

# Etude De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux De Forages Privés, Destinés A La Consommation Humaine Dans La Ville De Tahoua (Niger)

Mahamadou Hima Abdoulaye<sup>1</sup>, Yahouza Zaneidou<sup>2</sup>,  
Abdou GOUMAR<sup>3</sup>, Amadou Haoua<sup>3</sup>

<sup>1</sup>université André Salifou De Zinder, <sup>2</sup>université De Tahoua, <sup>3</sup>université Abdou Moumouni De Niamey

---

## Résumé :

La ville de Tahoua a connu ces dernières années une augmentation démographique et une expansion urbaine importantes, et donc certaines zones urbaines ou péri-urbaines ne sont toujours pas raccordées au réseau. Pour leurs besoins quotidiens, les habitants de ces quartiers s'approvisionnent à des puits ou des forages, qui peuvent être contaminés.

A cela s'ajoute un certain nombre des compagnies ou des particuliers qui conditionnent les eaux des forages en sachets avant leur mise sur le marché. Mais il existe des abus : certains usent des fausses déclarations publicitaires, d'autres remplissent les sachets avec de l'eau issue des forages illégaux et beaucoup utilisent des pratiques non conformes aux normes d'hygiène avec des conditions de production et de stockage qui rendent l'eau impropre à la consommation.

En l'absence d'études sur la composition de ces catégories d'eaux, nous avons mené une étude visant à déterminer pour ces eaux la qualité physico-chimique et bactériologique.

Cette étude a porté sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la ville de Tahoua, vingt-six (26) forages ont été choisis, tout au long de la ville. L'étude a concerné l'analyse des paramètres physico-chimiques T°, pH, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, FeT, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Titre alcalimétrique complet (TAC), Titre hydrométrique (TH), Turbidité, ainsi que des paramètres bactériologiques (Germe totaux, Coliformes totaux et fécaux, Streptocoques fécaux).

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux étudiées ont un pH acide, une turbidité dépassant légèrement les normes OMS en plusieurs points et sont de très douces à douces et faiblement minéralisées dans l'ensemble avec des valeurs de concentration en nitrites peu élevées dépassant les directives OMS (20%) dans certains points et liées à une nette influence des activités humaines.

Les résultats des analyses bactériologiques ont fait ressortir une grande prolifération des bactéries indicatrices de contamination d'origine fécale (Coliformes Totaux et Fécaux) et la qualité bactériologique est donc médiocre. La nappe phréatique de la zone d'étude est vulnérable à la pollution, de ce fait ces eaux sont impropres à la consommation humaine sans traitement préalable.

**Mots clés :** Eaux, Analyse physico-chimique, Bactériologique, pollution.

---

Date of Submission: 01-01-2024

Date of Acceptance: 11-01-2024

---

## I. Introduction

Les eaux souterraines constituent, la principale source d'approvisionnement en eau et servent en grande partie à la quantité d'eau de consommation à travers le monde (Belghiti et al., 2013 ; Hassane, 2010 ; Mpakam et al., 2006). La question de l'eau se pose avec acuité, tant sur le plan mondial aussi bien au niveau des pays aux ressources hydriques faibles (Balloy et al., 2019).

Tahoua est comme toutes les villes de l'Afrique tropicale, équipée en installations produisant de l'eau potable. Mais celles-ci ne desservent qu'une partie des quartiers de la ville et le mètre cube d'eau revient cher en raison des conditions de la distribution. Du fait, que cette ville a connu ces dernières années une augmentation démographique et une expansion urbaine, l'alimentation en eau potable est limitée dans certaines zones, les habitants de la ville se trouvent obligés de s'approvisionner à des puits ou des forages, qui peuvent être contaminés. Cependant, la prolifération incontrôlée des forages est souvent perçue comme une menace avec trois principaux impacts qui sont : impact négatif sur les ressources en eau souterraine, sur la santé publique et sur les gestionnaires des réseaux publics de distribution d'eau potable et d'assainissement. Le développement de ces forages rend plus difficile la prévision de la demande en eau future.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages privés dans la ville de Tahoua. Plus particulièrement il s'agit d'inventorier les forages existants dans les quartiers retenus, déterminer leur aptitude à la consommation humaine, faire ressortir les éléments présentant des risques pour la santé et déterminer leurs sources ainsi que des pistes d'amélioration de la qualité de ces eaux.

Pour atteindre l'objectif de cette étude, des travaux de terrain et de laboratoire ont été réalisés tant en analyse hydrogéochimique, qu'en analyse microbiologique.

Les données collectées ont été traitées en utilisant une combinaison de méthodes statistiques multi variées, notamment l'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN) et le diagramme de piper qui permet de connaître la famille chimique de ces eaux.

## II. Matériel et Méthodes

### Situation géographique de la zone d'étude

La région de Tahoua distante de quelques 550 km de Niamey la capitale, avec une population de 3 328 365 habitants couvre une superficie de 113 317 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la région d'Agadez, à l'Ouest par les régions de Tillabéri et Dosso et par la République du Mali, à l'Est par la région de Maradi, et au Sud par la République Fédérale du Nigéria (Bureau des Nations Unies, 2021). Cette région est située entre le 5°02' et 5°23' de longitude Est et le 14°45 et 15°01' de latitude Nord (Figure 1).

La ville de Tahoua se compose de deux (2) arrondissement communaux, totalisant les vingt (20) quartiers et seize (16) villages administratifs et une cinquantaine de hameaux (RGPH, 2012).

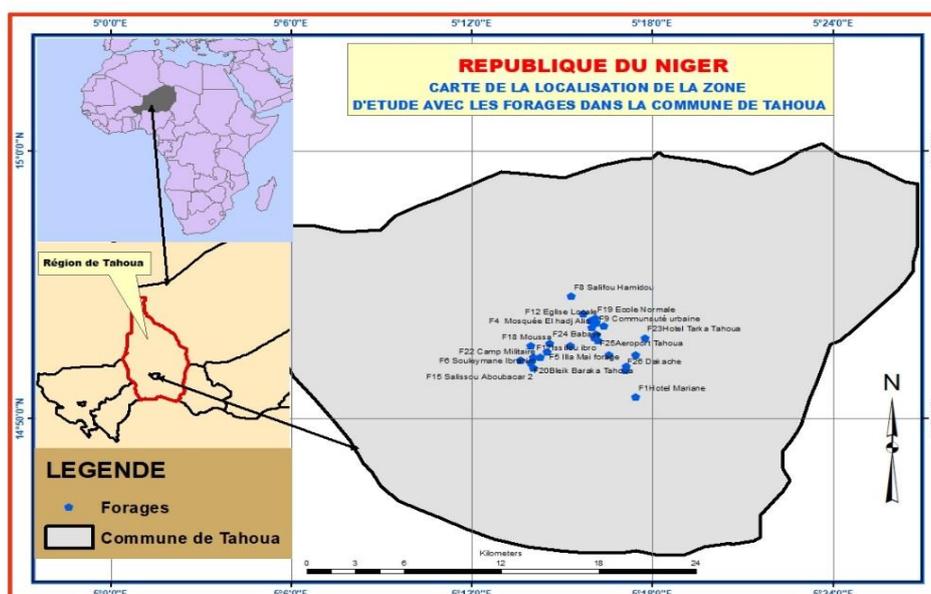


Figure 1 : Carte de la zone d'étude

Le climat de la région de Tahoua est de type sahélo-saharienne, caractérisé par deux saisons. Une sèche, dominée par des vents chauds et secs, l'Harmattan, qui soufflent du nord et nord-est vers le sud et sud-ouest et une humide, en saison pluvieuse, avec des vents issus de la mousson en provenance de l'Atlantique au sud et circulant vers le nord-est. Ce climat se subdivise en trois (3) sous zones du nord au sud de la région qui sont :

- la sous zone saharienne, au nord du parallèle 17° de latitude nord, elle est caractérisée par un cumul pluviométrique annuel inférieur à 150 mm ;
- la sous zone sahélo-saharienne, localisée entre 15° et 17° de latitude nord, et elle est caractérisée par un cumul pluviométrique annuel compris entre 150 et 300 mm. C'est le domaine par excellence de l'élevage ;
- la sous zone sahélienne, au sud du 15<sup>ème</sup> parallèle de latitude nord, avec un cumul pluviométrique compris entre 300 et 600 mm. Elle se caractérise par une intense activité agro-sylvo-pastoralisme.

