



DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

N°...../SNV/2017

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BENTOUNES Amina Habiba

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN BIOLOGIE

Spécialité: MICROBIOLOGIE FONDAMENTALE ET APPLIQUÉE

THÈME

**Etude de la qualité microbiologique de l'eau potable
et l'eau des puits de la wilaya de Mostaganem.**

Soutenue publiquement le 21 /06./2017

DEVANT LE JURY :

Président	M. BAHRI Fouad	Professeur	Univ. Mostaganem
Encadreur	M. Ait Saâda Djamel	MCA	Univ. Mostaganem
Examineur	M. Nebbache Salim	MCB	Univ. Mostaganem

Thème réalisé au laboratoire d'hygiène de la Wilaya de Mostaganem.

2016/2017

Remerciements :

Mes premiers remerciements vont à M. AïT SAADA Djamel, maître de conférences à l'université de Mostaganem, pour avoir encadré efficacement ce mémoire. Ses idées novatrices et constructives sur la problématique de la potabilité de l'eau ont permis un bon accomplissement de mes travaux. Il a contribué à améliorer par sa méthodologie à bien me préparer au milieu expérimental et de compléter les lacunes de mon cursus universitaire. Je le remercie vivement pour sa présence tout au long de ce travail, sa sympathie et ses précieux conseils qui ont orienté mes recherches

Je tiens à remercier M. BENALIOUA H., directeur du laboratoire d'hygiène de la wilaya de Mostaganem, qui m'a accueilli et fourni le cadre nécessaire à la réalisation de cette étude.

Je suis très reconnaissant à Monsieur NEBBACHE d'avoir accepté de juger ce travail et d'être le rapporteur de mon manuscrit. Je les remercie d'avoir examiné ce travail avec attention et d'avoir participé par ses intéressantes remarques à améliorer ce manuscrit.

Merci également à M. BAHRI, qui a bien voulu accepter la présidence du jury de soutenance, trouve ici l'expression de ma reconnaissance pour l'intérêt qu'il a porté au sujet.

Je remercie également tous les membres du laboratoire d'hygiène de Mostaganem pour l'accueil, l'aide et leurs soutiens durant ces trois mois de stage. Leurs conseils m'ont permis d'éviter bien des écueils., en particulier à Narimène pour son efficacité, sa gentillesse et sa disponibilité. Bref, grâce à eux j'ai pu effectuer ce mémoire dans une bonne ambiance et dans les meilleures conditions.

Comme l'occasion m'en est donnée, je tiens également à saluer mes parents ainsi que mes amis, qui m'ont constamment soutenu tout au long de nos études, et de nous avoir donnés le courage et la patience pour passer tous les moments difficiles.

N'oublions pas tous les enseignants du département des Sciences de la nature et de la vie pour le savoir et la connaissance qu'ils m'ont apportés durant tout mon cursus.

Pour tous ceux qu'on a pu susnommés qui m'en veulent, je m'en excuse et leur adresse toute ma sollicitude.

Sommaire

I.1. Généralités sur l'eau	2
I.1.1. Introduction	2
I.2. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine	3
I.3. L'eau en Algérie	7
I.4. Ressource des eaux	7
I.4.1. Eaux superficielles	7
I.4.2. Eaux souterraines	9
I.4.2.1. Nappes profondes	9
I.4.2.2. Nappes phréatiques	9
I.4.2.3. Nappes alluvionnaires	9
I.5. Cycle de l'eau	9
I.5.1. Evaporation et transpiration des végétaux	10
I.5.2. L'action du vent	11
I.5.3. La condensation et les précipitations	11
I.5.4. Le ruissellement et l'infiltration	11
I.6. L'eau potable	11
I.6.1. Définition réglementaire	12
I.6.2. Définition médicale	12
I.6.3. Le prélèvement de l'eau	13
I.6.4. Caractéristique de l'eau potable	14
I.6.5. Une eau potable facile d'accès	14
I.6.5.1. Eau du robinet	14
I.6.5.2. Eau de puits	14
I.6.6. Traitements de l'eau pour la rendre potable	15
I.7. Propriétés de l'eau	15
I.7.1. Propriétés physiques	15
I.7.2. Propriétés chimiques	16
I.8. Qualité de l'eau	17
I.8.1. Qualité organoleptique	17
I.8.2. Qualité physico-chimiques	18
I.8.2.1. Qualité physique	18
I.8.2.2. Qualité chimique	19
I.8.2.3. Normes Physico-chimiques de L'eau Potable	22
I.8.3. Qualité microbiologique	23
I.8.3.1. Flore microbienne de l'eau	23
I.8.3.2. Critères Bactériologiques de L'eau	24
I.8.3.3. Paramètres bactériologiques de l'eau	24

I.8.3.4. Normes de la qualité bactériologique de l'eau potable	25
I.9. Contamination microbiologique de l'eau	27
I.10. Usage de l'eau	27
I.10.1. Eaux de consommations	27
I.10.2. Eau et agriculture	28
I.10.3. Eau et industrie	28
II.1. Généralités	30
II.2. Pollution de l'eau	30
II.2.1. Origines des pollutions des eaux	30
II.2.1.1. Eaux domestiques	30
II.2.1.2. Eaux pluviales	31
II.2.1.3. Eaux industrielles	31
II.2.1.4. Eaux agricoles	31
II.2.2. Pollution microbiologique	31
II.3. Maladies d'origines hydriques	32
II.3.1. Les maladies véhiculées par l'eau	33
II.3.2. Les maladies de l'hygiène	33
II.3.3. Les maladies liées à l'eau	33
II.3.4. Les maladies transmises par des insectes qui se multiplient dans l'eau	33
II.4. Biologie de l'eau	33
II.5. L'eau santé et maladies	34
II.5.1. Maladies de l'eau	35
II.5.2. L'eau et ses vertus pour la santé	35
II.5.2.1. L'eau : pour une meilleure oxygénation du corps	36
II.5.2.2. L'eau : pour se détoxifier	36
II.5.2.3. L'eau : pour réguler le taux de sucre dans le sang	36
II.5.2.4. L'eau : pour le fonctionnement de notre cerveau	36
II.5.2.5. L'eau : comme remède contre la migraine	36
II.5.2.6. L'eau : pour la santé de nos muscles	36
II.6. L'eau un siège microbien	36
III.1. Objectifs	39
III.2. Échantillonnage	39
III.2.1. Mode de prélèvement des échantillons	39
III.2.1.1. Eau de robinet	39
III.2.2. Mesures et contrôles	41
III.3. Analyse microbiologique	43
III.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et des coliformes thermotolérants	43
III.3.2. Recherche et dénombrement des entérocoques	44

III.3.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de Clostridium sulfito-réducteurs	46
III.3.4. Recherche et dénombrement des Salmonella	47
IV Analyses bactériologiques de l'eau de robinet	52
IV Analyses bactériologiques de l'eau de puits	57
V. Conclusion	64
Bibliographie	66
Annexe	70

Introduction :

L'eau ressource naturelle autour de laquelle se maintient et se développe la vie doit faire l'objet d'une surveillance attentive et d'un contrôle rigoureux. Seulement, entre l'usine de production et le consommateur final s'étend un réseau plus ou moins long et compliqué, au sein duquel peuvent subvenir divers phénomènes chimiques (corrosion par l'interaction eau-matière) et/ou microbiologiques (adhésion bactérienne, rétention et prolifération de certains germes...). Cette propagation est capable de dégrader la qualité de l'eau en y introduisant des éléments non présents initialement. Ainsi, pour un usage destiné à la boisson, l'eau distribuée par un réseau public doit être conforme à des normes de potabilités.

La réglementation de l'état algérien impose des analyses d'eau produite au robinet du consommateur. Des laboratoires d'analyses existent au niveau de chaque wilaya, ils ont un rôle très important dans le suivi et le contrôle de la qualité des eaux par la mesure des paramètres chimiques et biologiques. C'est à eux de confirmer la potabilité de l'eau après traitement et anticiper toutes les étapes nécessaires pour l'obtention permanente d'une eau de qualité. L'eau contaminée est insidieuse, et, malheureusement, on ne détecte souvent la contamination de l'eau de boisson qu'après une crise sanitaire

La surveillance de la conformité des normes au niveau du robinet du consommateur et des eaux de puits reste un axe stratégique en matière de protection, de promotion de la santé et de prévention de risque non acceptable pour la population. L'analyse bactériologique de ces eaux identifiera le taux de contamination par les bactéries et qui la rende impropre à la consommation. En effet, la présence de ces bactéries dites pathogènes (coliformes fécaux, des streptocoques...) est très risquée pour la santé des humains et des animaux. L'absorption d'une eau infectée de coliformes peut entraîner des maladies très graves et, dans certains cas, peut causer la mort. Ce qui devient un lourd fardeau pour l'État, pour le coût de la prise en charge thérapeutique des maladies de l'eau.

Ces bactéries servent d'indicateurs de pollution ou de contamination microbiologique. L'identification des colonies pathogènes, telle que la présence de coliformes totaux dans une concentration de plus de 10 UFC/100ml, à partir d'un échantillon de notre eau, suit une méthode scientifique en laboratoire : dans le cas d'un puits cela peut révéler la présence d'une infiltration de l'eau de surface. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, elle a pour but d'analyser la qualité bactériologique des eaux du robinet de quatre zones et de trois puits de la ville de Mostaganem.

Les analyses bactériologiques ont été effectuées dans le laboratoire d'hygiène de la wilaya de Mostaganem. Il s'agit d'un laboratoire rattaché à la direction de la santé et reconnu pour ces travaux sur les denrées alimentaires, les maladies contagieuses, la coproculture et particulièrement pour le suivi et la surveillance de l'eau. Le travail exposé ici constitue une étape de ce long travail du dit service du laboratoire. Il présente une vue d'ensemble des résultats fondamentaux obtenus et a été entamé selon une procédure stricte, présenté en trois étapes :

1. Echantillonnage
2. Analyse
3. Interprétation

Le prélèvement d'un échantillon d'eau pour l'analyse bactériologique est soumis à une.

Voici la démarche à suivre :

Cette étude est une contribution à la réflexion prospective sur la politique de l'approvisionnement en eau potable et aux conditions d'hygiène des différentes couches sociales de la ville de Cotonou. Cette étude comprend trois parties : - Une première partie consacrée au cadre théorique de l'étude et à la méthodologie de recherche est subdivisée en deux chapitres : • le cadre théorique de l'étude ; • la méthodologie de recherche. - La deuxième partie intitulée Eau et Santé dans le monde, au Bénin et à Cotonou est structurée comme suit : • les ressources en eau dans le monde et à Cotonou ; • la pollution des eaux et santé à Cotonou. - La troisième partie intitulée Eau : Gouvernance et conditions sociales à Cotonou est répartie en deux chapitres : • politiques d'accès à l'eau potable et à l'assainissement.

Le *premier chapitre* est un rappel sur l'eau d'une façon générale, avec ses caractéristiques organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques. Le *deuxième chapitre* présente les diverses pollutions qui affectent l'eau et les méthodes des traitements des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine ; le *troisième chapitre* rappelle les caractéristiques générales du barrage DJORF-TORBA et les procédures de production d'eau potable, du pompage jusqu'à la distribution vers les châteaux.

La partie expérimentale, représente la démarche pour analyser de la qualité de différents échantillons d'eau brute. En fin, les résultats et discussion ont fait l'objet du dernier chapitre de ce manuscrit

Résumé

Résumé :

L'eau, molécule simple, est indispensable pour la continuité de toute sorte de vie ainsi qu'au développement des populations. L'augmentation des besoins en eau et la disponibilité de l'eau de bonne qualité demeure un challenge d'actualité, particulièrement pour l'Algérie.

Une étude des caractéristiques microbiologiques de l'eau potable a été menée au niveau du « Laboratoire d'hygiène » (wilaya de Mostaganem).

Un échantillon de sept (07) prélèvements de différents endroits concernant l'eau de robinet et l'eau de puits, réalisés au laboratoire d'hygiène, a été investigué. Ces prélèvements ont fait l'objet d'analyses microbiologiques par la méthode de filtration sur membrane, pour s'assurer de la qualité microbienne de l'eau. Ceux-ci sont basés sur la recherche et le dénombrement des germes totaux (coliformes totaux et thermo-tolérant, Streptocoques fécaux et Clostridium sulfito-réducteurs) et les Salmonelles.

D'après les résultats obtenus, l'eau de robinet est de qualité bactériologique acceptable car ces résultats sont conformes aux normes ISO et aux recommandations de l'OMS pour les eaux potables, car cette eau est traitée par le chlore. Mais il a été constaté des contaminations bactériologiques qui sont d'origine fécale dans l'eau de puits, par défaut de nettoyage et d'entretien régulier du puits, et les résultats étaient supérieurs aux valeurs fixées par l'OMS et les règlements algériennes.

Nous recommandons une désinfection plus rigoureuse du puits par plusieurs moyens qui peuvent éliminer ces bactéries et l'eau deviendra alors propre et consommable.

Mots clés :

Eau, qualité, microbiologie, contamination.

ملخص:

الماء جزيء بسيط و أساسي لإستمرارية الحياة بالاضافة إلى تنمية السكان . فزيادة احتياجات المياه وتوافرها وجودة نوعيتها لا تزال تحديًا للأحداث الراهنة, خاصة في الجزائر. أنجزت دراسة الخصائص الميكروبيولوجية لمياه الشرب على مستوى "مختبر الصحة العامة" (ولاية مستغانم).

أخذت العينات من سبع (07) اماكن مختلفة و المتعلقة بمياه الصنبور و بمياه الابار حيث اجريت في مختبر الصحة العامة وتم التحقق من هذه العينات . وتعرض هذه العينات للتحليل الميكروبيولوجي عن طريق الترشيح الغشائي، للتأكد من جودة المياه الميكروبية. وهي تستند الى البحث و تعداد الكلي للبكتيريا (القولونية الكلية والحرارية المتسامحة، العقديات البرازية وكلوسترديوم الحد من السلفيت) والسالمونيلا.

وحسب النتائج المتحصل عليها فإن مياه الصنبور تعتبر ذات نوعية بكتريولوجية مقبولة لانها تتفق مع معايير ISO الدولية و كذا مع توصيات منظمة الصحة العالمية للمياه الصالحة للشرب, لان هذه المياه يتم معالجتها مع الكلور.

إلا أنه تبين التلوث البكتريولوجي من أصل البراز في مياه الآبار، و ذلك لغياب عملية التنظيف والصيانة الدورية للبئر، فلقد فاقت القيم المتحصل عليها القيم التي وضعتها منظمة الصحة العالمية واللوائح الجزائرية. لهذا نوصي بتطهير أكثر دقة للبئر من خلال العديد من الوسائل التي يمكن من خلالها القضاء على هذه البكتيريا فستصبح المياه نظيفة ومستهلكة.

الكلمات الاساسية :

المياه ونوعيتها والميكروبيولوجيا التلوث.

Abstract:

Water, a simple molecule, is indispensable for the continuity of all kinds of life and the development of populations. The increase in water requirements and the availability of good quality water remains a topical challenge, particularly for Algeria.

A study of the microbiological characteristics of drinking water was carried out at the "Laboratory of Hygiene" (Mostaganem wilaya).

A sample of seven (07) samples taken from tap and well water in the hygiene laboratory was investigated. These samples were subjected to microbiological analyzes using the membrane filtration method to ensure the microbial quality of the water. These are based on the investigation and enumeration of total germs (total coliform and thermo-tolerant, fecal Streptococci and Clostridium sulfite-reducing) and Salmonella.

Based on the results obtained, tap water is of acceptable bacteriological quality as these results are in accordance with ISO standards and WHO recommendations for drinking water, as this water is treated with chlorine. However, bacteriological contamination of faecal origin in well water was observed, due to lack of regular cleaning and maintenance of the well and the results were higher than the values set by the WHO and the Algerian regulations.

We recommend a more rigorous disinfection of the well by several means that can eliminate these bacteria and the water will then become clean and consumable.

Keywords:

Water, quality, microbiology, contamination.

Partie 1 : Etude bibliographique

Chapitre I

Aspects généraux sur la qualité de l'eau

1.1. Généralités sur l'eau :

1.1.1. Introduction :

L'eau c'est la vie (Thielborger, 2014). Présente dans toutes les traditions et religions du monde, l'eau est un élément primordial du patrimoine culturel de l'humanité à travers les mythes et les symboles. Ceux liés à l'eau entourent la création des formes terrestres, la naissance, la vie, le renouveau et la mort. Les sciences, l'art et les civilisations même ne sont pas pensables sans la présence de l'eau (Olivaux, 2007).

L'eau à accompagné la vie des êtres humains. Elle est au cœur de nos pratiques sociales, économiques et sanitaires ; l'eau s'inscrit au cœur même du vivant et conditionne la civilisation humaine.

« H₂O » est la formule chimique de cette molécule, elle est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

L'eau, très présente sur notre Terre et indispensable à la survie de tout être vivant, animal ou végétal, n'est pas un liquide banal. Elle a des propriétés physiques originales qui résultent de la composition de sa molécule et de la façon dont ces molécules se lient entre elles. On peut la trouver sous trois formes : liquide, solide ou gazeuse.

Omniprésente et indispensable au maintien de la vie, l'eau est l'un des corps chimiques les plus essentiels de notre planète. Ses propriétés sont en outre tout à fait exceptionnelles, voire parfois inattendues. Depuis longtemps au centre de nombreux travaux de recherche, elle continue d'intriguer et de passionner nombre de scientifiques auxquels elle n'a pas encore révélé tous ses secrets.

Sans cette matière simple et complexe en même temps la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures, et pour cela la technologie moderne nous a permis la conception des stations de traitement des eaux de surface pour palier aux problèmes de pollution qui menacent la potabilité de l'eau qui a été préservé pendant des siècles, le laboratoire d'analyses a un rôle très important dans le suivi d'une station de traitement car c'est lui qui doit confirmer la potabilité de l'eau après traitement et anticiper toutes les étapes nécessaires avant traitement à l'aide des analyses pour l'obtention des résultats demandés.

Une eau destinée à la consommation humaine est potable lors qu'elle est exemptée d'éléments chimiques et/ou biologiques susceptibles, à plus ou moins long terme à la sante des individus. Par conséquent, et en fonction des caractéristiques de l'eau brute destinée à la production d'eau potable, la mise en place de traitements spécifiques s'avère le plus souvent nécessaire afin de répondre aux exigences réglementaires établies par les organismes de la santé publique.

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu physique dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies. Pour pouvoir être consommée sans danger, l'eau doit donc être traitée. Mais la pollution croissante des réserves rend cette opération de plus en plus délicate, obligeant les traiteurs d'eau à constamment innover. Les techniques ont d'ailleurs beaucoup évolué, faisant aujourd'hui du traitement de l'eau une industrie de pointe.

L'eau n'a pas de couleur, pas d'odeur et pas de goût. C'est dans l'eau que sont apparus les premiers signes de vie. Les hommes, les animaux et les plantes ont besoin d'eau pour vivre.

L'eau est l'élément dans lequel les premières formes de vie ont émergé, puis se sont développées. Au bout de plus de deux milliards d'années d'évolution, les créatures aquatiques les plus évoluées et les plus complexes ont progressivement quitté le milieu aquatique pour s'adapter au milieu terrestre.

Par ailleurs, l'eau est présente dans l'intégralité des tissus biologiques, d'où la nécessité pour tous les êtres vivants de s'hydrater, de façon régulière ou permanente, afin de renouveler les stocks d'eau qui permettent le bon fonctionnement du métabolisme.

L'Algérie est classée parmi les pays les plus déficitaires en eau. De par son appartenance à la zone géographique du "*Middle-East and North Africa (MENA)*" et la quasi totalité de son territoire classé en zone désertique, sa pluviométrie moyenne annuelle est estimée à 89 mm. De ce fait, l'Algérie est classée parmi les 13 pays africains qui souffrent le plus du manque d'eau.

En effet, avec moins de 500 m³/habitant/an, l'Algérie dispose de moins de 50% du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an.

