dix-sept points de forage, ont révélé plusieurs éléments clés :

La qualité potable des eaux prélevées est relativement uniforme à travers les différents points de forage. Ces eaux sont influencées par la géologie régionale, les conditions hydrodynamiques et une activité humaine modérée. Les paramètres tels que la température, le pH, la turbidité et la dureté totale n'ont pas d'impact direct sur la santé des consommateurs.

Les forages situés dans le centre de Tizi-Ouzou sont particulièrement exposés à la contamination par les nitrites, nitrates et ammonium, en raison d'activités agricoles et industrielles, ainsi que de systèmes d'assainissement mal gérés. Les forages FB1 (Boukhalfa 1), FB2 (Boukhalfa 2), FBD1 (Bouaid) et FBR (Boubroun) présentent des niveaux d'ammonium, de nitrates et de nitrites dépassant les normes nationales, ce qui peut entraîner des troubles gastro-intestinaux, de la méthémoglobinémie et affecter la circulation sanguine.

Bien qu'une présence de fer ait été détectée dans certains points d'eau, les concentrations mesurées ne posent pas de problème significatif.

En conclusion, bien que la qualité bactériologique des eaux de la majorité des forages étudiés soit généralement satisfaisante, quelques points montrent la présence de germes pathogènes dus à une pollution d'origine animale ou humaine. Les aquifères de la wilaya de Tizi-Ouzou restent vulnérables à la pollution, soulignant ainsi l'importance cruciale de leur protection contre toute dégradation future.

Pour garantir la qualité de l'eau des forages, il sera essentiel de mettre en place des programmes de surveillance réguliers, incluant des analyses plus fréquentes des contaminants microbiologiques et chimiques. Le renforcement des systèmes d'assainissement et l'adoption de pratiques agricoles durables contribueront également à réduire la contamination des nappes phréatiques.

Des campagnes de sensibilisation pour les communautés locales sur l'importance de la protection des ressources en eau, ainsi que des initiatives de reforestation, joueront un rôle crucial dans la préservation de ces aquifères. La collaboration entre les autorités locales, les agriculteurs et les organismes environnementaux sera déterminante pour assurer une gestion intégrée et durable des ressources en eau de la région.

A

Ababou, R. Eléments d'hydrologie souterraine. Cours INPT/ENSEEIH-IMFT, Toulouse, 2007, 18p.

Akil A., Hassan T., Fatima E. H., Lahcen B., Abderrahim L. 2014] : Etude de la qualité physicochimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou. 2014

AMICHI N., et AMIRI K., (2020). Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de la source Thabout Ouadhia, wilaya de tizi ousou. mémoire de master. Faculté des sciences biologique et science agronomiques département de biologie. UMMTO. 90p

Al-Qawati M, Yazami Idrissi A, Isslam Belhaili I, Marc F, Baichouti K, El Kharrim 1 et Belghyti D, Analyse Et Contrôle De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Souterraines De La Région Sidi Allal Tazi-Gharb-Maroc, 2015, p. 426-427

B

Bakalowicz M. (2006). Aquifères karstiques in aquifères et eaux souterraines, p. 59-73.

Bakouan C., Guel B., Hantson A. (2017). Caractérisation physico-chimique des eaux des forages des villages de Tanlili et Lilgomdè dans la région Nord du Burkina Faso - Corrélation entre les paramètres physico-chimiques. Afrique Science, vol. 13, no 6, p. 7.

Barraqué B. (2004). Gestion De L'eau : Parole D'expert. Disponible sur www.sagascience.cnrs.fr/doseau/decouv/mondial/menumondial.html.

Beauchamp J. (2006). Qualité Et gestion de l'eau. Disponible sur www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge.

Benhamida B. (2003). Étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla, p. 17.

Benziada A. (2003). Étude hydrogéologique de la région de Tizi-Ouzou. Alger : Éditions universitaires.

Benziada M. (2003). Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja oriental, p. 46.

Bessalem Z., Hassani S. (2017). Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes « Ouacif et Ouadhias » wilaya de Tizi Ouzou. Mémoire de master, protection de l'environnement, Faculté des sciences biologiques et agronomiques, UMMTO, 95 p.

Bouziani M. (2006). L'eau Dans Tous Ses États : Source De Vie, Ressource Épuisable, Maladies hydriques, pollutions chimiques, p. 7, 25-27.

Bouziani M. (2000). L'eau : de la pénurie aux maladies. Ed. Ibn Khaldoun. Tlemcen. 247 p.

Brunet R. (1993). Le cycle de l'eau. Paris : La Documentation française.

C

Chapman D. (1996). Water Quality Assessments - A Guide To Use Of Biota, Sediments And Water In Environmental Monitoring - Second Edition, p. 24.

Collin J.J. (2004). Les eaux souterraines. Edition Belin, pp. 56-59.

Craun G.F., Nwachuku N., Calderon R.L., Craun M.F. (2002). Outbreaks in drinking-water systems, 1991-1998. Journal of Environmental Health, p. 65.

D

Degremont. (1989). Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, p. 5, 24-25.