Le réseau hydrographique est composé par des larges vallées dont : la Tarka, la Maggia, la vallée de Badaguichiri, de Zourourou, d'Abalak, du Tadiss, et de l'Azaouak. Elles ne sont actives que pendant les saisons pluvieuses. On note aussi plusieurs marres temporaires, semi-permanentes et permanentes (Hassane, 2018).

## **Hydrogéologie**

On distingue du bas en haut les aquifères suivants :

- L'aquifère du Continental Intercalaire/Continental Hamadien, c'est un système aquifère transfrontalier, partagé entre le Niger, le Mali, le Nigeria et accessoirement le Bénin. Il a une grande potentialité hydrique, il est très exploité pour l'alimentation en eau de la population (Amadou et al., 2014). Cet aquifère est à nappe libre à l'est de l'axe Tassara-Abalak est capté à faible profondeur. Par contre, il devient captif dans le reste de la région, avec des profondeurs de captage importantes (Greigert, 1978) ;
- L'aquifère du Crétacé supérieur marin, il est d'extension limitée, les débits sont dérisoires avec une forte minéralisation des eaux. Cet aquifère localisé essentiellement dans la partie nord de la région de Tahoua est peu sollicité (Greigert, 1978) ;
- L'aquifère du Paléocène, il est contenu dans des couches calcaires, d'extension très limitée, il est capté à faible profondeur, et les débits sont très faibles ;
- Le système aquifère multicouche du Continental Terminal (CT), comprenant trois nappes, CT<sub>1</sub> et CT<sub>2</sub> qui sont captives et CT<sub>3</sub> qui est libre. Seules les nappes du CT<sub>1</sub> et CT<sub>2</sub> sont exploitables dans la région de Tahoua avec des débits pouvant avoisiner les 20 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> localement ;
- Les aquifères du Quaternaire, à nappes phréatiques, sont captés par des forages de faible profondeur et par des puits (cimentés et traditionnels). Ils sont facilement accessibles aux populations, à cause de leurs faibles profondeurs. Cependant, ces aquifères sont très sensibles aux pollutions, liées aux différentes activités anthropiques (utilisation intensive d'engrais chimiques et pesticides).

## **Méthode d'enquête et méthode expérimentale**

### **Méthode des enquêtes**

Des fiches d'enquêtes ont été élaborées sous forme de questionnaires en fonction des objectifs à atteindre. Certaines questions administrées aux ménages ont été adressées aux différentes structures et sont formulées autour de quatre thèmes principaux que sont : l'identité des enquêtes, les types des ressources en eau des ménages, l'entretien et d'hygiène quotidienne vis-à-vis de la ressource en eau, les investissements et les coûts pour la ressource.

Les questions sont de type fermé, car elles permettent d'optimiser en temps et de faciliter la tâche au répondant. Le but de cette interview est la collecte des données sur l'évaluation de l'importance des forages, l'entretien et les pratiques d'hygiène quotidiennes susceptibles de protéger ou de détériorer la qualité des eaux des forages.

### **Méthode des analyses physico-chimiques et bactériologiques**

Les points d'eau de prélèvement ont été choisis à partir d'un maillage représentatif pour la ville de Tahoua, de manière à avoir une image d'ensemble de la qualité de l'eau de la ville. Pour réaliser cette étude cinq (5) quartiers ont été choisis à savoir : Gueben Zogui, le centre-ville, Koweït, Koufan Tahoua, Sabon Gari).

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué au total 52 échantillons d'eau dont 26 prélèvements pour l'analyse physico-chimique et 26 prélèvements pour l'analyse bactériologique. Tous ces prélèvements ont été réalisés au niveau de 26 forages numérotés de F<sub>1</sub> à F<sub>26</sub>.

Chacun de ces forages a fait l'objet d'un prélèvement physico-chimique et un prélèvement bactériologique pendant toute la durée de notre travail.

Les échantillons d'eau nécessaires à l'analyse physico-chimique ont été prélevés selon la méthode décrite par Rodier et al. (2009) dans des flacons polyéthylène stérilisés de capacité 1 (un) Litre et conservés à 4°C dans une glacière, ensuite analysés dans les 24 heures qui suivent. Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, nous avons utilisé des flacons en verre stérilisés de capacité 250 mL. Tout d'abord, le bout du robinet est soigneusement nettoyé à l'alcool à l'externe comme à l'interne, puis les mains sont désinfectées avec un gel désinfectant, par la suite le robinet est flambé après on effectue le prélèvement en prenant soin d'ouvrir le flacon à côté du champ créé par le chalumeau et prélever au ¾ du volume du flacon. L'échantillon est conservé à la fin dans les glacières portées à 4°C, analysés juste après la campagne de prélèvement dans les 24h.

Les analyses physico-chimiques ont concerné la température, le pH, la conductivité électrique (CE), la turbidité, l'oxygène dissous, les matières en suspension (MES), la dureté totale, le calcium, le magnésium, les chlorures et les nitrites. L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence la présence des germes, basés sur la recherche et la numération de celles-ci dans les échantillons à analyser. Les germes recherchés sont : les Germes totaux, les Coliformes totaux et l'identification d'*Escherichia coli*, la recherche et le dénombrement des *Streptocoques fécaux*, la recherche et le dénombrement des *Clostridium Sulfito-réducteurs*.

### III. Résultats et Discussion

#### Résultats des enquêtes

Les enquêtes se sont effectuées directement sur les forages et les ménages environnants. Les personnes interrogées ont été choisies au hasard au total, cent (100) personnes ont été enquêtées dont 70% sont de sexe féminin et 30% sont de sexe masculin. Toutes les personnes enquêtées disent avoir utilisé l'eau des forages.

D'après les résultats du diagnostic sur le terrain 100% des forages inspectés n'ont pas des compteurs volumétriques installés et sont isolés des puits perdus. Donc ils n'ont aucune idée de leur consommation en eau. Dans les 26 forages retenus, on retrouve l'étanchéité du sol autour de 50% seulement des forages, donc les autres 50% sont exposés aux contaminations bactériennes par infiltration. La pratique de l'élevage a été détectée aux alentours de 25% des forages, alors que, cette pratique est connue comme une source potentielle dans les pollutions des eaux des forages. 15% des 26 forages sont menacés par la pratique d'épandage des boues de vidange. Aussi 6 forages parmi les 26 forages, soit 23% des forages sont équipés avec des conduites anciennes et rouillées. Ces types des conduites peuvent dégrader la qualité des eaux par rapport à la turbidité et des fortes teneurs en fer. Outre cela, l'emplacement des latrines aux alentours de 25% des forages, des fosses septiques aux alentours de 30% qui ont des fortes chances d'être à l'origine des contaminations fécales si les bonnes dispositions et les bonnes précautions n'ont pas été prises. Aussi l'absence d'hygiène, l'absence d'un assainissement liquide, l'absence d'une pente vers l'extérieur aux alentours des forages peuvent causer une pollution des eaux de ces forages.

#### Résultats des paramètres physico-chimiques

##### Résultats des paramètres physiques :

Les paramètres physiques mesurés sur le terrain sont: le potentiel Hydrogène (pH), la température (T°), la conductivité électrique (CE) et la turbidité (Turb). Les statistiques de ces paramètres ont été présentées dans le

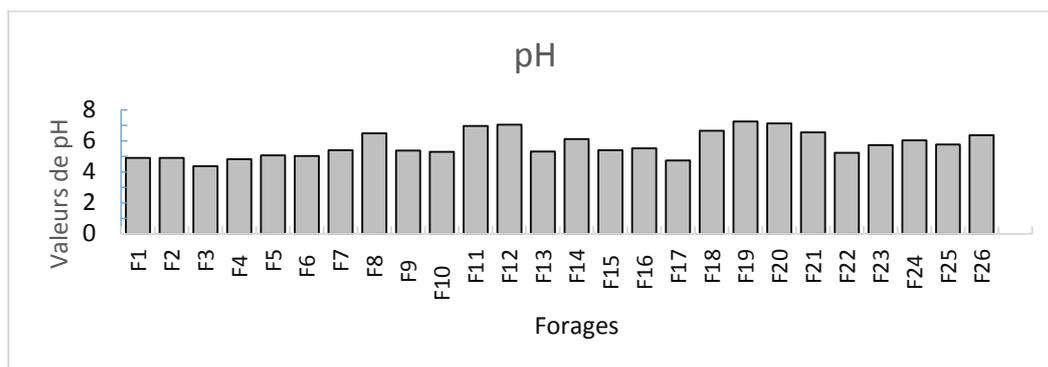
Tableau 1.

