

Université de Jijel

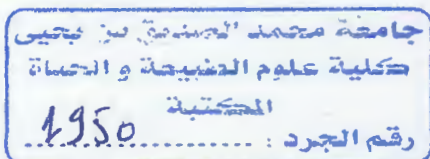
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie

Département de biologie végétale et animale

جامعة جيجل

كلية للعلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة

قسم البيولوجيا النباتية و الحيوانية



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention de diplôme : Master,
Option : toxicologie de l'Environnement

Thème

Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de boissons de quelques sources naturelles dans la région de Jijel.

Membres du jury :

Président : CHEBAB. S.

Examineur : BENFRIDJA. L.

Encadreur : KRIKA. A.



Réalisé par :

- ZOUIKRI Karim
- KHELFAOUI Nabil

Numéro d'ordre :

Session :

Table des matières

Liste des abréviations	VI
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Introduction	01

Chapitre I : Etude bibliographique

1. L'eau et le cycle hydrologique	02
2. Les eaux souterraines en Algérie du nord	03
3. Critère de choix pour l'implantation d'un point d'eau souterrain....	04
4. L'aménagement des sources naturelles	05
4.1. L'aménagement simple	05
4.2. L'aménagement avec réservoir	06
4.3. L'aménagement avec réservoir et filtre	07
5. Composition des eaux naturelles	07
5.1. Les matières minérales	07
5.2. Les matières organiques	07
5.3. Les matières dissoutes	08
5.4. Les matières colloïdales	08
5.5. Les matières en suspension	08
6. Généralités sur la pollution de l'eau	08
7. Risques liés à la mauvaise gestion de l'eau	09
7.1. Risques biologiques.....	10
7.2. Risques chimiques	10
8. Gestion des risques d'origine hydrique	11
8.1. Surveillance	11
8.2. Enquêtes sanitaires	12
9. Traitement des eaux souterraines	12
10. Aspect réglementaire	13

10.1. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	13
10.2. Les directives européennes	13
10.3. La réglementation algérienne	13
Bibliographie du chapitre I	14

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Aperçu géographique et climatique de la wilaya de Jijel	16
1.1. Géographie	16
1.2. Relief	16
1.3. Climat	17
2. Présentation des stations étudiées	17
2.1. La source de Texenna	17
2.2. Le puits du 3 ^{ème} km	17
2.3. La source de Kissir	18
2.4. La source d'El Aouana	19
3. Justification des paramètres étudiés	19
4. L'analyse de l'eau	24
4.1. L'échantillonnage	24
4.2. Les analyses	24
5. Analyse statistique	26
Bibliographie du chapitre II	27

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Le système d'Evaluation de la Qualité des Eaux (SEQ-Eau)	28
2. Les paramètres physico-chimiques étudiés	29
2.1. Le pH	29

2.2. La conductivité électrique.....	34
2.3. La turbidité	35
2.4. La dureté	36
2.5. Le calcium	37
2.6. Le magnésium total	38
2.7. Les phosphates	38
2.8. Les nitrates	39
2.9. Les nitrites	40
2.10. Les sulfates.....	41
2.11. L'ammonium	41
2.12. Les chlorures	42
2.13. Le fer total	43
Bibliographie du chapitre III	45
Conclusion	46
Recommandations.....	IX

Annexes

Annexe 01	X
Annexe 02	XI
Annexe 03.....	XVI

Liste des abréviations

A.E.P : Alimentation en Eau Potable.

A.N.R.H: Agence National des Ressources Hydrauliques

A.D.E : Algérienne Des Eaux

C.I.E.H : Comité Interafricain des Etudes Hydrauliques

NTU: Nephelometric Turbidity Units

N.S.E: Nova Scotia Environment (Nouvelle-Écosse environnement)

O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé (World Health Organization)

PCV: Poly-chloride of vinyl (poly-chlorures du vinyle)

SEQ : Système d'Evaluation de la Qualité

Liste des figures

Figure 01. Cycle de l'eau	02
Figure 02. Les proportions d'eau souterraine dans les différentes zones	04
Figure 03. Schéma d'aménagement simple d'une source	06
Figure 04. Schéma d'aménagement d'une source avec réservoir	06
Figure 05. Schéma d'aménagement d'une source avec réservoir et filtre	07
Figure 06. Situation géographique de la Wilaya de Jijel	16
Figure 07. Image satellite désignant l'emplacement de la source de Texennan	17
Figure 08. Image satellite désignant l'emplacement de la source du 3 ^{ème} Km	18
Figure 09. Image satellite désignant l'emplacement de la source du Kissir	18
Figure 10. Image satellite désignant l'emplacement de la source d'El-Aouana	19
Figure 11. Variations spatiales des paramètres physico-chimiques de l'eau : le pH (a), la conductivité électrique (b), la turbidité (c), la dureté (d), le calcium (e), le magnésium (f), les nitrates (g), les sulfates (h), l'ammonium (i), les chlorures (j), le fer (k).....	30-31
Figure 12. Degrés de potabilité selon la qualité des paramètres : (a): le pH, (b) : la conductivité électrique, (c): la turbidité, (d) : la dureté, (e) : le calcium, (f) : le magnésium, (g) : les phosphates, (h) : les nitrates, (i) : les nitrites, (j) : les sulfates, (k) : l'ammonium, (l) : les chlorures, (m) : le fer	32-34

Liste des tableaux

Tableau I. Potentialités des eaux souterraines de l'Algérie du Nord	04
Tableau II. Grille de la qualité des eaux souterraine	28
Tableau III-1. Variations spatiales du pH de l'eau	30
Tableau III-2. Variations spatiales de la conductivité électrique de l'eau	34
Tableau III-3. Classification des eaux de boisson en fonction de leur conductivité	35
Tableau III-4. Variations spatiales de la turbidité de l'eau	35
Tableau III-5. Variations spatiales de la dureté de l'eau	36
Tableau III-6. Variations spatiales du calcium dans l'eau	37
Tableau III-7. Variations spatiales du magnésium dans l'eau	38
Tableau III-8. Variations spatiales des phosphates dans l'eau	38
Tableau III-9. Variation spatiale des nitrates dans l'eau	39
Tableau III-10. Variation spatiale des nitrites	41
Tableau III-11. Variation spatiale des sulfates	41
Tableau III-12. Variation spatiale de l'ammonium	41
Tableau III-13. Variation spatiale des chlorures	42
Tableau III-14. Variation spatiale du fer total dans l'eau	43

INTRODUCTION

Remerciement

- *L'éponge absorbe, mais il faut la presser pour qu'elle s'exprime.*

Proverbe Allemand.

Ce travail a été achevé grâce à la volonté d'Allah et nous ne sommes que ses humbles serviteurs.

On remercie au premier lieu notre encadreur bienveillant Mr. Krika, qui a été et restera une source d'inspiration pour beaucoup d'entre nous ;

On remercie aussi nos petites familles, surtout les parents qui nous ont porté énormément d'encouragement et de soutien matériel et moral ;

Nous témoignons notre reconnaissance aussi aux personnel du laboratoire de l'A.D.E, qui nous ont recueillis si chaleureusement dans leur domaine ;

Un grand merci pour les aimables membres de jury.

Introduction

L'eau, cet élément vital et essentiel pour toute vie, été depuis la nuit des temps l'un des besoins les plus convoités, jusqu'à devenir une marchandise.

Elle est omniprésente dans toutes les régions de la planète, des fines particules retenues dans l'atmosphère des déserts aux vastes océans, avec sa couverture de 71 % de la surface terrestre il est l'un des éléments les plus abondants ; il représente un enjeu primordial ; ce n'est pas la quantité de l'eau sur terre qui est menacée, car elle reste inchangée depuis la création de la terre, c'est plutôt sa qualité et la disponibilité d'eau potable qui sont menacées.

En effet la disponibilité d'eau potable est en diminution continue à cause de sa mauvaise gestion, d'où la pollution — la cause principale de cette diminution — affecte sans cesse les réservoirs d'eau souterraine, qui renferment la majeure partie des réserves en eau douce.

Que ce soit d'une ligne de distribution, puits ou source naturelle, l'homme doit connaître la qualité de l'eau qu'il boit, ou du moins si elle est bonne à boire.

L'obligation et la curiosité nous ont incitées à effectuer la présente étude afin de connaître la qualité des eaux de trois sources naturelles (Texenna, Kissir et El Aouana) et d'un puits (3^{ème} Km), qu'un grand nombre de la population ait pris l'habitude de leur consommation soit régulièrement ou occasionnellement.

Pour réaliser cette évaluation, on aura recours à un système simple et représentatif dénommé le Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux (SEQ-Eau), qui va nous permettre d'établir une classification des eaux analysées en fonction de leurs paramètres physico-chimiques.

Cette classification nous laissera savoir lesquelles des stations étudiées possèdent une eau mauvaise pour la boisson, et quels sont les effets qu'elles peuvent sur la santé.

Le présent travail s'articule sur trois parties principales : une synthèse bibliographique concernant l'eau et sa répartition spatiale, les sources souterraines et leur constitution naturelle, les risques liés à la mauvaise gestion de l'eau et l'aspect réglementaire concernant les eaux de boisson ;

Une deuxième partie réservée aux matériels et méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimiques étudiés au niveau des quatre points d'eau sélectionnés ;

La troisième partie sera consacrée à la présentation et la discussion des résultats obtenus ;

Enfin, le travail sera achevé par une conclusion générale.

CHAPITRE I
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. L'eau et le cycle hydrologique

L'eau est le seul élément trouvé dans la nature sous les trois formes (solides, liquides et gazeuses), en effet cette capacité de changer d'état en fonction de quelques facteurs - essentiellement la température - lui confère une grande mobilité entre les trois compartiments de la biosphère.

Entre les quatre grands réservoirs d'eau de l'hydrosphère que sont les mers et océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère, et la biosphère, l'échange d'eau est permanent et forme ce que l'on appelle le cycle externe de l'eau. Le volume d'eau sur Terre est toujours constant. Le moteur de ce cycle est le soleil : grâce à l'énergie thermique qu'il rayonne, il active et maintient constamment les masses d'eau en mouvement (**Blieffert et Perraud, 2001**) (fig. 01).

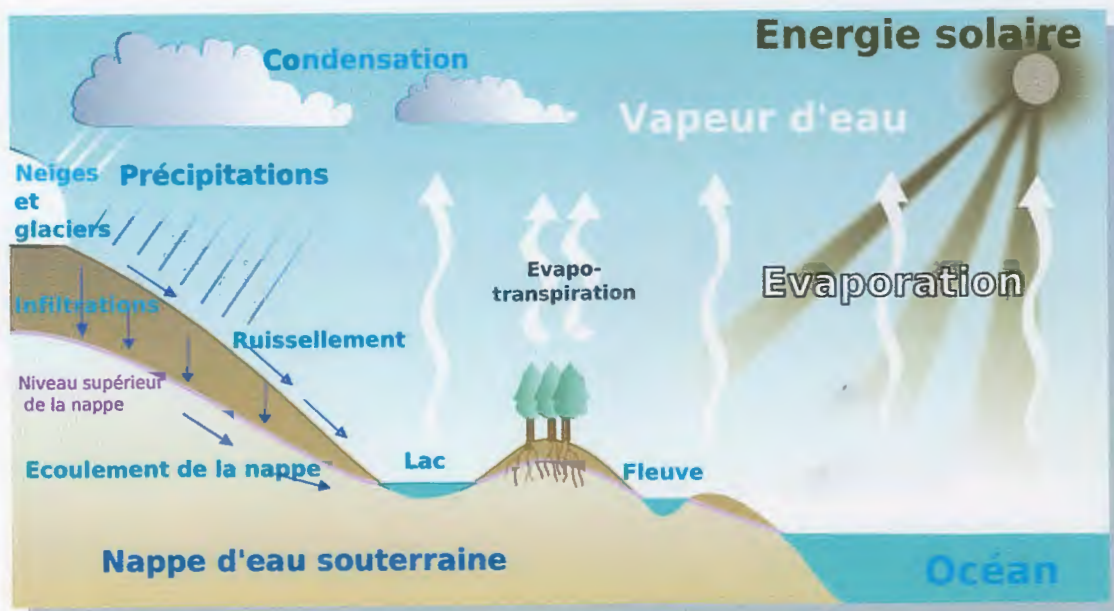


Figure 01. Cycle de l'eau (Claude et al., 1998).

Ce cycle se divise en deux parties intimement liées :

- une partie atmosphérique qui concerne la circulation de l'eau dans l'atmosphère, sous forme de vapeur d'eau essentiellement ;
- une partie terrestre qui concerne l'écoulement de l'eau sur les continents, qu'il soit superficiel ou souterrain.

L'eau douce ne représente que 2,5 % du volume total de l'eau sur terre, dont 2/3 sont concentrés dans les glaciers et 1/3 git dans les nappes souterraines ; seulement 0,3 % de l'eau douce est réparti dans les rivières, les lacs et les réservoirs (**Remini, 2005**).

Trois sources d'approvisionnement en eau sont disponibles dans le cycle hydrologique :

- a- Les eaux de pluie : les eaux de pluie peuvent être collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou dans des impluviums. À l'origine ces eaux sont pures sur le plan microbiologique, mais sur le plan chimique, il leur manque souvent certains éléments indispensables à la santé comme le sodium, magnésium, manganèse, fer, iode (OMS, 1972).
- b- Les eaux de surface : composées d'eaux de mer, de fleuves, de rivières, de marigots, ces eaux couvrent la terre. Grossies par les eaux de ruissellement elles reçoivent toutes sortes de déchets contenant des germes nuisibles pour la santé (OMS, 1972).
- c- Les eaux souterraines : formées par les eaux d'infiltrations, les eaux souterraines sont exemptes de pollution. Cependant elles peuvent, d'une part être contaminées par la technique de puisage, la proximité des latrines ou d'autres sources de pollution, le manque de protection, d'autre part. Elles peuvent être chargées par les éléments minéraux ; eaux saumâtres (NaCl) ; eau dure (Ca^{++}) ; eau ferrugineuse (Fe^{++}) (OMS, 1972).

2. Les eaux souterraines en Algérie du Nord

En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et l'A.E.P pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau représente un véritable défi.

La pluviométrie moyenne annuelle en Algérie du Nord-est évaluée entre 95 et $100 \times 10^9 \text{ m}^3$. Plus de $80 \times 10^9 \text{ m}^3$ s'évaporent, $3 \times 10^9 \text{ m}^3$ s'infiltrent et $12,5 \times 10^9$ s'écoulent dans les cours d'eau (Remini, 2005).

Le découpage de l'Algérie du Nord repose sur les caractéristiques géographiques et naturelles des régions ainsi que le groupement des bassins versants et des sous-bassins hydrographiques ; on obtient les régions suivantes : (fig. 02).

- Oranie - Chott Chergui
- Chellif - Zahras
- Algérois - Soummam - Hodna
- Constantinois - Seybouse – Mellegue

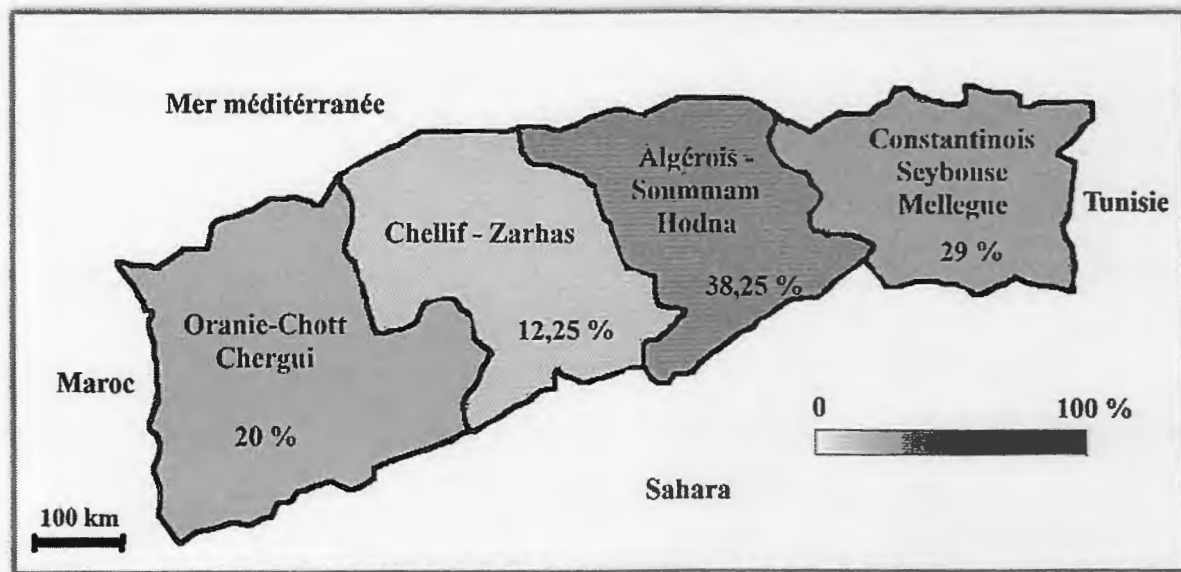


Figure 02. Les proportions d'eau souterraine dans les différentes zones (Remini, 2005).