I.2. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine :

L'eau douce est un élément plutôt rare à la surface terrestre puisqu'elle ne présente que 3% du volume total de l'hydrosphère. Le tableau ci-dessous représente les réserves d'eau de l'hydrosphère (Tableau 1) :

Tableau 1. Réserves d'eau de l'hydrosphère (Rejsek, 2002)

Réservoirs	Volume (10 ¹⁵ m ³)	%total
Océans	1350	97
Glaciers	33	2.4
Eaux souterraines	8	0.6
Lacs	0.1	<0.01
Eau dans le sol	0.070	<0.01
Eau dans l'atmosphère	0.013	<0.001
Eau superficielles	0.0017	0.0001
Eau de la matière vivante	0.0011	0.0001
Total	1391	100

Les réserves d'eau douce les plus importantes se trouvent donc à l'état solide (environ 80%) et sont techniquement inexploitable. L'eau douce exploitable représente seulement 20% des réserves d'eau douce et 0.6% du volume total de l'hydrosphère.

Les eaux destinées à la consommation humaine ont une double origine :

- Eaux souterraines pour 60% du volume produit. Elles proviennent de nappes souterraines plus ou moins profondes et sont captées par forage ou par des puits ;
- Eaux de surface ou superficielles pour 40% du volume produit. Ces eaux qui se trouvent à la surface terrestre peuvent être des eaux courantes (rivières ou fleuves) ou des eaux stagnantes (lacs et retenus naturels ou artificiels).

L'eau se comporte comme un solvant universel ; de ce fait, sa composition est fonction du milieu avec lequel elle a été en contact. Les eaux souterraines sont, en général, pauvres en oxygène et en matières organiques. Dans les terrains géologiques anciens (granits, grés, schistes), la minéralisation est faible ; par contre, dans les terrains sédimentaires (calcaire), la minéralisation est importante. Ces eaux souterraines ont une composition stable dans le temps, peu influencées par la pollution de la surface terrestre. Sauf pour certaines nappes phréatiques polluées, elles sont souvent proches des normes de la qualité, mais peuvent contenir, en fonction de la nature du terrain de stockage, des éléments à un taux dépassant les normes. Les eaux superficielles sont souvent riches en matière organiques et en matière en suspension. Leur composition est plus variable et elles sont sensibles aux pollutions du milieu extérieur. Pour les eaux stagnantes, on peut observer l'été une stratification de caractères physico-chimiques, avec la formation de la thermocline ; l'hiver, une disparition de cette stratification avec le mélange des eaux.

Il existe une réglementation relative à la qualité des eaux brutes pour la production de l'eau destinées à la consommation humaine. A partir de cette réglementation, on peut déterminer si la qualité de la ressource permet son utilisation en production d'eau potable. La réglementation française en la matière s'appuie sur le décret n°89-3 du 3 janvier 1989 (Journal officiel (JO) du 4 janvier 1989) qui est en lui-même l'application de la directive européenne 75/440/CEE du 16 juin 1975 (Journal Officiel de La Communauté Européenne (JOCE) n°L.194 du 25 juillet 1975). A compter du 25 décembre 2003, les limites et références de qualité définies par ce décret seront remplacées par celles du décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales naturelles (Rejsek, 2002).

Les paramètres de qualité de ressources en eau sont indiqués dans le tableau 2 du décret n°89-3. Le tableau qui suit dévoile les exigences de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Tableau 2) :

Tableau 2. Exigences de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Rejsek, 2002)

Paramètres	Unités	A1G	A1I	A2G	A2I	A3G	A3I
Coloration	Mg.L ⁻¹	10	20	50	100	50	200
Odeur	Facteur de dilution	3		10		20	
Conductivité	µS. cm ⁻¹ (20°C)	1000		1000		1000	
Température	°C	22	25	22	25	22	25
pH	Unité pH	6.5-8.5		5.5-9		5.5-9	
Chlorures	Mg.L ⁻¹	200		200		200	
Sulfate	Mg.L ⁻¹	150	250	150	250	150	250

MES	Mg.L ⁻¹	25					
DBO ₅	Mg.L ⁻¹ O ₂	< 3		<5		<7	
DCO	Mg.L ⁻¹ O ₂					30	
Taux de saturation en O ₂	%	> 70		>50		>30	
Nitrate	Mg.L ⁻¹ NO ₃	25	50		50		50
Ammoniaque	Mg.L ⁻¹ NH ₄	0.05		1	1.5	2	4
Azote Kjeldahl	Mg.L ⁻¹ N	1		2		3	
Hydrocarbures dissous	Mg.L ⁻¹		0.05		0.2	0.5	1
Phénol (indice)	Mg.L ⁻¹		0.00 1	0.00 1	0.0005	0.01	0.1
Agent de surface réagissant au bleu de méthylène	Mg.L ⁻¹ lauryl-sulfate	0.2		0.2		0.5	
Substances extractibles au chloroforme	Mg.L ⁻¹	0.1		0.2		0.5	
Fer dissous	Mg.L ⁻¹ Fe	0.1	0.3	1	2	1	
Manganèse	Mg.L ⁻¹ Mn	0.05		0.1		1	
Cuivre	Mg.L ⁻¹ Cu	0.02	0.05	0.05		1	
Zinc	Mg.L ⁻¹ Zn	0.5	3	1	5	1	5
Phosphore	Mg.L ⁻¹ P ₂ O ₅	0.4		0.7		0.7	
Fluor	Mg.L ⁻¹ F	0.7-1	1.5	0.7- 1.7		0.7- 1.7	
Bore	Mg.L ⁻¹ B	1		1		1	
Baryum	Mg.L ⁻¹ Ba		0.1		1	50	1
Arsenic	µg.L ⁻¹ As	10	50		50	1	100
Cadmium	µg.L ⁻¹ Cd	1	5	1	5		5
Cyanures	µg.L ⁻¹ CN		50		50		50
Chrome total	µg.L ⁻¹ Cr		50		50		50
Plomb	µg.L ⁻¹ Pb		50		50		50

Mercure	$\mu\text{g.L}^{-1}$ Hg	0.5	1	0.5	1	0.5	1
Sélénium	$\mu\text{g.L}^{-1}$ Se		10		10		10
Hydrocarbures polycycliques aromatiques	$\mu\text{g.L}^{-1}$		0.2		0.2		1
Pesticides totaux	$\mu\text{g.L}^{-1}$		1		2.5		5
Coliformes totaux	Dans 100 ml	50		5000		5000	0
Coliformes thermotolérants	Dans 100 ml	20		2000		2000	0
Streptocoques fécaux	Dans 100 ml	20		1000		1000	0
Salmonelles		Absen		Abs-		ence	
		-ce		ence			
		dans		dans			
		5L		1L			

Les limites du décret n°89-3 précise les limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinées à la consommation humaine, dans la mesure où elle prend en compte également les eaux souterraines. Le tableau 3 représente les limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinées à la consommation humaine.

Tableau 3. *Limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinées à la consommation humaine (Rejsek, 2002)*

Groupe de paramètres	Paramètres mesurés	Concentration limites
Organoleptiques	Coloration après filtration	200mg.L ⁻¹ en Pt/Co
Paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux	Température	25°C
	Chlorures	200mg.L ⁻¹ en Cl ⁻
	Sulfates	250mg.L ⁻¹ en SO ₄ ⁻²
	Saturation en O ₂ pour les eaux superficielles	>30%

Paramètres concernant les substances indésirables	Nitrates	50mg.L ⁻¹ en NO ³⁻ pour les eaux superficielles et 100mg.L ⁻¹ pour les autres
		4mg.L ⁻¹ en NH ₄ ⁺
	Ammonium	10mg.L ⁻¹ en O ₂
	Oxydabilité au KMnO ₄	0.1mg.L ⁻¹ en phénol
	Indice phénol	0.5mg.L ⁻¹ en lauryl-sulfate
	Agents de surface	1mg.L ⁻¹
	Hydrocarbures dissous	5mg.L ⁻¹ en Zn ²⁺
	Zinc	1mg.L ⁻¹ en Ba ²⁺ pour les eaux superficielles
	Baryum	
	Paramètres concernant les substances toxiques	Arsenic
Cadmium		5 µg.L ⁻¹
Cyanures		50 µg.L ⁻¹
Chrome total		50 µg.L ⁻¹
Mercure		1 µg.L ⁻¹
Plomb		50 µg.L ⁻¹
Sélénium		10 µg.L ⁻¹
Pesticides (total 3 substances : parathion,HCH,dieldrine)		5 µm.L ⁻¹
Paramètres microbiologiques	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (6 substances données dans le décret n°89-3)	1µg.L ⁻¹
	Coliformes thermotolérants	20000 par 100mL
	Streptocoques fécaux	10000 par 100mL

I.3. L'eau en Algérie :

L'Algérie est un pays semi-aride et aride, dans lequel les ressources en eau sont généralement faibles et surtout extrêmement irrégulières et localisées :

- Dans le Sahara, les lits d'oueds recèlent quelques nappes phréatiques souvent saumâtres : Ghir, M'zab, Saoura, etc. sinon, ce sont des nappes profondes, semi-fossiles ou fossiles, et qui sont très peu utilisées.

- Dans le nord d'Algérie l'apport principale vient du ruissellement, après précipitation. Le régime d'un oued est caractérisé par le fait que durant des mois, voire des années, le lit mal délimité est parcouru par un filet d'eau trompeur et que, tout-à-coup, et pendant un temps bref, il roule jusqu'à 5000 m³/second provoquant une crue dévastatrice. En effet, elles sont croissantes d'Ouest en Est et affectent successivement les Monts de Tlemcen, le versant nord de l'Oursenis, le massif de la Kabylie, le nord Constantinois et enfin le massif des Aurès (*Arrus, 1985*).

I.4. Ressource des eaux :

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines¹, des eaux de surface retenues ou en écoulement² et des eaux de mer (*Jean-Claude, 1983*).

Le total des ressources : 2.10⁹ km³ dont 97% en Mer et Océans..... Donc reste 3% qui se trouvent ailleurs et qui est de l'eau principalement non salée. Dans ces 3% il y a :

- 18 % d'eaux profondes inexploitable.
- 77 % de glaces.
- 5 % autres constitué :
 - > 3.5 % dans les êtres vivants
 - > 1 % dans les rivières
 - > 5.5 % dans l'atmosphère
 - > 20 % eaux souterraines superficielles
 - > 30 % lacs salés
 - > 40 % lacs eaux douces. (*Papa, 2005*)

I.4.1. Eaux superficielles :

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine les eaux de ruissellement ou les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau puis de rivière.

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles³ ou artificielles⁴ caractérisées par une surface d'échanges eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé.

Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais, malheureusement, fragile et vulnérable, qui doit être protégée contre les divers facteurs de pollution qui la menacent.

Ces facteurs résultent, pour la plupart, de l'activité humaine et industrielle, mais aussi de processus naturels (eutrophisation: développement excessif d'algues et de plancton) qui peuvent dégrader la qualité de l'eau.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants ou hydrologiques. Au cours de son cheminement, l'eau dissout et se charge des différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, l'eau va se charger en gaz dissous (oxygène, gaz carbonique, azote).

Ce qui caractérise les eaux superficielles ce sont :

Les variations saisonnières (car climatiques) et à degré moindre, journalières des paramètres physiques : température, turbidité et coloration. Les concentrations en matières solides finement dispersées ou à l'état colloïdal peuvent être importantes, tout en étant aléatoires, suite à des pluies soudaines, des orages et des pollutions accidentelles

Le développement plus ou moins important de phytoplancton (algues), de zooplancton et dans certaines conditions, d'une vie aquatique intense.

La présence fréquente de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux après leur mort.

La fragilité de la ressource, très vulnérable à la pollution urbaine, industrielle et agricole. On y rencontre par suite très souvent une micropollution minérale (i.e. métaux lourds, sulfures) ou organique (i.e. hydrocarbures, phénols, solvants, pesticides, herbicides, etc.) pouvant avoir un caractère toxique ainsi que des substances azotées et phosphatées à l'origine des phénomènes d'eutrophisation.

Sur le plan bactériologique, ces eaux de surface sont contaminées plus ou moins par des bactéries (dont certaines pathogènes) et des virus. D'une manière générale, on doit considérer que les eaux de surface sont très rarement utilisables pour les besoins industriels et, a fortiori, pour la production d'eau potable à l'état brut, elles doivent être soumises à des traitements de purification qui dans certains cas peuvent être particulièrement sophistiqués.

I.4.2. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines constituent 20% des réserves d'eaux soit environ 1000 millions de m³, leur origine est due l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique, elles se réunissent en nappes ; il existe plusieurs types :

I.4.2.1. Nappes profondes :

Peuvent fournir des eaux naturellement peines utilisables à leur émergence naturelle (source) soit par forage ou par puits, sous réserves que soient protégés contre les infiltrations superficielles.

I.4.2.2. Nappes phréatiques :

Couramment exploitées en milieu rural par les puits, Malheureusement l'infiltration est importante et la nappe est souvent contaminée.

I.4.2.3. Nappes alluvionnaires :

Se sont des eaux qui circulent dans les alluvions des grands Oueds qui peuvent alimenter en eau les nappes phréatiques situées au niveau des berges des Oueds. Mais il y a possibilité de contamination par les infiltrations superficielles.

Les nappes d'eau souterraines peuvent se présenter en deux types, qui sont :

a. *Nappes libres :*

Elles sont directement alimentées par infiltration des eaux de ruissellement, donc elle est très sensible à la pollution de surface.

b. *Nappes captives :*

Elles sont séparées de la surface du sol par une couche imperméable. Elles ne sont pas alimentées directement par le sol. Par conséquent elles ne sont pas sensibles aux pollutions de surface (Hamed et al., 2012) .

I.5. Cycle de l'eau :

L'eau est la seule molécule à être présente sous trois états sur la terre : solide, liquide et gazeuse. L'eau peut changer d'état sans intervention humaine. Ces changements d'états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques présents dans l'atmosphère, donc de la pollution atmosphérique (Musy, 1998).

La figure ci-dessous regroupe les différentes étapes du cycle de l'eau (**Fig. 1**) :

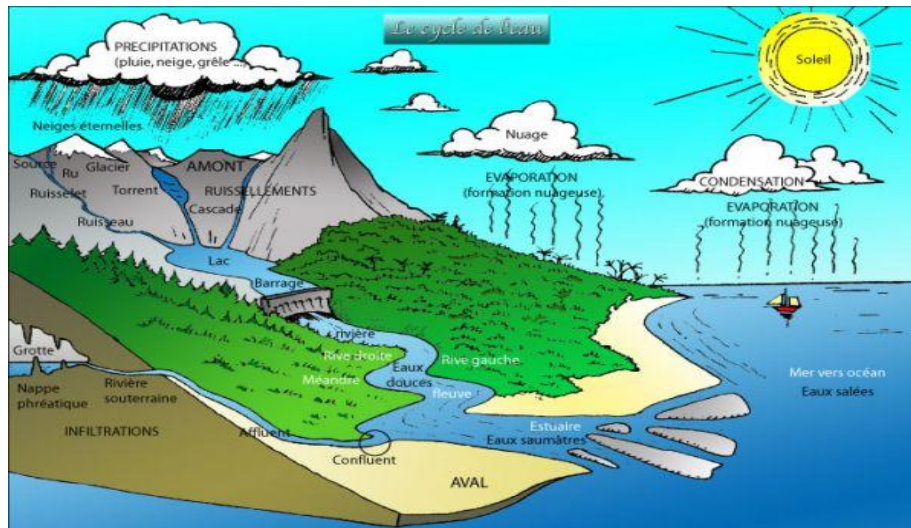


Figure. 1 Cycle de l'eau (Manumau, 2012)

Le « cycle de l'eau » définit l'ensemble des mécanismes qui concernent les mouvements d'eau et de renouvellement d'eau sur la Terre. C'est le circuit naturel de l'eau dans ses différents états entre les océans, l'atmosphère et les eaux des continents. C'est un cycle sans fin et continu.

Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore et devient de la vapeur d'eau qui forme les nuages.

Les nuages sont poussés par le vent. Lorsqu'ils traversent des régions froides, la vapeur d'eau se condense. Elle retombe sur le sol, sous forme de pluie, de neige ou de grêle.

L'eau ainsi retombée ruisselle sur le sol ou s'infiltré dans le sous-sol. Elle vient grossir les fleuves, qui eux-mêmes retournent à la mer et le cycle recommence.

Le cycle de l'eau en 6 étapes (*Neroucheff, 2011*) :

I.5.1. Evaporation et transpiration des végétaux :

Sous l'effet de l'énergie solaire, l'eau des mers et des océans s'évapore dans l'atmosphère sans le sel et les autres impuretés. L'évaporation est plus importante au niveau des océans qu'à l'intérieur des terres: lacs, rivières et fleuves. Donc, les rayons du soleil réchauffent l'eau des rivières, des fleuves, des lacs, des mers et des océans et le fait passer de l'état liquide à l'état de vapeur d'eau (gazeux) : c'est l'évaporation. Les plantes et les autres espèces végétales puisent l'eau dans le sol et la rejettent sous la forme de vapeur d'eau. Environ 10% des précipitations tombant sur la Terre proviennent de la transpiration des végétaux, le reste est en conséquence dû à l'évaporation. La transpiration des plantes et l'évaporation du sol humide libèrent de l'humidité qui s'élève dans l'atmosphère sous la forme de nuages.

I.5.2. L'action du vent :

Le vent déplace les nuages au-dessus des terres. Cela va donner lieu aux 2 étapes suivantes.

I.5.3. La condensation et les précipitations :

Au contact de l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et se transforme en petites gouttelettes qui vont être à l'origine de la formation des nuages qui sous l'action des vents vont se diriger vers l'intérieur des terres. Cette étape se nomme : la condensation. Transportés par la circulation atmosphérique, les nuages se déplacent et l'effet de la gravité aidant, l'eau retombe sur le sol sous forme d'eau, de neige ou de grêle (état liquide ou solide). Nous sommes en présence de précipitations.

I.5.4. Le ruissellement et l'infiltration :

L'eau qui n'est pas absorbée par le sol, ruisselle le long des pentes jusqu'à se déverser dans les rivières, les fleuves et les lacs. Elle sera ensuite transportée jusqu'aux mers et océans. Les ruisseaux, les rivières, les fleuves ou les lacs qui reçoivent les eaux de ruissellement sont appelés cours d'eau de drainage. L'eau de pluie s'écoule lorsqu'elle rencontre un sol imperméable et dévale de l'amont vers l'aval. Le ruissellement part de la source en passant par le ru, le ruisseau, le ruisseau, la rivière, le fleuve pour se jeter dans les mers et les océans. Nous avons donc : un ruissellement.

L'eau de pluie pénètre dans les sols perméables. En s'infiltrant dans un sol perméable, l'eau peut parfois remplir une poche souterraine⁵ et former un véritable réservoir d'eau. L'eau contenue dans ce réservoir (nappe d'eau ou nappe phréatique) trouve parfois un chemin naturel vers l'extérieur. L'endroit où jaillit l'eau hors du sol s'appelle la source. Certaines nappes d'eau souterraines, une fois découvertes, peuvent aussi être exploitées par l'homme comme réserves d'eau potable. Un peu moins de la moitié des précipitations vont recharger les nappes phréatiques, le reste part en évaporation. Ceci représente l'infiltration des eaux (*Neroucheff, 2005*).

I.6. L'eau potable :

La définition d'une eau potable repose sur des normes établies par une réglementation. Cette dernière varie d'une communauté économique ou d'un pays à l'autre et est évolutive (*Olivaux, 2007*).

Selon certaines normes, une eau potable est une eau qui ne porte pas atteinte à la santé.

En fait, il faut avoir à l'esprit qu'il existe deux définitions de l'eau potable, l'une est une définition réglementaire et l'autre est une définition médicale.