Tableau 1: Statistiques Paramètres physiques (n= 26).

Paramètres	Unité	Directives OMS 2017	Moyenne	Médiane	E-type	Min	Maxi
pH	U	6,5-8,5	5,75	5,46	0,82	4,37	7,26
Température	°C	25 - 50	31,41	31,85	3,79	18,5	34,90
Conductivité	µs/cm	-	386,51	353,15	218,61	73,06	1116
Turbidité	UNT	5	7,27	4,12	7,934	2,04	40

#### Potentiel Hydrogène (pH):

Le pH mesuré in situ donne la concentration en ion H<sup>+</sup> de l'eau (Mahamadou Hima, 2019). Les pH mesurés dans notre zone d'étude varient de 4,37 (F<sub>3</sub>) à un maximum de 7,26 (F<sub>19</sub>) (**Figure 2**), avec une moyenne de 5,75 et une valeur médiane de 5,46 (**Tableau 1**). Sur les 26 échantillons analysés, 23 ont un caractère acide compris entre 4,37 et 6,96, soit 88,46 %, 1 (un) est légèrement neutre ou à tendance neutre et 2 (deux) basique (**Figure 2**). On peut donc considérer que ces eaux ont un pH acide avec une tendance neutre par endroit. Le caractère acide de ces eaux est dû probablement à leur origine (eau de pluie par infiltration directe et ruissellement) d'une part, mais aussi à la nature du réservoir. En effet, selon Beauchamp (2006), les eaux douces et acides peuvent avoir comme effet la corrosion des ustensiles et des canalisations. Elle ne présente pas de risque pour la santé des consommateurs. Ce caractère acide des eaux de la zone d'étude pourrait être dû aussi à la décomposition de la matière organique. Selon Matini et al. (2009), la minéralisation de la matière organique présente dans le sol, sous l'action de l'oxygène, dégage du dioxyde de carbone lequel se dissout dans l'eau pour former l'acide carbonique. Ces pH sont conformes à la norme OMS (2017).

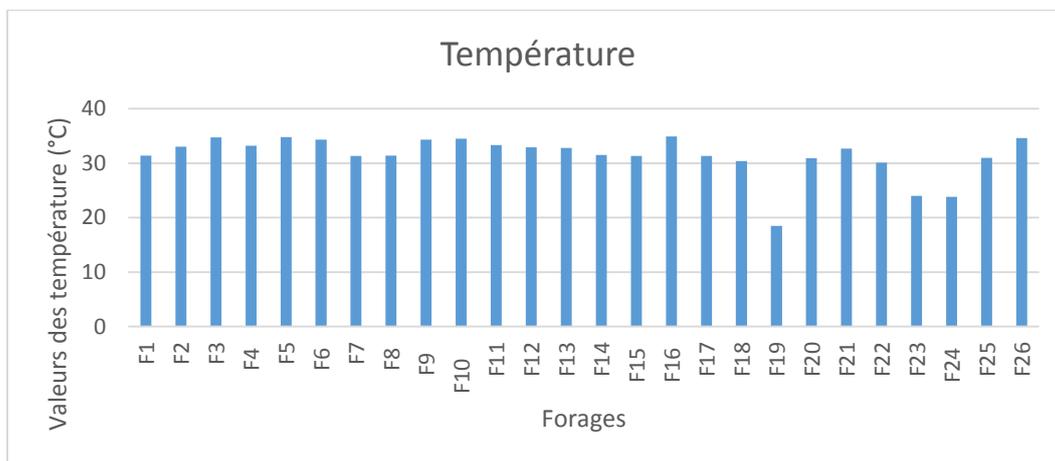


**Figure 2** : Evolution des valeurs du pH des différents forages

### Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, car celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (Ghazali et al., 2013; Mahamadou, 2020). La température de l'eau est aussi un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit presque la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Hamadou, 2014).

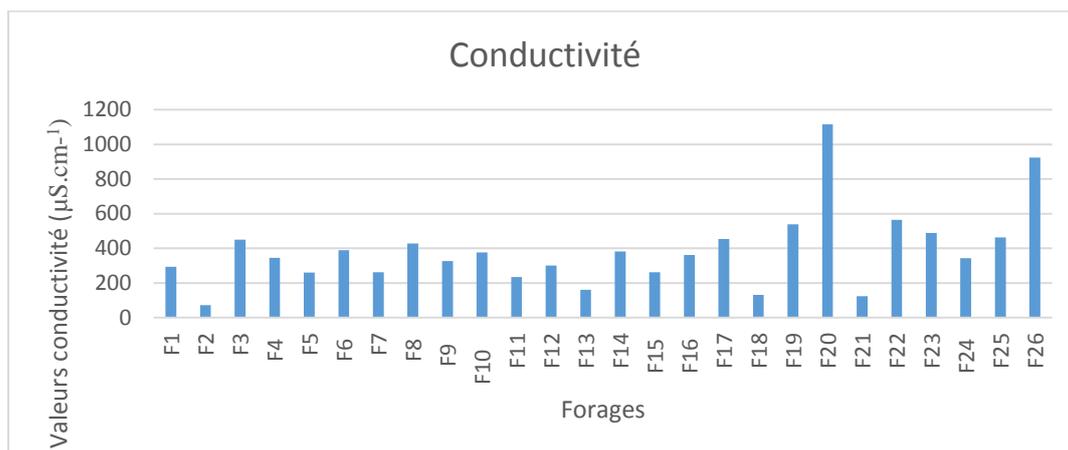
Les valeurs déterminées des températures dans notre zone d'étude, varient de 18,5 °C (F<sub>19</sub>) à 34,90°C (F<sub>16</sub>) (Figure 3), avec une moyenne de 31,41°C et une médiane de 31,85°C (Tableau 1). Ces températures reflètent celles des températures atmosphériques moyennes observées dans les régions arides à semi arides : 15 à 35°C. La plupart des échantillons (92,30 %) présentent une température supérieure à 30 °C et qui est voisine soit de la valeur médiane (31,85°C) ou de la moyenne (31,41°C) (Tableau 1). Cela prouve que cette température est moyennement bien répartie dans l'espace.



**Figure 3** : Evolution des valeurs de la température des différents forages

### Conductivité électrique (CE)

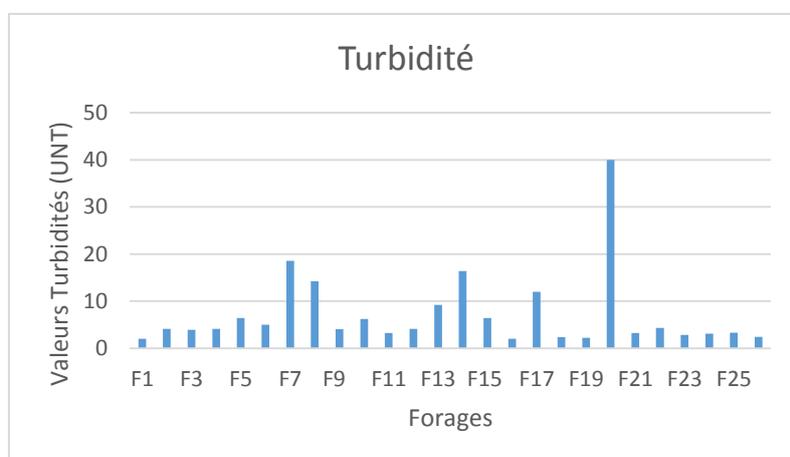
La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé. D'après les résultats obtenus, la conductivité varie de 73,06 à 1116  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Figure 4) avec une moyenne de 386,51  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et une médiane de 353,15 (Tableau 1). Les valeurs de conductivités sont globalement moyennes mais il faut noter que les fortes valeurs en conductivités en zone du socle méritent une attention particulière car certaines sont synonymes d'éléments indésirables en l'occurrence les nitrates. La grande variabilité de la conductivité serait due à la nature des terrains traversés par l'eau lors de son ruissellement avant de s'infiltrer et pendant l'infiltration. Les quelques valeurs relativement fortes trouvée s'expliquent par l'évaporation importante depuis la nappe qui se trouve là à très faible profondeur... 3,84%, soit un échantillon analysé a une conductivité inférieure à 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , tandis que 96,15 % ont leur conductivité comprise entre 124, 5 et 1116  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (n = 26).