Delarras C., Bernard T., Joëlle D. (2010). Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux, réglementation-micro-organismes-prélèvements-analyses, Ed. TEC&DOC, Lavoisier, 552 p.

Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O., Belghity D. (2010). Caractérisation Physico-Chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec l'oued Fes, p. 107-108, 110.

Dib I. (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine - Ain Yaghout (Est Algérien), p. 68.

Dufresne Y., Dussart J. (2010). Hydrologie et géochimie des eaux. Dunod.

Driscoll F.G. (1986). Groundwater and Wells (2nd ed.). St. Paul, MN: Johnson Division, Johnson Filtration Systems Inc.

F

Ferradji A. (2017). Climat et Environnement en Algérie : Étude de cas de la wilaya de Tizi-Ouzou. Alger : Éditions universitaires.

Genthon C. (2006). Climat : Une enquête aux pôles. Paris: Éditions du Seuil.

G

Ghazali D., Ziad A. (2013). Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salma-Jerri (région de Meknès, Maroc). Larhyss Journal, vol. 12, p. 25-26.

H

Hane M., Di Gne I., Ndaye B., Dione T., Cisse D., Diop A. (2020). Étude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forages consommées dans la commune de Sinthiou Malème dans la région de Tambacounda (Sénégal). International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol. 14(9), pp. 3400-2412.

Hanon M., Rouelle A. (2011). Le pH de l'eau de distribution, Portail environnement de Wallonie, Belgique.

K

Karr J.R., Chu E.W. (2011). L'eau et l'écologie : une synthèse. In E.W. Chu, J.R. Karr & A.R. Kapustka (Eds.), L'eau et les écosystèmes (pp. 3-22). San Diego, Californie : Elsevier Academic Press.

L

Laurent T. (2010). Hydrologie Mers, fleuves et lacs. Edition Armand Colin.

M

Margat J. (2008). Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde. Coédition: UNESCO et BRGM, vol. 52, p. 2.

Marinaldo D.S.V. (2013). Manuel pratique d'analyse de l'eau. Quatrième édition fondation nationale de la santé, Brasilia, 150 p.

Mekaoussi N. (2014). Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (Est Algérien), Mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar – Batna, p. 6-11.

Moutaye N., D. Khattach, M. Hilali (2014). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas Central, Maroc), p. 1072-1076

N

Nouayti N., D. Khattach, M. Hilali (2014). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas Central, Maroc), p. 1072-1076

O

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2017). Directive de qualité pour l'eau de boisson. Quatrième édition, 539 p.

Ouakouak A. (2017). Elimination du cuivre, des nitrates et des phosphates des eaux par adsorption sur différents matériaux. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra, p. 30

R

RAMADE, F. (1984). Elément d'écologie : Ecologie fondamentale. Edit Mac GRAWHILL. Paris. 197 p

Rejsek F. (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Edition : canopé –centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine de Bordeaux. France, 360 p.

Rejsek F. (2002). Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Série sciences et techniques de l'environnement. Edition Scérén. 358 p.

Rhajaoui M. (2019). Guide des analyses physico-chimique des eaux destiné à la consommation humaine. Institut nationale d

Annexe 1 : Normes de l'O.M.S sur l'eau potable

Tableau 1: les normes fixées par l'O.M.S pour l'eau potable

Paramètre	symboles	Unité	Lignes directrices fixées par l'OMS 2008
Aluminium	Al	mg/l	0.2
Ammonium	NH ₄ ⁺	mg/l	Pas de contraintes
Arsenic	As	mg/l	0.01
Baryum	Ba	mg/l	0.7
Bore	b	mg/l	0.5
Cadmium	Cd	mg/l	0.003
Chlore	Cl	mg/l	250
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/l	▪ chrome total : 0,05 mg/l
Couleur	/	/	Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺	mg/l	2
Cyanure	CN ⁻	mg/l	0.07
oxygène dissous	O ₂		▪ Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	mg/l	1,5
Dureté	mg/l CaCO ₃	Ppm	200
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05
Fer	Fe	/	Pas de valeur guide
Plomb	Pb	mg/l	0.01
Manganèse	Mn	mg/l	0.4
Mercure	Hg	mg/l	inorganique : 0,006
Molybdène	Mb	mg/l	0.07
Nickel	Ni	mg /l	0.07
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂	mg /l	-50 et 3 mg/l (exposition à court terme) -0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité		mg/l	Non mentionnée
pH			un optimum entre 6.5 et 9.5
Sodium	Na		Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄	mg/l	500
TDS		mg/l	optimum en dessous de 1000 mg/l
Zinc	Zn	mg/l	3

Annexe 2: les normes Algériennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques pour l'eau potable 2014

Tableau 1 : les normes JORA de l'eau potable

Elément/ substance	Symbole/ formule	Les normes Algérienne 2014
Aluminium	Al	0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	0,5 mg/l
Ortho-phosphates	PO ₄ ³⁻	0,5 mg/l
Antimoine	Sb	20 µg/l
Arsenic	As	10µg/l
Baryum	Ba	0,7 mg/l
Bore	B	Eaux conventionnelles : 1mg/l Eaux dessalées ou déminéralisées : 1,3 mg/l
Cadmium	Cd	3 µg/l
Chlore	Cl	500 mg/l
Chrome	Cr+3, Cr+6	50 µg/l
Couleur		15 g/l platine