Les ressources en eaux souterraines dans le nord de l'Algérie sont évaluées à plus de 2 milliards de m^3 . Elles sont exploitées à plus de 90 %, soit 1,9 milliard de m^3 et beaucoup de nappes se trouvent actuellement en état de surexploitation. Cette évaluation est effectuée à partir de 50 000 points d'eau (forages et puits) recensés par l'A.N.R.H. Le tableau (I) donne les estimations des ressources en eaux souterraines de l'Algérie du Nord.

Tableau I. Potentialités des eaux souterraines de l'Algérie du Nord (Remini, 2005).

	<i>Oranie C. Chergui</i>	<i>Chellif Zahras</i>	<i>Algérois S. Hodna</i>	<i>Constantinois Sey-Mellegue</i>	<i>Total Algérie du nord</i>
Ressources souterraines mobilisables en $10^6 m^3/an$	400	245	775	580	2000
Ressources souterraines mobilisées en $10^6 m^3/an$	375	230	745	550	1900

Il apparaît que la région de l'Algérois Soummam Hodna a le volume le plus important par rapport aux autres régions en eau souterraine. Ceci est dû à la présence au niveau de cette région d'importantes nappes, par exemple la nappe de la Mitidja qui est surexploitée actuellement, car ses eaux constituent la principale source d'approvisionnement de la ville d'Alger.

3. Critère de choix pour l'implantation d'un point d'eau souterraine

Lorsqu'on choisit entre les diverses sources d'approvisionnement en eau, la qualité de l'eau ne doit pas être l'unique point pris en considération. Il faut également tenir compte du débit de l'eau et de la pérennité du point d'eau. Compte tenu du coût élevé et de l'insuffisance des systèmes d'adduction d'eau, le captage des eaux souterraines avec les forages constitue l'une des meilleures

sources d'eau de boisson dans les pays en voie de développement à condition que ces points d'eau soient bien protégés (**Alassane, 1994**).

En général, le choix de l'emplacement du point d'eau (source) doit être fait par les services chargés de l'hydraulique en tenant compte des désirs de la population, de l'hydrogéologie du terrain. Une source ne peut fournir de l'eau que si elle rencontre une nappe. Les nappes peuvent être partout, mais leur qualité, leur débit et leur profondeur sont très variables (**Herb, 1978**).

On rencontre des nappes captives et des nappes libres. La nappe captive aussi appelée nappe artésienne est une nappe aquifère qui est confinée entre deux couches imperméables. La nappe libre aussi appelée nappe aquifère est une formation géologique perméable et saturée d'eau (**Valiron, 1999**).

4. L'aménagement des sources naturelles

Par définition, une source est l'endroit où une nappe d'eau sort du sol toute seule. Cette eau est souvent bonne à boire. Cependant, cette eau peut être polluée à sa sortie du sol. Afin d'éviter un tel danger, on doit aménager la source.

Trois grands types d'aménagements de sources peuvent être envisagés dans un contexte nécessitant le recours à des techniques à faible coût (**CIEH, 1988**).

4.1. L'aménagement simple

L'aménagement simple de source doit débiter par un nettoyage de l'endroit où l'eau sort du sol. Il faut :

- faire une tranchée horizontale sur plusieurs mètres pour rechercher l'eau un peu plus loin ;
- remplir la tranchée de gros cailloux pour que l'eau circule facilement ;
- reboucher la tranchée ;
- à l'extrémité, sceller un tuyau par lequel l'eau s'écoulera. Le tuyau doit être scellé dans un mur fait en ciment, en parpaing ou en pierre ;
- le sol, à l'endroit où le tuyau sort, doit être nivelé et recouvert de cailloux pour éviter qu'il y ait formation d'un borbier ;
- réaliser une rigole qui évacue au loin l'eau sale (fig. 03).

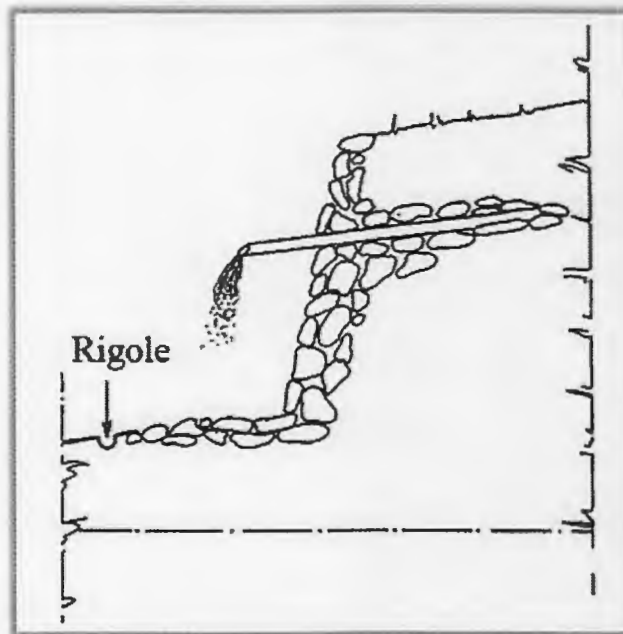


Figure 03. Schéma d'aménagement simple d'une source (CIEH, 1988).

4.2. L'aménagement avec réservoir

Il est nécessaire de construire une chambre maçonnée qui permet de récupérer et de stocker l'eau de la source (fig. 04) ; tandis que l'aménagement extérieur est identique à celui de l'aménagement simple.

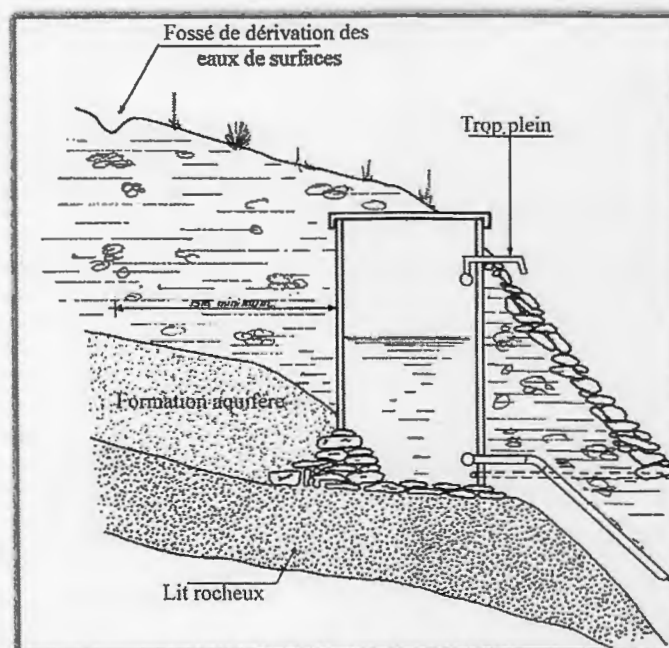


Figure 04. Schéma d'aménagement d'une source avec réservoir (CIEH, 1988).

4.3. L'aménagement avec réservoir et filtre

Cet aménagement comprend une chambre maçonnée divisée en deux parties, une partie qui contient le filtre en gravier et en sable et une autre partie qui constitue le réservoir (fig. 05).

La sortie de l'eau est identique aux aménagements précédents.

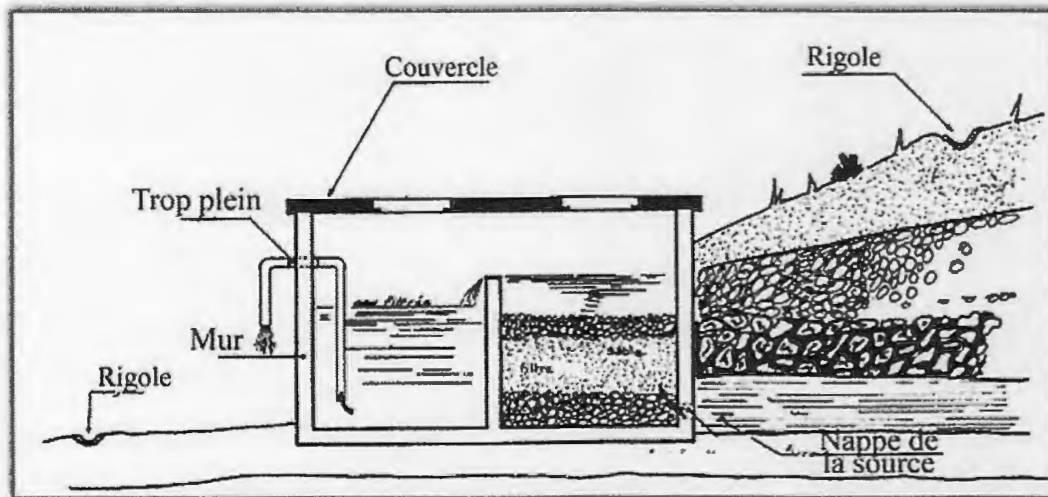


Figure 05. Schéma d'aménagement d'une source avec réservoir et filtre (CIEH, 1988).

5. Composition des eaux naturelles

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées selon deux modes différents :

- Suivant leur nature chimique : organique ou minérale.
- Suivant leur état physique : matières dissoutes, colloïdales ou en suspension.

Ces distinctions sont arbitraires dans la mesure où, d'une part, une substance peut se trouver soit à l'état dissous, soit en suspension selon les conditions du milieu, et, d'autre part, l'eau est le siège de phénomènes de dégradation biologique qui peuvent transformer des substances organiques en substances minérales (Rejsek, 2002).

5.1. Les matières minérales

Ce sont essentiellement des composés ioniques, anions et cations, qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact.

L'eau contient également des gaz dissous ayant une grande importance dans les phénomènes biologiques ainsi que chimiques par exemple la corrosion.

5.2. Les matières organiques

Ce sont, par définition, des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote.

Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se retrouvent dans l'eau. Elles se décomposent du fait de leur instabilité chimique et par l'action des micro-organismes de l'eau en formant des composés de plus en plus simples.

5.3. Les matières dissoutes

Ce sont des matières dispersées de façon homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées.

Elles obéissent à des équilibres de dissolution qui sont fonction de la température et de la pression, ce dernier facteur étant très important pour les gaz.

Du fait de leur état dissous, ces molécules sont difficiles à éliminer de l'eau à traiter par les procédés physiques classiques, décantation et filtration. Si leur élimination est nécessaire, par exemple pour les nitrates, il faudra utiliser des méthodes chimiques ou biologiques.

5.4. Les matières colloïdales

L'état colloïdal est un état intermédiaire entre l'état dissous et la suspension. Les matières colloïdales sont constituées d'éléments de petite taille chargés négativement, ce qui explique qu'ils se repoussent et se répartissent de façon dispersée et désordonnée dans la masse liquide. Aussi, leur élimination de l'eau à traiter est difficile, car elles ne décantent pas de manière spontanée et sont peu retenues par les filtres. On devra utiliser des réactifs chimiques qui neutralisent les charges négatives superficielles et permettent leur agrégation. Cette étape est appelée coagulation-floculation ; elle est suivie par une décantation pour éliminer les colloïdes agrégés, nommés floccs, qui peuvent alors décanter.

5.5. Les matières en suspension

Ce sont des particules solides dont la taille est supérieure à 10 μm , dispersées dans l'eau sans être chimiquement liées avec elle. De ce fait, leur élimination est assez simple, car, si l'on fait reposer l'eau, elles décantent de manière spontanée et peuvent être retirées de l'eau par des procédés physiques simples (décantation, filtration).

6. Généralité sur la pollution de l'eau

De nos jours, les problèmes de pollution constituent un danger de plus en plus important pour l'homme. Parmi ces problèmes, la contamination de l'eau se pose avec acuité. En effet, l'eau est affectée de façon croissante par des matières minérales et organiques et même des microorganismes dont certains sont pathogènes et donc dangereux pour la santé (Aurousseau, 1999).

L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution, et sa protection s'impose à tous les niveaux.

Bien que se trouvant en profondeur, ces eaux souterraines peuvent être polluées. Malgré les nombreux filtrages que subissent les eaux souterraines, il est toujours possible qu'elles contiennent des bactéries ou des éléments indésirables. En effet, les puits sont généralement pollués par :

- la pénétration d'impuretés par les ouvertures ;
- la contamination par la présence de fosses septiques ;
- les fuites des conduits d'égouts ;
- l'infiltration des dépotoirs ou les terrains d'enfouissement ;
- les activités menées autour du puits.

Avec la pluie les eaux sont entraînées en partie par ruissellements et en partie s'infiltrent, contribuant à la recharge de la nappe, mais aussi sa pollution par l'entraînement des matières organiques et minérales de la surface (**Gogu et Dassargues, 1998**).

La pollution est une dégradation de la qualité de l'eau. L'analyse chimique d'une eau révèle la présence de certains éléments en solution ou en suspension. Ce sont la qualité et la quantité de ces éléments qui, d'une part définissent une eau, et d'autre part précisent et limitent son emploi aux divers usages : alimentation, besoins ménagés, besoins industriels, irrigation (**Margat, 1999**). Dans ces conditions, il faut toujours envisager un traitement.

7. Risques liés à la mauvaise gestion de l'eau

L'eau contaminée par les excréta est susceptible de transmettre les maladies gastro-intestinales. En effet la pollution fécale peut introduire dans l'eau de boisson des risques :

- À court terme lorsque les sources de pollution sont urbaines, il s'agit du déversement incontrôlé de teinture, des eaux domestiques, etc...Il peut arriver que ces eaux soient évacuées vers des puisards qui sont en communication directe avec la nappe.
- À moyen terme lorsque les sources de pollution sont industrielles. Il peut s'agir des industries polluantes par leurs déchets.
- À long terme avec le développement agricole, les produits utilisés dans le but d'améliorer les rendements agricoles. On peut citer : les engrais, les pesticides.... etc. (**Khalaf, 1997**).

Les différents risques de l'eau sont : le risque d'ingestion ou risque direct ; risque de contact et le risque indirect. Le péril fécal pollue l'eau par les excréments dans les ressources aquatiques, directement lorsque celles-ci sont de surface (rivière, lac, ...), ou par infiltration de la nappe phréatique. Le ruissellement des eaux de pluie lessivant les sols, la collecte ou le stockage de l'eau de boisson peuvent aussi être des occasions de souillure fécale de l'eau (**Kraiem, 1994**).

Les pathologies liées à l'eau peuvent être d'origine bactérienne, virale, parasitaire, et liées à la présence de substance chimique dans l'eau.

7.1. Risques biologiques

a- Maladies d'origine bactérienne : Les eaux peuvent transmettre un certain nombre de maladies d'origine bactérienne. On les cite avec les différents germes en cause :

- Le choléra (*vibrio cholerae*).
- La fièvre typhoïde et gastro-entérite (*salmonella typhi* et *E. Coli*).
- Schigellose (*shigella spp*).
- La tuberculose (*mycobacterium tuberculosis*).

b- Maladies d'origine virale : Aux côtés des maladies d'origine bactérienne, nous avons des maladies virales. On peut citer :

- la poliomyélite
- les hépatites virales et entérovirus.

c- Maladies d'origine parasitaire : En plus des maladies d'origine bactérienne et virale, on trouve les épidémies d'origine hydrique dues à des parasites, exemple de l'ankylostomose, la dracunculose, le téniasis, etc...