**Figure 4** : Evolution des valeurs de la conductivité des différents forages

**Turbidité :**

La turbidité des eaux de la zone d'étude varie de 2,04 NTU (F<sub>16</sub>) à 40 NTU (F<sub>20</sub>) (Figure 5) avec une moyenne de 7,27 et une médiane de 4,12 (**Tableau 1**). Presque tous les points d'eau prélevés ont présenté des valeurs de turbidité inférieures à 5 NTU (valeur maximale fixée par l'OMS), sauf les forages F<sub>5</sub>, F<sub>7</sub>, F<sub>8</sub>, F<sub>13</sub>, F<sub>14</sub>, F<sub>15</sub> et F<sub>17</sub> (respectivement 8,5 ; 6,42 ; 18,52 ; 14,22 ; 16,4 ; 6,4 et 40NTU), soit 73,07 % de conformité vis-à-vis des directives OMS (2017).



**Figure 5** : Evolution des valeurs de la turbidité des différents forages

**Paramètres chimiques : Cations majeurs :**

Les statistiques des cations majeurs sont présentées dans le **Tableau 2**.

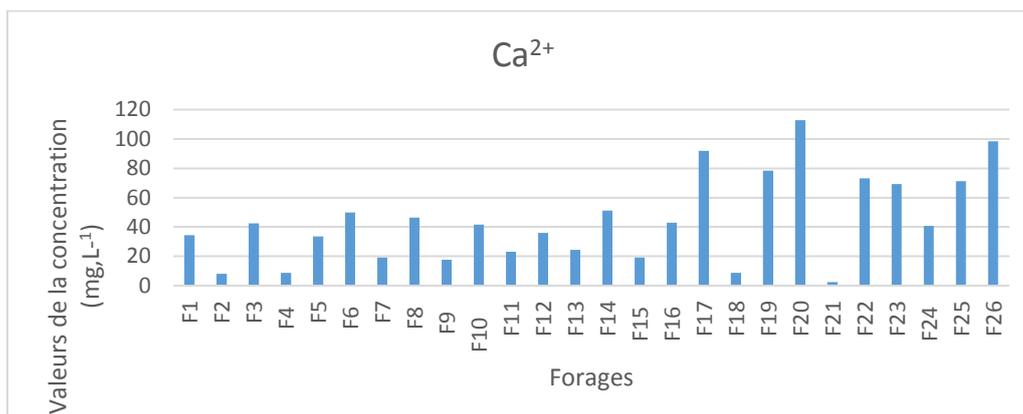
**Tableau 2: Statistiques des cations majeurs (n = 26).**

Paramètres	Unité	Directives OMS 2017	Moyenne	Médiane	E-type	Min	Maxi
Mg <sup>2+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	-	22,36	15,44	24,04	1,46	128,4
Ca <sup>2+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	-	44,08	41,20	29,11	8	114,8
Na <sup>+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	200	16,61	155,55	6,98	4,8	35
K <sup>+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	-	5,08	3,60	5,60	1	30

**Calcium Ca<sup>2+</sup>:**

D'après les résultats obtenus, Les valeurs du calcium dans les échantillons étudiées oscillent entre 8 mg.L<sup>-1</sup> (F<sub>2</sub>) à 112,8 mg.L<sup>-1</sup> (F<sub>20</sub>) (**Figure 6**), pour une valeur moyenne de 44,08 mg.L<sup>-1</sup> et une médiane de 41,20 mg.L<sup>-1</sup> (**Tableau 2**). Le calcium est un paramètre de la dureté de l'eau c'est-à-dire au-delà d'une certaine concentration, il s'oppose à toute formation de mousse par le savon lors des lessives. Bien que très indispensable dans la croissance et le maintien de l'organisme humain, il est aussi responsable du phénomène d'entartrage ou colmatage de matériels hydrauliques. La faible concentration de calcium dans ces eaux indique qu'elles sont

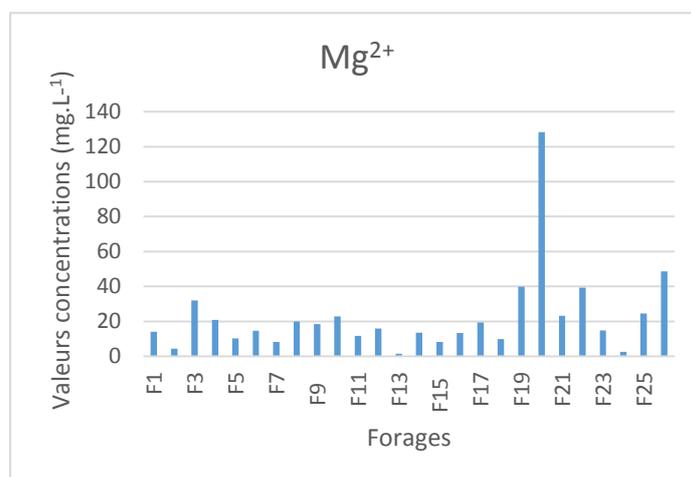
moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses (Moussa, 2017), donc la qualité de l'eau dans la région d'étude est acceptable.



**Figure 6** : Evolution de la concentration en ion calcium des forages

### Magnésium Mg<sup>2+</sup>

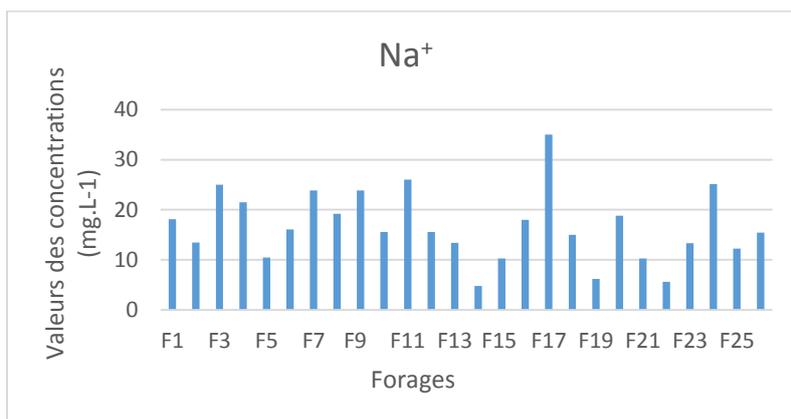
Le magnésium donne un goût désagréable à l'eau (Rodier et al., 2009). Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (Sarah, 2013). En outre, la concentration de magnésium dans les zones étudiées varie entre 1,46 (F<sub>13</sub>) à 128,41 mg.L<sup>-1</sup> (F<sub>20</sub>) (**Figure 7**), en passant par des valeurs moyenne et médiane respectives de 22,36 mg.L<sup>-1</sup> et 15,44 mg.L<sup>-1</sup> (Tableau 2). Ces faibles valeurs s'expliqueraient par la nature sablonneuse du sol de la zone d'étude (Nordine et al., 2015).