I.6.1. Définition réglementaire :

Une eau potable et une eau conforme aux normes réglementaires. Dans cette optique, l'eau du robinet et les eaux minérales embouteillées sont généralement potables, sauf accident.

I.6.2. Définition médicale :

Une eau potable et une eau qui ne rend pas malade, même à long terme. Dans cette optique médicale, ni l'eau du robinet ni les eaux minérales embouteillées ne sont pas potable, sauf exception (Olivaux, 2007).

Le tableau 4 démontre la circulaire du 5 septembre 1855 concernant la qualification des eaux de boissons :

Tableau 4. *Circulaire du 5 septembre 1855 concernant la qualification des eaux de boissons.* (Rejsek, 2002)

Paramètres	Eau très pure	Eau potable	Eau suspecte	Eau mauvaise
Chlore	<0.015	<0.040	0.050 à 0.100	>0.100
Acide sulfurique (g)	0.002 à 0.005	0.005 à 0.030	>0.030	>0.050
Oxygène emprunté au $KMnO_4$ en solution alcaline (g)	<0.001	<0.002	De 0.003 à 0.004	>0.004
Perte de poids du dépôt par la chaleur rouge (g)	<0.015	<0.040	De 0.040 à 0.070	Plus de 0.100
Degré hydrotimétrique total	5 à 15	15 à 30	>30	>100
Degré hydrotimétrique persistant après ébullition	2 à 5	5 à 12	12 à 18	>20

L'eau potable est une eau qui ne doit pas porter atteinte à celui qui la consomme.

Elle doit répondre à une série de critères, définis par l'arrêté du 11 janvier 2007 du ministère de la Santé:

■ **paramètres organoleptiques** : coloration, odeur, turbidité, saveur.

■ **paramètres physico-chimiques** : en relation avec la structure naturelle des eaux (température, PH, chlorures, sulfates).

■ **paramètres chimiques** : substances indésirables, toxiques.

■ **paramètres microbiologiques**.

■ **paramètres micropolluants**.

L'eau potable fait l'objet de contrôles sanitaires au point de captage, en production et en cours de distribution.

I.6.3. Le prélèvement de l'eau :

L'eau que nous utilisons est prélevée dans un cours d'eau, une nappe phréatique, une nappe captive ou encore une source.

Elle est ensuite traitée puis distribuée via le réseau public d'eau potable.

■ Les eaux de surface⁶, alimentées par le ruissellement des eaux de pluie, sont utilisées pour l'approvisionnement en eau d'une commune. Elles sont prélevées par captage au fil de l'eau, le plus souvent en amont de l'agglomération à desservir. Les prélèvements dans les eaux de surface doivent être gérés de façon à concilier les débits du cours d'eau et les besoins des consommateurs. Des réseaux d'observation qui permettent des études de qualité et de mesurer les débits, contribuent à cette gestion.

■ Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie. Elles constituent alors une nappe aquifère. De qualité constante, elles bénéficient également, vis-à-vis des pollutions, d'une meilleure protection que les eaux superficielles. Elles peuvent être captées à leur exutoire ou directement dans le sous-sol par forage. Les eaux tant souterraines que superficielles doivent bénéficier d'une protection réglementaire. Celle-ci est obligatoire pour tous les points de prélèvement ne bénéficiant pas d'une protection naturelle efficace.

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur. Selon ces normes, une eau potable doit être exempte de germes pathogènes (i.e. bactéries, virus) et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands. Elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée : il s'agit en particulier de substances qualifiées d'indésirables ou de toxiques, comme les nitrates et les phosphates, les métaux lourds, ou encore les hydrocarbures et les pesticides, pour lesquelles des " concentrations maximales admissibles " ont été définies. À l'inverse, la présence de certaines substances peut être jugée nécessaire comme les oligo-éléments indispensables à l'organisme.

Une eau potable doit aussi être une eau agréable à boire : elle doit être claire, avoir une bonne odeur et un bon goût. Pour avoir bon goût, il lui faut contenir un minimum de sels minéraux dissous (de 0,1 à 0,5 gramme par litre), lesquels sont par ailleurs indispensables à l'organisme. Enfin, elle ne doit pas corroder les canalisations afin d'arriver "propre" à la sortie des robinets (*Sabouret, 2007*).

I.6.4. Caractéristique de l'eau potable :

L'eau a toujours été une boisson importante pour la survie de l'homme et elle est indispensable à la survie de tous les organismes connus. Hors graisse, l'eau compose environ 70% du corps humain en masse. Il s'agit d'une composante essentielle des processus métaboliques, et les eaux potables servent de solvant pour de nombreux corps solutés (*Fortier, 2010*).

I.6.5. Une eau potable facile d'accès :

I.6.5.1. Eau du robinet :

La potabilité d'une eau inclut un pH compris entre 6,5 et 9,5. L'eau au robinet répond à cette norme physico-chimique. L'eau en bouteille, comme une eau minérale, est vendue pour la consommation publique dans le monde entier, parfois pour pallier au manque d'eau potable du robinet conforme aux normes de potabilités ou impropre à la consommation humaine.

La Directive Européenne 98/83/CE régit le domaine de l'eau potable et définit également les paramètres d'analyse qu'une eau doit subir pour être définie comme potable. Ainsi, cette directive fixe des valeurs maximales et minimales pour le contenu des minéraux et de divers ions tels que : chlorures, nitrates, nitrites, ammonium, Calcium, magnésium, phosphates, arsenic, entre autres, en plus d'agents pathogènes. Le pH de l'eau potable doit être compris entre 6,5 et 9,5. Les contrôles sur l'eau potable ont tendance à être plus sévères que les contrôles effectués sur l'eau minérale en bouteille (*Fortier, 2010*).

I.6.5.2. Eau de puits :

Un puits à eau ou un forage est un ouvrage de captage vertical permettant l'exploitation de l'eau d'une nappe, contenue dans les interstices ou dans les fissures d'une roche du sous-sol qu'on nomme aquifère. L'eau peut être remontée au niveau du sol soit de façon très simple grâce à un récipient (seau par exemple) soit plus facilement grâce à une pompe, manuelle ou motorisée.

Les puits et les forages sont très divers, que ce soit par leur profondeur, leur volume d'eau, leur coût ou la pureté de celle-ci, justiciable ou non d'un traitement avant de pouvoir être consommée (et qu'il convient d'ailleurs de contrôler non seulement à l'achèvement des ouvrages mais régulièrement). (AFD (Agence française de développement) : "Réalisation et gestion des forages équipés d'une pompe à motricité humaine en Afrique subsaharienne")

Avant d'être captée dans un puits, l'eau a subi de nombreuses évolutions, elle a ruisselé sur le sol, emporté avec elle des impuretés et des germes, et dissous des substances naturelles (calcaire, fer,...) ou polluantes (pesticides, métaux lourds,...). L'eau captée d'un forage est quant à elle, par définition, protégée des ruissellements de la surface, mais l'absence d'oxygène et la traversée de couches géologiques plus profondes l'expose à d'autres substances indésirables, comme le fer ferreux ou l'arsenic, ou la rende corrosive ou entartrant.

L'eau souterraine n'offre donc pas de garantie de salubrité, même loin des villes ou des industries, elle peut être contaminée par des substances indésirables et des germes pathogènes, et peut ainsi nuire à votre santé.

- Le forage du puits est susceptible d'entraîner une contamination du milieu à étudier. En effet, des bactéries peuvent être inoculées dans le milieu au cours du forage et de la construction du puits. Il sera alors difficile de discriminer les microorganismes propres au milieu, de ceux introduits au cours de l'opération de forage.

- Le forage lui-même constitue une modification du milieu, l'eau à proximité du puits n'étant probablement plus représentative de l'eau souterraine, on parle d'effet de puits. Par exemple, l'introduction d'oxygène est susceptible de modifier la diversité microbiologique de manière qualitative ou quantitative (prolifération de bactéries aérobies en milieu naturellement anaérobie par exemple) (Berbo, 2008).

I.6.6. Traitements de l'eau pour la rendre potable :

Plusieurs procédés de purification améliorent les propriétés de l'eau pour la rendre potable, l'exemple classique est l'ajout de chlore (par chloration ou chloramination) comme désinfectant; en même temps, du calcium est introduit pour élever le pH⁷ et préserver l'intégrité des tuyaux contre la corrosion des matériaux métalliques.

Le processus de conversion de l'eau ordinaire en eau potable est appelé purification. Les procédés de traitement pour atteindre le seuil de potabilité sont variés; par exemple une désinfection simple, pour éliminer les agents pathogènes, se fait habituellement par l'addition de composés chlorés, de rayonnement ultraviolet, l'application d'ozone, etc. ces procédures sont applicables à l'eau provenant de sources naturelles ou des eaux souterraines.

Si la source d'eau est de l'eau de surface d'un cours d'eau de rivière ou d'un lac, qu'ils soient naturels ou artificiels, le traitement consiste habituellement en un décapage des substances volatiles suivi d'une précipitation d'impuretés par floculation, filtration et désinfection avec du chlore ou de l'ozone.

Le cas extrême se produit lorsque les sources d'eau contiennent des sels et/ou des métaux lourds. Des procédés pour éliminer ces impuretés sont généralement compliquées et coûteuses. Dans les régions où les zones ont une faible pluviométrie, avec peu d'averses, la disponibilité des eaux marines est une alternative pour produire de l'eau potable par dessalement. Ceci est souvent accompli par osmose inverse ou distillation (Fortier, 2010).

I.7. Propriétés de l'eau :

L'eau est complexe, anormale, mystérieuse, inexplicée, exotique, exceptionnelle, particulière, et aussi c'est un élément rebelle, souple, labile et versatile au regard des autres liquides ; il se contracte quand on le chauffe, devient moins visqueux quand on le comprime et sa densité augmente en passant de l'état liquide à l'état solide (Olivaux, 2007).

I.7.1. Propriétés physiques :

I.7.1.1. Masse volumique :

La masse volumique varie avec la température et la pression, elle passe par un maximum à environ 4 °C. Cette propriété entraîne diverses conséquences, aussi bien dans la nature que dans les stations de traitement.

L'eau est considérée comme un fluide incompressible. Mais, en fait, c'est un fluide légèrement élastique (Rovel et al., 2005).

I.7.1.2. Propriétés thermiques :

L'importance des propriétés thermiques comme la chaleur massique et les enthalpies fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur (Rovel et al., 2005).

I.7.1.3. Viscosité :

C'est la propriété que présente un fluide (liquide ou gaz) d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes (exemple : turbulence), soit globaux (exemple: écoulement) (Rovel *et al.*, 2005).

I.7.1.4. Tension superficielle :

Elle caractérise une propriété des interfaces (surfaces limitant deux phases). Elle est définie comme une force de traction qui exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. La tension superficielle diminue avec l'augmentation de la température, et aussi l'addition de sels dissous augmente généralement la tension superficielle. Il existe d'autres corps qui la diminuent, ils sont appelés tensioactifs (exemple : détergents) (Rovel *et al.*, 2005).

I.7.1.5. Propriétés électriques :

L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 microsiemens par mètre à 20 °C (correspond à une résistivité de 23,8 mégohms-centimètres). Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température (Rovel *et al.*, 2005).

I.7.1.6. Propriétés optiques :

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Cette transparence est utilisée pour apprécier certaines formes de pollution et, en conséquence l'efficacité des traitements d'épuration (Rovel *et al.*, 2005).

I.7.1.7. Impuretés dans l'eau :

Les impuretés présentes dans l'eau constituent deux catégories :

- Matières en suspension : matières minérales ou organiques qui restent en suspension du fait de la turbulence de l'eau ou de leur densité trop voisine de celle de l'eau, elles sont sans interférence importante avec l'eau qui les entoure.
- Matières dissoutes : elles concernent des composés minéraux ou organiques, macromoléculaires, ainsi que des gaz souvent très solubles dans l'eau (Rovel *et al.*, 2005).

I.7.2. Propriétés chimiques :

I.7.2.1. L'eau solvant :

Le pouvoir solvatant de l'eau provoque l'altération partielle ou complète de divers liens entre les atomes (dissociation) et dans les molécules (ionisation) et du corps à dissoudre pour les remplacer par de nouveaux liens avec ses molécules propres (hydratation). Une solvation complète est une dissociation (Rovel *et al.*, 2005).

I.7.2.2. Ionisation :

Un composé minéral dissous dans l'eau se dissocie plus ou moins avec apparition d'ions chargés négativement⁸ et positivement⁹. Le corps dissous est appelé électrolyte ; il transporte le courant électrique (Rovel *et al.*, 2005).

I.7.2.3. Oxydoréduction :

Les phénomènes d'oxydoréduction présentent une grande importance dans toutes les technologies de l'eau. L'eau elle-même peut participer, suivant des conditions expérimentales et selon certaines réactions chimiques comme un donneur d'électrons (elle est réductrice) ou un accepteur d'électrons (elle est oxydante) (Rovel *et al.*, 2005).

I.7.2.4. L'eau et métabolisme cellulaire :

C'est dans le milieu extérieur où ils vivent que les organismes vont chercher les substances indispensables, appelées encore métabolites essentiels, nécessaires au maintien de leurs activités et de leur croissance voire de leur reproduction.

L'eau est non seulement indispensable à tous les êtres vivants, dont elle est le constituant majoritaire, mais elle représente en outre un milieu particulièrement propice à la dissémination des aliments et au fonctionnement des chaînes alimentaires. Ce qui concernera essentiellement la vie aquatique (*Rovel et al., 2005*).

I.8. Qualité de l'eau :

I.8.1. Qualité organoleptique :

I.8.1.1. Couleur :

Paramètre traduisant une nuisance d'ordre esthétique, la coloration des eaux peut :

Avoir une origine naturelle (présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances humiques dans les eaux de surface).

Être une des conséquences du phénomène d'eutrophisation (développement excessif d'algues et de plancton) des lacs, étangs, barrages,...etc.

Avoir une origine industrielle chimique (colorants des tanneries et de l'industrie textile d'impression et teintures) (*Mokeddem et al., 2005*).

I.8.1.2. Odeur et saveur :

L'odeur d'une eau est généralement un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition en quantité souvent si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler.

Toute eau possède une certaine saveur qui lui est propre et qui est due aux sels et aux gaz dissous.

Si elle renferme une trop grande quantité de chlore, l'eau aura une saveur saumâtre, si elle contient de forte quantité de sels de magnésium, l'eau aura un goût amer.

(*Mokeddem et al., 2005*)

Le tableau 5 représente les paramètres organoleptiques de qualité des eaux destinées à la consommation humaine :

Tableau 5. Paramètres organoleptiques de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. (*Rejsek, 2002*)

N°	Paramètres	Unités	Directives européenne		Décret n°89-3
			NG	CMA	
1	Couleur	Mg.L ⁻¹ pt/Co	1	20	15
2	Turbidité	FTU	0.4	4	2
3	Odeur	Taux de dilution	0	2 à 12°C 3 à 25°C	2 à 12°C

4	Saveur	Taux de dilution	0	2 à 12°C	3 à 25°C
				3 à 25°C	

I.8.2. Qualité physico-chimiques :

I.8.2.1. Qualité physique :

I.8.2.1.1. Température :

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond.

Selon leurs températures, les eaux naturelles sont classées comme suit ; hypothermies, hyperthermies (Hamed et al., 2012).

I.8.2.1.2. Dureté :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques calcium, magnésium, aluminium, fer, strontium etc. présents dans l'eau, les deux premiers cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}) étant généralement les plus abondants. Comme le calcium est un des ions les plus abondants, il devient donc un bon indicateur de la dureté de l'eau (Hamed et al., 2012).

Une eau à titre hydrotimétrique élevée est dit « dure » dans le cas contraire il s'agit d'une « douce ».

I.8.2.1.3. Résidu sec :

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux). Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/l.

I.8.2.1.4. Turbidité :

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons...), elles forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs.

Pour la sécurité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU (Hamed et al., 2012) .

I.8.2.1.5. Conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 et distantes l'une de l'autre de 1 cm.

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (Hamed et al., 2012).

I.8.2.1.6. Résistivité électrique :

La résistivité est l'inverse de la conductivité et permet de mesurer la minéralisation globale de l'eau.

1.8.2.1.7. Minéralisation globale :

La minéralisation traduit la teneur globale en sels minéraux dissous, tels que carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates, calcium, sodium, potassium, magnésium. Une minéralisation excessive donne un goût salé et peut avoir des effets laxatifs. La minéralisation des nappes d'eau souterraine dépend tout d'abord des roches traversées. Il y a bien sûr des variations saisonnières et d'une année sur l'autre.

Les eaux souterraines profondes ont une minéralisation plus stable dans le temps et plus importante que les eaux peu profondes (Hamed et al., 2012) .

Le tableau 6 démontre les normes et recommandation pour la minéralisation globale des eaux potables :

Tableau 6. Normes et recommandation pour la minéralisation globale des eaux potables (Hamed et al., 2012)

Minéralisation	Normes Unité	OMS	CEE		Canadienne		Algérienne		Marocaine		U.S.A	
			NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA
Ca	mg/l	75	100	-	-	-	75	200	-	-	-	-
Mg	mg/l	30-125	30	50	-	-	50	150	100	-	-	-
SO ₄	mg/l	250	25	250	150	500	200	400	200	-	50	250
Cl	mg/l	200- 600	25	200-600	250	250	200	500	300	750	<25	250
K	mg/l	10	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
Na	mg/l	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-

1.8.2.2. Qualité chimique :

La qualité chimique de l'eau est l'ensemble des caractéristiques générales de l'eau et des concentrations de minéraux dissous dans l'eau. Elle dépend des types de matériaux présents dans le sol et du temps de contact de l'eau avec ces matériaux. Le terme technique qui désigne les éléments à analyser est « paramètres » (Catherine, 2009).

1.8.2.2.1. Potentiel d'hydrogène pH :

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H⁺), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous.

1.8.2.2.2. Nitrates :

Les nitrates NO₃⁻ présents dans le sol, dans les eaux superficielles et souterraines résultent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux. L'ion ammonium formé est oxydé en nitrates. La présence de nitrates dans l'environnement est une conséquence naturelle du cycle de l'azote.

La dose journalière de nitrates admissible pour un homme de 70 kg est de l'ordre de 350 mg de nitrate de sodium par jour.

Les valeurs limitent des nitrates dans l'eau, varient de 25 mg/l (CEE) à 50 mg/l (OMS)

1.8.2.2.3. Nitrites :

Les nitrites NO₂⁻ proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Une eau renferme une quantité élevée de nitrites (supérieur à 1 mg/l d'eau).

Les valeurs limitent recommandées pour les nitrites dans l'eau de boisson, sont de 0,1mg/l pour les pays de l'union européenne et Algérie et des doses inférieures à 1 mg/l pour l'OMS.

1.8.2.2.4. Fluorures :

On considère généralement qu'une faible teneur en Fluorure dans l'eau (0,4 à 1 mg/l) est favorable à la formation de l'émail dentaire et protège les dents contre la carie.

Des doses supérieures à 2 mg/l risquent de faire apparaître des taches sur l'émail dentaire (fluorose) qui s'aggravent par des décalcifications et des chutes des dents.

1.8.2.2.5. Fer :

Les eaux de surfaces peuvent contenir jusqu'à 0.5 mg/l de fer qui peut avoir pour origine des terrains traversés ou les pollutions industrielles, dans les eaux de distribution, il provient plus souvent de la corrosion des conduites d'amenés. Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau. Il précipite à la suite du départ de l'anhydride carbonique et par oxydation à l'air.

Le fer de l'eau ne présente certes aucun inconvénient du point de vue physiologique, mais à des teneurs très importantes, il influe sur la qualité organoleptique de l'eau (mauvais goût, couleur et saveur).

1.8.2.2.6. Sodium :

Le sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie d'une région à une autre. Il n'existe pas de danger dans l'absorption des quantités relativement importantes de sodium sauf pour les malades hypertendus.

Pour les doses admissibles de sodium dans l'eau. Il faut qu'il ne dépasse pas 200 mg/l ; cependant les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtre et prennent un goût désagréable.