7.2. Risques chimiques

L'être humain trouve une grande part de ses besoins en substances minérales dans l'eau de boisson. C'est en général la présence d'un excès de certains éléments qui peut induire soit directement, soit indirectement, des effets néfastes pour la santé. Par exemple, le fluor présent dans l'eau à des teneurs inférieures à 1,5 mg/l est utile à la prévention de la carie dentaire. En revanche, au-delà, et notamment à partir de 4 mg/l, des pathologies (fluorose dentaire, etc.) peuvent apparaître.

Certaines substances en excès peuvent être toxiques. De nombreux facteurs conditionnent cette toxicité : les doses et leur répartition dans le temps (toxicité aiguë ou toxicité chronique), les

conditions d'absorption en tenant compte des autres sources (alimentation, air, médicaments...), la sensibilité du sujet, la capacité de l'organisme à fixer la substance...

Les effets ne se manifestent généralement qu'à moyen ou long terme et peuvent prendre des formes très diverses tels : cancérogénicité, mutagénicité, troubles métaboliques. De ce fait, les études épidémiologiques et/ou toxicologiques expérimentales sur les substances pouvant être contenues dans l'eau d'alimentation sont difficiles à mener et, pour un certain nombre de polluants, les connaissances ne sont encore que partielles et donc insuffisantes. Ainsi de nouveaux produits apparaissent régulièrement dans les listes de produits susceptibles d'être toxiques (notamment en ce qui concerne les produits phytosanitaires), et certains critères d'appréciation de la qualité d'une eau deviennent plus sévères (exemple : plomb, arsenic...).

Par ailleurs, certains éléments ne sont pas toxiques, mais leur présence dans l'eau peut être révélatrice de perturbations affectant la ressource en eau ou le réseau de distribution. Cela peut induire des désagréments d'ordre organoleptique ou générer des difficultés de traitement.

Enfin, certaines maladies sont étroitement liées à la structure naturelle des eaux indépendamment de toute pollution par excès, voire par carence de certains éléments (**Savary, 2003**).

Maladies liées à la présence de substance chimique dans l'eau : La fluorose qui est due à une intoxication chronique par le fluor. Le saturnisme qui est l'ensemble des manifestations dues à une intoxication par le plomb. L'hyperthyroïdie, et la méthémoglobine provoquent des troubles graves, par altération de l'hémoglobine du sang et formation de metha-hemoglobine toxique pouvant conduire à l'asphyxie et la mort s'il n'y a pas de traitement (**Mercier, 1994**).

8. Gestion des risques d'origine hydrique

8.1. Surveillance

La surveillance de la qualité de l'eau de boisson peut se définir comme étant « l'évaluation et la supervision continues et vigilantes du point de vue de santé publique de la salubrité et de l'acceptabilité des approvisionnements publics en eau de boisson ».

Cette surveillance comporte :

- Contrôle régulier de la qualité pour vérifier que le traitement et la distribution sont conformes aux objectifs établis et à la réglementation.
- Surveillance généralement à intervalles spécifiés, de l'ensemble du réseau de distribution depuis la source jusqu'aux consommateurs du point de vue de la sécurité micro biologique (**Brenot et al., 2008**).

8.2. Enquêtes sanitaires

L'enquête sanitaire est une inspection et une évaluation sur place par une personne qualifiée, de toutes les conditions d'installation et pratiques touchant le réseau d'approvisionnement en eau qui pourraient être à l'origine de danger pour la santé du consommateur. Tous les systèmes de distributions doivent être régulièrement inspectés par les spécialistes. Les échantillons doivent y être prélevés notamment aux fins des examens microbiologiques et chimiques. Par ailleurs une enquête sanitaire s'impose pour permettre une interprétation valable des résultats de laboratoire (Comte et al., 2004).

9. Traitement des eaux souterraines

Les eaux souterraines qui ont une composition étroitement liée aux terrains qui les contiennent sont le plus souvent exemptes de germes pathogènes. C'est pourquoi on dit qu'elles sont naturellement pures. Néanmoins, la zone de captage doit être protégée par une réglementation efficace et prendre des précautions pour éviter une contamination de l'eau dans le réseau de distribution. Lorsqu'une protection continue ne plus être garantie du point de captage au point de consommation, il est impératif de procéder à une désinfection et de maintenir une concentration de chlore résiduel suffisant (Malcuitet al., 2006).

Le traitement comportera l'une ou la totalité des étapes suivantes :

- Sédimentation : c'est le traitement le plus simple. Il consiste à stocker l'eau dans les réservoirs pendant un bout de temps plus ou moins long. Les matières en suspension se déposent.
- Flocculation : la sédimentation est favorisée par l'addition de réactifs chimiques comme le sulfate d'alumine le « flocc » qui en résulte peut éliminer dans de bonnes conditions les bactéries présentes.
- La décantation et filtration : on avait autre fois recours à la filtration lente sur sable fin, directement appliquée à l'eau brute. Actuellement les eaux brutes subissent d'abord un traitement de coagulation puis de décantation et leur filtration devient alors très rapide.
- Stérilisation : elle constitue l'étape finale du traitement. Elle est destinée à inactiver les microorganismes, pathogènes ou non, qui n'ont pas été retenus au cours des opérations précédentes. Le procédé le plus répandu est la chloration (Brugeron et Vittecoq, 2009).

10. Aspect réglementaire

La réglementation concernant la qualité de l'eau de boisson est constituée de plusieurs textes et directives qui peuvent varier selon le pouvoir exécutif qui les adopte.

La conception d'une norme doit être effectuée de telles façons que ces seuils soient le plus précis possible pour protéger le consommateur et en même temps ne pas limiter les ressources en eau potable.

10.1. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

L'OMS s'est employée, depuis de nombreuses années, à passer en revue et à évaluer les informations concernant les aspects sanitaires liés à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine avant d'établir à ce sujet un document à caractère consultatif : Guidelines for Drinking-water Quality.

La première publication de ce rapport date de 1958 et il est régulièrement mis à jour (dernière version : 2011).

Les valeurs des différents paramètres de qualité des eaux sont, à titre de recommandation, sous forme de valeurs guides (VG) qui correspondent à la concentration à laquelle l'eau ne présente pas de risque sensible pour la santé du consommateur et conserve ses qualités organoleptiques.

Ces recommandations concernent un grand nombre de paramètres, mais n'ont pas de caractère contraignant ; ainsi, chaque pays pourra se servir de ces recommandations pour mettre en place sa propre législation.

10.2. Les directives Européennes

Tout pays appartenant à l'Union Européenne doit s'adapter aux textes réglementaires et directives européennes (Rejsek, 2002). Ces directives ont pour but d'harmoniser les pratiques dans les différents pays de la Communauté et doivent être transcrites en droit national de chaque pays en respectant les valeurs de ces normes avec des possibilités limitées de dérogation sur certains points.

10.3. La réglementation algérienne

L'Arrêté interministériel du 22 janvier 2006 parut dans le journal officiel de la République algérienne N° 27 du 26 avril 2006, est le texte réglementaire principal posé par le ministère des Ressources en eau relatif aux eaux de source, leur traitement et les adjonctions autorisés. Cet arrêté est synthétisé à base d'autres textes précédents ; il propose une liste des normes spécifiques pour chaque paramètre (Annexe 01).

Bibliographie

- ALASSANE B.M., 1994. Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latine en Afrique subtropicale, Thèse science et Techniques N°1276.
- AUROUSSEAU P., 1999. Notions relatives au risque en environnement, Séance du Conseil Scientifique de l'environnement, 14 décembre 1999.
- BLIEFFERT C. et PERRAUD R., 2001. Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets, DeBoeck Université.
- BRENOT A., VITTECOQ B., NEGREL P., MARDHEL V., 2008. Système d'information sur les eaux souterraines : Caractérisation physico-chimique naturelle des eaux souterraines. Rapport BRGM/RP56266-FR.
- BRUGERON A., VITTECOQ B., 2009. Contrôle de surveillance de la qualité des eaux souterraines de la Martinique – saison sèche 2008 – Analyse des évolutions observées. BRGM/RP-56638-FR.
- CIEH, 1988. Le point d'eau au village - Manuel de formation des formateurs villageois-, CINAM, Ouagadougou, 61 pages.
- CLAUDE F., CHRISTIANNE F., PAUL M., JEAN D., 1998. Ecologie : Approche scientifique et pratique (4^e Ed), Lavoisier TEC and DOC, Paris.
- COMTE J-P., CHARGUERON C., NEGREL Ph., 2004. Qualité des eaux souterraines de Martinique : état de référence pour un réseau de surveillance. Rapport BRGM/RP52997-FR.
- GOGU R. et DASSARGUES A., 1998. A short review on groundwater vulnerability assessment, Basic statements for use in the framework of the cost 620 action. Workshop 18-20 mai. Université de Neuchâtel.
- HERB F., 1978. Qualités chimiques et risques toxiques des eaux d'alimentation éditoriale, Journal français de l'hydrologie.
- KHALAF, G., 1997. Etude physico-chimique et biocénotique du cours d'eau Antelias (Liban). Lebanese Scientific Research Reports, pp 3-14.
- KRAIEM, M., 1994. La pollution des eaux continentales et les indicateurs biologiques. Thèse de doctorat, Sciences Biologiques, Université Tunis II, 60 p.
- MALCUIT E., VITTECOQ B., Baran N., NEGREL Ph., 2006. Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2005 : résultats et comparaison avec la 1^{ère} campagne de basses eaux (2004) et 1^{ère} campagne de saison des pluies (2004). Rapport BRGM/RP-54717-FR.

- MARGAT J., 1999. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution, Base de la cartographie. BRGM, Orléans, France.
- MERCIER, M., 1997. Profil de Santé environnementale pour les bassins versants des rivières Richelieu et Yamaska et du tronçon Boucherville-Contreccœur du fleuve Saint-Laurent, Direction de la santé publique, de la planification et de l'évaluation.
- OMS, 1972. Directives de qualité pour l'eau de boisson, Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- REMINI B., 2005. La problématique de l'eau en Algérie, Office des publications universitaires, Alger.
- REJSEK F., 2002. Analyse des eaux, Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, Bordeaux, 180 pages.
- SAVARY P., 2003. Guide des analyses de la qualité de l'eau, Techni.Cités, 244 pages.
- VALIRON F., 1999. Gestion des eaux, principes moyens et structures, 165p.

CHAPITRE II

MATÉRIEL ET MÉTHODES



1. Aperçu géographique et climatique de la wilaya de Jijel

1.1. Géographie

La wilaya de Jijel s'étend entre les latitudes : $36^{\circ} 29' 22''$ N et $36^{\circ} 56' 43''$ N et les longitudes : $5^{\circ} 29' 25''$ E et $6^{\circ} 33' 41''$ E ; elle est limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'ouest par la Wilaya de Béjaïa, à l'est par la Wilaya de Skikda, au sud-ouest par la Wilaya de Sétif, au sud par la Wilaya de Mila et enfin au sud-est par la Wilaya de Constantine (fig. 06).



Figure 06. Situation géographique de la Wilaya de Jijel (Google Map, 2012).

1.2. Relief

Les plaines côtières de la région de Jijel sont entourées au sud par les reliefs de la petite Kabylie. La topographie est subplane au niveau de la plaine de l'oued Mencha et augmente en progressant vers le sud.

Dans cette région, la montagne tombe souvent à pic dans la mer et forme une côte très découpée appelée Corniche Jijelienne, où l'on admire caps, falaises, presqu'îles et promontoires. On y trouve aussi de très belles grottes et des gouffres encore inexplorés.

Le bassin versant culmine à 1589 m d'altitude avec une altitude moyenne de 406,02 m. Les principales cimes montagneuses sont : Tamazgida, Tababort, Seddat, Bouazza.

La végétation du bassin versant est marquée par une couverture forestière peu abondante constituée en majeure partie de chêne-liège (Wikipédia, 2012).

1.3. Climat

Comme toutes les régions du littoral algérien, la Wilaya de Jijel bénéficie d'un climat tempéré avec un hiver doux caractéristique des zones méditerranéennes et d'une pluviométrie de l'ordre de 1 200 mm/an. Elle est parmi les régions les plus arrosées d'Algérie.

On note aussi qu'au col de Texanna, qui se situe à 725 m d'altitude, l'enneigement dure plus de 11 jours/an.

Les vents dominants soufflent généralement de la mer vers le continent (NNW - SSE) (Wikipédia, 2012).

2. Présentation des stations étudiées

2.1. La source de Texenna ($36^{\circ} 39' 36''$ N ; $5^{\circ} 47' 20''$ E)

Cette source est située au plein cœur de la ville de Texenna (fig. 07) sur une altitude de 725 m et avec un débit d'environ 18 l/min, elle assure une alimentation permanente en eau potable pour une grande partie des habitants de la région. C'est la raison pour laquelle on l'a choisi comme station d'étude, de plus sa situation en plein milieu de l'agglomération laisse penser à la possibilité qu'elle soit infectée par les effluents et les rejets urbains.



Figure 07. Image satellite désignant l'emplacement de la source de Texenna

2.2. La source (puits) du 3^{ème} Km ($36^{\circ} 48' 18''$ N ; $5^{\circ} 48' 14''$ E)

C'est une succession de 3 puits privés creusés à côté des habitats, situés sur la bordure nord de la route Nationale N°43 à quelques dizaines de mètres de la plage (fig. 08), parmi lesquels on a pris un au hasard.



Figure 08. Image satellite désignant l'emplacement de la source du 3^{ème} Km

L'eau est extraite directement depuis le captage de la nappe au biais d'une pompe électrique constitue la source d'eau potable pour un très grand nombre de citoyens Jijiliens, surtout les occupants des quartiers est (El Akabi, Village Moussa... etc.)

Selon le témoignage du propriétaire, pas moins d'une vingtaine de camions-citernes (1000-3000 litres) viennent faire le plein chaque jour en raison de 100 dinars la citerne.

2.3. La source de Kissir (Dar Tbaâna) ($36^{\circ}47' 45''$ N ; $5^{\circ}40' 51''$ E)

C'est une source naturelle qui gisait depuis longtemps des roches sédimentaires ; après la fin des travaux effectués récemment pour réaliser la nouvelle route (chemin du poids lourd), elle a été aménagée par la Conservation des Forêts pour qu'elle soit assortie avec le nouveau paysage (fig. 09).



Figure 09. Image satellite désignant l'emplacement de la source du Kissir

Malgré son débit plutôt faible (environ 7 l/min), pas mal de gens consomment son eau même si ce n'est pas de façon régulière puisque c'est surtout les routiers et les touristes qui s'arrêtent pour se rafraichir.

2.4. La source d'El Aouana (Afouzer) (36° 46' 08" N ; 5° 35' 38" E)

Cette source qui émerge d'un point un peu plus haut sur la colline a subi une extension pour atteindre le niveau de la route nationale (fig. 10).

L'eau de cette source est utilisée pour l'alimentation et la boisson par les habitants des environs et aussi par un nombre considéré de voyageurs.



Figure 10. Image satellite désignant l'emplacement de la source d'El-Aouana

En raison de son débit assez important (environ 22 l/m) et sa localisation au bord de la route nationale, l'eau de cette source est parfois utilisée pour le lavage des voitures sur-place ce qui peut provoquer une contamination de l'eau par l'infiltration des divers détergents.

3. Justification des paramètres étudiés

L'augmentation de la consommation des eaux des sources impose l'obligation de contrôler leur composition, vérifier la susceptibilité d'en contenir des polluants et enfin d'évaluer leur qualité.

Puisque notre travail pratique a été effectué au niveau du laboratoire de l'ADE, le choix des paramètres étudiés été en fonction du matériel disponible ainsi qu'aux analyses les plus couramment effectuées.

3.1. Le pH

Le pH, grandeur mesurant la concentration des ions hydrogènes dans une solution. C'est une mesure de l'acidité de la solution.

Par définition, le pH, « pouvoir hydrogène », est l'opposé du logarithme de la concentration des ions H^+ (protons) : $pH = -\log_{10} [H^+]$, avec $[H^+]$ la concentration des ions H^+ en moles/litre. Comme les ions H^+ s'associent avec des molécules d'eau pour former des ions hydronium (H_3O^+), le pH s'exprime souvent en fonction de la concentration de ces ions (**Encarta, 2007**).