**Figure 7** : Valeurs des concentrations en calcium des forages

### Sodium Na<sup>+</sup>

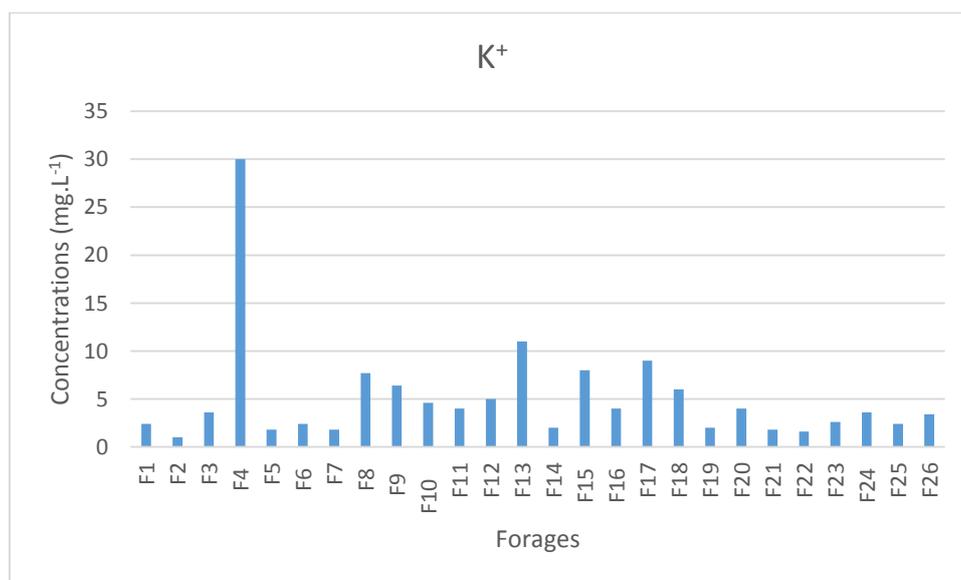
Dans notre zone d'étude, le sodium présente des valeurs très variables, allant de très faibles, 4,8 mg.L<sup>-1</sup> (F<sub>5</sub> et F<sub>14</sub>) à une valeur maximum de 35 mg.L<sup>-1</sup> (F<sub>17</sub>) (**Figure 8**) en passant par des valeurs moyenne et médiane respectives de 16,61 mg.L<sup>-1</sup> et 15,55 mg.L<sup>-1</sup> (**Tableau 2**). Toutes ces valeurs sont inférieures à la concentration maximale admissible fixée par l'OMS 2017. 65,50% des points d'eau (n=26) ont une teneur en sodium inférieur à 20mg.L<sup>-1</sup> et 34,50 % ont une concentration en sodium comprise entre 20 et 35 mg.L<sup>-1</sup>. L'origine du sodium dans ces eaux serait donc essentiellement naturelle avec un apport anthropique par endroit.



**Figure 7** : Valeurs des concentrations en sodium des forages

### Potassium K<sup>+</sup>

Le potassium est un élément indispensable à la vie et notamment à la croissance des végétaux. Dans l'agriculture, il est utilisé comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium. Les effets nocifs associés à une concentration élevée de potassium dans l'eau potable sont peu probables chez les personnes en bonne santé (OMS, 2017). Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux après le calcium et le magnésium ; il ne prend qu'exceptionnellement le troisième rang des cations. Les principales sources de potassium dans les eaux sont : L'altération météoritique et l'érosion des minéraux contenant du potassium comme le feldspath ; le lessivage des sols contenant des engrais ; l'eau de mer (OMS, 2017). On le trouve également dans les cendres des végétaux sous forme de carbonate. Les concentrations de potassium enregistrées dans la zone d'étude varient très largement, de 1,00 mg.L<sup>-1</sup> (F<sub>2</sub>) à une valeur maximale de 30 mg.L<sup>-1</sup> (F<sub>4</sub>) (**Figure 8**); la moyenne et la médiane étant respectivement de 5,08 mg.L<sup>-1</sup> et 3,60 mg.L<sup>-1</sup>) (**Tableau 2**). La présence de potassium dans notre zone d'étude serait probablement due à l'érosion des minéraux contenant du potassium et à l'effet de l'évaporation là où la nappe est à faible profondeur avec un apport anthropique par lessivage des sols contenant des engrais potassiques (probablement sous forme de nitrate de potassium). Le potassium serait donc issu d'origine naturelle et anthropique dans les eaux de la zone d'étude.



**Figure 8** : Evolution des valeurs des concentrations en potassium

### Anions majeurs :

Les statistiques des anions majeurs (n=18) de notre zone d'étude sont présentées dans le **tableau 3**.

**Tableau 3 : Statistiques des anions majeurs (n=26) :**

Paramètres	Unité	Directives OMS 2017	Moyenne	Médiane	E-type	Min	Maxi
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	250	127,30	99	98,53	09	610
Cl <sup>-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	250	28,38	13,5	28,29	07	118
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	-	27,03	18	22,65	00	111
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	50	20,64	17,16	15,81	2,64	67,8

#### Sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> :

La présence de sulfates dans l'eau de boisson peut lui conférer un goût perceptible et, à des niveaux très élevés, les sulfates peuvent avoir un effet laxatif chez des consommateurs non habitués (OMS, 2017). Les teneurs en sulfate enregistrées dans notre zone d'étude sont en général très faibles et varient de 9 à 610 mg.L<sup>-1</sup> en passant par une moyenne 127,30 mg.L<sup>-1</sup> et une médiane de 99 mg.L<sup>-1</sup> respectivement (**Tableau 3**). Elles restent donc très en deçà de la limite maximale de l'OMS (2017) (250 mg.L<sup>-1</sup>), sauf pour le au forage F<sub>20</sub> qui dépasse largement (175 mg.L<sup>-1</sup>). Cette faible teneur suppose que les ions sulfates de ces eaux ne proviendraient donc pas de formations gypseuses.

#### Chlorure Cl<sup>-</sup>:

Le chlorure présent dans l'eau de boisson provient de sources naturelles, d'eaux usées et d'effluents industriels, de rejets urbains contenant du sel de déneigement et d'intrusions d'eau saline. Des concentrations excessives de chlorure augmentent les taux de corrosion des métaux dans le réseau de distribution, en fonction de l'alcalinité de l'eau. Ce phénomène peut entraîner une augmentation des concentrations de métaux dans l'eau de distribution (OMS, 2017). La concentration en ions chlorure de notre zone d'étude reste conforme aux directives OMS pour l'eau de boisson et varie de 07 mg.L<sup>-1</sup> à 118 mg.L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 28,38mg.L<sup>-1</sup> et une médiane de 13,5 mg.L<sup>-1</sup> (**Tableau 3**).

#### Bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Les valeurs des ions bicarbonates dans les échantillons oscillent entre 0 et 111 mg.L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 27,03 mg.L<sup>-1</sup> et une médiane de 18 mg.L<sup>-1</sup> (Tableau 3). Du moment que l'ion bicarbonate est un acide de formule chimique (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et sa base conjuguée l'ion carbonate de formule chimique (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), le couple s'écrit : (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> / CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Ils permettent d'effectuer la datation d'une eau de boisson. Leurs normes OMS ne sont pas jusqu'ici établies. Ils agissent sur le pH par libération de l'ion H<sup>+</sup> selon que leurs teneurs dans une eau soit plus ou moins élevée (OMS, 2017).

#### Nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

La teneur en nitrate de nos échantillons oscille entre 2,64 à 67,8 mg.L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 20,64 mg.L<sup>-1</sup> et une médiane de 17,16 mg.L<sup>-1</sup> (**Tableau 3**). Seul le forage F<sub>20</sub> (67,76 mg.L<sup>-1</sup>) présente une valeur dépassant la norme OMS, de ce fait les eaux de ce forage sont impropre à la consommation humaine et cause un danger, surtout pour les nouveau nés (ceux de moins de trois mois) car ils peuvent être exposés à la méthémoglobinémie.

#### Autres paramètres chimiques : fluorure (F<sup>-</sup>) et Fer total (FeT)

Les statistiques des ions fluorures et le fer Total (n=18) de notre zone d'étude sont présentées dans le **tableau 4**.

**Tableau 4 : statistiques des ions fluorures et le fer Total (n=26)**

Paramètres	Unité	Directives OMS 2017	Moyenne	Médiane	E-type	Min	Maxi
F <sup>-</sup>	mg/l)	1,5	0,065	00	0,20	00	0,91
FeT	(mg/l)	0,3	0,60	0,25	0,8596	00	3,2

#### Ion fluorure F<sup>-</sup>

La valeur indicative de la norme du fluor est fixée à 1,5 mg.L<sup>-1</sup> selon OMS (2017). Toutefois, nos valeurs sont en deçà de la valeur guide OMS. Tous les échantillons analysés de notre zone d'étude présentent un taux de fluorures faible, variant de 0 à 0,91 mg.L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 0,06 mg.L<sup>-1</sup> (**Tableau 4**). Cette faible teneur en fluor des eaux de la zone d'étude exposerait les consommateurs à un risque de carie dentaire, surtout si les aliments qu'ils consomment sont eux aussi sans fluorure.