1.8.2.2.7. Sulfate :

Elles sont rencontrées sous forme de sulfates de magnésium et sous forme calcique dans les eaux dures. A fortes concentrations, ils peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux (en particulier chez les enfants). Ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable.

Les normes Algériennes préconisent pour les sulfates une concentration maximale acceptable de 200 mg/l (SO_4^{2-}) et une concentration maximale admissible de 400 mg/l (SO_4^{2-}).

1.8.2.2.8. Calcium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous formes de carbonates.

Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure...etc.

Les eaux de bonne qualité renferment de 200 à 250 mg en CaCO_3 /l. Les eaux qui dépassent 500 mg/l de CaCO_3 .

1.8.2.2.9. Chlorures :

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Ils peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation à travers des terrains salés.
- Infiltration d'eaux marines dans les nappes phréatiques.
- Activités humaines et industrielles.

Les normes Algériennes préconisent pour les chlorures une concentration maximale acceptable de 200 mg/l et une concentration maximale admissible de 500 mg/l.

Une présence excessive des chlorures dans l'eau d'alimentation, la rend corrosive pour les réseaux de distribution et nocive pour les plantes. Une forte fluctuation des chlorures dans le temps peut être considérée comme indice de pollution.

1.8.2.2.10. Potassium :

La teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l. A cette concentration, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus. Le seuil de perception gustative est variable suivant le consommateur, se situe aux environs de 340 mg/l pour les chlorures de potassium.

1.8.2.2.11. Magnésium :

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. Il est un élément indispensable pour la croissance. Il intervient comme élément plastique dans l'os et comme élément dynamique dans les systèmes enzymatique et hormonaux. Le magnésium constitue un élément significatif de dureté de l'eau. A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau potable.

1.8.2.2.12. Phosphates :

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle : décomposition de la matière organique ; lessivage des minéraux, ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), domestiques (poly-phosphate des détergents), engrais (pesticides...etc.).

En l'absence d'apport d'oxygène, les phosphates n'existent qu'à l'état de traces dans les eaux naturelles, leur introduction dans les eaux de surfaces (rivières, lacs) se fait par les eaux usées dont l'épuration est souvent insuffisante.

Concentration maximale admissible de phosphate en eau potable est 0.5 mg/l.

1.8.2.2.13. Matières organiques :

Les matières organiques susceptibles d'être rencontrées dans les eaux sont constituées par des produits de décomposition d'origine animale ou végétale, élaborés sous l'influence des microorganismes. L'inconvénient des matières organiques est de favoriser l'apparition de mauvais goût qui pourra être augmentés par la chloration.

Une eau riche en matière organique doit toujours être suspectée de contamination bactériologique ou chimique. Leur teneur est appréciée, le plus souvent, par des tests tels que la réduction du permanganate de potassium en milieu acide et en milieu alcalin. Les eaux très pures ont généralement une consommation en oxygène inférieur à 1 mg/l.

(Hamed et al., 2012)

Selon la classification de « Rodier » :

- Une eau est très pure pour des valeurs inférieures à 1mg/l.
- Une eau est dite potable pour des valeurs comprises entre 1 et 2mg/l.
- Une eau est suspecte pour des valeurs comprises entre 2 et 4mg/l.
- Une eau est mauvaise pour des valeurs supérieures à 4mg/l.

I.8.2.3. Normes Physico-chimiques de L'eau Potable :

Les normes visent à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue pas un risque pour la santé. Dans les recommandations, on propose également des objectifs esthétiques. Une eau de mauvaise qualité esthétique fait naître un doute sur sa salubrité dans l'esprit du consommateur. Une mauvaise qualité esthétique découle souvent d'une contamination chimique ou bactériologique, les différents paramètres physico-chimiques et recommandations de ces derniers sont représentés dans Le Tableau 7 qui suit :

Tableau 7. Normes Et Recommandations Pour Les Paramètres Physicochimiques de l'eau potable. (Hamed et al., 2012).

Paramètres Physico-chimique	Normes Unité	OMS	C.E.E		Canadienn ^e		Algérienne		U.S.A	
			NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA
pH	-	7-8.5	6.5	9.5	6.5	-	6.5	-	-	6
			7.5		8.5		8.5			8.5
Température	°C	-	-	-	<15	-	<25	-	-	-
Dureté total	mg/l	100	-	-	-	-	100	500	-	-
CaCO ₃										
Oxygène dissous	mg/l	5	-	-	-	-	-	-	Satura-tion	4
Conductivité	µs/cm à 20°C	-	-	-	-	-	-	2800	-	-
Résidu sec à 105°C	mg/l	-	-	-	-	-	500	2000	-	-
Turbidité	NTU	-	-	-	<1	5	-	-	*	-
Couleur	PtCo	-	-	-	<15	15	-	25	-	75
Matières dissoutes	mg/l	500	-	-	-	500	-	-	200	500
N-NH ₄ ⁺	mg/l	0	0.05	0.5	-	-	0.05	0.5	<0.01	0.5
N-NO ₃ ⁻	mg/l	50-100	25	50	10	10	-	50	*	10
N-NO ₂ ⁻	mg/l	-	-	0.3	-	-	-	0.1	*	10
PO ₄ ³⁻	mg/l	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-

H ₂ S	mg/l	0.05	0	0	0.5	0.5	-	0.02	*	-
------------------	------	------	---	---	-----	-----	---	------	---	---

I.8.3. Qualité microbiologique :

L'eau ne doit contenir ni microbe, ni bactérie pathologique, ni virus qui pourraient entraîner une contamination bactériologique et être la cause d'une épidémie.

Les dénombrements bactéries consistent à rechercher des germes aérobies, c'est-à-dire se développant en présence d'oxygène. Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques.

La présence de coliformes fécaux ou de Streptocoques fécaux indique une contamination de l'eau par des matières fécales. La présence d'autres coliformes, de Staphylocoques laisse supposer une contamination fécale. Dans les deux cas, des mesures doivent être prise pour interdire la consommation de l'eau ou en assurant le traitement (Rodier, 1996).

I.8.3.1. Flore microbienne de l'eau :

Les micro-organismes rencontrés dans l'eau sont très variés, leur nature dépend de celle de l'eau analysée ; eau de captage ou distribution, eau de traitement ou de circuits industriels, eaux résiduaires, ces micro-organismes sont classés en trois types :

- a. **Les germes typiquement aquatique** : ce sont des bactéries (vibrions, *Pseudomonas*...).
- b. **Les germes telluriques** : ce sont des bactéries sporulées (bacilles, *Clostridium*...) ou apportant aux germes *Streptomyces* et des spores fongiques.
- c. **Les germes de pollution humaine ou animale** : ce sont des germes souvent pathogènes et essentiellement d'origine intestinale (*E-coli*, *Salmonelles* et *Streptocoques* fécaux...).

On peut également rencontrer dans l'eau des parasites (kystes d'amibes) et des virus (poliomyélite virus des hépatites virales) (Berne, 1972).

I.8.3.2. Critères Bactériologiques de L'eau :

L'eau doit présenter également une potabilité du point de vue bactériologique, en effet celle-ci étant destinée à la consommation humaine, une eau potable doit satisfaire les conditions bactériologiques suivantes :

Ne pas contenir dans le cas d'une eau traitée des coliformes totaux et fécaux ni de *Clostridium* sulfito-réducteur, qui constituent des indicateurs de pollution par les matières fécales (Hamed et al., 2012) .

I.8.3.3. Paramètres bactériologiques de l'eau :

Les micros organismes à dénombrer ou à rechercher dans l'eau sont d'origines diverses :

a. Recherche des germes totaux à 22°C et 37°C pathogènes :

Certaines maladies infectieuses sont transmises à l'homme par absorption d'eau ou d'aliments pollués par une eau contenant des micro-organismes pathogènes. Les plus redoutables d'entre eux sont les salmonelles, responsables de la fièvre typhoïde et le vibron cholérique responsable du choléra. (Leryal, 2002)

b. Recherche des coliformes totaux :

Selon l'organisation internationale de standardisation, il s'agit de bacilles gram négatifs (BGN) non sporulés oxydase négative aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36°C et 37°C. (Leryal, 2002)

Elles existent dans les matières fécales mais se développent également dans les milieux naturels.

c. Recherche des Coliformes Thermo-tolérants :

Il s'agit des coliformes possédant les mêmes caractéristiques que les coliformes mais à 44°C, ils remplacent dans la majorité des cas l'appellation : (coliformes fécaux) on cite là l'exemple de E. coli qui produisent de l'indole à partir du tryptophane, fermentent le lactose ou le mannitol avec production d'acide et de gaz. Elle ne peut pas en général se reproduire dans les milieux aquatiques, leur présence dans l'eau indique une pollution fécale récente. (Leryal, 2002)

d. Recherche des streptocoques fécaux (37°C) :

Il s'agit de cocci à Gram positif (CGP) de forme sphérique ou ovoïde, se présentant en chaînettes plus ou moins longues, non sporulées aéro-anaérobies facultatives, ne possédant ni catalase ni oxydase, ce sont des hôtes normaux d'homme, et ne sont pas considérés comme pathogène. (Berne, 1972).

e. Recherche de Clostridium sulfito-réducteur :

En dehors des streptocoques fécaux et E. coli qui sont des indices de contamination fécale récente, du fait que leur survie dans l'eau peut être très courte, les clostridiums sulfito-réducteurs représentent l'indice d'une contamination fécale ancienne, ils sont résistants aux conditions défavorables grâce à la sporulation, ils sont des bactéries anaérobies strictes, sporulés, Gram positif réduisent les sulfites en sulfures et dont la plupart des espèces est mobile. (Gregorio et al., 2007)

I.8.3.4. Normes de la qualité bactériologique de l'eau potable :

Les deux groupes de micro-organismes les plus utilisés comme indicateurs de contamination bactérienne sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux, l'objectif visé est l'absence de coliforme dans 100 ml d'eau, mais si cet objectif n'est pas atteint le règlement sur l'eau potable a proposé les limites maximales suivantes qui sont présentés dans le tableau 8 qui suit :

Tableau 8. Normes Et Recommandation Pour La Qualité Bactériologique de L'eau potable. (Hamed et al., 2012)

Paramètres bactériologiques	Unités	Recommandation (OMS)
Germes totaux	Germe/ml	100
Coliformes fécaux	Germe /100ml	0
Streptocoques fécaux	Germe /100ml	0
Clostridium sulfito-réducteurs	Germe /20ml	0

• **Les coliformes totaux :**

Les coliformes totaux sont des bactéries en forme de bacilles, non sporulantes, Gram négative, aérobies facultatives et qui fermentent le lactose en 48 heures à 35 °C avec production de gaz. Les coliformes totaux ne sont pas nécessairement des bactéries originaires du système intestinal. Plusieurs bactéries qui font partie du groupe des coliformes totaux se retrouvent en fait sur les feuilles des arbres et sur toute autre forme de végétation. Donc, la présence de coliformes totaux ne veut pas dire à coup sûr que l'on se retrouve devant une contamination d'origine fécale (Bouchard, 2008).

- **Les coliformes fécaux :**

Les coliformes fécaux, ou thermotolérants, est considéré. Les coliformes fécaux sont en fait des coliformes qui poussent à des températures plus élevées, soit à partir de 44,5°C. Ces coliformes fécaux sont des bactéries que l'on retrouve dans la flore intestinale des animaux à sang chaud. La bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) fait partie des coliformes fécaux.

Comme la présence de ces bactéries dans une source d'eau ne peut pas être considérée comme normale, elle peut donc représenter une menace ou l'indication d'une éventuelle dégradation de la qualité microbiologique de l'eau, due à la présence d'une contamination fécale. Le mécanisme de transport de ces bactéries dans l'eau serait surtout le ruissellement des eaux de pluies sur le bassin versant, entraînant avec lui les microorganismes contenus dans la terre (Bouchard, 2008).

- **Streptocoques fécaux :**

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale. et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. L'identification de streptocoques fécaux donnera une confirmation importante du caractère fécal de pollution (Mebanned et al, 2014).

- **Salmonelles :**

Les *Salmonella* sont des bactéries qui sont largement répandues à travers le monde. Elles sont, en général, considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pouvoir pathogène varient énormément. Les hôtes naturels des *Salmonella* sont la population humaine, le bétail, les animaux domestiques, ainsi que les animaux sauvages, y compris les oiseaux. Êtres humains et animaux peuvent excréter des *Salmonella* tout en étant des porteurs asymptomatiques, de même qu'en cas de maladie. Par conséquent, il est impossible de les éliminer de l'environnement. Par infection des êtres humains, la transmission des *Salmonella* peut causer de graves maladies.

Dans la mesure où l'eau est un vecteur d'infection reconnu, la présence ou l'absence de *Salmonella* est contrôlée dans l'eau lorsque l'on considère qu'il existe un risque d'infection. Les *Salmonella* peuvent être présentes dans les eaux usées agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux destinées à la consommation humaine et les eaux souterraines, ainsi que dans les eaux de mer.

La recherche de *Salmonella* dans l'eau requiert habituellement une étape de concentration. Dans la mesure où les *Salmonella* peuvent être présentes en faible nombre et avoir subi une altération dans l'environnement aqueux, leur recherche dans l'eau nécessite habituellement une étape de préenrichissement (Anses, 2011).

- **Anaérobies sulfito-réductrices :**

Ce sont des formes résistantes d'organismes anaérobies, dont les plus fréquentes et les plus faciles à mettre en évidence sont les *Clostridies*. Elles sont normalement présentes dans les matières fécales mais en plus petite quantité qu'*E. Coli*. Elles sont également présentes dans le sol, les rivières. Leur absence dans une nappe souterraine ou une nappe alluviale est un signe d'efficacité de la filtration naturelle.

Les clostridium sulfito-réducteurs sont des germes capables de se reproduire et de se maintenir très longtemps dans l'eau sous une forme végétative :

- Leur présence dans l'eau, en l'absence de germes fécaux, peut être interprétée comme un défaut de protection de la nappe contre la présence d'une flore bactérienne étrangère, Les paramètres microbiologiques

- Du fait de leur similitude de comportement avec les parasites, les spores constituent un bon indicateur pour ces micro-organismes. En outre, ces formes résistent à la chloration. Ceci explique que pour ce

paramètre particulier, ce ne sont pas des bactéries elles-mêmes mais leurs spores qui sont recherchées. (Squinazi, 2017)

I.9. Contamination microbiologique de l'eau :

La contamination microbiologique est une forme de pollution de l'eau engendrée par la présence de microorganismes pathogènes tels que des virus, des parasites ou des bactéries. Ceux-ci peuvent présenter un risque pour la santé humaine ou animale.

- Elle présente un risque pour la santé publique humaine (ex. infection aux yeux, aux oreilles et à la peau, problèmes gastro-entériques, hépatites, méningites).
- Elle entraîne des restrictions d'usage (baignade, activités nautiques).
- Elle entre en conflit avec l'approvisionnement en eau potable.

Le principal problème de santé publique associé à la qualité microbienne de l'eau potable est celui des maladies entériques. Comme il serait irréaliste d'essayer de détecter tous les agents entéropathogènes connus susceptibles de contaminer les réseaux d'eau potable, la salubrité microbiologique s'y évalue par détection des indicateurs microbiens de pollution fécale. Il s'agit des organismes présents en grands nombres dans les matières fécales humaines ou animales. Leur détection signale un risque de contamination fécale (humaine ou animale) de la masse d'eau ou du réseau de distribution faisant l'objet du contrôle et, par conséquent, la présence possible d'agents entéropathogènes. En général, les indicateurs microbiens ne sont pas eux mêmes pathogènes chez l'humain. (Verhille, 2013)

- ***Escherichia coli (E. coli) :***

Seulement certaines souches d'*E.coli* sont capables de causer une maladie, et seulement sous certaines conditions (comme *E.coli* O157 :H7). Lorsque les résultats de laboratoire indiquent la présence de l'indicateur *E. coli*, il s'agit le plus souvent de souches non pathogènes. La détection de l'indicateur *E.coli* est une preuve incontestable de l'occurrence d'une contamination fécale récente et indique la présence potentielle de pathogènes entériques. Ceci ne s'applique cependant pas aux eaux tropicales dans lesquelles *E.coli* peuvent être détectés et se multiplier en l'absence de contamination fécale. La présence d'*E.coli* dans l'eau de boisson n'est pas tolérée comme le témoigne la Concentration Maximale Admissible (CMA) qui est d'aucune UFC détectable dans 100 ml. (Verhille, 2013).

I.10. Usage de l'eau :

Au fil de l'histoire, l'homme a développé de nombreux usages de l'eau : pour ses besoins quotidiens, pour ses activités économiques, pour ses loisirs... Chacun de ces usages nécessite ses propres contraintes en matière de quantité et de qualité des eaux utilisées et rejetées. Par ailleurs, les usages peuvent devenir source de pollution. (Moças, 2013)

I.10.1. Eaux de consommations :

Les eaux de consommation encore appelées eaux potables peuvent se présenter sous deux formes : **l'eau du robinet** et les **eaux minérales**.

Toutes les eaux de consommation doivent répondre aux mêmes normes de qualité, à l'exception des eaux minérales naturelles qui peuvent présenter des caractéristiques particulières. Elles permettent les usages domestiques de l'eau (cuisine, hygiène, arrosage...). Les critères de qualité, très stricts, sont fixés par le ministère chargé de la Santé.

I.10.2. Eau et agriculture :

Aujourd'hui, **l'agriculture absorbe plus de 70 % de l'eau consommée**. Cette consommation, conséquente à l'accroissement de la population et à l'amélioration des régimes alimentaires dans ce secteur, peut s'expliquer par **l'élevage et l'irrigation, de plus en plus** massive.

I.10.3. Eau et industrie :

La part des besoins en eau du secteur industriel ne s'élève qu'à 3%. L'eau accomplit des tâches industrielles multiples et variées, il réunit un ensemble de propriétés physiques et chimiques (comme solvant, fluide thermique ou simplement liquide facile à manipuler).

Le tableau 9 dévoile les usages de l'eau en fonction de sa qualité et de sa minéralisation :

Tableau 9. Usages de l'eau en fonction de sa qualité et de sa minéralisation. (Rejsek, 2002)

Classes de minéralisation	Qualité générale de l'eau			
	1A	1B	2	3
0	Eau potable Industrie alimentaire	Eau potable Industrie alimentaire	Irrigation	Irrigation
1	Eau potable Industrie alimentaire	Eau potable Industrie alimentaire	Irrigation	Irrigation
2	Abreuvement des animaux	Abreuvement des animaux	Eau industrielle Eau potable (traitement poussé)	Irrigation
3	Baignade Loisirs Poissons (vit et se reproduit normalement)	Baignade Loisirs Poissons (vit et se reproduit normalement)	Abreuvement des animaux	Autoépuration Navigation Refroidissement
4	Loisirs (contacts exceptionnels avec l'eau) Poisson (vit normalement mais reproduction aléatoire)	Loisirs (contacts exceptionnels avec l'eau) Poisson (vit normalement mais reproduction aléatoire)	Loisirs (contacts exceptionnels avec l'eau) Poisson (vit normalement mais reproduction aléatoire)	Autoépuration Poisson (survie aléatoire dans certaines circonstances)

Chapitre II

Eau source de vie ou vecteur de maladies

II.1. Généralités :

L'eau est une ressource précieuse et très indispensable autant pour les Hommes, les animaux, que les végétaux (*Brundtland, 2002*). Cependant elle peut être aussi une source de maladie quand elle est sujet de pollution. D'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé, cinq millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson.

La consommation d'une eau potable, facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, doit bénéficier d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques toxiques, ni germes pathogènes pour la santé (*Coulibaly, 2005*).

Indispensable à la vie et au progrès économique, elle constitue paradoxalement dans les pays du tiers monde le véhicule de transmission des maladies (*Dianou, 2002*) qui restent l'une des plus importantes causes de décès. En effet, plus de cinq millions de décès par an dans ces pays seraient dus à des maladies liées à l'eau, dont deux millions d'enfants de moins de cinq ans (*Santos, 2007*).