Annexe 3 :

Tableau 1: Les Caractéristiques des eaux souterraines eaux souterraines (Degremont, 1989)

Les caractéristiques	Eau souterraine
Température	Relativement constante
Couleur	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques...)
Minéralisation globale	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Manganèse dissous	Généralement présent
Micropolluants minéraux et organiques	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Turbidité,	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Eléments vivants	Ferro bactéries fréquentes
Silice	Souvent élevée

Annexe 04 : les données des forages

Tableau 1 : les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de forages

Paramètre	FB1	FB2	FB3	FBD1	FBD2	FBO	FBR
pH	7.25	7.41	7.24	7.28	7.04	7.52	7.4
conductivité	1106	990	1021	981	1293	784	956
Température	18.7	18.8	19.4	17.3	17.9	17	15.1
Turbidité	0.76	0.39	1.16	0.78	0.99	0.35	0.16
Ammonium	0.78	0.52	0.26	0.11	0.07	0	0
Nitrite	0	0.25	0.11	0	0.01	0	0
Phosphates	0	0.73	1.22	0	0	0	0
Sulfates	124	62	110	94	84	5	84
Nitrates	1.32	3.58	4.95	14.6	48.69	13.28	57.1
Fer	0.08	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.06
sodium	70	50	60	50	90	25	50
potassium	7	7	6	6	9	1	6
chlorures	96	101	92	92	121	80	84
calcium	122	108	115	109	133	109	120
magnésium	35	31	34	34	35	35	23
Tac	330	306	310	304	412	358	276
Ta	0	0	0	0	0	0	0
dureté totale	448	396	426	410	478	418	394
Bicarbonate	403	373	378	371	502	437	337
couleur	2	0	5	0	0	0	0
manganèse	0.022	0	0	0	0	0.221	0
matière organique	3.14	3.46	3.22	1.29	1.21	2.57	1.21
résidus sec	657	545	611	496	772	487	592

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sept forages destinés à la production d'eau potable dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Les échantillons ont été analysés au laboratoire régional de l'Algérienne des Eaux (ADE) à Boukhalfa. Les paramètres physico-chimiques examinés incluent la température, la turbidité, le pH, la conductivité électrique, les résidus secs, le titre hydrotimétrique (TH), le titre alcalimétrique complet (TAC), ainsi que les niveaux de minéralisation en calcium, magnésium, potassium, sulfates, chlorures et sodium. Des éléments indésirables, tels que les phosphates, l'ammonium, les nitrites, les nitrates et certains métaux lourds, notamment le fer, ont également été évalués.

Les résultats indiquent une minéralisation moyenne des eaux, influencée par la géologie locale et une activité humaine modérée. Les paramètres tels que la température, le pH, la turbidité et la dureté totale ne semblent pas avoir d'impact direct sur la santé des consommateurs. Cependant, les forages situés au centre de Tizi-Ouzou, notamment FB1, FB2, FBD1 et FBR, présentent une vulnérabilité accrue à la contamination par les nitrites, nitrates et ammonium, avec des niveaux dépassant les normes nationales, ce qui pourrait poser des risques pour la santé.

Dans l'ensemble, la qualité bactériologique des eaux analysées est jugée satisfaisante, à l'exception de quelques points comme FB2 et FB3, où la présence de germes pathogènes a été détectée.

Mots clés : qualité de l'eau, physico-chimique, bactériologique, forages, Tizi-Ouzou, minéralisation, contaminants, normes sanitaires.

Overview

This study aims to assess the physicochemical and bacteriological quality of water from seven boreholes used for drinking water production in Tizi-Ouzou province. Samples were analyzed at the regional laboratory of the Algerian Water Company (ADE) in Boukhalfa. The physicochemical parameters studied include temperature, turbidity, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, hydrotimetric titre (TH), complete alkalinity titre (TAC), as well as mineralization levels of calcium, magnesium, potassium, sulfates, chlorides, and sodium. Undesirable elements such as phosphates, ammonium, nitrites, nitrates, and certain heavy metals, particularly iron, were also evaluated.

The results indicate moderate mineralization of the water, influenced by local geology and moderate human activity. Parameters such as temperature, pH, turbidity, and total hardness do not directly impact consumer health. However, boreholes in central Tizi-Ouzou, specifically FB1, FB2, FBD1, and FBR, exhibit increased vulnerability to contamination by nitrites, nitrates, and ammonium, with levels exceeding national standards, which could pose health risks.

Overall, the bacteriological quality of the analyzed water is deemed satisfactory, except for a few points such as FB2 and FB3, where pathogenic bacteria were detected.

Keywords: water quality, physicochemical, bacteriological, boreholes, Tizi-Ouzou, mineralization, contaminants, health standards.