A de très fortes concentrations (au-dessus de 1,5 – 2mg/L), le fluor dans l'eau de boisson peut occasionner une fluorose dentaire ou osseuse.

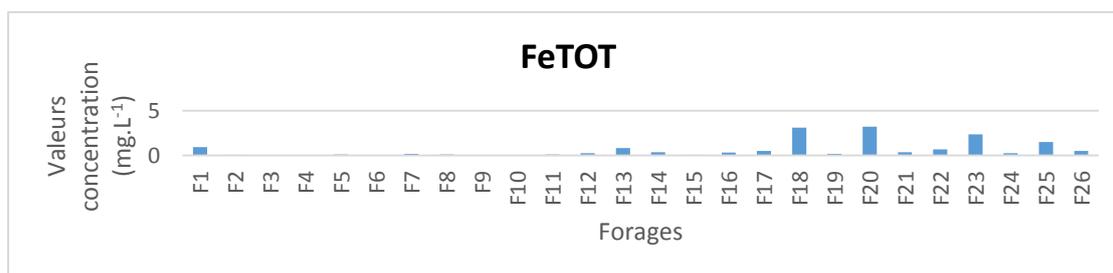
### Fer Total (FeT)

Une surcharge de l'organisme humain en fer peut entraîner une hémochromatose primitive (mauvaise régulation de l'absorption du fer par l'intestin) et même une cancérisation hépatique (risque de cancer du foie), ces troubles interviennent généralement, lorsque la concentration du fer dans l'eau est supérieure à 10 mg.L<sup>-1</sup> (Ruiti et al., 2015). Aux concentrations supérieures à 0,3mg.L<sup>-1</sup>, la présence du fer dans l'eau affecte les qualités organoleptiques de l'eau (gout désagréable, odeur, couleur) et est responsable avec le temps des dépôts corrosifs dans les canalisations. Ces dépôts formés peuvent être le siège des colonies bactériennes très toxiques (Dehou, 2011 ; Dangeti et al., 2017). La teneur en fer total de notre zone d'étude varie de 0 (F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, F<sub>6</sub>, F<sub>9</sub>) à F<sub>1</sub> (0,90) F<sub>13</sub> (0,8 mg.L<sup>-1</sup>) F<sub>18</sub> (3,1 mg.L<sup>-1</sup>), F<sub>20</sub> (3,2 mg.L<sup>-1</sup>), F<sub>21</sub> (0,40 mg.L<sup>-1</sup>), F<sub>22</sub> (0,65 mg.L<sup>-1</sup>), F<sub>23</sub> (2,35 mg.L<sup>-1</sup>), F<sub>25</sub> (1,5 mg.L<sup>-1</sup>), F<sub>26</sub> (0,5 mg.L<sup>-1</sup>) avec une moyenne de 0,60 mg.L<sup>-1</sup> et une médiane de 0,25mg.L<sup>-1</sup> (**Tableau 4 et figure 9**), des résultats similaires à ceux trouvés par Yahouza (2020). Seuls les forages F<sub>1</sub>, F<sub>13</sub>, F<sub>18</sub>, F<sub>20</sub>, F<sub>21</sub>, F<sub>22</sub>, F<sub>23</sub>, F<sub>25</sub> et F<sub>26</sub> soit 34 %, sur les 26 ont des valeurs supérieures à la concentration maximale de 0,3 mg.L<sup>-1</sup> fixée par l'OMS (2017). La présence du fer dans les eaux de notre zone d'étude serait donc essentiellement d'ordre naturel.

Au vu des concentrations élevées en fer dans certains forages, il est impératif de prendre des dispositions visant à améliorer la qualité des eaux de consommation. Actuellement plusieurs méthodes d'élimination de fer sont développées. Parmi ces procédés on peut citer entre autres les procédés physico-chimiques basés sur l'emploi des oxydants plus ou moins forts (chlore, permanganate de potassium, l'oxygène et l'ozone), des procédés biologiques qui font intervenir des micro-organismes, des procédés catalytiques qui reposent sur un phénomène d'adsorption et d'oxydation à la surface d'un matériau spécifique et des procédés

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Chlorures	26	26,00	28,115	28,446	7,000	118,000
Nitrates	26	26,00	20,003	14,381	2,640	67,760
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26	26,00	27,03	22,65	0,000	111
Sulfates	26	26,00	124,308	135,712	9,000	610,000
Magnésium	26	26,00	21,620	24,445	0,730	128,410
Calcium	26	26,00	42,854	29,469	2,400	112,800
Potassium	26	26,00	5,312	5,567	1,000	30,000
Sodium	26	26,00	16,700	6,990	4,800	35,000
pH	25	25,00	5,746	0,815	4,370	7,260
Conductivité	26	26,00	381,948	223,043	73,060	1116,000

membranaires (Amadou et al., 2014 ; OMS, 2011).



**Figure 9** : Evolution de la concentration en Fer total des forages

### Résultats des paramètres microbiologiques des eaux :

Dans le domaine de l'hygiène, les analyses bactériologiques concernent souvent, non pas des micro-organismes pathogènes, mais des germes jouant un rôle d'indicateurs sans que leur présence constitue nécessairement un risque en soi pour la santé publique (Rodier et al., 2009).

Sont ainsi distingués deux types principaux d'indicateurs : les indicateurs de Contamination fécale et les indicateurs d'efficacité de traitement. Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés aux indicateurs de contamination fécale appelés coliformes (Totaux et Fécaux). La recherche de ces paramètres de contamination fécale est l'application générale pour le contrôle de la qualité bactériologique de l'eau.

**Dénombrement des coliformes thermotolérants** : L'examen de nos résultats obtenus fait sortir que presque toutes les eaux analysées sont contaminées et la concentration en colonie de coliformes totaux (CT) varie de 100 à TNC (Trop Nombreux pour être Comptabilisés) par 100 mL d'échantillon (**Figure 10**) alors que la valeur admise par les directives OMS est de 0 Unité de Colonie/100 mL. En effet, (06) des échantillons présentent des résultats TNC pour les coliformes totaux (**Figure 10**). De ce fait ces eaux sont impropres à la consommation.

**Dénombrement des coliformes totaux :** Quant aux coliformes fécaux (CF), leur concentration varie de 0 (12 échantillons) à 2200 UCF/100 mL d'eau pour 11 échantillons et NTC pour les 3 autres. Du point de vu bactériologique, il ressort de ce qui précède que ces eaux sont impropres à la consommation humaine sans traitement préalable à la date des analyses.

**Analyse statistique multi-variables :**

**Analyse en composante principale (ACP) :**

En effet, c'est dans le but de rechercher les relations entre les différentes variables, regrouper celles qui ont un type de variation semblable et éventuellement déterminer l'origine de la minéralisation des eaux que nous avons fait recours à cette méthode. Dix (10) variables sont prises en compte dans le cas de notre étude. Il s'agit de : pH, CE,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ .

L'objectif est d'analyser l'ensemble des informations contenue dans ces données à travers une analyse multivariée. Comme il s'agit d'un jeu de données où plusieurs individus sont décrits par plusieurs variables quantitatives, l'analyse factorielle la plus adaptée est l'ACP (Analyse en Composantes Principales). Le tableau 5 donne des statistiques sommaires des différentes variables étudiées.

**Tableau 5: statistique sommaire de variables**



**Figure 10 :** a) Présence de coliformes ; b) Absence de coliformes ; c) dénombrement de coliforme et autres germes à la loupe

Le tableau 5 donne des statistiques sommaires des différentes variables étudiées.

On constate que les moyennes de la conductivité et des Sulfates sont les plus élevées avec des niveaux respectifs de 381,948 et 124,308, alors que celle des Nitrites est de 0,935. Ce qu'il faut globalement retenir est que ces différentes variables ont des grandeurs très disparates car elles ont des ordres de grandeur différents. Ce qui nous pousse à effectuer une ACP normée après avoir centré et réduit les variables.

La matrice de corrélation donne les différents coefficients de corrélation linéaires calculés entre les variables prises deux à deux. Le tableau 6 donne les valeurs des matrices de corrélations.