La détermination du pH d'une eau de source est primordiale lors de l'analyse. Ce paramètre qui dépend de l'origine de ces eaux (nature géologique des roches traversées) conditionne son équilibre physico-chimique.

3.2. La conductivité électrique

C'est l'aptitude d'une eau à laisser passer le courant électrique, elle est définie par (**Rodier, 2009**) comme étant la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

La mesure de la conductivité donne une idée directe sur la teneur d'une eau en éléments minéraux, ces derniers résultent soit du lessivage des terrains parcourus ou d'apports d'origine anthropique.

3.3. La turbidité

La turbidité d'une eau exprime son degré de transparence, elle est due aux particules en suspension et aux matières colloïdales qui obstruent la transmission de la lumière et donne à l'eau un aspect trouble.

Les matières en suspension qui peuvent être de nature organique ou inorganique ou la combinaison des deux, ont tendance à être des hôtes aux microorganismes qui les protègent de l'action des désinfectants.

La turbidité dans certaines eaux souterraines est la conséquence de particules inertes d'argile et de calcaire, ou de la précipitation du fer réduit ou autres oxydes non solubles quand l'eau est issue de nappes anaérobiques (**OMS, 2009**).

3.4. La dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium (**Rodier, 2009**). Elle est directement liée à la nature géologique des terrains traversés.

En France la dureté d'une eau est mesurée en degrés français (°F), en Algérie elle est exprimée par la teneur en mg/l des carbonates de calcium (CaCO_3).

Où : $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l de } \text{CaCO}_3$ (**Aquapurealgerie.com, 2012**).

3.5. Le calcium

Le calcium est un élément principal de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Ils s'y dissolvent en majorité lors de l'attaque de roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous (CO_2). Leur teneur dans l'eau, qui peut varier de 1 à 150 mg/l, est directement liée à la nature géologique des terrains traversés (**Savary, 2003**).

Le calcium est très abondant dans la croûte terrestre, mais on ne le trouve jamais à l'état libre dans la nature. Il apparaît sous la forme de nombreux composés fréquemment employés, le plus important étant le carbonate de calcium (CaCO_3) (**Encarta, 2007**) ; c'est un constituant important du squelette, comme il est essentiel au fonctionnement de l'organisme, car il joue un rôle primordial dans la motricité ; l'apport en cet élément par l'eau varie de 5 à 20 % environ.

3.6. Le magnésium total

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature, dans de nombreux minéraux et dans les calcaires, c'est pourquoi on le trouve pratiquement dans toutes les eaux naturelles, généralement sous forme de carbonates (MgCO_3) et de bicarbonates (Mg_2HCO_3).

Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (industrie de la potasse, alliages, pyrotechnie, batteries sèches, réducteur chimique, engrais, céramiques, explosifs, médicaments...) font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes (quelques mg/l à plusieurs centaines de mg/l). Cet élément indispensable pour la croissance et la production de certaines hormones est apporté de 20 à 30 % par l'eau (**Savary, 2003**).

3.7. Les phosphates

Dans les eaux naturelles, les orthophosphates sont principalement sous la forme (H_2PO_4^-) et (HPO_4^{2-}) et rarement sous la forme (PO_4^{3-}), qui est la phase finale des équilibres de l'acide phosphorique (**Rodier, 2009**).

Les orthophosphates constituent la majeure partie du phosphore inorganique dissout dans une eau naturelle.

Les ions phosphates (PO_4^{3-}) contenus dans les eaux de surface ou de nappe peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux), mais à l'heure actuelle, leur présence dans les eaux est essentiellement due aux rejets, domestiques (polyphosphates des détergents), agricoles (engrais, pesticides), voire industriels (agroalimentaires, laveries, ateliers de traitement de surface) (Savary, 2003).

3.8. Les nitrates

Les nitrates (NO_3^-) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles ; ils constituent la composante principale de l'azote inorganique du fait qu'ils constituent le stade final d'oxydation de l'azote.

Les nitrates se trouvent naturellement dans les eaux provient en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Ils constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et ils se trouvent naturellement dans les eaux de surface ainsi que dans les eaux souterraines (Rejsek, 2002).

Une pollution (effluents industriels, rejets humains et animaux, lessivage des engrais inorganiques...) peut être à l'origine d'apports supplémentaires en nitrates qui risquent de nuire à la qualité de l'eau.

L'eau de boisson ne représente que le quart des ingestions journalières, mais peut devenir prépondérante si la concentration dépasse les 50 mg/l (Savary, 2003).

3.9. Les nitrites

Les ions nitrites (NO_2^-) constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates.

Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans l'eau est donc rare et en faible quantité (Rejsek, 2002).

Les nitrites ne sont pas habituellement présents en concentrations significatives, excepté dans des milieux réducteurs. Ils peuvent être issus de la réduction des nitrates sous l'action des microorganismes (OMS, 2011).

3.10. Les sulfates

Le sulfate est présent dans l'eau souterraine à l'état naturel en raison de l'altération météorique des roches. Cette présence peut également provenir de sources artificielles (rejets industriels

et dépôts de combustibles fossiles). L'invasion d'eau salée et l'exhaure de roches acides sont également des sources de sulfates dans l'eau potable (NSE, 2009).

La présence des sulfates dans l'eau de boisson lui confère un goût particulier ; les seuils de détection du goût varient avec la nature des cations associés (250mg/l pour les sulfates de sodium et 1000mg/l pour les sulfates de calcium) (OMS, 2011).

3.11. L'ammonium

Le terme d'ammonium ou azote ammoniacal inclut les espèces ionisées (NH_4^+) et les espèces non ionisées (NH_3) ; « dans une eau de pH habituel (6,5 - 8,5) la majeure partie de l'azote ammoniacal se trouve sous forme d'ions ammonium (NH_4^+), qui est relativement peu toxique » (Rejsek, 2002).

L'ammonium dans l'environnement provient des processus métaboliques, agricoles et industriels ; sa présence dans l'eau est souvent un indicateur de pollution bactérienne.

Les teneurs naturelles en ammonium dans les eaux souterraines et de surface sont habituellement inférieures à 0,2mg/l. Les eaux souterraines anaérobiques peuvent contenir jusqu'à 3mg/l (OMS, 2011).

Des eaux profondes peuvent se charger en ammoniacque par réduction des nitrates sous l'action de bactéries ou par des sables qui renferment des minéraux contenant du fer (par exemple, glauconie).

Habituellement, les eaux souterraines sont pauvres en azote ammoniacal. Mais des eaux issues de sols riches en substances humiques ou riches en fer peuvent présenter des teneurs de l'ordre de 1 à 3 mg/l.

La présence d'azote ammoniacal en quantité relativement importante peut être l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle (Savary, 2003).

3.12. Les chlorures

Très répandus dans la nature, généralement sous forme de NaCl, KCl ou CaCl_2 , les chlorures constituent 0,05 % de la lithosphère (Rejsek, 2002).

Leurs origines dans les eaux souterraines varient entre naturelles (contact de certaines formations géologiques, pénétration de l'eau de mer dans les régions côtières...) et anthropiques (l'industrie chimique, exploitation des puits de pétrole, rejets des égouts, drainages d'irrigation...).

La principale source de chlorures pour l'organisme humain est fournie par l'alimentation, la dose moyenne journalière étant de 6 grammes voire 12 grammes si l'on utilise du sel comme condiment. L'ingestion par l'eau de boisson reste généralement inférieure à 100 mg/jour (Savary, 2003).

3.13. Le fer total

Le fer est l'un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre ; il peut être trouvé dans les eaux de boisson comme résultat de la corrosion de la tuyauterie. Le fer est un élément essentiel dans la nutrition chez l'homme (10-50 mg/jour) (OMS, 2011).

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux. Si le milieu est réducteur comme dans beaucoup d'eaux souterraines, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées. En effet, sous l'action de l'air, ou par addition d'un oxydant, le fer est oxydé à l'état ferrique et peut être hydrolysé pour donner un hydroxyde de fer insoluble (Rodier, 2009).

4. L'analyse de l'eau

4.1. L'échantillonnage

Les prises d'échantillons ont été effectuées la matinée du 19 mars 2012 dans des bouteilles en PVC désinfectées et rincées à l'eau distillée, on a pris deux bouteilles par source :

- La station de Texenna : 10h10 ;
- La station du 3^{ème} Km : 10h40 ;
- La station de Kissir : 11h05
- La station d'El Aouana : 11h25

Puis les échantillons sont ramenés dans une glacière directement au laboratoire de l'ADE où ils sont conservés au froid en attendant les analyses.

4.2. Les analyses

Les analyses effectuées peuvent être classées selon les techniques utilisées dans trois classes :

4.2.1. Les mesures directes

Elle concerne le pH, la conductivité et la turbidité qui ont été mesurés dès l'arrivée au laboratoire.

4.2.1.1. Le pH

L'appareil utilisé est un pH-mètre qui porte la marque HACH (technologie américaine), l'eau à analyser est versée dans un récipient en verre où l'électrode du pH-mètre est ensuite plongée ; lorsque l'écran d'affichage se stabilise sur une valeur, l'appareil émet un bip et on peut noter le résultat. Pour procéder à l'analyse de l'échantillon suivant, il faut rincer le récipient et faire plonger l'électrode dans de l'eau déminéralisée. Les résultats sont exprimés en unité de pH.

4.2.1.2. La conductivité électrique

L'appareil utilisé est un conductimètre de marque HACH -même mode d'emploi que le pH-mètre-, l'électrode est plongée dans l'eau à analyser ; lorsque l'écran d'affichage se stabilise sur une valeur, l'appareil émet un bip et on peut noter le résultat. Pour procéder à l'analyse de l'échantillon suivant, il faut rincer le récipient et faire plonger l'électrode dans de l'eau déminéralisée. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

4.2.1.3. La turbidité

Grâce à un turbidimètre de marque HACH, la mesure de ce paramètre est effectuée en quelques secondes ; il suffit de remplir un petit flacon en verre de quelque millilitres avec de l'eau à analyser après avoir bien secoué la bouteille, puis mettre le flacon dans son étui à l'intérieur de l'appareil et noter le chiffre qui s'affiche à l'écran. Les résultats sont exprimés en NTU.

4.2.2. La spectrophotométrie

La quantification de certains paramètres nécessite le recours aux techniques de spectrophotométrie.

Le matériel utilisé été : un spectrophotomètre précalibré, de la verrerie, de l'eau distillée ainsi que des réactifs spécifiques pour l'étude de chaque paramètre (Annexe 02).

4.2.3. La titrimétrie

Cette méthode été utilisée pour le dosage du calcium et du magnésium et ainsi déterminer la dureté et aussi pour le dosage des chlorures.

Le matériel utilisé dans cette technique est un titrimètre, des réactifs spécifiques pour chaque dosage et de la verrerie.

Le rôle du titrimètre est de mesurer le volume du réactif nécessaire pour que le complexe échantillon à analyser-indicateur change de couleur (Annexe 02).

5. Analyse statistique

Pour le calcul des statistiques élémentaires et pour une meilleure illustration des résultats, nous avons procédé au calcul des moyennes et d'écart-types. L'analyse statistique proprement dite est effectuée en faisant appel à l'analyse de la variance (ANOVA).

Tous les calculs ont été effectués au biais du logiciel Origin (ver. 6.0). Pour illustrer les résultats, nous avons réalisé des histogrammes.

Bibliographie

- Aquapure Algérie, 2006. L'eau sur [<http://www.aquapurealgerie.com/page01>], consulté le 24.04.2012.
- "calcium." Microsoft® Études 2007 [DVD]. Microsoft Corporation, 2006.
- "pH." Microsoft® Études 2007 [DVD]. Microsoft Corporation, 2006.
- REJSEK F., 2002. Analyse des eaux, Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, Bordeaux, 180 pages.
- RODIER J., 2009. Analyses physico-chimiques des eaux naturelles, In L'analyse de l'eau (9^e Ed), DUNOD, Paris, pp 3-678.
- SAVARY P., 2003. Guide des analyses de la qualité de l'eau, Techni.Cités, 244 pages.
- Wikipédia l'encyclopédie libre, 2012. Wilaya de Jijel disponible sur [http://fr.wikipedia.org/wiki/wilaya_de_jijel], consulté le 20.05.2012.
- OMS (WHO), 2011. Guidelines for drinking-water quality (4th Ed), World Health Organization, Genève, 541 pages.

1. Le système d'Évaluation de la Qualité des Eaux (SEQ-Eau)

Pour une meilleure compréhension des résultats obtenus et une évaluation cohérente on a opté pour l'utilisation du SEQ-Eau (Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux).

Ce système (version 0,1) a été présenté en collaboration entre les Agences françaises de l'eau et le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable dans le rapport d'Août 2001 intitulé « Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines ».

Le SEQ-Eau nous fournit un tableau d'après lequel on peut établir une classification de la qualité d'un paramètre donné (tableau II).

Tableau II. Grille de la qualité des eaux souterraine (Agences françaises de l'eau, 2001).

<i>Paramètres</i>	<i>Unité</i>	<i>Bleu clair</i>	<i>Bleu foncé</i>	<i>Jaune</i>	<i>Rouge</i>
pH		6,5 - 8,5	8,5 - 9	5,5 - 6,5 ou 9 - 9,5	< 5.5 ou > 9.5
Conductivité	µS/cm	180 - 400	400-2500	<180 ou 2500 - 4000	> 4000
Turbidité	NTU	0.4	2	3750	
Dureté	mg/l de CaCO ₃	160 - 800		< 160 ou > 800	
Calcium	mg/l	32 - 160		< 32 ou > 160	
Magnésium total	mg/l	30	50	400	
Phosphates	mg/l	0,05	0,2	1	> 1
Nitrates	mg/l	25	50	100	
Nitrites	mg/l	0.05	0.1	0.7	
Sulfates	mg/l	25	250		> 250
Ammonium	mg/l	0.05	0.5	4	
Chlorures	mg/l	25	200		> 200
Fer total	mg/l	0,05	0,2	10	

Les classes d'aptitude "bleu clair" et "bleu foncé" correspondent à des eaux conformes à la réglementation de la directive européenne sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

La classe "bleu clair" permet d'identifier des eaux dont les différents paramètres de qualité sont significativement en deçà de ces normes (eau de qualité optimale pour être consommée).

La classe "bleu foncé", quant à elle, identifie des eaux dont les valeurs des différents paramètres de qualité se rapprochent des normes de potabilité tout en restant inférieur à ces normes (eau de qualité acceptable pour être consommée, mais pouvant le cas échéant faire l'objet d'un traitement de désinfection).

La classe d'aptitude "jaune" correspond à la nécessité de faire subir un traitement correctif à l'eau pour la rendre conforme aux normes de potabilité, quel que soit le type de traitement à appliquer.

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

Les motifs en "gris" indiquent que le paramètre ne décrit pas la classe d'aptitude à l'usage.

2. Les paramètres physico-chimiques étudiés

Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus lors des séries d'analyses effectuées sur les échantillons de l'eau sont récapitulés dans les tableaux (III-1) à (III-13) et représentés graphiquement dans les figures (11_a) à (11_k). La classification des eaux selon leurs degrés de potabilité sera illustrée dans les figures (12_a) à (12_m).

2.1. Le pH

En effet, même si le pH n'a généralement pas d'impact direct sur le consommateur, il est l'un des plus importants paramètres de la qualité de l'eau puisqu'il interfère avec d'autres paramètres de qualité dans de complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité... etc. (OMS, 2011).

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (Himmi *et al.*, 2003).

Les valeurs observées (tableau (III-1)) révèlent que le pH est légèrement acide à alcalin dans toutes les stations. Elles varient entre $6,42 \pm 0,021$ dans la station de Kissir à $7,44 \pm 0,007$ dans la station d'El-Aouana. Ceci est dû probablement à la présence de carbonates qui permettent de tamponner les eaux qui s'infiltreront dans la couverture marno-dolomitique et calcaire, ce qui sera confirmé par les teneurs en carbonates de calcium.