II.2. Pollution de l'eau :

La pollution des eaux est définie comme toute modification physique ou chimique de la qualité des eaux, qui a une influence négative sur les organismes vivants ou qui rend l'eau inadéquate aux usages souhaités.

Donc on dit que l'eau est polluée, lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement modifié par l'action de l'homme. (*Hamed et al., 2012*)

II.2.1. Origines des pollutions des eaux :

La pollution des eaux provient essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des précipitations, elle perturbe les conditions de vie de la flore et la faune aquatiques, elle compromet également l'utilisation de l'eau et l'équilibre du milieu aquatique.

Il est distingué quatre grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux pluviales, les eaux industrielles et les eaux agricoles. (*Hamed et al., 2012*)

II.2.1.1. Eaux domestiques :

Dans les eaux domestiques, il est distingué les eaux ménagères et les eaux vannes :

a. Eaux ménagères :

Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Les eaux des cuisines contiennent des matières insolubles (terre, débris divers), des matières extraites des aliments (organiques ou minérales) ainsi que les graisses provenant de la cuisson, par exemple : les eaux des salles de bains, les eaux des machines à lessiver qui renferment des savons et des détergents et des eaux de lavages des locaux qui sont riches en particules solides (terre, sable,...etc.) et surtout en détergents et désinfectants (eaux de javel, produit de base de chlore ou d'ammoniaque,...).

b. Eaux des vannes :

Il s'agit des rejets de toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et des germes fécaux.

II.2.1.2. Eaux pluviales :

Elles peuvent constituer la cause de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (i.e. fumées industrielles),

puis en ruissellent, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (i.e. huiles des vidanges, carburants, résidus de pneus et métaux lourds,...).

II.2.1.3. Eaux industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques, leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre en plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micros polluants organiques des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un pré traitement de la part des industries avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, elles sont mêlées aux eaux domestiques que l'on qu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

II.2.1.4. Eaux agricoles :

Sont particulièrement chargées en nitrates et phosphates qui provoquent l'eutrophisation des cours d'eau entraînant la prolifération des algues qui, lors de leur putréfaction, consomment l'oxygène dissous dans l'eau ce qui va perturber l'autoépuration. (*Hamed et al., 2012*)

Il existe 3 localisations des polluants :

- Les polluants des eaux brutes: Matières organiques, pesticides, métaux lourds, médicaments, cosmétiques, micro-organismes.
- Les polluants des méthodes de traitement de l'eau : Le chlore, ozone, sels toxiques.
- Les polluants des conduites d'eau : Métaux lourds, micro-organismes (*Olivaux, 2007*).

II.2.2. Pollution microbiologique :

La pollution microbiologique des eaux est le terme utilisé pour désigner la présence de bactéries et virus. Invisibles à l'œil nu, ces microorganismes à l'origine de contamination des eaux, proviennent d'hommes ou d'animaux qui hébergent dans leur appareil digestif, une quantité considérable de bactéries, voire de virus. (*Robert, 1999*)

Elle vient généralement de décharges, d'épandages d'eaux usées, de l'élevage, de fosses septiques, de fuites de canalisations et d'égouts, d'infiltration d'eaux superficielles, de matières fermentées ou du rejet d'eaux superficielle. Ces microorganismes nocifs peuvent générer des maladies graves dans les cas de contact ou d'ingestion de l'eau qui en est porteuse (*Hamed et al., 2012*).

Une eau brute peut contenir divers micro-organismes (bactéries, virus, parasites, levures, moisissures, algues) dont certaines peuvent être hautement pathogènes aussi bien pour l'humain que pour l'animal.

En raison de l'absence de filtration naturelle des eaux qui la composent, les eaux brutes de surface sont davantage sujettes à ce type de contaminations que les eaux souterraines. Les eaux brutes peuvent être des véhicules plus ou moins agressifs pour les micro-organismes transportés. Les contaminations par les pathogènes de l'eau peuvent être directes ou indirectes (intervention d'un « relais » tel qu'aliment ou support quelconque en contact avec l'eau).

Actuellement, dans les pays tempérés et développés comme la France, les grandes infections historiques d'origine hydrique ont disparu (choléra, dysenterie bacillaire, fièvres typhoïde et paratyphoïde). Les affections les plus fréquentes d'origine hydrique qui subsistent sont surtout des gastro-entérites, et des hépatites.

Les micro-organismes émergeant dans nos pays comme une menace pour la santé publique sont essentiellement des protozoaires (*Giardia*, *Cryptosporidium*), et des virus entériques.

Dans les pays chauds et/ou en voie de développement, les parasites, les protozoaires ou virus en particulier, continuent à poser un problème sanitaire important.

L'origine principale des contaminations de l'eau brute réside dans les eaux résiduaires, les déchets et excréments humains ou animaux, insuffisamment traités et/ou rejetés dans de mauvaises conditions dans le milieu naturel. (Robert, 1999).

II.3. Maladies d'origines hydriques :

Les maladies d'origine hydrique sont des maladies «de l'eau sale» causées par une eau qui a été contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques. Dans le monde entier, le manque de stations d'épuration des eaux usées et d'eau salubre destinée à la boisson, à la cuisson des aliments et à l'hygiène est responsable de plus de 12 millions de morts par an (Davison, 1992).

Les maladies d'origine hydrique englobent le choléra, la typhoïde, le *Shigella*, la polio, la méningite et l'hépatite A et B. Les êtres humains et les animaux peuvent être les hôtes des bactéries, des virus et des protozoaires qui causent ces maladies (Robert, 1999).

Il s'agit en premier lieu des « maladies hydriques » qui sont provoquées par de l'eau contaminée par des déchets humains, animaux ou chimiques. Elles comprennent entre autres le choléra, la typhoïde, la polio, la méningite, l'hépatite A et E, et la diarrhée.

Chaque jour, 6000 personnes meurent dans le monde à cause de maladies diarrhéiques. En 2001, on a ainsi dénombré près de 2 millions de morts, dont plus de la moitié sont des enfants. Ces maladies ont ainsi tué plus d'enfants au cours des 10 dernières années que tous les conflits armés depuis la fin de la seconde guerre mondiale.

La raison principale de cette situation catastrophique est la pauvreté. Nombre de population ne disposent pas d'eau potable, les aménagements indispensables aux traitements des eaux usées et à la fabrication de l'eau potable étant trop coûteux, ni même des soins que ces affections nécessitent, les infrastructures médicales n'étant pas suffisantes. Cependant, avec de simples mesures d'hygiène, la plupart de ces morts pourrait déjà être évitée. (Hugonin, 2011)

Des spécialistes classifient les maladies bactériologiques, virales ou parasitaires liées à l'eau en quatre catégories :

II.3.1. Les maladies véhiculées par l'eau :

Elles sont causées par l'ingestion d'eau souillée par de l'urine ou des excréments animaux ou humains contenant des bactéries ou des virus pathogènes. Elles incluent le choléra, la typhoïde, et autres maladies diarrhéiques.

II.3.2. Les maladies de l'hygiène :

Elles sont causées par une mauvaise hygiène personnelle et le contact des yeux ou de la peau avec de l'eau souillée. Elles incluent les gales, le trachome, le typhus et les maladies transmises par les puces, poux et tiques.

II.3.3. Les maladies liées à l'eau :

Elles sont causées par des parasites trouvés dans les organismes hôtes vivant dans l'eau. Elles incluent des maladies causées par des helminthes (vers). (Hugonin, 2011)

II.3.4. Les maladies transmises par des insectes qui se multiplient dans l'eau :

Elles incluent la dengue, la filariose, le paludisme ou malaria, la fièvre jaune (Olivaux, 2007).

Voici un tableau qui représente les principales bactéries pathogènes rencontrées dans les infections bactériennes d'origine hydrique :

Tableau 10. Principales bactéries responsables d'infections d'origine hydrique (Rejsek, 2002).

Bactéries	Maladies induites	Indications de la recherche
<i>Aeromonas</i>	Gastro-entérite syndrome cholérimforme	
<i>Clostridium perfringens</i>	Gastro-entérite	Contamination fécale peu spécifique
<i>Enterococcus</i>		Contamination fécale
<i>Escherichia coli</i> entérotoxiques et entéroinvasifs	Gastro-entérite et d'autres maladies	Contamination fécale
<i>Campylobacter jejuni</i> ou <i>coli</i>	Gastro-entérite	
<i>Legionella pneumophila</i>	Pneumopathie, fièvre	
<i>Leptospira</i>	Leptospirose ictéro-hémorragique	Maladie professionnelle
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infection cutanée, pus	Contamination de proximité
<i>Salmonella</i> Typhi et Paratyphi A	Fièvre typhoïde et paratyphoïdes	
<i>Salmonella</i> (autres)	Gastro-entérite	
<i>Shigella dysenteriae</i>	Dysenterie bacillaire	
<i>Shigella</i> (autres)	Gastro-entérite	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Infection cutanée	Contamination de proximité
<i>Vibrio</i>	Choléra, gastro-entérite, infection cutanées	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro-entérite	

II.4. Biologie de l'eau :

La directive cadre sur l'eau (DCE) vise l'évaluation de la qualité des eaux au regard d'un état chimique et écologique. L'état écologique, fondé principalement sur la biologie du milieu et la physico-chimie la soutenant, traduit la qualité de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

L'état biologique repose sur une expertise des espèces recensées dans le cours d'eau. Les peuplements en place sont impactés par les perturbations potentielles telles que la pollution, le prélèvement, un obstacle à la circulation, la disparition d'habitat.

L'ensemble des organismes constituent des bio-indicateurs de la qualité des eaux. Ces derniers réagissant différemment aux pressions qui influencent le milieu ; leur complémentarité permet de mieux caractériser l'état global des écosystèmes aquatiques (Moullama, 2016).

En effet, l'eau forme un réseau, un «continuum hydrique», dont nous avons peu conscience, qui va de la vapeur d'eau atmosphérique à l'hydratation des macromolécules de tout organisme vivant (ADN, protéines...).

Fondamentalement, l'eau constitue une interface constitutive et informative entre le monde inanimé¹⁰ et le monde animé¹¹.

- Interface constitutive car elle est l'élément majeur du monde minéral et biologique.
- Interface informative car au-delà de ses nombreux et essentiels rôles dans la physiologie et la biochimie du corps, de nombreuses observations et expérimentations nous montrent que les molécules d'eau constituent un important et vital vecteur d'informations biophysiques sous forme d'ondes électromagnétiques entre les milieux et les individus qui y vivent.

L'eau est la médiatrice entre l'environnement et le vivant.

Cependant, l'eau est paradoxalement quasiment absente des savoirs et des préoccupations de la médecine, de la nutrition et de la diététique ainsi que de la biologie (Olivaux, 2013).

II.5. L'eau santé et maladies :

L'eau douce est essentielle à la santé et au maintien des écosystèmes qui fournissent notre alimentation ainsi que d'autres biens et services essentiels. Environ 2,5% de l'eau présente sur terre est de l'eau douce, en bonne partie inaccessible.

La disponibilité de cette petite partie d'eau douce (dans les cours d'eau, les lacs et le sous-sol) est de plus en plus menacée par l'utilisation des terres, la déforestation, les changements climatiques et la consommation accrue d'eau douce en raison de la croissance démographique et du développement de l'industrie. En outre, la qualité de cette eau est menacée par l'augmentation de la pollution, en particulier due à l'urbanisation et à l'agriculture intensive. En protégeant les ressources en eau douce, nous préservons aussi notre santé.

Plus d'un milliard de personnes n'ont pas accès à une source d'eau sûre et 2,6 milliards de personnes ne disposent pas de moyens d'assainissement satisfaisants.

Pour boire et satisfaire ses besoins d'hygiène, chaque personne a besoin, chaque jour, de 20 à 50 litres d'eau ne contenant ni produits chimiques dangereux ni contaminants microbiens. Il est prouvé que les investissements en faveur de l'eau de boisson salubre et de l'amélioration de l'assainissement améliorent la santé et la productivité économique. Beaucoup reste à faire pour fournir ces services fondamentaux à une large part de la population (OMS, 2017).

II.5.1. Maladies de l'eau :

Les maladies dues à l'eau sont nombreuses : dans les pays en développement, 80% des maladies sont liées à l'eau et causent la mort prématurée de trois millions de personnes chaque année (*Source OMS*). Chaque année, 1,8 million de personnes, dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement, meurent de maladies diarrhéiques (y compris du choléra) et 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant ou à une hygiène défectueuse.

“Nous ne vaincrons ni le SIDA, ni la tuberculose, ni le paludisme, ni aucune autre maladie infectieuse qui frappe les pays en développement, avant d'avoir gagné le combat de l'eau potable, de l'assainissement et des soins de santé de base”. Kofi Annan, Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies 2002

Les maladies infectieuses d'origine hydrique font jusqu'à 3,2 millions de morts par an, ce qui représente environ 6% des décès dans le monde. La charge attribuable au manque d'eau, de moyens d'assainissement et d'hygiène équivaut à 1,8 million de décès et à la perte de plus de 75 millions d'années de vie en bonne santé. (*OMS, 2017*).

II.5.2. L'eau et ses vertus pour la santé :

Le corps est composé de 60 % à 70 % d'eau, selon la morphologie. Après l'oxygène, l'eau est l'élément le plus important pour la vie. Cette eau est indispensable à l'ensemble des processus vitaux. Les fluides occupent quasiment tous les espaces de notre corps, autant à l'intérieur des cellules qu'à l'extérieur. L'eau :

- maintient le volume de sang et de la lymphe;
- fournit la salive qui permet d'avaler les aliments;
- sert de lubrifiant pour les articulations et les yeux;
- maintient la température du corps;
- permet les réactions chimiques dans les cellules;
- permet l'absorption et le transport des nutriments ingérés;
- permet l'activité neurologique du cerveau;
- assure l'hydratation de la peau;
- élimine les déchets de la digestion et des divers processus métaboliques.

(*Dumoulin et al., 2005*)

Comme il permet aussi :

II.5.2.1. L'eau : pour une meilleure oxygénation du corps :

L'eau permet de garder notre corps humide, ce qui est essentiel pour la majorité de nos organes, notamment nos poumons qui doivent comprendre un fort taux d'humidité pour bien fonctionner. Des études ont montré un lien entre la consommation d'eau et ses effets sur la réduction de l'asthme.

II.5.2.2. L'eau : pour se détoxifier :

Notre organisme est souvent exposé à des toxines provenant de notre environnement externe. Boire de l'eau est une méthode simple, et naturelle, pour s'en débarrasser ; d'où l'importance d'en boire beaucoup.

II.5.2.3. L'eau : pour réguler le taux de sucre dans le sang :

Le niveau de sucre dans le sang joue un rôle important dans notre santé et dans notre bien-être général. Il est donc primordial de contrôler son niveau de sucre en buvant beaucoup d'eau et en mangeant des aliments hydratants comme des fruits frais.

II.5.2.4. L'eau : pour le fonctionnement de notre cerveau :

La déshydratation entraverait le bon fonctionnement de notre cerveau, ce qui aurait pour conséquence des problèmes de concentration ou encore des pertes de mémoire.

II.5.2.5. L'eau : comme remède contre la migraine :

Si vous souffrez souvent de migraines, cela pourrait être dû à une consommation trop faible d'eau! En effet, selon des études, les personnes qui ne consommeraient pas suffisamment d'eau souffriraient plus souvent de douleurs ou encore de crampes.

II.5.2.6. L'eau : pour la santé de nos muscles :

En gardant notre organisme suffisamment hydraté, nous garantissons par la même occasion une bonne lubrification de nos muscles ; ce qui est essentiel pour leur fonctionnement! De cette manière, on réduit le risque d'entorses ou de diverses blessures. (Nathalie, 2016)

II.6. L'eau un siège microbien :

Bien que pour certains auteurs ce terme n'englobe que les bactéries pathogènes, et pour d'autres l'ensemble des bactéries et des virus, les « microbes », au sens le plus large, constituent l'ensemble des organismes vivants, uni ou même pluricellulaires, que l'on ne peut observer qu'au microscope : bactéries, virus, microalgues, micro-invertébrés (en particulier les protozoaires) ; dans cette acception, «microbe » est synonyme de « micro-organisme ». (Piemont, 2011)

Certains d'entre eux sont pathogènes ; ils sont relativement peu nombreux par rapport à la population microbienne totale, mais peuvent être responsables de graves maladies hydriques ; parmi eux, on trouve soit des pathogènes opportunistes, soit des parasites stricts pour lesquels l'eau n'est qu'un moyen de transport.

D'autres peuvent au contraire jouer un rôle **utile** : producteurs primaires ou décomposeurs de la matière organique, agents de l'autoépuration dans le milieu naturel, acteurs de procédés biologiques dans les stations de traitement... (Piemont, 2011).

Parmi les microbes aquatiques, les bactéries jouent un rôle particulièrement important. Ces bactéries qu'on trouve dans l'eau il y a :

- Les coliformes totaux
- Les coliformes fécaux
- Les streptocoques
- Les salmonelles
- Les anaérobies sulfite-réductrices (ASR)

Et il y a plus de 90% des cas de **légionellose** impliquent la bactérie *Legionella pneumophila* qui fait partie de la flore aquatique. Cette espèce de *Legionella* est fréquemment retrouvée dans les sources d'eaux douces chaudes puisqu'elle vit et se multiplie dans des eaux dont la température est comprise entre 20 et 50°C. (Charline, 2017)

Les légionelles sont des bactéries qui croissent et se multiplient dans les eaux tièdes. Lorsqu'on les inhale, par exemple dans les vapeurs de la douche, elles se répandent dans les poumons et y prolifèrent. Cette infection peut être grave, voire mortelle, mais elle n'est pas contagieuse.

La légionelle est une bactérie très résistante qui peut s'associer à des amibes et tolère une large gamme de pH. Elle est peu sensible aux désinfectants classiques (de 20 à 50 mg/l de chlore ; les teneurs utilisées en piscines sont de 2 à 4 mg/l de chlore), mais détruite par une température élevée (en quelques heures à 50°, quelques minutes à 60° et quelques secondes à 70°) (Filtropure, 2010).

Il y a aussi le *Vibrio cholerae*, ou bacille virgule, est une autre bactérie qui est à l'origine du choléra. On retrouve le *Vibrio cholerae* dans les milieux aquatiques, plus particulièrement d'eaux douces et saumâtres. Entre humains, le *Vibrio cholerae* peut se transmettre par la sueur. La bactérie est présente principalement en Afrique et en Asie. Elle ne contamine pas les animaux, mais uniquement les humains. Le choléra est une maladie extrêmement contagieuse qui touche particulièrement les populations défavorisées, en raison de la surpopulation et de problèmes d'hygiène (Hordé, 2014).

Partie 2 : Méthodologie

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1. Objectifs :

L'objectif de cette étude est de suivre la qualité microbiologique de l'eau de boisson (eau de robinet, eau de puits) dans quatre cités différentes sise dans la wilaya de Mostaganem.

III.2. Échantillonnage :

Notre étude a été menée sur deux sources d'eau (eau de robinet, et eau de puits) relevant de la Wilaya de Mostaganem pendant le mois de Mars jusqu'à Mai de l'année 2017.

Les analyses ont porté sur 4 échantillons de l'eau de robinet et 3 autres échantillons d'eau de puits prélevés aléatoirement des zones du Centre ville de Mostaganem, Chemouma, Tijditt et Debdaba.

Une fois prélevés dans des flacons stériles, les échantillons sont enveloppés séparément avec de l'aluminium et ont été identifiés et placés directement dans le réfrigérateur, puis mises dans une glacière munie de carboglaces avant d'être acheminés au laboratoire. Les analyses ont été effectuées dans les 12 heures qui précèdent les prélèvements.

Les principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau sont : (*Diop, 2006*)

- Identité des préleveurs ;
- Date et heure de prélèvement ;
- Motif de la demande d'analyse ;
- Point de prélèvement d'eau ;
- et origine de l'eau (eau de robinet, eau de puits).