**Tableau 6 : Matrice de corrélation**

	Chlorures	Nitrates	Nitrites	Sulfates	Magnésium	Calcium	Potassium	Sodium	pH	Conductivité
Chlorures	1,00									
Nitrates	0,27	1,00								
Nitrites	-0,23	0,11	1,00							
Sulfates	0,33	0,40	-0,19	1,00						
Magnésium	0,28	0,61	-0,18	0,86	1,00					
Calcium	0,44	0,38	-0,26	0,75	0,66	1,00				
Potassium	-0,26	-0,18	0,13	-0,04	-0,07	-0,25	1,00			
Sodium	-0,06	-0,11	-0,39	0,07	-0,02	0,05	0,21	1,00		
pH	0,44	0,65	-0,10	0,12	0,37	0,22	-0,24	-0,21	1,00	
Conductivité	0,47	0,49	-0,19	0,89	0,84	0,89	-0,09	0,04	0,27	1,00

On constate que sur la diagonale, on a que des 1, ce qui est normal car il s'agit des coefficients de corrélation de chaque variable avec elle-même qui est toujours égal à 1.

On constate que :

$\rho(\text{Sulfates}, \text{Magnésium}) = 0,86$  et  $\rho(\text{Sulfates}, \text{Calcium}) = 0,75$ , ce qui signifie qu'il y a une liaison positive et forte entre Sulfates et Magnésium et entre Sulfates et Calcium. Ces résultats s'interprètent de la façon suivante : il y a une forte probabilité qu'une eau, provenant d'un forage donné qui contient des sulfates en contienne aussi du magnésium, autrement dit, l'existence d'une quantité importante des sulfates dans une eau, signifie qu'il en aurait aussi des quantités élevées du magnésium et du calcium.

$\rho(\text{Sodium}, \text{Nitrites}) = -0,39$ , cela signifie que la liaison entre la variable sodium et Nitrites est négative mais pas forte. Cela signifie qu'il y a une faible probabilité qu'une eau qui contient du sodium en contienne des nitrites, autrement dit, l'existence d'une quantité importante du sodium dans une eau, laisse penser qu'elle en contiendrait peu de nitrites.

La limite de la seule lecture de la matrice des corrélations est qu'on ne peut s'intéresser aux variables qu'en les considérant deux à deux. Or il est aussi intéressant de voir l'ensemble des variables qui peuvent soit être toutes liées positivement ou négativement. Ce résultat sera abordé lors de la lecture du cercle de corrélation obtenue avec l'ACP. Avant de commencer à interpréter les résultats d'une ACP, on retiendra d'abord le nombre d'axes à retenir pour l'analyse.

**Détermination du nombre d'axes factoriels à retenir**

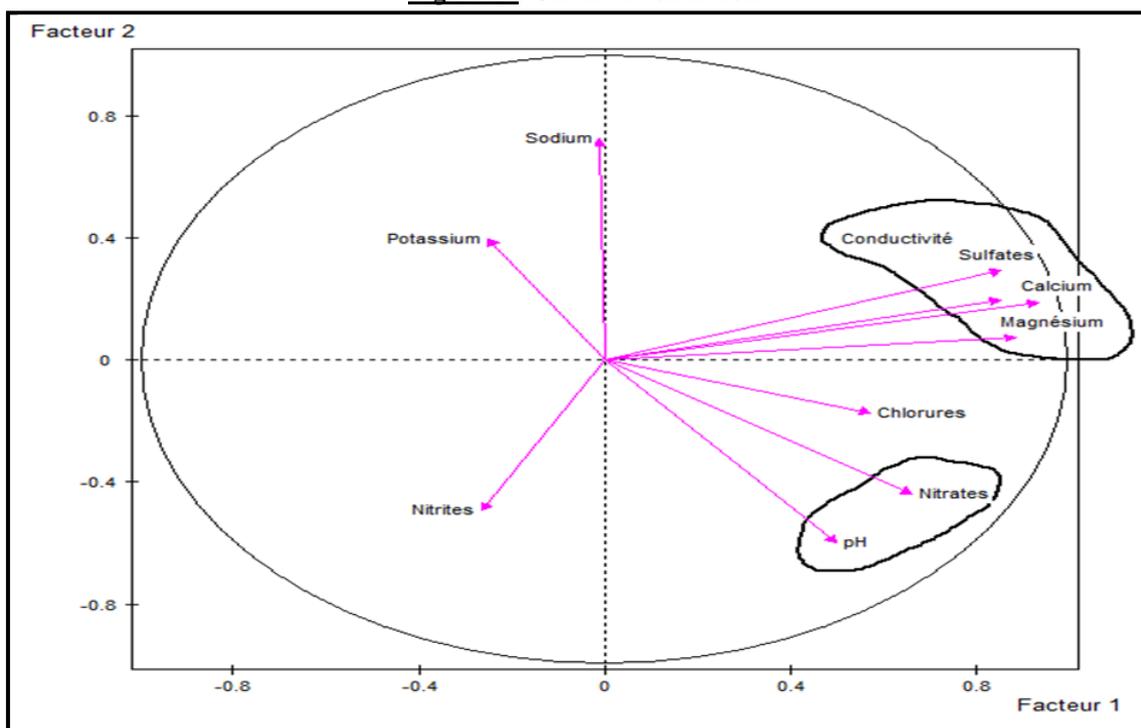
Il existe plusieurs critères permettant de retenir le nombre d'axes factoriels à retenir pour effectuer l'analyse. Parmi ces critères, on utilisera celui de Kaiser qui propose de retenir les axes factoriels dont la valeur propre associée est supérieure à 1, nos r (**Tableau 7**). Sur la base de ce critère, nous retiendrons les 3 premiers axes pour l'analyse car la valeur propre associée à chaque axe est supérieure à 1.

**Tableau 7 : Détermination du nombre d'axes factoriels à retenir**

HISTOGRAMME DES 10 PREMIERES VALEURS PROPRES				
NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE	
1	4,2748	42,75	42,75	.....
2	1,6796	16,80	59,54	.....
3	1,2768	12,77	72,31	.....
4	0,9467	9,47	81,78	.....
5	0,6897	6,90	88,68	.....
6	0,5363	5,36	94,04	.....
7	0,2809	2,81	96,85	.....
8	0,1914	1,91	98,76	.....
9	0,0652	0,65	99,41	**
10	0,0386	0,39	100,00	*

Le cercle de corrélation, comme son nom l'indique, c'est un cercle qui permet de visualiser les différentes variables et les liaisons qui existent entre elles. Nos résultats pour le cercle de corrélation sont consignés sur la figure 10.

**Figure 10:** Cercle de corrélation



Le cercle de corrélation, comme son nom l'indique, c'est un cercle qui permet de visualiser les différentes variables et les liaisons qui existent entre elles. On constate un des groupes de variables qui sont positivement corrélées entre elles, il s'agit du groupe constitué des quatre variables qui sont : Conductivité, sulfates, calcium et magnésium.

On constate un des groupes de variables qui sont positivement corrélées entre elles, il s'agit du groupe constitué des quatre variables qui sont : Conductivité, sulfates, calcium et magnésium. Cela signifie qu'une eau d'un forage donné qui contient un de ces éléments a aussi une forte chance de contenir les trois autres. Les variables pH et Nitrates sont aussi corrélées positivement, donc une eau à un pH élevé à une forte chance de contenir des Nitrates.

#### IV. Conclusion

Ainsi, les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux étudiées ont un pH acide, une turbidité dépassant légèrement les normes OMS en plusieurs points et sont de très douces à douces et faiblement minéralisées dans l'ensemble avec des valeurs de concentration en nitrites peu élevées dépassant les directives OMS (20%) dans certains points et liées à une nette influence des activités humaines.

Le risque de la pollution nitrite que peut à la longue menacer donc la ressource hydrique dans la zone d'étude. Aussi, des teneurs en potassium et en fer Totaux dépassant les valeurs limites des directives OMS ont été enregistrées dans certains points d'eau. Toutefois, les autres paramètres physico-chimiques analysés restent conformes aux directives OMS de potabilité des eaux dans la plupart des cas et la qualité physico-chimique est donc acceptable à défaut d'autre recours.