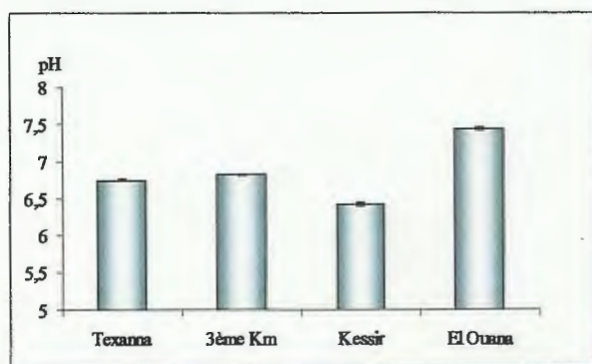
Tableau III-1. Variations spatiales du pH de l'eau.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min	6,75	6,82	6,41	7,44
Max	6,76	6,83	6,44	7,45
Moy ± écart-type	6,755 ± 0,007	6,825 ± 0,007	6,425 ± 0,021	7,445 ± 0,007

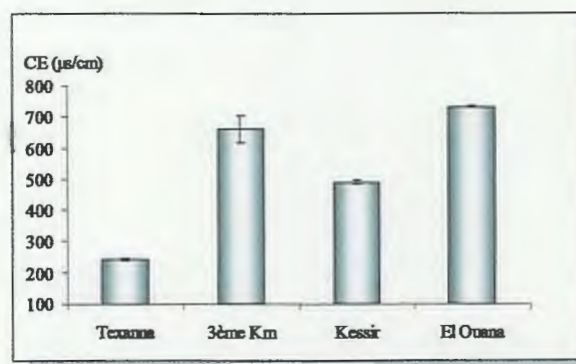
Cependant, l'examen de la figure (11_a) combinée avec l'analyse de la variance fait apparaître un effet station hautement significatif ($F=2416$; $p<0.001$) (annexe 03).

En se référant au Système d'Évaluation de la Qualité des eaux souterraines (SEQ) (tableau II) ; les eaux de la station de Kissir peuvent être considérées comme non potables à l'état originel, nécessitant ainsi un traitement de potabilisation préalable (fig. 12_a).

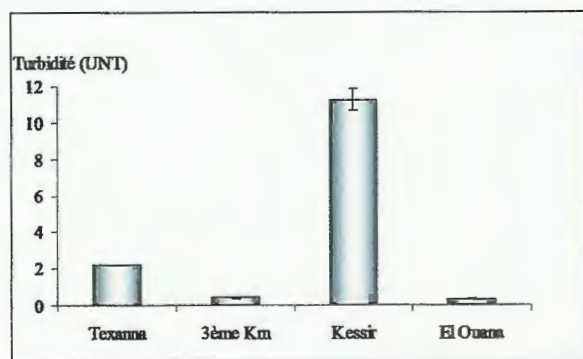
Cependant, l'effet le plus direct du pH lors de l'alimentation en eau potable est celui de la corrosion, en effet un pH acide abime dans le temps la tuyauterie et les stations de pompage ; par contre, cet effet n'est pas considéré dans notre étude, car il s'agit d'eaux des sources naturelles qui ne passent par aucune tuyauterie.



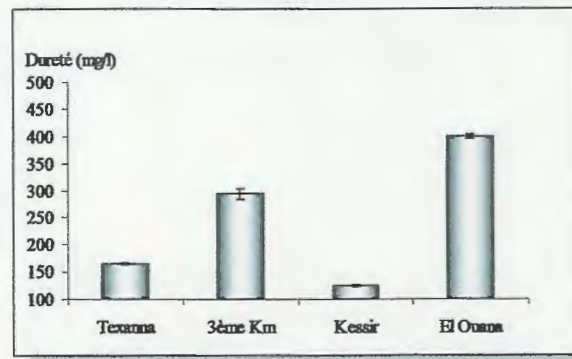
(a)



(b)



(c)



(d)

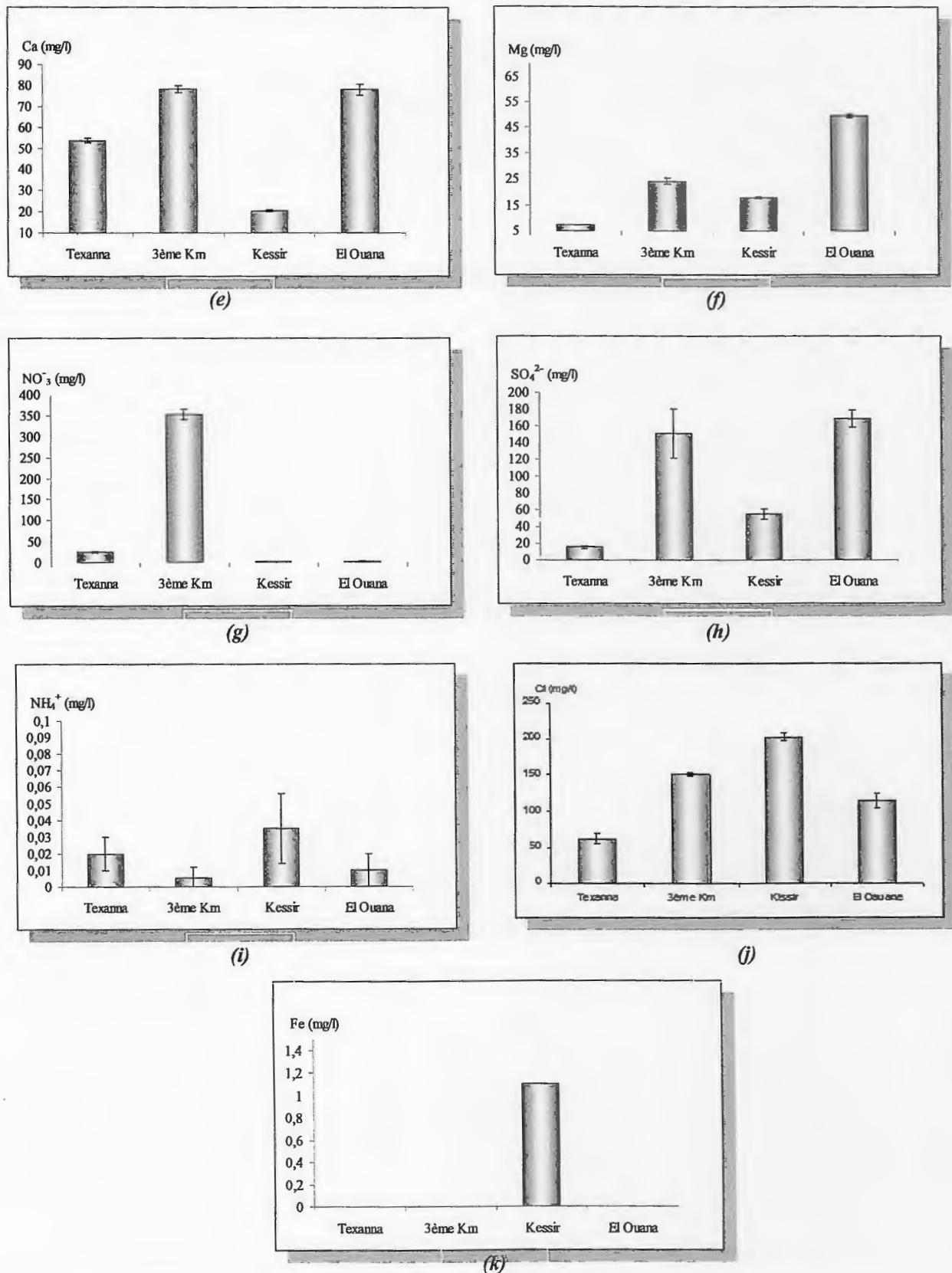


Figure 11. Variations spatiales des paramètres physico-chimiques de l'eau : le pH (a), la conductivité électrique (b), la turbidité (c), la dureté (d), le calcium (e), le magnésium (f), les nitrates (g), les sulfates (h), l'ammonium (i), les chlorures (j), le fer (k).



(a)



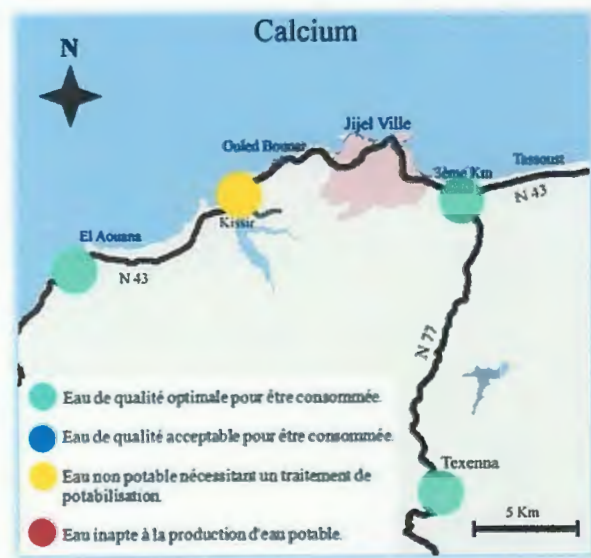
(b)



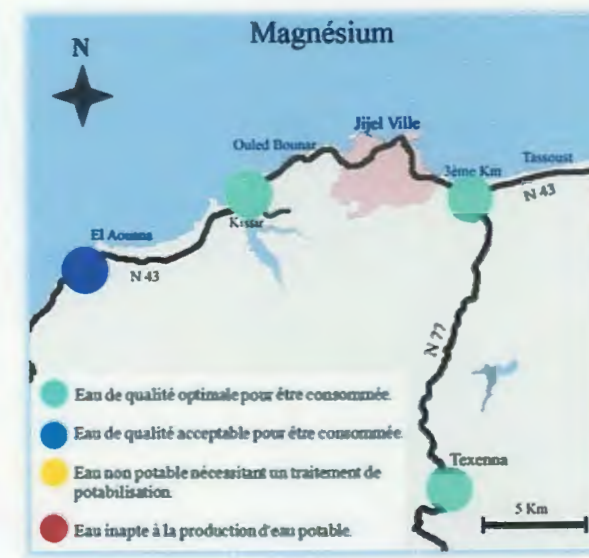
(c)



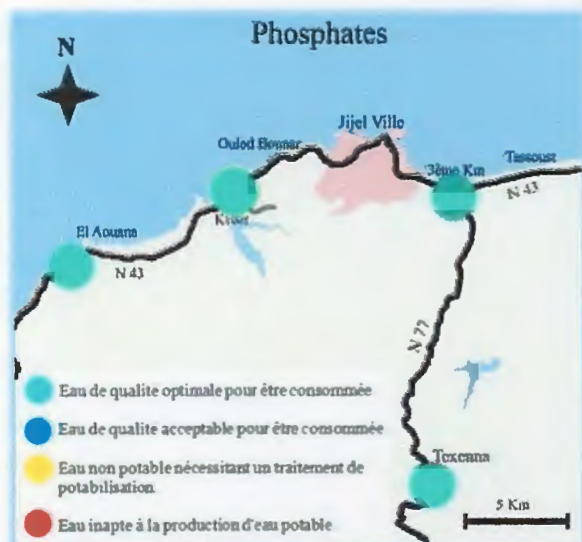
(d)



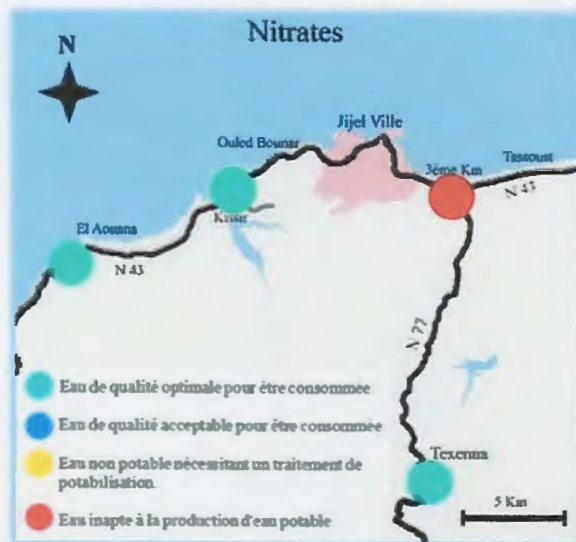
(e)



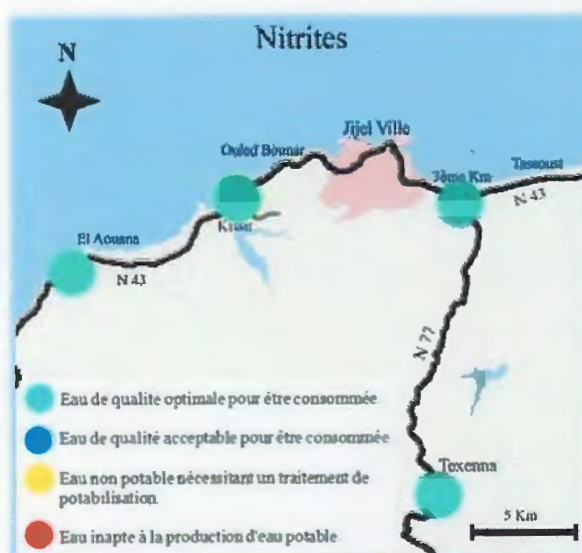
(f)



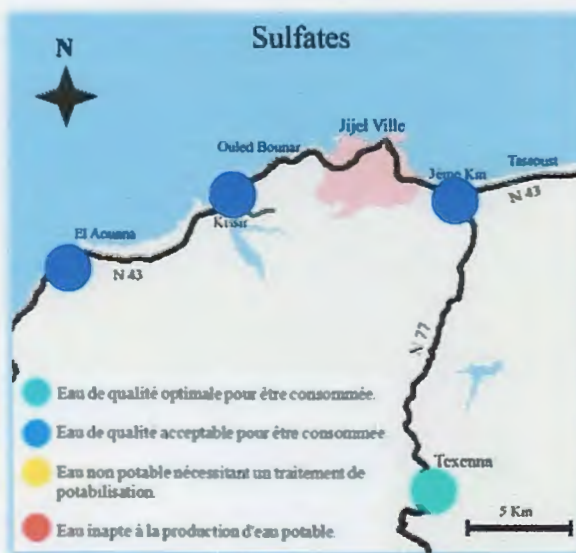
(g)



(h)



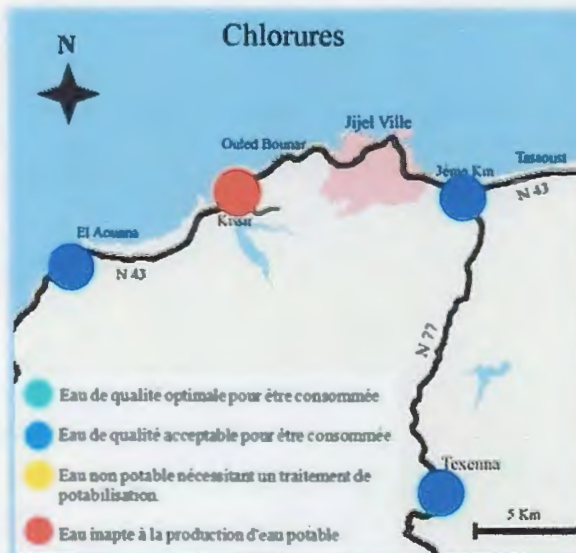
(i)



(j)



(k)



(l)



Figure 12. Degrés de potabilité selon la qualité des paramètres : le pH (a), la conductivité électrique (b), la turbidité (c), la dureté (d), le calcium (e), le magnésium (f), les phosphates (g), les nitrates (h), les nitrites (i), les sulfates (j), l'ammonium (k), les chlorures (l), le fer (m).

2.2. La conductivité électrique (CE)

Techniquement, la conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (Rodier, 2009).

Cette conductance est influencée directement par la teneur en sels minéraux ionisés dissous dans l'eau ainsi que par la température de l'eau.

Tableau III-2. Variations spatiales de la conductivité électrique de l'eau.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min	239	631	487	730
Max	245	691	494	734
Moy ± écart-type ($\mu\text{s/cm}$)	242 ± 4,24	661 ± 42,43	490,5 ± 4,95	732 ± 2,83

La valeur la plus faible est enregistrée au niveau de la source de Texenna avec valeur moyenne de $242 \pm 4.24 \mu\text{s/cm}$, Kissir avec $490,5 \pm 4,95 \mu\text{s/cm}$, le 3^{ème} Km avec $661 \pm 42,43 \mu\text{s/cm}$ et enfin El-Aouana avec une minéralisation plus importante de l'ordre de $732 \pm 2,83 \mu\text{s/cm}$ (tableau III-2). Ceci, est confirmé par l'analyse de la variance qui fait ressortir une variation spatiale hautement significative ($F=205,295 ; p<0,001$) (annexe 03).