Les eaux doivent être prélevées dans des flacons stériles, il faut signalé qu'un examen bactériologique ne peut être interpréter que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toutes les contaminations accidentelles, correctement transporté au laboratoire et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes. (*Diop, 2006*)

III.2.1. Mode de prélèvement des échantillons :

III.2.1.1. Eau de robinet :

Les prélèvements ont été réalisés conformément à ce qui suit : (*Rejsek, 2002*)

- Eliminer les accessoires qui peuvent créer des éclaboussures et, avec un chiffon propre, nettoyer l'extérieur du robinet pour éliminer tout déchet ;
- Ouvrir le robinet à son débit maximum et laisser l'eau s'écouler pendant 1 à 2 minutes. Fermer le robinet ;
- Stériliser le robinet pendant 1 minute avec un coton imbibé d'alcool enflammé. Un petit chalumeau peut être utilisé ;
- Ouvrir doucement le robinet et laisser l'eau s'écouler, à un débit moyen pendant 1 à 2 minutes ;
- Ouvrir la bouteille stérile en enlevant la ficelle entourant le papier de protection ainsi que le coton qui bouche le flacon ;
- Ouvrir le paquet contenant le bouchon stérile du flacon ;
- Remplir le flacon en tenant le bouchon dans sa protection orientée vers le bas pour éviter que des poussières viennent se déposer à l'intérieur ;

- Un petit volume d'air doit rester à la surface de manière à faciliter l'agitation de l'eau avant de l'analyser ;
- Et fermer le flacon avec le bouchon qui sera recouvert par son enveloppe de protection.

III.2.1.2. Eau de puits :

Les prélèvements ont été réalisés comme suit : (*Alégoet, 2006*)

- Manipuler les flacons en prenant soin de ne pas toucher l'intérieur du flacon, du bouchon et le filetage, ... ;
- Ouvrir le flacon stérile et placer immédiatement le matériel dans l'eau ;
- Faire descendre l'ensemble dans le puits sans toucher les parois de celui-ci ni les éventuels matériels qui sont présents (le risque de frottement pouvant mettre en suspension des particules indésirables et non liées à la qualité de l'eau devant être analysée) ;
- Pendant le remplissage du flacon, si le bouchon est détachable, le tenir à l'écart de toute éclaboussure ;
- Prélever l'eau à une profondeur de 30 cm environ sous la surface en laissant un volume d'air d'environ 1/10 du volume du flacon ;
- Et reboucher immédiatement le flacon.

Voici un tableau qui démontre les critères d'acceptation des échantillons :

Tableau 11. *Critères d'acceptation des échantillons. (Institut Pasteur De Madagascar- LHAE, 2015)*

Type d'eau	Type de contenant	Condition de transport	Température limite de l'enceinte à l'arrivée au laboratoire
Eaux traitées	Flacon 500ml -10mg de thiosulfate de sodium -stérile	Transport réfrigéré en enceinte ou en glacière De préférence 18h après le prélèvement	Entre 1°C et 10°C
Eaux non traitées	Flacon 500ml-stérile	Transport réfrigéré en enceinte ou en glacière De préférence 18h après le prélèvement	Entre 1°C et 10°C

III.2.2. Mesures et contrôles :

III.2.2.1. Méthode par filtration :

a. *Principe* : (Rejsek, 2002)

L'échantillon d'eau à analyser est filtré à travers une membrane qui retient les microorganismes recherchés. La membrane est ensuite placée sur un milieu gélosé ou sur un tampon absorbant imprégné de bouillon de culture. Durant l'incubation, des colonies se forment à la surface de la membrane.

Cette technique permet de travailler sur des volumes importants d'échantillon et donc de concentrer les bactéries présentes en petit nombre sur un support de petite surface.

La présence de substances solubles dans l'eau peut perturber la croissance des microorganismes soit par modification de la composition du milieu de culture choisi, soit en raison de leur toxicité. Il arrive parfois que des substances contenues dans l'échantillon réagissent avec les composants du milieu de culture et modifient les réactions caractéristiques des microorganismes recherchés sans en modifier la croissance. La filtration sur membrane permet de surmonter ces inconvénients. Par contre, les matières en suspension provoquent des perturbations avec cette méthode, par colmatage de la membrane qui limite la filtration et empêche les échanges de substances nutritives du milieu avec les bactéries. Voici une figure qui présente un appareil de filtration :

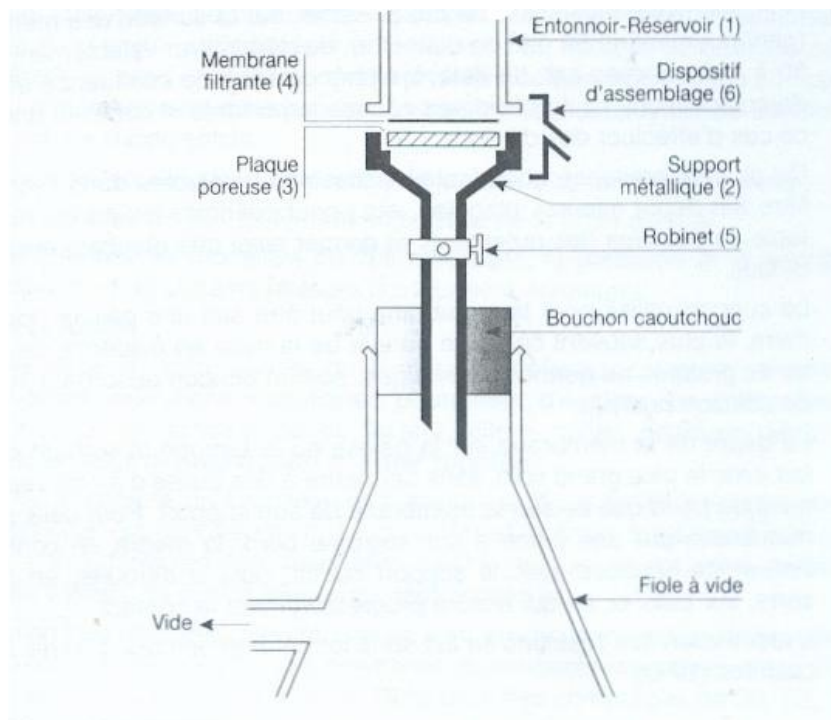


Figure. 2 Schéma représentant un appareil de filtration sur membranes. (Toxicoa, 2011)



Figure. 3 Méthode de filtration. (Photo prise au laboratoire d'hygiène W.M)

III.2.2.2. Mode opératoire : (Rejsek, 2002)

a. *Prise d'essai :*

La quantité maximale de prise d'essai dépend de la fiabilité de l'échantillon d'eau et des membranes utilisées. Avec des membranes dont les pores ont un diamètre de $0.45\mu\text{m}$, il est possible de filtrer plusieurs litres d'eau et d'obtenir ainsi une grande sensibilité pour l'essai ; cependant pour certains microorganismes, il faut utiliser des membranes de diamètre de pores $0.22\mu\text{m}$, ce qui limite le volume du fait d'un colmatage plus important. Dans notre cas d'étude, on a utilisé les membranes de diamètre de pores de $0.45\mu\text{m}$.

Le volume filtré est choisi de manière à obtenir moins de 100 colonies sur une membrane de 47 à 50 mm de diamètre. En règle générale, on utilise un volume de 100ml qui est le volume de référence de normes de potabilité.

b. *Filtration :*

L'étape de la filtration est réalisée comme suit :

- Flamber la face supérieure (plaque poreuse) de l'appareil ;
- Placer une membrane stérile, coté quadrillé vers le haut, sur le disque poreux de la base du filtre en ne saisissant que le bord extérieur de la membrane à l'aide d'une pince à mors plat, stérile ;
- Bien placer l'entonnoir stérile sur la base du filtre ;
- L'arrivée d'air étant fermée, rincer à l'eau distillée stérile l'entonnoir de la membrane, puis verser ou transférer à l'aide d'une pipette ou d'une fiole stérile le volume connu d'échantillon qui aura été au préalable agité soigneusement ;
- Enfin, ouvrir le robinet et faire un vide d'environ 70 kPa pour filtrer lentement l'eau à travers la membrane. Après la filtration de l'échantillon, rincer avec de l'eau distillée stérile (40 à 50 ml). Dès que la membrane paraît sèche, refermer le robinet.

c. *Transfert de la membrane :*

L'étape de transfert de la membrane est décrite comme suivant :

- Retirer l'entonnoir et transférer la membrane à l'aide de la même pince stérile sur un milieu gélosé adapté à la numération réalisée ;
- S'assurer que de l'air n'est pas emprisonné entre la membrane et le milieu de culture. Pour cela, saisir avec la pince la membrane à son extrême bord, la placer par son extrémité opposée en

contact avec la gélose ; puis appliquer la membrane sur la gélose en assurant progressivement le contact ;

- Si l'on doit filtrer un nouveau volume du même échantillon ou des dilutions de cet échantillon (les plus fortes dilutions doivent être filtrées les premières), l'entonnoir n'a pas besoin d'être stérilisé de nouveau. Pour filtrer un nouvel échantillon, utiliser un autre appareillage stérile, ou désinfecter l'entonnoir en le plongeant dans l'eau bouillante durant au moins 1 minute ou, s'il est en matériau inoxydable, le stériliser dans la flamme du bec bunsen.

III.3. Analyse microbiologique :

III.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et des coliformes thermotolérants : (ISO 9308-1, 2000)

III.3.1.1. Mode opératoire : (Rejsek, 2002)

a. Filtration :

- Filtrer 100ml de l'échantillon à analyser sur une membrane filtrante de 0.45µm de porosité.
- Placer la membrane sur une gélose lactosée au TTC et Tergitol 7.

b. Incubation et différenciation, essai standard :

- Incuber à $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant $21 \pm 3\text{h}$.
La norme précise, mais n'impose pas, une augmentation de la durée d'incubation jusqu'à 48h pour augmenter la sensibilité et si les boîtes ne présentent pas de colonies typiques après 24h. Egalement, une deuxième membrane incubée à 44°C peut être utilisée pour éviter le problème de la flore interférente mais n'est pas obligatoire.
- Après incubation, considérer les colonies lactose positif comme caractéristiques des coliformes totaux, quelle que soit leur taille, si le milieu présente une coloration jaune sous la membrane.
- Repiquer, de préférence, toutes les colonies caractéristiques, ou un nombre représentatif (au moins dix) sur :
 - ✓ une gélose non sélective comme la gélose Trypto Caséine Soja ; incuber à $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant $21 \pm 3\text{h}$.
 - ✓ un bouillon au tryptophane ; incuber à $44^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pendant $21 \pm 3\text{h}$.
- Après incubation, réaliser :
 - le test oxydase sur les colonies isolées sur la gélose ;
 - la recherche de la production d'indole sur le bouillon.

c. Incubation :

- Incuber les boîtes en les retournant.
- Placer une boîte à $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ pour les coliformes totaux et une boîte à $44^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pour les coliformes thermotolérants pendant 24 à 48h.
 - L'enceinte à 44°C doit avoir une température homogène et son atmosphère être chargée de vapeur d'eau. Placer au fond de l'étuve une cuve large, remplie d'eau en permanence.

d. lecture des résultats :

Considérer comme coliformes totaux, toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase.

Considérer comme *E.Coli*, toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase mais positive à l'indole.

e. Critère de potabilité : (Rejsek, 2002)

Décret n°89-3 (*relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, 1989*) :

- 95% des échantillons ne doivent pas contenir de coliformes/100ml ;
- Absence de coliformes thermotolérants/100ml.

Décret n°2001-1220 (*relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, 2001*) :

- Paramètres microbiologiques, partie A : absence d'*Escherichia Coli*/100ml.
- Paramètres indicateurs : absence de coliformes/100ml.

III.3.2. Recherche et dénombrement des entérocoques : (ISO 7899-2, 2000)

III.3.2.1. Principe : (Rejsek, 2002)

On procède à la filtration d'un volume donné d'échantillon d'eau sur membrane, puis au dépôt de la membrane sur un milieu gélosé sélectif contenant de l'azoture de sodium destiné à inhiber la croissance des bactéries Gram négatif. Ce milieu contient également du chlorure de triphényl2, 3,5, tétrazolium (TTC) qui permet de différencier les colonies qui le réduisent en formazan (rouge).

Après incubation durant $44\text{h} \pm 4\text{h}$ à $37^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, on procède au dénombrement des colonies qui présentent une coloration rouge, marron ou rose, pouvant être limitée à leur centre ou à leur périphérie, et provenant de la réduction par les entérocoques du TTC.

La confirmation du genre *Enterococcus* se fera par transfert de la membrane sur un milieu à l'esculine et incubation de ce milieu à $44^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ pendant 2 heures. Les colonies présentant une coloration foncée noire sur cette gélose seront dénombrées comme des entérocoques.

III.3.2.2. Mode opératoire : (Rejsek, 2002)

- Filtrer sur une membrane stérile (de porosité $0.45\mu\text{m}$) un volume adéquat d'échantillon, de façon à ce que le nombre de colonies après incubation soit inférieur à 100. La réglementation impose l'absence d'entérocoques dans 100ml d'une eau destinée à la consommation humaine ; pour ce type d'eau, le volume filtré sera donc de 100ml ;
- Déposer la membrane sur une boîte de Pétri contenant le milieu de Slanetz et Bartley avec du TTC. Veiller à ce qu'aucune bulle d'air ne s'interpose entre la membrane et la gélose ;
- Et enfin retourner la boîte aussi ainsi préparée et incuber à 37°C pendant $44\text{h} \pm 4\text{h}$.

a. Lecture :

Considérer comme entérocoques présumés toutes les colonies présentant une coloration rouge, marron ou rose, pouvant être limitée au centre ou à la périphérie.

b. Confirmation :

S'il y a des colonies d'entérocoques présumés sur la membrane, transférer celle-ci sans la retourner au moyen de la pince sur une boîte de milieu confirmatif (gélose bile esculine azide agar BEAA) préchauffé à 44°C. Placer 2h à 44°C.

Sur le milieu confirmatif, les entérocoques hydrolysent l'esculine. Le produit final, la dihydroxy-6,7 coumarine, se combine avec les ions fer (III) du milieu pour donner un composé de coloration noire qui diffuse dans le milieu. Considérer comme typiques les colonies présentant un halo noir dans le milieu environnant.

c. Critère de potabilité : (Rejsek, 2002)

Décret n°89-3 (*relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, 1989*) :

- Absence de streptocoques fécaux/100ml.

Décret 2001-1220 (*relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, 2001*) (partie A, paramètres microbiologique) :

- Absence d'entérocoques/100ml.

III.3.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de Clostridium sulfito-réducteurs :

III.3.3.1. Principe : (*Rejsek, 2002*)

Après destruction des formes végétatives par un chauffage à 80°C seules les spores vont persister dans l'échantillon ou dans ses dilutions. Cet échantillon chauffé est incorporé dans un milieu de base fondu, régénéré et additionné de sulfite de sodium et de sels de fer.

L'incorporation se fait dans un tube profond et non dans une boîte afin de réduire la surface de contact entre le milieu et l'air, de manière à limiter l'oxygénation du milieu de culture.

Après solidification et incubation, la présence de spores de bactéries sulfitoréductrices se traduit par un halo noir autour des colonies. Cette coloration est due à la germination des spores des bactéries dans le milieu de culture car elles se retrouvent dans un milieu favorable à leur développement. Ces bactéries vont, pour se développer, utiliser les sulfites et vont les réduire en sulfures qui vont réagir avec les sels de fer (III) présents dans le milieu pour former du sulfure de fer (FeS), précipité de couleur noire.

III.3.3.2. Mode opératoire : (*Rejsek, 2002*)

a. Destruction des formes végétatives :

- Chauffer l'échantillon d'eau à analyser après l'avoir homogénéisé soigneusement.
- Introduire 25mL d'échantillon dans tube de 220x22 mm et placer celui-ci dans un bain d'eau à 80°C ± °C, en vérifiant que cette température est atteinte à l'aide d'un thermomètre placé dans un tube témoin à coté des tubes d'échantillon.
- Maintenir l'échantillon à cette température pendant 10 minutes, puis refroidir rapidement à environ 55°C.

b. Préparation du milieu de culture :

- Placer 4 tubes de 20ml de gélose glucosé viande-foie dans un bain d'eau bouillant pour assurer la fusion du milieu. Maintenir 10 minutes dans ce bain d'eau pour la régénération du milieu (élimination de gaz dissous, en particulier l'oxygène).
- Refroidir rapidement à 55°C environ.
- Ajouter à chaque tube 1ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution de sels de fer. Mélanger doucement sans incorporer de bulles d'air.

c. Incubation :

- Dans 4 tubes stériles de 220x22 mm, répartir stérilement 5 ml de l'eau traitée précédemment.
- Ajouter dans chacun d'eux le contenu d'un tube de milieu, mélanger doucement sans incorporer d'air.
- Refroidir rapidement sous un courant d'eau froide pour éviter que l'air atmosphérique ne pénètre dans le milieu.
- Incuber à 37°C à l'étuve.

d. Dénombrement :

Faire une première lecture après 24 heures et une seconde après 48 heures. La première lecture est indispensable car, en présence de nombreuses colonies, la diffusion de la coloration noire à tout le tube peut rendre impossible le dénombrement au bout de 48 heures. Par contre, si les colonies sont petites ou peu nombreuses, la lecture au bout de 24 heures sera difficile et celle de 48 heures facilitera le dénombrement.

e. Lecture :

Considérer toute colonie entourée d'un halo noir comme provenant d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrices. Compter, sur les 4 tubes de culture, la totalité des colonies caractéristiques présentes qui correspondent aux spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices présentes dans 20ml d'eau analysée.

f. Critère de potabilité : (Rejsek, 2002)

Décret n°89-3 (*relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, 1989*) :

- Pas plus d'une spore de bactéries anaérobies sulfito-réductrices pour 200ml.

Décret n°2001-1220 (*relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles, 2001*) (paramètre indicateur) :

- Absence de bactéries sulfito-réductrices et de leurs spores dans 100ml si l'eau est d'origine superficielle. En cas de non-respect de cette valeur, une enquête doit être menée sur la distribution d'eau pour vérifier l'absence de microorganismes pathogènes ayant un comportement similaire à ces bactéries et, en particulier des *Cryptosporidium*.

III.3.4. Recherche et dénombrement des *Salmonella* : (ISO 6340, 1995)

III.3.4.1. Principe : (Rejsek, 2002)

Ce sont des bactéries Gram négatif, oxydase négative, anaérobie facultatives, asporulées, en forme de bâtonnet, qui forment des colonies typiques sur milieu sélectif solide. Elles présentent les caractéristiques biochimiques et sérologiques de ce genre d'entérobactéries. Le principe se divise en plusieurs étapes retrouvées dans le monde opératoire.

a. *Pré-enrichissement* :

Il permet aux bactéries fragilisées de croître. Si nécessaire, les échantillons sont concentrés par filtration sur membrane. La membrane filtranteensemencée est transférée dans un bouillon non sélectif pour une incubation à la température optimale pour les bactéries mésophiles. De plus, les salmonelles sont fréquemment en concentration relativement faible dans les eaux, avec une grande difficulté pour y survivre.

b. *Enrichissement sur milieu sélectif liquide* :

Il est nécessaire pour augmenter la proportion des salmonelles par rapport aux germes d'accompagnement, d'origine fécale (Coliformes ou *Streptocoques*) ou non fécale (*Pseudomonas*), qui ont tendance à supplanter les pathogènes qui disparaissent rapidement. Dans ce but, un inoculum provenant du bouillon de préenrichissement estensemencé sur un milieu sélectif (rappaport-Vassiliadis modifié) et incubé à température élevée pour augmenter la sélectivité.

c. *Sélection sur milieu gélosé* :

Après les phases d'enrichissement, des milieux d'isolement sélectifs sont utilisés. Afin d'accroître la probabilité de détecter des salmonelles, des milieux différents sontensemencés.

d. *Confirmation* :

La présence des colonies typiques de salmonelles sur les milieux gélosés sélectifs n'est pas une preuve suffisante de la présence de cette bactérie. Il est donc nécessaire de repiquer les colonies suspectes sur des milieux d'identification pour confirmer de manière biochimique et sérologique l'identification bactérienne.