Quant aux résultats des analyses bactériologiques, ils ont fait sortir une grande prolifération des bactéries indicatrices de contamination d'origine fécale (Coliformes Totaux et Fécaux) et la qualité bactériologique est donc médiocre. Au regard des résultats de cette étude, nous formulons les recommandations suivantes :

- Sensibiliser la population sur la nécessité de protection des points d'eau et les bonnes pratiques de puisage ;
- Respecter une distance minimum de quinze mètres entre puits et latrines ;
- Mettre en place un système d'évacuation correcte des eaux usées ;
- Réaliser des ouvrages plus profonds dépassant la partie supérieure de la nappe plus exposée à la pollution et faire un bon captage afin de minimiser la contamination d'origine anthropique;
- Désinfecter régulièrement les ouvrages hydrauliques afin de réduire la pollution bactériologique ;
- Surveiller et contrôler l'utilisation des fertilisants et des pesticides afin de minimiser ou éviter la migration des excès vers les eaux souterraines.

**Références bibliographiques :**

- [1]. Amadou Haoua., Mahaman Sani L., Abdou Salam M. (2014). Application Des Méthodes D'analyses Statistiques Multivariées A L'étude De La Minéralisation Des Eaux De La Zone De Zinder (Sud-Est Du Niger), *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(4): 1904-1916.
- [2]. Balloy Mwanza, JP Katond, P Hanocq *Tropicicultura* (2019). Évaluation De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux De Puits Dans Le Quartier Spontané De Luwoshi (RD Congo). *Tropicicultura*. Vol 37 No 2 ISSN :0771-3312. E-ISSN :2295-8010.
- [3]. Beauchamp.J. (2006). *Qualité Et Pollution Des Eaux Souterraines*, Université De Picardie Jules Verne /Jacques Beauchamp, 15 Pages.
- [4]. Belghiti M.L, A. Chahlaoui, D. Bengoumi, R. El Moustaine (2013). Etude De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux Souterraines De La Nappe Plio-Quaternaire Dans La Région De Meknès (Maroc) / *Larhyss Journal*, 14, 21-36.
- [5]. Bureau Des Nations Unies Pour La Coordination Des Affaires Humanitaires (2021) : *Analyse Trimestrielle, OCHA, Niger-Région De Tahoua*.
- [6]. Dehou, S .C. (2011). Etude Des Propriétés Des Oxyhydroxydes De Fer Déposés Sur Un Support Naturel: Application A L'élimination Du Fer Dans L'eau De Forages En République Centrafricaines. Thèse De Doctorat, Université Lille 1 – Sciences Et Technologies, 157p.
- [7]. Dangeti S, Roshani B, Rindall B, Mcbeth, J.M; Wonjae C. (2017). Biofiltration Field Study For Cold Fe(II) And Mn (II) Rich Groundwater: Accelerated Mn(II) Removal Kinetics And Cold-Adpted Mn(II) Oxidizing Microbial Populations. *Water Quality Research Journal* 52(4): 229 -242.
- [8]. Fakhfekh Hamdeni. (2017). Performances Du Système Hybride Précipitation / Microfiltration Et De La Nanofiltration Dans L'élimination Du Fer Pour La Potabilisation De L'eau. Thèse De Doctorat En Chimie, Université Claude Bernard(Lyon).
- [9]. Ghazali. D., Zaid, A. (2013). Etude De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux De La Source Ain Salama-Jerri (Région De Meknes- Maroc). *Larhyss Journal* ISSN 1112-3680 Pp 2536 ;
- [10]. Greigert, J. (1978). *Atlas Des Eaux Souterraines De La République Du Niger. Etat Des Connaissances. Rapport BRGM, 79 AGE001*. Orléans, France.
- [11]. Hassane Boubakar Aïssata, (2010). *Aquifères Superficiels Et Profonds Et Pollution Urbaine En Afrique : Cas De La Communauté Urbaine De Niamey (Niger)*. Thèse De Doctorat De L'université Abdou Moumouni De Niamey En Hydrogéologie 249p.
- [12]. Hamadou Ousseyni, 2014, *Contribution A L'étude De La Vulnérabilité Des Eaux Souterraines Face Aux Activités Agricoles Et Stratégies D'adaptation Des Populations : Cas De La Nappe Phréatique Du Dallol Bosso Dans Le Département De Ballayara Au Niger.Mémoire De Mastère En Gestion Concertée Des Ressourcesnaturelles, Centre Régional Agrhymet*.
- [13]. Hassane Saley ABDEL KADER (2018). *Evaluation Des Ressources En Eau De L'aquifère Du Continental Intercalaire /Hamadien De La Région De TAHOUA (Bassin Des Iullemeden, Niger) : Impacts Climatiques Et Anthropiques*. Thèse De Doctorat En Science De Université Paris-Saclay Et Grade De Docteur En Sciences De L'université Abdou Moumouni De Niamey .296p.
- [14]. Mahamadou Hima ABDOULAYE. Haoua AMADOU, Mahaman Sani LAOUALI Et Abdou Salam MANZOLA (2019): *Physico-Chemical Quality Of Some Thermal Springs In The Agadez Region (North-East Niger)*. *International Journal Of Advanced Research (IJAR)*.ISSN N0.2320-5407.
- [15]. Mahamadou Hima ABDOULAYE\*, Haoua AMADOU, Mahaman Sani LAOUALI, Abdou Salam MANZOLA (2020). *Contribution Of Geothermal Approaches To The Study Of Thermal Waters In The Region Of Agadez (North-East Of Niger)*. *International Journal Of Science And Research Methodology*. Vol 16, Issue:2.
- [16]. Matini.L, J.M. Moutou Et M.S.Kongo-Mantono, (2009). *Evaluation Hydrochimique Des Eaux Souterraines En Milieu Urbain Au Sud-Ouest De Brazzaville, Congo*. *Afrique SCIENCE* 05 (1) (2009) 82-98.
- [17]. Moussa Nomao Ibrahimou (2017) : *Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux Des Forages A Usage Particulier Et Semi Industriel A Ouagadougou (Burkina Faso).Mémoire De Master Spécialisé En Eau Et Assainissement 2ie Ouaga*.112p.
- [18]. Mpakam Hernanie Grelle, Kamgang Kabeyne, B.V., Kouam Kenmogne, G.-R., Tamotatieste Et Georges E. Ekodeck (2006). *L'accès A L'eau Potable Et A L'assainissement Dans Les Villes Des Pays En Développement : Cas De Basoussam (Cameroun) », Vertigo - La Revue Electronique En Sciences De L'environnement, Volume 7 Numéro 2 | Septembre*.
- [19]. Nordine Nouayti, Driss Khattach, Mohamed Hilali, 2015. *Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Souterraines Des Nappes Du Jurassique Du Haut Bassin De Ziz (Haut Atlas Central, Maroc)*, *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) (2015) 1068-1081.
- [20]. *Organisation Mondiale De La Santé (2017). Directives De Qualité Pour L'eau De Boisson, 4eme Edition*. ISBN 978-92-4-254995-9.
- [21]. *Recensement Général De La Population Et De l'Habitat (2012). Institut National De La Statistique 4ème Série, ID De Référence : NER-INS-RGPH-2012-V1.0*.
- [22]. Rodier Bernard Legude, Nicole Merles Et Coll. (2009), *L'analyse De L'eau 9ième Edition*, Ed.Dunod, Paris 1579p.
- [23]. Ruitiny M., Bechir, B. T. (2015). *Elimination Of Iron By Processes Of Oxidation And By Adsorption On Coal Of Pine*. *International Journal Of Innovation And Applied Studies*, 694-700.
- [24]. SARAH A H , MAMA B., 2013. *Caractérisation Physico-Chimique Des Eaux Embouteillées Algérienne Et Vérification D'équeutage*. Mémoire De Master II En Chimie Physique. Université Des Sciences Et De La Technologie d'Oran. 66p.
- [25]. YAHOUZA Zaneidou (2020). *Contribution A L'étude Des Eaux De Dan Daji : Etude Des Mécanismes De Précipitation Des Oxydes De Fer Et De La Prévention Des Phénomènes D'entartrage*. Thèse De Doctorat Unique De L'université Abdou Moumouni. Spécialité : Chimie Physique Option Traitement Des Eaux .155p.