En effet, la conductivité électrique n'a pas d'effet direct sur l'organisme autant que valeur, mais plutôt les espèces minérales et leurs proportions.

Le tableau (III-3) nous permet de classer le taux de minéralisation et d'avoir une confirmation de la qualité de l'eau.

Tableau III-3. Classification des eaux de boisson en fonction de leur conductivité (Savary, 2003).

<i>Conductivité</i>	<i>Minéralisation</i>	<i>Qualité de l'eau</i>
C < 100	Très faible	Excellente
100 < C < 200	Faible	Excellente
200 < C < 400	Peu accentuée	Excellente
400 < C < 600	Moyenne	Bonne
600 < C < 1 000	Importante	Utilisable
C > 1 000	Excessive	Utilisable

Donc, toutes nos sources sont de bonne qualité et ne posent aucun problème puisque la valeur la plus faible est de 242 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à Texenna avec une minéralisation plus prononcée et une qualité excellente, alors que la valeur la plus élevée 732 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau de la source d'El-Aouana marquant ainsi une minéralisation plus importante mais une eau tout de même utilisable (fig. 12_b).

2.3. La turbidité

Les risques sanitaires ne sont pas directement liés à la présence des particules en suspension, mais aux bactéries, parasites et surtout virus qui s'y fixent et sont ainsi protégés de l'action des désinfectants (Savary, 2003).

Pour confirmer cette idée il faut recourir à des analyses biologiques, mais on se contente de dire que plus la matière en suspension est importante plus le risque microbiologique est grand.

Concernant ce paramètre, on constate (tableau III-4 ; fig. 11_c) deux valeurs proches : $0,34 \pm 0,014$ NTU pour la source d'El-Aouana et $0,42 \pm 0,042$ NTU pour celle du 3^{ème} Km, puis une valeur plus grande de $2,195 \pm 0,021$ NTU pour la source de Texenna et enfin une encore plus importante pour la source de Kissir avec $11,265 \pm 0,657$ NTU.

Tableau III-4. Variations spatiales de la turbidité de l'eau.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min	2,18	0,39	10,8	0,33
Max	2,21	0,45	11,73	0,35
Moy \pm écart-type (NTU)	$2,195 \pm 0,021$	$0,42 \pm 0,042$	$11,27 \pm 0,657$	$0,34 \pm 0,014$

En effet, la variance fait sortir une variation spatiale hautement significative ($F=499,457$; $p < 0,001$) (annexe 03).

En se reportant au tableau (II) des classes de qualité on peut dire que les valeurs des stations d'El-Aouana et du 3^{ème} Km sont très proche l'une de l'autre et de la limite qui sépare les deux

premières classes (bleu clair et bleu foncé), ensuite nous avons la source de Texenna qui possède une turbidité qui dépasse légèrement la limite pour être classée avec celle de Kissir dans la classe jaune, donc une eau qui nécessite un traitement (fig. 12_c).

Les particules en suspension - en outre, que générer des saveurs et odeurs désagréables - ne présentent pas directement des risques sanitaires.

Si la turbidité de l'eau dépasse 1 NTU, on doit déterminer son origine (organique ou inorganique) pour savoir si elle présente un risque pour la santé (NSE, 2009).

Pour les valeurs de turbidité obtenues dans les eaux des quatre sources étudiées, on peut dire :

- celle de Kissir qui est riche en particules (essentiellement du fer) présente théoriquement le plus de risque de causer des problèmes de consommation ;
- alors que celle de Texenna qui dépasse légèrement le seuil d'acceptabilité nécessite un test microbiologique pour savoir si elle présente un véritable risque ;
- la valeur faible obtenue pour l'eau provenant du puits du 3^{ème} km s'explique par l'effet de la pesanteur, car l'eau est particulièrement stable ce qui laisse le temps aux particules pour se décanter.

2.4. La dureté

La dureté d'une eau correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium, elle est directement liée à la nature géologique des terrains traversés.

Ainsi, un sol calcaire ou crayeux donnera une eau « dure » (donc fortement minéralisée en calcium et magnésium), alors qu'une eau traversant un sol cristallin (granitique) sera « douce » (Savary, 2003).

Le tableau (III-5) et l'étude de la figure (11_d) montrent qu'aucune station ne possède une eau dure, on remarque que celle de Kissir est plutôt douce avec $125,3 \pm 2,4$ mg/l de carbonates de calcium suivi successivement de Texenna ($165 \pm 2,83$ mg/l), le 3^{ème} Km ($294,5 \pm 9,19$ mg/l) et enfin El-Aouana avec ($399 \pm 4,24$ mg/l). En effet, l'analyse statistique fait ressortir une variance spatiale hautement significative ($F=1075,35$; $P<0,001$) (annexe 03).

Tableau III-5. Variations spatiales de la dureté de l'eau.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min	163	288	123,6	396
Max	167	301	127	402
Moy ± écart-type (mg/l)	<i>165 ± 2,83</i>	<i>294,5 ± 9,19</i>	<i>125,3 ± 2,4</i>	<i>399 ± 4,24</i>

Pour l'eau du 3^{ème} Km, on remarque que le taux de carbonates de calcium est plutôt important pour un pH de 6,825, cela est expliqué par une teneur importante en anions (essentiellement des nitrates NO₃⁻) qui maintiennent le pH acide.

Une eau dure couvrirait environ un tiers des besoins en calcium et magnésium d'un homme. Des hypothèses ont été avancées quant à une possible corrélation entre la consommation d'une eau douce et la fréquence d'apparition de maladies cardio-vasculaires. Ainsi, une eau dure assurerait une protection à l'encontre de ces pathologies (Savary, 2003).

C'est pourquoi nous avons dit que l'eau de la source de Kissir est trop douce (125,3 mg/l de CaCO₃) pour être consommée de façon abondante. Les trois autres sources ont un niveau de dureté très bon (fig. 12_d).

Tout de même une eau trop dure peut provoquer des dysfonctionnements rénaux.

2.5. Le calcium

Pour ce paramètre qui constitue le facteur essentiel qui détermine la dureté de l'eau, les résultats obtenus (tableau III-6) montrent une faible valeur pour la station de Kissir de $20,44 \pm 0,56$ mg/l, qui classe cette eau comme non potable et nécessite un traitement, suivit de celle de Texenna avec $53,7 \pm 1,13$ mg/l et enfin deux autres stations (3^{ème} Km et El-Aouana) possèdent deux valeurs très proches ($78,15 \pm 1,7$ et $78,155 \pm 2,835$) qui sont optimales (11_e).

Cependant, l'analyse de la variance révèle un effet station hautement significatif ($F=477,290$; $P<0,001$) (annexe 03).

Des concentrations élevées dans l'eau de cet élément essentiel pour l'organisme humain ne présentent pas de danger pour la santé (Savary, 2003).

Tableau III-6. Variations spatiales du calcium dans l'eau.

	Texenna	3 ^{ème} Km	Kissir	El-Aouana
Min	52,9	76,95	20,04	76,15
Max	54,5	79,35	20,84	80,16
Moy ± écart-type (mg/l)	53,7 ± 1,13	78,15 ± 1,7	20,44 ± 0,56	78,155 ± 2,835

L'effet direct de la teneur en calcium s'effectue au niveau des canalisations où une concentration faible favorise la corrosion et une grande concentration favorise l'entartrage ; c'est cet effet qui limite les valeurs de la norme.

Si l'on néglige l'effet du calcium sur la tuyauterie, qui est le cas dans notre étude, on conclut que les quatre sources possèdent des teneurs en calcium acceptables pour être ingérées (fig. 12_e).

2.6. Le magnésium total

Avec le calcium, le magnésium est un élément essentiel dans la constitution du squelette humain, ainsi que dans plusieurs activités physiologiques ; où un déficit entraîne des troubles neuromusculaires voire des manifestations cardiaques. À partir d'une concentration de 100 mg/l, le magnésium procure à l'eau une saveur amère pour des sujets sensibles. S'ils ne provoquent pas de phénomènes toxiques (sauf chez les personnes insuffisantes rénales), les sels de magnésium, essentiellement les sulfates, peuvent avoir un effet laxatif à partir de 400 mg/l, effet qui disparaît avec l'habitude (Savary, 2003).

Tableau III-7. Variations spatiales du magnésium dans l'eau.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min	7,53	23,32	18,22	49,03
Max	7,53	25,02	17,88	50,06
Moy ± écart-type (mg/l)	7,53 ± 0	24,17 ± 1,2	18,05 ± 0,24	49,545 ± 0,728

Le tableau (III-7) et l'étude de la figure (11f) montrent des valeurs moyennes variant de 7,53 mg/l pour la station de Texenna, 18,05 ± 0,24 mg/l pour la station de Kissir, 24,17 ± 1,2 mg/l pour la station du 3^{ème} Km et la plus importante 49,545 ± 0,728 mg/l pour la station d'El Aouana.

Cependant, l'analyse de la variance révèle l'existence d'une variation spatiale hautement significative ($F=1254.511$, $P<0.001$) (annexe 03).

En se référant au tableau (II) des classes de qualité, nous constatons que les eaux des quatre sources ont une bonne teneur en magnésium (fig. 12f).

2.7. Les phosphates

Les teneurs en phosphates sont indécélabes pour la totalité des stations étudiées (tableau III-7).

Tableau III-8. Variations spatiales des phosphates dans l'eau.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min	0	0	0	0
Max	0	0	0	0
Moy ± écart-type (mg/l)	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0

La présence de phosphore dans les eaux souterraines est généralement un indice de pollution. Cependant, la plupart des eaux de boisson contiennent des doses inférieures à 0,1 mg/l (Savary, 2003).

Toutefois, les résultats obtenus montrent que les quatre stations présentent des teneurs en phosphates conformes à la norme, et ne sont pas concernées par une pollution par le phosphore (fig. 12_g).

2.8. Les nitrates

Les valeurs observées (tableau III-9 et fig. 11_g) montrent que seule la station du 3^{ème} Km possède un taux important de nitrates qui dépasse largement le seuil pour une eau potable avec $352,17 \pm 12,54$ mg/l ; pour les trois autres stations (Kissir ; El-Aouana ; Texenna) leurs valeurs respectives ($1,45 \pm 0,78$; $2,21 \pm 1,57$; $24,915 \pm 2,355$) étaient bonnes (fig. 12_h).

Cependant, l'analyse de la variance fait ressortir une variation spatiale hautement significative ($F=1420,516$; $p<0,001$) (annexe 03).

Tableau III-9. Variation spatiale des nitrates dans l'eau.

	Texenna	3 ^{ème} Km	Kissir	El-Aouana
Min	23,25	343,3	0,9	1,1
Max	26,58	361,04	2	3,32
Moy ± écart-type (mg/l)	24,915 ± 2,355	352,17 ± 12,54	1,45 ± 0,78	2,21 ± 1,57

Les nitrates peuvent occuper les eaux de surfaces comme les eaux souterraines suite aux activités agricoles (excès d'application d'engrais azotés), à l'élimination des eaux usées et à l'oxydation de l'azote dans les excréments humains et animaux, y compris les fosses septiques (OMS, 2011).

C'est exactement le cas de ce qu'on a observé dans la station du 3^{ème} km où la teneur en nitrates était phénoménale (352 mg/l) et dépasse largement la norme pour une eau destinée à la boisson, le puits est situé à proximité des maisons qui ne possèdent pas des réseaux d'assainissement, mais des fosses septiques d'où l'eau est sûrement susceptible de s'infiltrer même en très faibles quantités ; de plus aux alentours du puits s'étendent des terrains agricoles qui peuvent aussi être à l'origine de cette teneur importante en nitrates.

L'absorption des nitrates ingérés par l'organisme est rapide et excède les 90 %, environ 25 % circule dans la salive d'où 20 % sont transformés en nitrites par l'action des bactéries dans la bouche (OMS, 2011).

Ce sont ces nitrites qui représentent le véritable risque sur la santé surtout pour les nourrissons et les jeunes enfants ; par ailleurs, il est estimé que l'absorption de 500 mg de nitrates peut provoquer une inflammation des muqueuses intestinales chez les adultes. La dose journalière admissible est de 255 mg/jour pour un adulte (Savary, 2003).

La méthémoglobinémie a été fréquemment associée avec les puits privés. Il est particulièrement important de s'assurer que les fosses septiques ne soient pas installées près d'un puits ou de là où un puits sera creusé (OMS, 2011).

De plus la NSE (Nouvelle Ecosse Environnement) affirme dans son rapport de mars 2009 qu'une eau qui contient une concentration en nitrates supérieure à 45 mg/l présente un risque potentiellement fatal pour les nourrissons de moins de six mois, cette eau ne doit pas être utilisée pour la boisson, la cuisine ou même le brossage des dents.

Tout de même il existe des articles de controverse critiquant la norme qui fixe le seuil acceptable de nitrates dans l'eau de boisson parmi lesquels celui cité par (Marian Apfelbaum, 2001) dans la revue **La Recherche** : « La norme qui fixe le seuil acceptable de nitrates dans l'eau de boisson est le fruit d'une expertise réalisée dans les années 1960, que les nouveaux éléments scientifiques ont démentie », « La consommation du nitrate est totalement inoffensive chez l'homme » ; la même revue a mentionnée que les nitrates auraient des effets bactéricides et préventifs des maladies cardio-vasculaires en régulant la tension artérielle.

Pourtant il est confirmé que l'eau de la station du 3^{ème} Km est strictement non-potable, car avec son taux élevé de nitrates (qui sera oxydé en nitrites) est susceptible de provoquer la méthémoglobinémie.

Cependant, pour le taux de nitrates observé dans la station de Texenna, on peut dire qu'il est tout à fait acceptable même si un apport faible d'origine urbaine peut être présent. Par ailleurs, pour les deux autres stations (Kissir et El-Aouana) les teneurs en nitrates sont largement au-dessous du seuil du risque.

2.9. Les nitrites

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (Rejsek, 2002).

C'est ce qui explique pourquoi les teneurs en nitrites sont toujours trop petites par rapport aux nitrates.

En se référant au tableau (III-10), nous constatons que les nitrites furent indécélables dans les quatre stations étudiées et cela malgré le taux important des nitrates dans la station du 3^{ème} km, ce qui est dû au fait que les nitrates sont la forme la plus stable.

Tableau III-10. Variation spatiale des nitrites.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min	0	0	0	0
Max	0	0	0	0
Moy ± écart-type (mg/l)	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0

Ces eaux donc respectent les valeurs seuil concernant les nitrites et sont classées comme eaux de qualité optimale (fig. 12i) qui ne posent aucun problème lié aux nitrites directement ingérés.

2.10. Les sulfates

Les valeurs de sulfates enregistrées (tableau III-11) sont généralement optimales ($15,3 \pm 1,84$ mg/l) pour la station de Texenna, et acceptables pour les trois autres sources avec ($54,55 \pm 6,4$ mg/l) pour la station de Kissir, ($150,45 \pm 29,34$ mg/l) pour la station du 3^{ème} Km et ($168,95 \pm 10,4$ mg/l) pour la source d'El-Aouana. L'analyse de variance montre qu'il existe bien une variation très significative, ($F= 43,4213$; $p<0,01$) (Annexe 03).

Tableau III-11. Variation spatiale des sulfates.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min (mg/l)	14	129,7	50	161,6
Max (mg/l)	16,6	171,2	59,1	176,3
Moy ± écart-type (mg/l)	15,3 ± 1,84	150,45 ± 29,34	54,55 ± 6,4	168,95 ± 10,4

À des concentrations supérieures à 500 mg/l, le sulfate peut modifier le goût de l'eau. À des concentrations supérieures à 1000 mg/l, le sulfate peut avoir un effet laxatif (NSE, 2009).

Les teneurs en sulfates dans les quatre sources étudiées sont bonnes et ne changent même pas le goût de l'eau (fig. 12j).