Le résultat ne sera pas donné en nombre de *Salmonella* mais « présence ou absence » de ce germe dans le volume d'eau analysée.

III.3.4.2. Mode opératoire : (Rejsek, 2002)

a. *Pré-enrichissement* :

- Filtrer 5 litres d'échantillons sur une membrane stérile de 50mm de diamètre, et avec un diamètre de pore nominal de 0.45µm ;
- Placer le filtre dans 50ml d'eau peptonée tamponnée simple concentration ;
- Et incuber à 36°C ± 2°C pendant 16 à 20h.

b. Enrichissement sur milieux sélectifs liquides :

Transférer 0.1ml du bouillon de préenrichissement dans 10ml du milieu au vert de malachite et au chlorure de magnésium (Rappaport-Vassiliadis modifié), préalablement préchauffé à $42^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pendant 18 à 24h. Dans certains cas, pour augmenter la probabilité de détecter des *Salmonelles*, on peut transférer 1ml de bouillon de préenrichissement dans 100ml de milieu.

c. Isolement sur milieux gélosés :

- Repiquer une anse de milieu d'enrichissement sur deux des trois milieux suivants :
 - o gélose lactosée au rouge de phénol et au vert brillant ;
 - o gélose lysine xylose désoxycholate ;
 - o gélose au sulfite de bismuth.
- Incuber à $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 24h, ou 48h pour la gélose au sulfite de bismuth.

d. Confirmation :

- Prélever toutes les colonies (ou au moins cinq) de *Salmonelles*, typiques sur chaque milieu gélosé sélectif :
 - o gélose lactosée au rouge de phénol et au vert brillant : colonies rouges à légèrement rose-blanc et opaques avec un contour rouge ;
 - o gélose lysine xylose désoxycholate : colonies incolores, généralement avec un centre noir ;
 - o gélose au sulfite de bismuth : colonies noires, généralement entourées d'un reflet métallique.
- Etaler les colonies sélectionnées sur la surface des boîtes de gélose nutritive préalablement séchées.
- Incuber à $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 18 à 24h.

e. Lecture :

A partir des colonies isolées sur gélose nutritive, procéder à la confirmation biochimique en utilisant les caractères biochimiques distinctifs données par la norme *ISO 6340* et résumés dans le tableau suivant :

Tableau 12. Caractère biochimiques d'identification des salmonelles.

Caractère biochimique	Résultat	Milieu utilisé
Lactose	-	Milieu de Kligler
Glucose	+	Milieu de Kligler
Production d' H_2S	+	Milieu de Kligler
Urée	-	Gélose à Purée de Christensen
Lysine décarboxylase	+	Milieu LDC

Il est possible de réaliser l'identification biochimique par des galeries miniaturisées d'identification qui permettent d'avoir accès à un nombre de caractères biochimiques plus important et qui sont plus simples d'utilisation.

Voici une figure qui démontre la méthode de filtration sur membrane des *Salmonelles* (**Fig. 4**) :

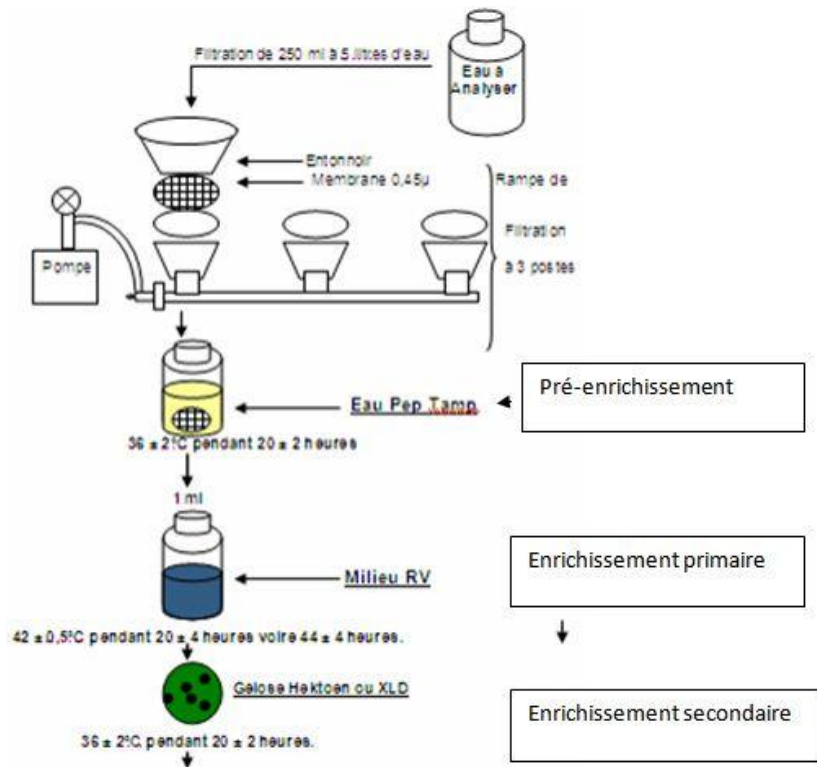


Figure 4. Schéma représentant la méthode de filtration sur membrane des *Salmonelles*. (Toxikoa, 2011)

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. Analyses bactériologiques de l'eau de robinet :

Une eau brute de bonne qualité bactériologique, doit être conforme aux normes nationales et internationales, et ne doit présenter aucune contamination aux germes pathogènes tels que les coliformes fécaux, totaux, les *Streptocoques* fécaux et les *Clostridium* sulfite réducteurs... (Rodier et al., 2005).

Les résultats d'analyses microbiologiques effectués le mois d'Avril 2017 dans différentes localités urbaines de la Wilaya de Mostaganem sont mentionnés dans le (Tableau 13).

Tableau 13. Evaluation de la qualité microbiologique de l'eau de robinet prélevée dans divers zones urbaines de la Wilaya de Mostaganem.

Date et heure des analyses	Paramètres	Lieu de prélèvement	Résultats d'analyses	Normes ISO	
				Niveau guide (NG)	Concentration Maximale Admise (CMA)
16/04/2017 à 18h	Coliformes totaux (UFC/100ml)	Centre ville	Absence	0	<10/100ml
		Tijditt	Absence		
		Chemouma	Absence		
		Debdaba	Absence		
16/04/2017 à 18h	Coliformes fécaux (UFC/100ml)	Centre ville	Absence	0	0/100ml
		Tijditt	Absence		
		Chemouma	Absence		
		Debdaba	Absence		
16/04/2017 à 18h	Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	Centre ville	Absence	0	0/100ml
		Tijditt	Absence		
		Chemouma	Absence		
		Debdaba	Absence		

16/04/2017 à 18h	Salmonelles (UFC/500ml)	Centre ville	Absence	0	0/500ml
		Tijditt	Absence		
		Chemouma	Absence		
		Debdaba	Absence		

Nos résultats montrent que l'eau de robinet prélevée dans les différentes zones de l'étude à savoir (Centre ville de Mostaganem, Tijditt, Chemouma et Debdaba) est de très bonne qualité microbiologique et ne présente aucune contamination aux germes coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux et salmonelles. Ces résultats sont certainement une conséquence de l'efficacité de désinfection induit par le chlore appliqué lors de l'opération de traitement de l'eau à l'usine avant son orientation aux consommateurs de la région.

En effet, le chlore ajouté au cours du traitement de l'eau sous forme d'hypochlorure de sodium exerce un effet bactéricide est efficace contre presque tous les microorganismes dont particulièrement ceux d'origine fécale. Il est facile de l'utiliser a de faible quantité, et il peut demeurer dans l'eau jusqu'au robinet du consommateur ; ce qui permet d'éviter toute recontamination par les micro-organismes entre l'usine de traitement et l'utilisateur. (*Santé Canada, 2004*). Cependant, selon l'OMS (1997) la concentration en chlore doit être inférieure à 0.5 mg/l.



Figure. 5 Coliformes totaux
« Chemouma »

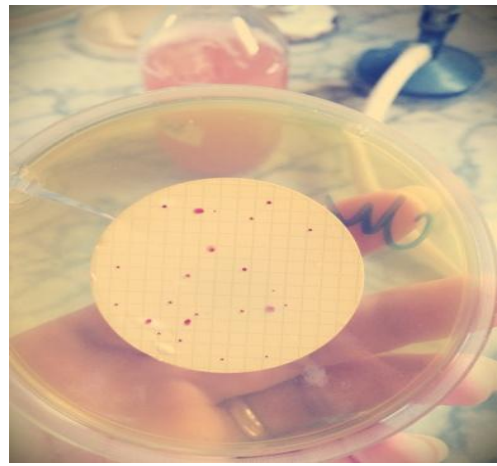


Figure. 6 Coliformes fécaux
« Chemouma »

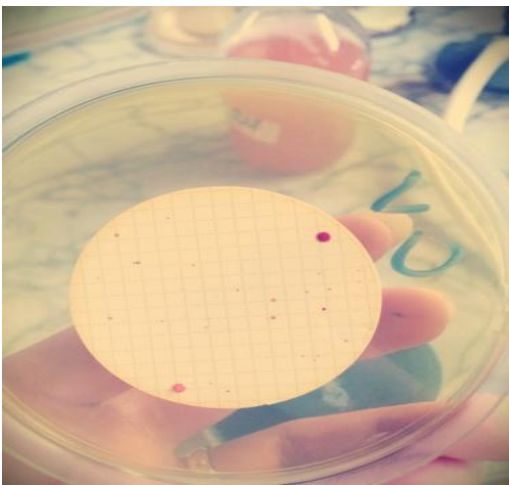


Figure. 7 Coliformes totaux
« Centre ville »



Figure. 8 Coliformes fécaux
« Centre ville »



Figure. 9 Streptocoques fécaux
« Tjiddit »



Figure. 10 Streptocoques fécaux
« Chemouma »



Figure. 11 Streptocoques fécaux
« Centre ville »



Figure. 12 Coliformes totaux
« Tijditt »

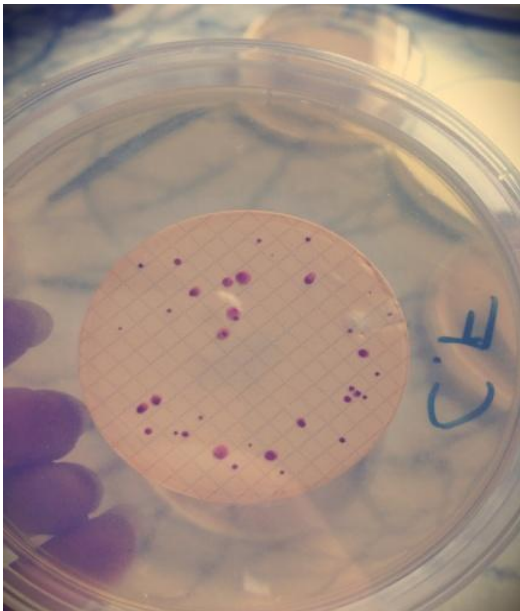


Figure. 13 Coliformes fécaux
« Tijditt »



Figure. 14 Salmonelle
« Debdaba »



Figure. 15 Coliformes totaux
« Debdaba »



Figure. 16 Streptocoques fécaux
« Debdaba »



Figure. 17 Coliformes fécaux
« Centre ville »

IV.2. Analyses bactériologiques de l'eau de puits :

Le (Tableau 13) ci-dessous évalue la qualité microbiologique de l'eau des puits recensée au niveau de trois zones relevant de la Wilaya de Mostaganem.

Tableau 14. Qualité microbiologique de l'eau des puits de trois zones de la Wilaya de Mostaganem.

Date et heure	Paramètres	Lieu de prélèvement	Résultats d'analyses microbiologiques	Normes ISO	
				NG	CMA
17/04/2017 à 19h	Coliformes totaux UFC/100ml	Tijditt : Zawya 1	Indénombrable	0	<10/100ml
		Tijditt : Zawya 2	120		
		Debdaba	Indénombrable		
17/04/2017 à 19h	Coliformes fécaux UFC/100ml	Tijditt : Zawya 1	0	0	0/100ml
		Tijditt : Zawya 2	8		
		Debdaba	0		
17/04/2017 à 19h	Streptocoques fécaux UFC/100ml	Tijditt : Zawya 1	200	0	0/100ml
		Tijditt : Zawya 2	60		
		Debdaba	1		
17/04/2017 à 19h	Anaérobies sulfito-réductrices UFC/100ml	Tijditt : Zawya 1	5	0	≥5/20ml
		Tijditt : Zawya 2	15		
		Debdaba	1		
17/04/2017 à 19h	Salmonelles UFC /500ml	Tijditt : Zawya 1	0	0	0/500ml
		Tijditt : Zawya 2	0		
		Debdaba	0		

Le nombre de coliformes totaux est invraisemblablement très élevé dans l'eau des puits des zones de l'étude et dépasse-la normale. Ces germes sont omniprésents dans la nature et sont associés à la matière organique en décomposition (pelouse, foin, bois, matières fécales, etc.) (Bellon, 2011)

Pour qu'une eau soit considérée potable, le résultat doit être impérativement de moins de 10 UFC (Unité Formant Colonie) par 100 ml (*ISO 9308-1, 2000*).

Lors du dénombrement des coliformes totaux, les résultats de l'analyse de l'eau de puits montrent que des bactéries sont également notées comme des colonies atypiques. Ces bactéries, comme leur nom l'indique, sont des bactéries présentant des caractères non typiques aux coliformes totaux et leur présence en nombre élevé est un signal d'alarme qui démontre une détérioration de la qualité de l'eau (*Exova, 2009*). Si le dénombrement de ceux-ci est supérieur à 200 UFC par 100 ml, cette eau est donc considérée impropre à la consommation et un nettoyage du puits doit être effectué. L'analyse des coliformes totaux permet donc d'obtenir les informations nécessaires sur la vulnérabilité possible d'un puits à la pollution de surface (*Exova, 2009*). Dès que leur nombre dépasse 10 UFC/100 ml, il est suggéré le plus souvent de procéder à une désinfection préventive du puits. La contamination par les coliformes totaux et/ou des colonies atypiques peut provenir soit d'une infiltration d'eau de surface dans le puits, soit d'une eau restée stagnante ou bien encore de l'encrassement de la tuyauterie.

L'eau de surface peut également être un vecteur pour l'apport de coliformes fécaux et/ou d'entérocoques (*Exova, 2009*). Seul le puits de la Zawya 2 relevant de la commune de Tidjdit accuse une forte charge (8UFC/100ml) en ce germe ; alors que l'eau des autres puits de l'étude n'accusent aucune contamination. La présence de coliformes fécaux et/ou d'entérocoques indique inéluctablement une présence d'une source de matières fécales (fumier, fosse septique ou autre) à l'origine de la contamination des eaux des puits. Si les entérocoques sont présents en nombre beaucoup plus élevé comme il a été remarqué dans le puits de la Zawya 2, il s'agit probablement d'une contamination résiduelle puisque les entérocoques survivent plus longtemps dans l'environnement (*Exova, 2009*). Aucun de ces germes ne doit être présent dans 100 ml d'eau potable pour que l'eau soit propre à la consommation. La quantité de l'eau en nombre de coliformes fécaux est acceptable si elle renferme moins de 1 UFC/100 ml. L'eau est non potable si elle contient plus de 1 UFC/100 ml. Il est essentiel de ne pas consommer cette eau avant de l'avoir fait bouillir durant 5 minutes. La désinfection du puits est fortement recommandée.

Les streptocoques fécaux sont beaucoup plus résistants à la désinfection notamment au chlore que la plupart des organismes pathogènes et des coliformes. Ceci leur confère un intérêt certain pour le contrôle de l'efficacité de traitement. Selon le bulletin d'analyses bactériologiques de la SDE (*Exova, 2009*) de 2005, leur dénombrement lors des analyses de contrôle est assez fréquent. Apparemment les eaux des puits objet de l'étude sont fortement contaminés aux germes streptocoques dépassant même la norme admise de 0UFC/100ML (*ISO 7899-2, 2000*). De plus, l'eau des puits de Tidjdit sont fortement chargés en ce germe que celle de la localité de DEDABA ; 60 à 200 UFC VS 1 UFC. La période la plus problématique pour ces puits de surface est l'hiver suite à l'accumulation des fortes pluies.

A coté des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux la présence dans les eaux de puits de germes anaérobie sulfito-réductrices indique clairement qu'elle est pratiquement impropre à la consommation humaine. Le recours donc à un traitement plus efficace de désinfection de cette eau s'impose afin de la protéger et d'assurer la sécurité sanitaire pour le consommateur. Cette procédure efficace de désinfection de l'eau des puits peut être décrite comme suit :

- Si possible, enlever les corps étrangers, dépôts, matières animales ou végétales à l'aide d'une puisette ;
 - Verser dans le puits la quantité requise d'eau de javel concentrée à raison (50 mg/l chlore libre (assure une désinfection efficace);
 - Ouvrir tous les robinets ; lorsque l'odeur de chlore devient perceptible, arrêter la pompe et fermer les robinets ;
 - Laisser reposer le tout pendant 24 heures ;
 - Ouvrir à nouveau tous les robinets jusqu'à ce que l'odeur de chlore disparaisse ;
 - Une semaine après la désinfection, un échantillon d'eau devra être prélevé pour effectuer des analyses bactériologiques ;
 - Il est conseillé aussi de faire une vérification microbiologique supplémentaire après 4 semaines.
- (Exova, 2006)



Figure 18. Coliformes fécaux

« Debdaba »



Figure 19. Coliformes totaux

« Debdaba »



Figure. 20 Ensemencement sur milieu hektoen pour les Salmonelles



Figure. 21 Ensemencement Salmonelle « Puits Debdaba »

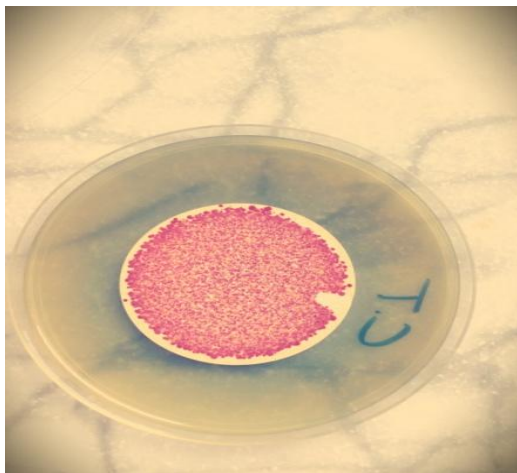


Figure. 22 Coliformes totaux « Puits n°1 Zawya »

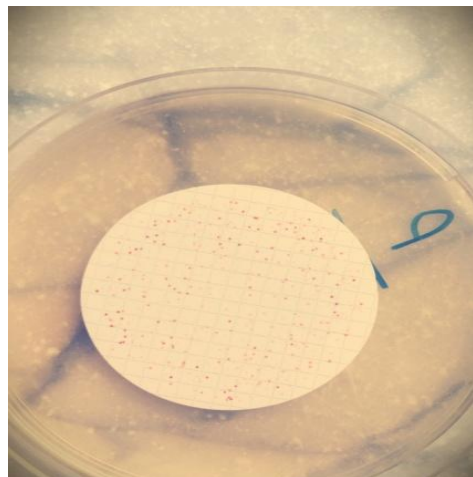


Figure. 23 Streptocoques fécaux « Puits n°2 Zawya »



Figure. 24 Anaérobies sulfito-réductrices
« Puits Debdeba » après 48H d'incubation



Figure. 25 Coliformes fécaux
« Puits n°1 Zawya »

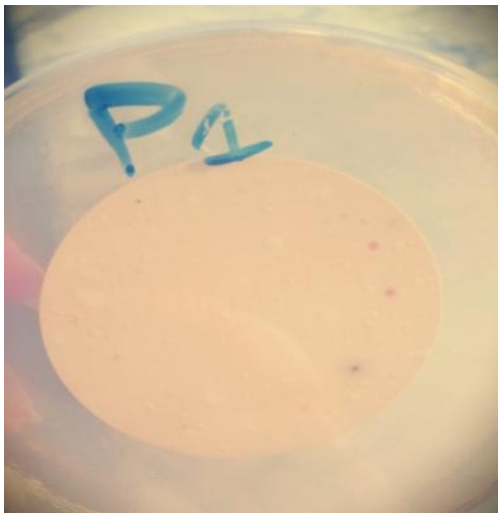


Figure. 26 Streptocoques fécaux
« Puits Debdeba »



Figure. 27 Streptocoques fécaux
« Puits n°1 Zawya »



Figure. 28 Anaérobies sulfito-réductrices « Puits n°1 Zawya » après 48h d'incubation



Figure. 29 Coliformes totaux

« Puits n°2 Zawya »



Figure. 30 Coliformes fécaux

« Puits n°2 Zawya »

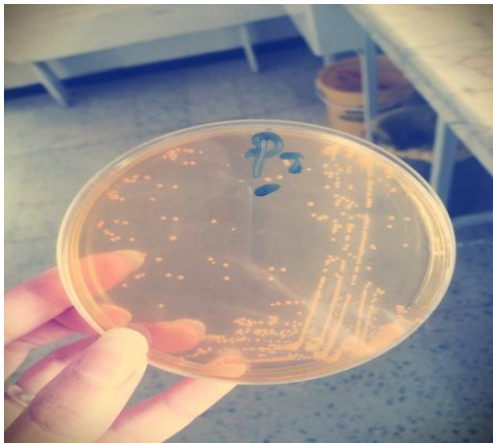


Figure. 31 Ensemencement Salmonelles

« Puits n°1 Zawya »



Figure. 32 Streptocoques fécaux

« Puits n°2 Zawya »



Figure. 33 Anaérobies sulfito-réductrices

« Puits n°2 Zawya » après 48h d'incubation

Conclusion :

L'analyse bactériologique de l'eau des puits effectuée dans la Wilaya de Mostaganem indique qu'elle renferme une charge importante en germe totaux, ainsi qu'en germes de contamination fécale. Tandis que, les échantillons d'eau de robinet prélevés dans les différentes zones de l'étude n'indiquent aucune présence de germes pathogènes pouvant nuire à la santé du consommateur de la région.