2.11. L'ammonium

Les teneurs en ammonium des différentes eaux analysées étaient relativement proche : ($0,005 \pm 0,007$ mg/l) à ($0,02 \pm 0,01$ mg/l) (tableau III-12). En effet, l'analyse de la variance ne fait apparaître aucune variation significative, ($F= 1,5555$; $p>0,05$) (Annexe 03).

Tableau III-12. Variation spatiale de l'ammonium.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min (mg/l)	0,01	0	0,02	0
Max (mg/l)	0,03	0,01	0,05	0,02
Moy ± écart-type (mg/l)	0,02 ± 0,01	0,005 ± 0,007	0,035 ± 0,021	0,01 ± 0,01

En effet, les eaux profondes peuvent également se charger en ammoniacque par réduction des nitrates sous l'action de bactéries (Savary, 2003).

Cependant, le fait que l'eau du puits du 3^{ème} Km recèle la plus petite concentration en ammonium malgré la très grande concentration en nitrates s'explique par le fait de l'absence de ces bactéries réductrices à cause de la faible profondeur.

Sinon, la teneur en ammonium selon le tableau (II) est optimale dans les quatre stations (fig. 12_k).

2.12. Les chlorures

Dans l'eau, les chlorures sont inodores et incolores mais peuvent donner un goût salé si ils dépassent un certain degré.

Dans les stations étudiées, les valeurs des concentrations en chlorures obtenues (tableau III-13, fig.11;) varient entre $62,12 \pm 7,53$ pour l'eau de Texenna et $202,35 \pm 5,02$ pour l'eau de source de Kissir, avec les deux valeurs intermédiaires ($150,87 \pm 2,51$ et $165,07 \pm 7,53$) respectives pour les stations du 3^{ème} Km et d'El-Aouana.

Cette variation fait ressortir cependant un effet station hautement significatif ($F=194,942$; $p<0,001$) (Annexe 03).

Tableau III-13. Variation spatiale des chlorures.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min (mg/l)	56,8	149,1	198,8	159,75
Max (mg/l)	67,45	152,65	205,9	170,4
Moy \pm écart-type (mg/l)	$62,12 \pm 7,53$	$150,87 \pm 2,51$	$202,35 \pm 5,02$	$165,07 \pm 7,53$

En se référant au tableau (II), on constate que les stations : Texenna, 3^{ème} Km et El-Aouana représentent des teneurs acceptables en chlorures.

Une valeur qui dépasse 200 mg/l dans l'eau de source de Kissir la rend (selon le tableau II) inapte à la production d'eau potable (fig. 12_l)

(Savary, 2003), reporte que le régime alimentaire quotidien d'un adulte doit absolument lui fournir plus de 600 mg de chlorures qui constituent d'ailleurs l'anion le plus abondant du corps humain.

Tout de même une concentration élevée en chlorures dans l'eau peut avoir un effet laxatif sur l'homme et un effet corrosif sur les tuyaux de distribution.

Les chlorures dans l'eau de boisson sont généralement inoffensifs pour la santé humaine. Les chlorures sont souvent associés au sodium, ce qui peut causer un souci pour les personnes qui suivent un régime alimentaire limitant le sodium ; La plus-part des personnes trouvent une eau qui contient plus que 200 mg/l de chlorures désagréable à boire, à cause du goût salé (NSE, 2009).

La concentration maximale admise des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 200 mg/l. C'est d'ailleurs à partir de cette concentration que l'on commence à ressentir le goût de chlore (Lucile Woodward, 2009).

Donc l'inconvénient de la teneur en chlorures dans la source de Kissir, est plutôt d'ordre esthétique.

2.13. Le fer total

On ce qui concerne le fer, et d'après les résultats du tableau (III-14) et l'étude de la figure (11_k), nous constatons que la seule eau qui le contient est celle de la source de Kissir avec 1,1 mg/l, cette valeur qui dépasse la norme de potabilité dans le tableau II (0,2 mg/l), classe cette dernière comme eau qui nécessite un traitement de potabilisation (fig. 02_b).

Toutefois, l'analyse de la variance fait ressortir une variation spatiale hautement significative ($F=664003,1 ; p<0,001$) (annexe 03).

Tableau III-14. Variation spatiale du fer total dans l'eau.

	<i>Texenna</i>	<i>3^{ème} Km</i>	<i>Kissir</i>	<i>El-Aouana</i>
Min	0	0	1,1	0
Max	0	0	1,1	0
Moy ± écart-type (mg)	0 ± 0	0 ± 0	1,1 ± 0	0 ± 0

Les eaux souterraines privées d'oxygène peuvent contenir du fer ferreux Fe^{2+} à des concentrations de plusieurs mg/l sont décoloration ni turbidité (OMS, 2011).

Au contact de l'air, le fer ferreux se transforme par oxydation en fer ferrique et se précipite sous forme d'hydroxyde de fer bien reconnaissable à sa couleur rouille, il sera donc associé aux matières en suspension (Savary, 2003) ; en effet, c'est ce précipité désagréable qui a conférer à l'eau de Kissir une turbidité si importante.

La source de contamination de la station de Kissir par le fer peut être expliquée - en plus de nature des roches traversées - par les travaux effectués dans la région pour établir la nouvelle route pendant plusieurs mois, avec l'utilisation des tonnes de ferraille dont leur lessivage a dû alimenter la nappe.

Les trois autres stations où la teneur en fer était nulle, il est possible qu'elles aient contenu du fer sous sa forme ferrique, mais qu'il se soit précipité avant que l'eau n'émerge de la source.

Les seules intoxications remarquées ont été liées à l'absorption de sels de fer chez les enfants (avec, entre autres, des symptômes d'ordre digestif). Aucune toxicité n'a été observée chez l'homme, et ce même à des doses élevées (5 mg/l) (Savary, 2003).

Donc, même avec une teneur en fer qui dépasse les normes, l'eau de Kissir peut être consommée de façon occasionnelle. Cependant, les autres sources ne présentent aucun problème pour ce paramètre (fig. 12_m)

Bibliographie

- Agences françaises de l'eau, 2001. SEQ - Eaux souterraines - Rapport de présentation (ver 0.1).
- APFELBAUM M., 2001. Nitrates : une norme aux pieds d'argile, dans La Recherche N°339.
- Lucile Woodward, 2009. Les chlorures et l'eau, disponible sur [<http://www.doctissimo.fr/html/nutrition/dossiers/eau/niv2/composition-eau/chlorures.htm>], consulté le 07.04.2012.
- NSE, 2009. On drop of water series, Nova Scotia Environment, Nouvelle-Ecosse.
- OMS (WHO), 2011. Guidelines for drinking-water quality (4th Ed), World Health Organization, Genève, 541 pages.
- RODIER J., 2009. Analyses physico-chimiques des eaux naturelles, In L'analyse de l'eau (9e Ed), DUNOD, Paris, pp 3-678.
- REJSEK F., 2002. Analyse des eaux, Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, Bordeaux, 180 pages.
- SAVARY P., 2003. Guide des analyses de la qualité de l'eau, Techni.Cités, 244 pages.

CONCLUSION

Conclusion

Comme ce travail avait pour objectif d'évaluer la qualité des eaux sous-terraines de quatre sources naturelles, une classification basée sur l'utilisation de systèmes d'évaluation des eaux sous-terraines (SEQ-eaux) est effectuée selon les résultats des analyses physico-chimiques des eaux échantillonnées.

D'après les résultats obtenus, on peut constater que parmi les stations étudiées, celle de Texenna constitue la meilleure source d'eau potable et peut être donc consommée à l'état actuel sans aucun problème.

Idem pour la source d'Afouzer (El-Aouana), qui possède une bonne qualité d'eau, confirmée par les résultats obtenus qui révèlent que tous les paramètres sont conformes aux normes de potabilité.

Les deux autres sources (Kissir et le 3^{ème} km), possèdent des eaux non conformes aux normes de potabilité et donc déconseillées pour la boisson car elles risquent d'engendrer des effets sanitaires désagréables ; pour la source du 3^{ème} km le plus grand risque provient des nitrates ; pour celle de Kissir, la teneur en plusieurs paramètres été au-delà des seuils surtout pour le fer, la turbidité et les chlorures.

Suite à l'originalité de ce travail, les résultats obtenus restent en attente pour leur confirmation et/ou leur critique. Cependant, ce qui est sûr c'est que l'eau potable est une denrée qui doit être protégée et préservée, pour cela quelques recommandations de bonne gestion sont mises en évidence.

Recommandations

Les résultats de la présente étude permettront de mettre à la disposition des autorités des données de base susceptibles d'être exploitées dans le cadre de l'amélioration de la qualité des eaux souterraines. Nous recommandons ainsi le respect des mesures suivantes:

Pour minimiser le risque :

- ❖ Adopter une véritable politique de développement durable et un système d'aménagement de l'environnement;
- ❖ Exiger le respect des normes de protection des eaux souterraines;
- ❖ Appliquer les tests législatifs et réglementaires en vigueur;
- ❖ Renforcer le plateau technique des laboratoires pour assurer un contrôle régulier des sources et des puits;
- ❖ Faire sensibiliser les habitants pour aménager leurs systèmes d'assainissement loin des puits privés.
- ❖ Sensibiliser les consommateurs aux risques des eaux polluées sur la santé humaine;
- ❖ Poser des panneaux présentatifs les caractéristiques de chaque source.
- ❖ Contrôler les citernes qui vendent l'eau.
- ❖ Et comme acte de sensibilisation pour la préservation de la santé des citoyens, nous proposons l'insertion d'une note d'interdiction de consommation des eaux non potable au niveau des sources, comme étape préventive.

ANNEXES

ANNEXE 01

Les normes algérienne de la qualité des eaux de source (extrait du journal officiel)

27 Rabie El Aouel 1427 26 avril 2006	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 27	9
ARRETES, DECISIONS ET AVIS		
MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU		
<p>Arrêté interministériel du 22 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 22 janvier 2006 fixant les proportions d'éléments contenus dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source ainsi que les conditions de leur traitement ou les adjonctions autorisées.</p>		
CARACTERISTIQUES DE QUALITE DES EAUX DE SOURCE		
CARACTERISTIQUES	UNITE	CONCENTRATIONS
1. - Caractéristiques organoleptiques :		
Turbidité	Unité JACKSON	au minimum 2
2. - Caractéristiques physico-chimiques liées à la structure naturelle de l'eau		
PH	Unité PH	6,5 à 8,5
Conductivité (à 20° C)	µs/ cm	au maximum 2.800
Dureté	Mg/l de Ca CO ₃	100 à 500
Chlorures	Mg/l (Cl)	200 à 500
Sulfates	Mg/l (SO ₄)	200 à 400
Calcium	Mg/l (Ca)	75 à 200
Magnésium	Mg/l (Mg)	150
3. - Caractéristiques concernant les substances indésirables		
Nitrates	Mg/l de NO ₃	au maximum 50
Nitrites	Mg/l de NO ₂	au maximum 0,1
Ammonium	Mg/l de NH ₄	au maximum 0,5
Fer	Mg/l (Fe)	au maximum 0,3

Détermination du calcium (Ca²⁺) et du magnésium (Mg²⁺)

ISO N° 6058

OU

NF T90-003

Principe :

Le Calcium et le magnésium sont dosés avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à un pH de 10, ce dosage se fait en présence d'un indicateur coloré.

L'EDTA réagit tout d'abord avec les ions de Calcium et de Magnésium libres, l'indicateur vire de la couleur rouge à la couleur violette, puis au point d'équivalence avec les ions Calcium et Magnésium combinés, la couleur passe du violet au bleu.

Réactifs :

Solution d'E.D.T.A (C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈·2H₂O): 10mmol/l:
EDTA déshydraté 2 h à 80°C.....3,725 g.
H₂O distillée.....q.s.p 1000 ml.

Cette solution doit être conservée dans une bouteille en polyéthylène avec la vérification de sa concentration de temps à autre.

Solution tampon :

Chlorure d'ammonium (NH₄Cl)..... 54 g.
NH₃ (25%).....350 ml.
H₂O distillée.....q.s.p 1000 ml.

Indicateurs :

Noir érichrome T.
Murexide.

Solution étalon de référence, c (CaCO₃)=0.01mol/l

Sécher un échantillon de carbonate de calcium pur pendant 2 heures à 150°C. En introduire 1g dans une fiole conique de 500ml et humidifier avec de l'eau. Ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique à 4mol/l jusqu'à ce que tout le carbonate soit dissous. Eviter un excès d'acide.

Ajouter 200ml d'eau et porter à ébullition quelques minutes afin d'éliminer le dioxyde de carbone. Refroidir et ajouter quelques gouttes de l'indicateur au rouge de méthyle. Ajouter une solution ammoniacale à 3mol/l jusqu'à ce que la solution devienne orange.

Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000ml et compléter au volume avec de l'eau distillée. 1ml de la solution contient 0.4008 mg (0.01 mmol/l) de calcium.

Mode opératoire :

- (V₁) Ca²⁺ :
- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
 - Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.
 - Ajouter du Murexide.
 - Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet).

(V₂) Ca²⁺Mg²⁺

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de la solution tampon.
- Ajouter 2 gouttes de noir érichrome T.
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu vert).

Expression des résultats :

- 1- La détermination en mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = V_1 * C_{\text{EDTA}} * F * M_{\text{Ca}^{2+}} * 1000 / \text{P.E}$$

D'où:

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

C_{EDTA} : Concentration molaire d'EDTA (0.01 M/l).

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

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur (ici = 1).

Donc :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = V_1 * 8,016$$

- 2- La détermination en mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$\text{Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = (V_2 - V_1) * C_{\text{EDTA}} * F * M_{\text{Mg}^{2+}} * 1000 / \text{P.E}$$

D'où:

V₂ : Volume totale de l'EDTA.

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

C_{EDTA} : Concentration molaire d'EDTA (0.01 M/l).

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

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur (ici = 1).

Donc :

$$\text{Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = (V_2 - V_1) * 4,86$$

- 3- La détermination de la dureté en mg/l de CaCO₃ est donnée par la formule suivante :

$$\text{CaCO}_3 \text{ (mg/l)} = V_2 * C_{\text{EDTA}} * F * M_{\text{CaCO}_3} * 1000 / \text{P.E}$$

D'où:

V₂ : Volume totale de l'EDTA.

C_{EDTA} : Concentration molaire d'EDTA (0.01 M/l).

M_{CaCO₃} : Masse molaire du carbonate de calcium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur (ici = 1).

Donc :

$$\text{CaCO}_3 \text{ (mg/l)} = V_2 * 20$$

DETERMINATION DES PHOSPHATES (PO₄³⁻)

ISO N° 6878

Principe :

En milieu acide les orthophosphates réagissent avec les ions de molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium pour former un complexe d'antimonyl-phosphate puis sa réduction par l'acide ascorbique en un complexe de molybdène bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm.

Appareils : Spectrophotomètre UV. Visible.

Réactif Mixte :

- Heptamolybdate d'ammonium.....	13 g.	A
- Eau distillée.....	100 ml.	
- Tartrate d'antimoine.....	0,35 g.	B
- Eau distillée.....	100 ml.	
- Acide sulfurique pur	150 ml.	C
- Eau distillée.....	150 ml.	

Effectuer le mélange dans l'ordre (A + B) + C et compléter à 500 ml d'eau distillée.

Acide ascorbique à 10 % :

- Acide ascorbique.....	10g.
- Eau distillée.....	100 ml.

Solution mère d'orthophosphates à 50 mg/l PO₄³⁻ :

A partir de K₂HPO₄ di potassium hydrogène-phosphates préalablement séché pendant 2h à 105°C

- K ₂ HPO ₄	0,281 g.
- Eau distillée.....	1000 ml.
- H ₂ SO ₄ 4,5 N.....	10 ml.

* A partir de solution d'acide sulfurique 9 mol/l, prélever un volume de cette solution et diluer à 50 %.

Solution fille à 2 mg/l PO₄³⁻

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

Game d'étalonnage :

N° de fiole	0	1	2	3	4	5
Solution fille à 2 mg/l (ml)	0	0,3	0,6	1,2	2,4	4,8
q.s.p 40 ml eau distillée	40	40	40	40	40	40
[P]	0,0	0,015	0,03	0,06	0,12	0,24
[PO ₄ ³⁻]	0,0	0,0459	0,0918	0,1836	0,3672	0,7340
Acide ascorbique (ml)	1	1	1	1	1	1
Réactif mélangé (ml)	2	2	2	2	2	2

Attendre 10 mn

Mode opératoire :

- 40 ml d'eau à analyser ;
- 1 ml acide ascorbique ;
- 2 ml du réactif mixte.