Les résultats des analyses de l'eau de robinet sont conformes et en accord aux normes ISO ainsi qu'aux exigences de l'OMS pour les eaux de boissons ou eaux destinées à la consommation humaine ; l'eau distribuée dans la région de Mostaganem est propre à la consommation et bien traitée.

Par contre, les eaux des puits recensés dans la région sont fortement contaminées aux germes d'origine fécale. Les résultats du dénombrement des germes coliformes fécaux et streptocoques fécaux sont supérieurs aux valeurs fixés par l'OMS et la réglementation en vigueur figurant dans le journal officiel de la République Algérienne ; cette eau est donc impropre à la consommation.

Ainsi, il est recommandé de faire analyser l'eau des puits au moins une à deux fois par année soit au début du printemps et/ou à l'automne (abondance d'eau). Une analyse est aussi souhaitable s'il y a longtemps que l'entretien du puits a été fait et/ou que le puits n'a pas été utilisé pendant une longue période de temps, lors de réparation majeure ou suite à une nouvelle installation de puits. Il est recommandé de procéder à la désinfection du puits avant d'effectuer les analyses. Et si les résultats de dénombrement des principaux germes dépassent les quantités acceptables, il faut rechercher la source de la contamination et remédier au problème dans l'immédiat.

Une désinfection de l'eau du puits avec de l'eau de Javel peut rétablir la situation. Après cette désinfection, il est indiqué de reprendre une analyse bactériologique afin de s'assurer de la qualité de l'eau. Si le problème persiste malgré les corrections, la désinfection est reprise et des analyses bactériologiques sont effectuées à nouveau. Si, après cette désinfection, le problème n'est toujours pas réglé, il est recommandé de se munir d'un système de traitement permanent.

Références bibliographiques

Arrus R. (1985). L'eau en Algérie de l'impérialisme au développement (1830- 1962).

Ed. *Office des publications universitaires*. Presses universitaires de Grenoble.

Allison K. (page consultée le 04/04/2017) OMS Organisation Mondiale de la Santé, Eau et Santé 2017.

Alégoet P. (2006) Contrôle sanitaire des eaux, Guide de prélèvements, Service Santé et Environnement, Rhône-Alpes – France, 34p.

Anses. « Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail » (page consultée 20/04/2017), *Salmonella spp.* 2011

Bouchard M. (2008). Évolution temporelle et modélisation des coliformes dans une source d'eau potable. Mémoire (M. Sc). *Université de Laval*. Québec. 98p.

Brundtland, G. H. (2002). Water for Health Enshrined as a Human Right.” World Health Organization press release.

Brian R. (2017) La crise de l'eau. De la pénurie à la gestion durable, 1^{ère} éd. *Deboeck*, Collection : Plaisirs des sciences, France, 192p.

Bellon O. (page consultée le 17/05/2017), Interprétation des résultats bactériologiques sur prélèvements d'eau froide sanitaire 2012.

Berho C. (2008) Procédures d'échantillonnage des eaux souterraines en vue d'une analyse microbiologique, Etude réalisée dans le cadre des projets de recherche du BRGM (géoscience pour une terre durable), Etat de l'Art Rapport Final, France, 26p.

Berne. F, Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière, *Édition TECHNIP*, 1972, 207 p.

Camara O. (2011) Pollution Microbiologique Des Eaux Souterraines Dans Le Quartier Tanghin De Ouagadougou : Etats Des Lieux Et Perspectives, Mémoire Pour L'obtention Du Master En Ingénierie DE L'eau Et De L'environnement Option : Environnement, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et De l'Environnement, Ouagadougou, 67p.

Coulibaly, K. (2005). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de BAMAKO. BAMAKO: Université de BAMAKO.

Charline D., Institut Pasteur (page consultée le 19/04/2017) Santé sur le net 2017.

Catherine. G, La qualité chimique de l'eau, 3^{ème} *Éditions*, Paris, 2009, p10.

Dumoulin L., Mantha M., Passeportsanté (page consultée le 10/05/2017), Eau Et Ses Vertus Pour La Santé 2005.

Exova. (page consultée le 24/05/2017), L'analyse Bactériologique De L'eau Potable Interprétation Des Résultats, Désinfection Et Conseils Préventifs, Canada, 2009.

Fortier J.F. Aquaportail (page consultée le 19/04/2017), Eau potable 2010.

Gregorio. C, Pierre-Marie. B, Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés, Presses Univ. Franche-Comté, 2007, 356 p.

Hamed M., Guettache A., Bouamer L. (2012) Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar, Mémoire De Fin D'Etude Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Biologie Option : Contrôle de Qualité et d'Analyse Faculté Des Sciences Et Technologies Département Des Sciences, Université de Bechar, Bechar, 134 p.

Hordé P., Santé médecine (page consultée le 19/04/2017) *Vibrio cholerae*-définition 2014.

Hugnin P. (page consultée le 17/05/2017), Eau Introduction aux thématiques 2011.

Institut Pasteur de Madagascar – LHAÉ. (Laboratoire d'hygiène des aliments et de l'environnement) (page consultée le 20/04/2017), Recommandation Sur Les Prélèvements D'échantillon En Vue D'une Analyse Microbiologique 2013.

Jean-Claude. B. Contrôle des Eaux Douces et de Consommation Humaine, *Edition Ed. Techniques Ingénieur*, 1983, pp 2-8.

Khalil Diop C.I. (2006), Etude De La Qualité Microbiologique Des Eaux De Boisson Conditionnées En Sachet Et Vendues Sur La Voie Publique Dans La Région De Dakar, Mémoire De Diplôme D'étude Approfondies De Productions Animales, Université Cheikh Anta Diop De Dakar, Sénégal, 43p.

Les agences de l'eau. (page consultée le 26/04/2017), L'eau potable, France, 2012

LAEASE. « Analyse de l'Eau, des Aliments et des Surfaces » (page consultée le 01/05/2017) Bactérie anaérobie sulfite-réductrices 2015.

Leyral. G, Ronnefoy. C, Guillet. F, Microbiologie et qualité des industries agroalimentaire, Paris, 2002, 245p.

Manumau. (page consultée le 15/04/2017), schématique du cycle de l'eau 2012.

Mehanned S., Zaid A., & Chahlaoui A. (2014). Caractérisation bactériologique du lac réservoir du barrage Sidi Chahed. *Larhyss Journal*.17 : 215-225.

Moza M., Ghosn A. (2013) État des lieux du secteur de l'eau en Algérie, Etudes et Analyses, IPEMED (Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen), France, 25p.

Moullama A. (page consultée le 10/05/2017), Office de l'eau Réunion, France, 2016.

Mokeddem. K, Ouddane. S, Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau De Source Sidi Yaakoub (Mostaganem), Mémoire d'ingénieur institut de biologie – Mascara, 2005, pp 18-22.

Neroucheff M. (page consultée le 15/04/2017), Cycle de l'eau 2011.

Nathalie. Alimentation et Santé (page consultée le 22/05/2017) Magazine diététique et Nutrition 2016.

Olivaux Y. (2007). La nature de l'eau. *Ed. Marco Pietteur*. France. 563 p.

Olivaux Y. Le blog des mondes de l'eau (page consultée le 23/05/2017), La nature de l'eau 2013.

OMS (W.H.O.): World Health Organisation. (2003). Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. *World Health Organisation*.

OMS (W.H.O.): World Health Organisation. (2006). Guidelines for Drinkingwater Quality, first addendum to third edition, Volume 1 Recommendations. Geneva. *World Health Organisation*.

Papa. M., Les Eaux A Usage Industriel, *Edition EP5*, 2005, p 17.

Piemont A. Memento degremont (page consultée le 28/05/2017), l'eau siège de vie microbienne 2011.

Rodier J., Legube B., Merlet N., Brunet R., Mialocq J C., Leroy P., Houssin M., Lavison G., Bechemin C., Vincent M., Rebouillon P., Moulin L., Chomodé P.,Dujardin P.,Gosselin S., Seux R., AlmardiniL F. (2009). L'analyse de l'eau. 9^{ème} Ed. *Dunod. France*. 1511 p.

Rodier. J., L'analyse De L'eau, Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires, 8^{ème} Edition, *Dunod, Paris*, 1996, 1335p.

Robert H. (1999) Qualité microbiologiques des eaux brutes distribuées par BRL : Exigences Et Conception D'un suivi Adapté, Mémoire De L'école Nationale De La santé Publique, Ingénieurs du génie sanitaire, France, 81p.

Rejsek F. (2002), « Analyse des eaux » Aspects réglementaires et techniques, *Edition : Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine*, Biologie technique – Sciences et techniques de l'environnement, **Figarella J., Leyral G.**, France, 361p.

Santos S. D. (2007). Usages et risques de la ressource en eau : point de vue de la population à Ouagadougou (Burkina Faso). Ouagadougou-Burkina Faso: LPED/IRD.

Sabouret J.F. CNRS « Centre National De La Recherche Scientifique (page consultée le 15/04/2017), L'eau potable 2007.

Squinazi F. (2017), Analyses en microbiologie- Environnement microbien (air, surfaces, eau), périodique 3355, volume n°2, 355p.

Santé Canada. (page consultée le 25/04/2017), Protéger l'eau dans les conduites 2009.

Thielborger P. (2014). The right(s) to water. Ed. *Springer-Verlag*. Berlin. 231p.

Toxikoa. Blog des étudiants en pharmacie de Constantine (page consultée le 05/05/2017), Bactériologie des eaux 2011.

Verhille S. (2013), Les indicateurs microbiens dans l'évaluation de l'eau potable : interpréter les résultats de laboratoire et comprendre leur signification pour la santé publique, Centre de collaboration nationale en santé environnementale, France, 13p.

Wikiwater. (page consultée le 01/05/2017), Les divers types de puits et de forages 2015.

Sites Webs:

<http://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/fr/>

<https://www.anses.fr/fr/system/files/MIC2011sa0057Fi.pdf>

http://cclin-sudest.chu-lyon.fr/Antennes/RA/Journees/JRFHH/2012/3_mai/3.O.Bellon.pdf

<https://www.sante-sur-le-net.com/fiches-info/maladies-infectieuses/legionellose/>

http://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Dossiers/ArticleComplementaire.aspx?doc=eau_questions_sante_do

http://www.lac-sainte-marie.com/documents/analyse_eau_interpretation.pdf

<https://www.aquaportail.com/definition-7160-eau-potable.html>

<file:///C:/Users/win/Downloads/vibrio-cholerae-definition-33176-mzpliz.pdf>

<http://cms.unige.ch/isdd/IMG/pdf/article-eau-final.pdf>

http://www.pasteur.mg/wp-content/uploads/2015/03/Recommandations_prelevement_eau.pdf

http://www.lesagencesdeleau.fr/wp-content/uploads/2012/07/9-Fiche-eau-potable_web.pdf

<http://www.laease.com/eau-anaerobies.html>

<https://www.intellego.fr/soutien-scolaire--/aide-scolaire-svt/telechargement-schemas-sur-le-cycle-de-leau/54139>

<http://www.eaureunion.fr/eau-milieu/la-biologie-dans-leau/>

<http://www.kayakwasquehalclub.com/uploads/324/cycle%20de%20l'eau.pdf>

<http://docteurbonnebouffe.com/15-raisons-boire-plus-deau-s-hydrater/>

<https://lanaturedeleau.blogspot.com/2013/05/nous-sommes-des-etres-hydriques-et.html>

<https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/l-eau-ses-proprietes/biologie-de-l-eau/l-eau-siege-de-vie-microbienne>

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/menuRessour.html>

<http://www.hc-sc.gc.ca/fniah-spnia/pubs/promotion/ environ/pipe-conduite/index-fra.php>

<https://toxikoa.wordpress.com/2011/06/09/bacteriologie-des-eaux/>

<http://www.wikiwater.fr/e28-les-divers-types-de-puits-et.html>

Annexe

Annexe :

1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes thermotolérants :

- *Milieu de culture :*

La membrane de filtration doit être déposée sur un des deux milieux gélosés lactosés et sélectifs suivants :

Gélose lactosée au TTC et Tergitol 7 (milieu de chapmann, modifié par R.Buttiaux)

Solution de TTC : dissoudre 0.05g de chlorure de 2, 3,5-triphényltérazolium (TTC) dans 100ml d'eau déminéralisée. Filtrer ou stréiliser 20 minutes à l'autoclave à 120°C.

Solution de Tergitol 7 : dissoudre 0.20g de tergitol 7 dans 100ml d'eau permutée. Gélose lactosée

Voici un tableau qui représente les composants du milieu (*tableau 1*) :

Tableau A.1. Composants et quantité du milieu de culture des coliformes totaux et thermotolérants.

Composants de base	Quantité
Extrait de viande	5g
Peptone	10g
Extrait de levure	6g
Lactose	20g
Bleu de bromothymol	0.05g
Agar	20g
Eau déminéralisée	1000 ml

2. Recherche et dénombrement des entérocoques :

- *Milieux de culture :*

Milieu présomptif : gélose pour entérocoques Slanetz et Bartley :

- Dissoudre les composants dans l'eau à ébullition et poursuivre le chauffage pendant 5 minutes. Refroidir entre 45°C et 50°C et ajouter 10ml d'une solution stérile de TTC à 1%.
- Couler en boîte de Pétri de 60mm de diamètre sur une épaisseur de 5mm et laisser refroidir sur une surface horizontale.

Les boîtes peuvent être conservées jusqu'à 30 jours à l'obscurité entre 2°C et 10°C.

L'azoture de sodium et un inhibiteur puissant de la respiration bactérienne et permet de sélectionner les entérocoques.

Voici un tableau qui représente les composants du milieu de culture (*tableau 2*) :

Tableau A.2. Composants et quantité du milieu de culture des entérocoques.

Composants de base	Quantité
Tryptose	20,0g
Extrait de levure	5,0g
Glucose	2,0g
Monohydrogénéophosphate de potassium	4,0g
Azoture de sodium	0,4g
Agar	8 à 18g
Eau déminéralisée	1000ml

Milieu confirmatif : gélose biliée à l'esculine et à l'azide (BEAA : bile esculine azide agar)

- Dissoudre les composants dans l'eau à ébullition, ajuster le pH à 7.2 ± 0.2 , stérilisé pendant 15 minutes à $121^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Refroidir entre 45°C et 50°C , verser dans des boîtes de Pétri de 60mm de diamètre sur une épaisseur de 5mm et laisser refroidir sur une surface horizontale.

Voici un tableau qui représente les composants du milieu confirmatif (tableau 3) :

Tableau A.3. Composants et quantité du milieu confirmatif des entérocoques.

Composants de base	Quantité
Peptone pancréatique de caséine	17,0g
Peptone de viande	3,0g
Extrait de levure	5,0g
Bile de bœuf déshydratée	10,0g
Chlorure de sodium	5,0g
Esculine	1,0g
Citrate double de fer (III) et d'ammonium	0,5g
Azoture de sodium	0,15 à 0.25g
Agar	8g à 18g
Eau déminéralisée	1000ml

3. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfito-réductrices :

- *Milieu de culture :*

Gélose glucosée viande-foie :

Répartir en tubes de 220x22 mm, puis stériliser pendant 15 minutes à 121°C à l'autoclave.

Voici un tableau qui représente les composants du milieu de culture (*tableau 4*) :

Tableau A.4. *Composants et quantité du milieu de culture des anaérobies sulfito-réductrices.*

Composant de base	Quantité
Base viande-foie	30g
Glucose	2g
Amidon	2g
Agar	11 à 18g
Eau	1000ml

Sulfite de sodium :

Dissoudre, dans 10ml d'eau, 1g de sulfite de sodium anhydre. Répartir, de préférence par filtration stérilisante, ou, à défaut, après ébullition douce, en tubes à usage unique, entièrement remplis et bouchés. Conserver à 4°C pendant 2 semaines maximum.

Sel de fer :

Dissoudre, dans 20ml d'eau, 1g de sulfite double d'ammonium et de fer (III) (alun de fer et d'ammonium). Répartir, de préférence par filtration, ou à défaut après ébullition douce, en tubes à usage unique, entièrement remplis et bouchés.

Conserver à 4°C pendant 2 semaines maximum.

Voici quelques statistiques du laboratoire d'hygiène de Mostaganem des mois d'Octobre, Novembre et Décembre de l'année 2016 : (*tableau 5*)

Tableau A.5. *Statistiques d'Octobre, Novembre et Décembre de l'année 2016. (Laboratoire d'hygiène – Mostaganem)*

	EAU DE BOISSON (Reseaux,Puits,Sources.Ect)			EAU USEE			EAU DE MER			AUTRES Eau/Piscines		
	Nombre Prélèvements	Positif	%	Nombre Prélèvements	Positif	%	Nombre Prélèvements	Positif	%	Nombre Prélèvement	Positif	%
Colimétrie (Coliformes totaux)	190	31	16,3 1%	10	10	100 %	12	12	100 %			
Coliformes (fécaux)	190	09	04,7 3%	10	00	00%	12	00	00%			
Streptometrie	190	20	10,5 2%	10	10	100 %	12	01	08,3 3%			
Flore aérobie mésophile Total à 22°C												
Flore aérobie mésophile à 37°C												
ASR	06	00	00%	10	10	100 %						
Salmonelle	190	00	00%	10	00	00%	12	00	00%			
Staphylocoques												
Pseudomonas												
Vibrionaceae V.NAG,V.Cholérique	04	00	00%	05	00	00%						
Contrôle du Chlore des E/B	190	23	12,1 0%									
Total	960	83	08,6 4%	55	30	54,5 4%	48	13	27,0 8%			