Attendre 10 mn pour le développement de la couleur, puis effectuer la lecture à $\lambda = 700$ ou 880 nm.

DOSAGE DES NITRATES NO₃⁻
Méthode au salicylate de sodiumRodier 7^e Ed**Principe :**

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

Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 % (à renouveler toutes les 24 h).
- 0,5 g de salicylate de sodium dans 1000 ml d'eau distillée.

Acide sulfurique H₂SO₄ concentré, d=1,84.

- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH 30 %.
- 30 g de NaOH dans 1000 ml d'eau distillée.

Solution de Tartrate double de sodium et de potassium.

- Hydroxyde de sodium NaOH..... 400 g.
- Tartrate de sodium et de potassium 60 g.
- Eau distillée..... qsp 1000 ml.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

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

- Nitrate de potassium anhydre ... 0,722 g.
- Eau distillée..... 1000 ml.
- Chloroforme (pour conserver)..... 1 ml.

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

- 5 ml de la solution mère dans 1000 ml d'eau distillée.

Matériels :

Capsules d'évaporation de 60 ml, pipettes de 1, 2, 10 et 15 ml.

Appareillage :

Étuve ou bain marie.
Spectrophotomètre U.V- visible.

Mode opératoire :

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.

Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %

Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.

Évaporer à sec au bain marie ou à l'étuve entre 75 et 88° C.

(ne pas surchauffer ni chauffer très longtemps) laisser refroidir.

Reprendre le résidu avec 2 ml d' H₂SO₄, laisser reposer 10 mn.

Ajouter 15 ml d'eau distillée.

Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre à 420 nm.

Courbe d'étalonnage :

Dans une série de capsules de 60 ml, introduire successivement :

- Évaporer à sec à l'étuve 75 à 88° C et poursuivre de la même manière que pour l'échantillon à analyser.

N° de capsule	B	I	II	III	IV
Solution étalon 5 mg/l	0	1	2	5	10
Eau distillée	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de sodium	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l d'azote nitrique, pour obtenir la teneur en nitrates NO₃⁻ multiplier le résultat par 4,43.

DOSAGE DES NITRITES NO₂⁻Rodier 7^e Ed**Principe :**

En milieu acide les nitrites provoquent la diazotation de l' amino-4benzènesulfonamide qui en copulation avec le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane et donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrophotométrique à la longueur d'onde 543 nm.

Réactif Mixte :

- Acide phosphorique.....100 ml.
- Sulfanilamide.....40 g.
- N-1- Naphtyl éthylène diamine.....2 g.
- Eau distilléeq.s.p 1000 ml.

Appareillage :

Spectrophotomètre U.V visible.

Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte.

L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO₂⁻ à $\lambda = 543$ nm.**Gamme d'étalonnage :****Préparation de la solution mère étalon : 0.1 g/l de NO₂⁻**

- A partir du nitrite de sodium (NaNO₂), dissoudre 0.492 g de NaNO₂ préalablement séché 2 h à 105 °C dans 1000 ml d'eau distillée pour avoir 100 mg/l de NO₂⁻. Cette solution est stable pendant 1 mois à l'obscurité et à 4° C.

Solution fille à 1 mg/l :

Prendre 1 ml de la solution mère à 100 mg/l et ramener à 1000 ml d'eau distillée.

Solution fille 1 mg/l (ml)	0	1	2	5	20	40
Eau distillée (ml)	50	49	48	45	30	10
Réactif mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre 10 mn						
[NO ₂ ⁻] en mg/l	0	0,02	0,04	0,1	0,4	0,8

Effectuer la lecture à 543 nm.

DETERMINATION DES SULFATES (SO₄²⁻)Méthode allemande
Mr. KERN**Principe :**

Les ions sulfate sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de BaCl₂. Les suspensions homogènes obtenues sont mesurées par spectrophotométrie.

**Appareil :**

Spectrophotomètre.

Réactifs :**Solution stabilisante :**

- Acide chlorhydrique (c)..... 60 ml.
- Ethanol.....200 ml.
- Chlorure de sodium150 g.
- Glycérol.....100 ml.
- Eau distillée.....Q.S.P. 1000 ml.

Solution de chlorure de baryum :

- Chlorure de baryum.....150 g.
- Acide chlorhydrique.....5 ml.
- Eau distillée.....Q.S.P. 1000 ml.

Solution mère de sulfates à 1 g/l**A partir de Na₂SO₄**

- Na₂SO₄.....1,479 g.
- Eau distillée.....1000 ml.

A partir de K₂SO₄

- K₂SO₄.....1,81 g.
- Eau distillée.....1000 ml.

Remarque :

- Les échantillons doivent être conservés à 4 °C ;
- Les échantillons troubles ou colorés doivent être filtrés sur filtre de 0.45 µm ;
- Les échantillons qui contiennent plus de 70 mg/l SO₄²⁻ doivent être dilués avant détermination.

Gamme d'étalonnage :

N° de bécher	0	1	2	3	4	5	6	7
Solution mère à 1 g/l (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7
q.s.p	100	100	100	100	100	100	100	100
Solution stabilisante (ml)	5	5	5	5	5	5	5	5
Solution chlorure de baryum (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2
Agiter 1 mn à vitesse constante								
[SO ₄ ²⁻]	0	10	20	30	40	50	60	70

Enregistrer la gamme dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

Mode opératoire :

Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée ;
Ajouter 5 ml de la solution stabilisante ;
Ajouter 2 ml de chlorure de baryum ;
Agiter énergiquement pendant 1 mn à vitesse constante ;
Passer au spectrophotomètre à $\lambda = 420$ nm

Expression des résultats :mg/l SO₄²⁻ = la valeur lue sur le spectrophotomètre x la dilution.

NB : Il faut faire passer les solutions au spectrophotomètre très rapidement pour éviter les interférences.

Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+)

Méthode ISO N°7150

Principe : Mesure spectrométrique du composé coloré formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium qui forme un complexe vert dont l'absorbance est proportionnelle à la concentration d'azote ammoniacal vers 655 nm.

Réactifs:**Réactif I :**

- Acide dichloroisocyanurique.....2 g.
- Hydroxyde de sodium (NaOH).....32 g.
- Eau distillée.....q.s.p 1000 ml.

Réactif II (coloré) :

- Triurate de sodium.....130 g.
- Salicylate de sodium.....130 g.
- Nitroprussiate de sodium.....0,97 g.
- Eau distillée.....q.s.p 1000 ml.

Conservées dans des flacons en verre brun, les deux solutions sont stables pendant 2 semaines.

Préparation de la solution mère étalon : 1 g/l de NH_4^+ stable 1 mois**A partir du chlorure d'ammonium**

- Chlorure d'ammonium.....2,970 g.
- Eau distillée.....q.s.p 1000 ml.

A partir du sulfate d'ammonium

- Sulfate d'ammonium.....4,717 g.
- Eau distillée.....q.s.p 1000 ml.

Préparation de la solution fille à 1 mg/l

Prendre 1 ml de la solution mère à 1 g/l et ramener à 1000 ml d'eau distillée.

Gamme d'étalonnage :

Solution fille 1 mg/l (ml)	0	1	2,5	5	25	40
Eau distillée (ml)	50	49	47,5	45	25	10
Réactif I (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactif II (ml)	4	4	4	4	4	4
Attendre 1h 30						
$[\text{NH}_4^+]$ en mg/l	0	0,02	0,05	0,1	0,5	0,8

Effectuer la lecture à 655 nm.

Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analyser contenant jusqu'à 1 mg/l NH_4^+
- Ajouter 4 ml du réactif I
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec H_2O distillée et attendre 1h 30.

♦ L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH_4^+
Si on soupçonne une eau plus chargée, procéder aux dilutions conséquentes sur l'échantillon.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l de NH_4^+ .

Dosage des chlorures : (Méthode de Mohr)**Réactifs :**

- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N.

Mode opératoire :

Introduire 100 ml d'eau à analyser (préalablement filtrée si nécessaire).

Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl⁻ par litre d'eau.

$V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

Détermination du Fer méthode à l'orthophénanthroline**Principe :**

Addition d'une solution de phénanthroline 1,10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510 nm.

Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le Fe^{3+} en Fe^{2+} .

Réactifs :

Tous les réactifs seront préparés à partir d'eau bi distillée exempte de toute trace de fer.

Tampon Acétate:

- Acétate d'ammonium.....40 g.
- Acide acétique cristallisable50 ml.
- Q.S.P.....100 ml d'eau distillée.

Chlorhydrate d'hydroxylamine à 10 % :

Chlorhydrate d'hydroxylamine.....10 g.

Q.S.P 100 ml d'eau distillée.

Cette solution est stable pendant une semaine.

Solution de Phénanthroline -1, 10:

Dissoudre 0.42 g de Phénanthroline-1,10 monohydraté ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) dans 100ml d'eau distillée contenant 2 gouttes d'Acide chlorhydrique.

Cette solution est stable pendant une semaine.

Conserver dans un flacon teinté et au réfrigérateur.

Mode opératoire:

Prendre 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine. Mélanger soigneusement. Ajouter 2 ml de tampon acétate. Ajouter 2 ml de la solution 1.10 de phénanthroline et conserver à l'obscurité pendant 15min. Enfin passer au spectrophotomètre pour mesurage à la longueur d'onde de 510 nm.

Expression des résultats:

Le résultat est donné en mg/l.

ANNEXE 03

Résultats de l'analyse de la variance

STATISTICA - Workbook1* - [Univariate Tests of Significance for pH (PFE (2012))] - [Workbook1* - Uni

File Edit View Insert Format Statistics Data Mining Graphs Tools Data Workbook

Arial 10 B I U

Workbook1*
ANOVA (PFE (2012))
ANOVA Result
Univariate

Univariate Tests of Significance for pH (PFE (2012)) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	376.7512	1	376.7512	2511675	0.000000
stations	1.0874	3	0.3624	2416	0.000001
Error	0.0006	4	0.0002		

STATISTICA - [Workbook1* - Univariate Tests of Significance for CE (PFE (2012))]

File Edit View Insert Format Statistics Data Mining Graphs Tools Data Workbook

Arial 10 B I U

Workbook1*
ANOVA (PFE (2012))
ANOVA Result
Univariate

Univariate Tests of Significance for CE (PFE (2012)) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2258875	1	2258875	4882.735	0.000000
stations	284923	3	94974	205.295	0.000078
Error	1850	4	463		

STATISTICA - [Workbook1* - Univariate Tests of Significance for TUR (PFE (2012))]

File Edit View Insert Format Statistics Data Mining Graphs Tools Data Workbook

Arial 10 B I U

Workbook1*
ANOVA (PFE (2012))
ANOVA Result
Univariate

Univariate Tests of Significance for TUR (PFE (2012)) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	101.1042	1	101.1042	929.9076	0.000007
stations	162.9163	3	54.3054	499.4751	0.000013
Error	0.4349	4	0.1087		

STATISTICA - [Workbook1* - Univariate Tests of Significance for DUR (PFE (2012))]

File Edit View Insert Format Statistics Data Mining Graphs Tools Data Workbook

Arial 10 B I U

Workbook1*
ANOVA (PFE (2012))
ANOVA Result
Univariate

Univariate Tests of Significance for DUR (PFE (2012)) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	483931.2	1	483931.2	16647.10	0.000000
stations	93781.5	3	31260.5	1075.35	0.000003
Error	116.3	4	29.1		

STATISTICA - [Workbook1* - Univariate Tests of Significance for Ca (PFE (2012))]

File Edit View Insert Format Statistics Data Mining Graphs Tools Data Workbook

Arial 10 B I U

Workbook1*
ANOVA (PFE (2012))
ANOVA Result
Univariate

Univariate Tests of Significance for Ca (PFE (2012)) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	26552.45	1	26552.45	8483.177	0.000000
stations	4481.77	3	1493.92	477.290	0.000015
Error	12.52	4	3.13		

STATISTICA - [Workbook1* - Univariate Tests of Significance for Fe (PFE (2012))]

File Edit View Insert Format Statistics Data Mining Graphics Tools Data Workbook

Arial 10 B I U Add to Web Add to Report

Workbook1*

- ANOVA (PFE (2012))
 - ANOVA Result
 - Univariate
 - ANOVA Result
 - Univariate
 - ANOVA Result
 - Univariate
 - ANOVA Result
 - Univariate

Univariate Tests of Significance for Fe (PFE (2012))				
Sigma-restricted parameterization				
Effective hypothesis decomposition				
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F
Intercept	0.506018	1	0.506018	
stations	1.494007	3	0.498002	
Error	0.000003	4	0.000001	

Thème

L'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de boissons de quelques sources naturelles dans la région de Jijel.

Noms et prénoms des étudiants :
ZOUIKRI Karim
KHELFAOUI Nabil

Date de soutenance : 21.06.2012

Résumé

La présente étude vise à déterminer les teneurs de quelques paramètres physico-chimiques dans les eaux de quatre sources naturelles localisées dans la région de Jijel qui sont : Texenna, le 3^{ème} km, Kissir (Dar-Tbaàna) et El-Aouana (Afouzer). Les eaux de ces sources sont consommées à grande échelle par un grand nombre de citoyens et dont l'évaluation de leur qualité est une nécessité.

Les résultats des analyses, qui sont effectuées en collaboration avec le laboratoire de l'A.D.E, sur les eaux des quatre stations sont évalués grâce au SEQ-Eau, ce qui nous a permis d'avoir une perspective à propos de leur qualité.

A la lumière de ces résultats, l'eau de la source de Texenna est de bonne qualité pour tous les paramètres, celle d'El Aouana est moyennement bonne mais potable tout de même, l'eau du 3^{ème} km contient une teneur importante en nitrates qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé, de même pour celle de Kissir qui n'est pas conforme avec les normes concernant plusieurs paramètres.

Mots clés : source naturelle, paramètres physico-chimiques, qualité de l'eau, SEQ-Eau, Jijel

Summary

This study aims to determine the levels of some physicochemical parameters in the waters of four natural springs located around Jijel, which are: Texenna, the 3rd km, Kissir (Dar-Tbaàna) and El-Aouana (Afouzer). The waters of these sources are widely consumed by many citizens so the evaluation of their quality became a necessity.

The results of analyses which are realized in collaboration with the laboratory of the AOW, the waters of the four stations are assessed by the SEQ-Water, which allowed us to have a perspective about their quality.

We notice in these results that, the water of Texenna's spring is good in all parameters, the one of El Aouana is moderately good but still drinkable, the water from the well of 3rd km contains a high content of nitrates that may have adverse consequences on health, the same for those of Kissir which does not comply with standards for several parameters.

Keywords: natural spring, physicochemical parameters, water quality, QES-Water, Jijel.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم بعض الخصائص الفيزيوكيميائية في مياه أربعة منابع مختلفة في ضواحي جيجل وهي: تاكسنة، الكلم الثالث، كيسيير (دار تباعنة) و العوانة (افوزار). العديد من السكان يستعملون هذه المياه للشرب و هذا ما يجعل تقييم نوعيتها أمرا إلزاميا.

نتائج التحاليل التي اجريت على مياه الاربع محطات بالتعاون مع المختبر الخاص بالجزائرية للمياه، تم تقييمها بواسطة نظام خاص يسمح باعطاء نظرة شاملة على نوعيتها.

و في ظل هذه النتائج نجد أن مياه منبع تاكسنة ذات نوعية حسنة من حيث كل الخصائص و مياه منبع العوانة ذات نوعية متوسطة لكن صالحة للشرب، اما مياه الكلم الثالث فتحتوي على نسبة عالية من النترات والتي قد تشكل خطر على صحة المستهلك، نفس الشيء بالنسبة لمياه منبع كيسيير والتي تجاوزت المعايير المحددة بالنسبة لعدة خصائص فيزيوكيميائية.

الكلمات المفتاحية : منبع طبيعي، الخصائص الفيزيوكيميائية، نوعية المياه، نظام تقييم جودة المياه (SEQ-Eau)، جيجل.