



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Evaluation de la qualité des eaux de la source Ain Chkef avant et après chloration

Présenté par :

◆ **AYYAD Fatima Zahra**

Encadré par :

◆ **Pr H. ZAITAN (FSTF)**

◆ **Mmes R. OUZZANI et O. SAIDI (RADEEF)**

Soutenu Le 07 Juin 2017 devant le jury composé de :

- **Pr H. ZAITAN**

- **Pr T. SAFFAJ**

- **Pr H. SOUHA**

Stage effectué à R.A.D.E.E.F

Année Universitaire 2016 / 2017

DEDICACES

C'est avec profonde gratitude et sincères mots,
Que je dédie cet humble travail de fin d'études,

A mes chers parents sources de tendresse,
Pour leur immense soutien, leur grand amour, leurs sacrifices, leurs conseils judicieux et leurs
prières, J'espère qu'un jour,
Je pourrai leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi,
Que dieu leur prête bonheur et longue vie.

A mes chers frères,
Aucun mot ne pourra décrire vos dévouements et vos sacrifices.
Et à tous les membres de Ma famille.

A tous mes chers amis.
A tous mes enseignants.
A tous ceux que j'aime.
A tous ceux qui m'aiment
Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Fatima Zahra.

REMERCIEMENT

Je profite par le biais de ce rapport, pour exprimer mes vifs remerciements à Mr. Y. LAKLALECH directeur général de la Régie Autonome de la Distribution d'Eau et d'Electricité (RADEEF) et Mr. MEZIANI chef de département EXEAS de m'avoir accueilli pour effectuer mon stage, en m'offrant ainsi la possibilité d'acquérir une expérience professionnelle très enrichissante.

J'adresse, aussi mes sincères considérations à Mme **Rachida OUAZZANI** responsable sur les analyses physico-chimiques et Mme **Ouadia SAIDI** responsable sur les analyses bactériologiques, pour m'avoir donné l'opportunité de passer ce stage dans les meilleures conditions de professionnalisme, matérielles et morales, et pour leurs directives et conduites.

Je tiens ensuite d'exprimer toutes mes reconnaissances à l'ensemble du personnel du laboratoire de contrôle de qualité de l'eau : cadres, employés et opérateurs pour leur soutien, leur aide et surtout pour leur sympathie.

Ma gratitude s'adresse également à Mr. **Hicham ZAITAN** pour son encadrement pédagogique très consistant ainsi que pour l'intérêt avec lequel il a suivi la progression de mon travail, pour ses conseils efficaces, ses judicieuses directives et pour les moyens qu'il a mis à ma disposition pour la réussite de ce travail tout au long de ma période de stage.

Je remercie, également les membres de jury Mr. **T. SAFFAJ** et Mr. **H. SOUHA** d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Sommaire :

LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION	1
PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
I. PRESENTATION DE LA RADEEF	3
1. Historique de la RADEEF	3
2. Ressources en eau potable	3
3. Aperçu sur le laboratoire de la RADEEF et ses activités	4
4. Organigramme du laboratoire contrôle qualité des eaux	5
II. Généralités sur l'eau	6
1. Types d'eau	6
a) Eau souterraine	6
b) Eau de surface	6
c) Eau de mer	6
2. Cycle de production d'eau potable	7
3. Traitement de l'eau par chloration	8
a) Rôle du chlore	9
b) Détermination du degré chlorométrique des eaux de javel	9
c) Demande en chlore	10
PARTIE 2 : CONTROLE DE QUALITE DE L'EAU POTABLE	12
I. INTRODUCTION	13
1. Présentation de la source Ain Chkef	13
2. Echantillonnage	13
II. ANALYSES ORGANOLEPTIQUES	14
1. Goût	14
2. Odeur	14
3. Couleur	15
III. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	15
1. Température	15
2. Potentiel d'hydrogène	15

3. Turbidité	16
4. Conductivité	16
5. Dosage des chlorures (méthode de Mohr)	17
6. Dosage des nitrates (méthode de salicylate de sodium)	17
7. Dosage des nitrites (méthode diazotation)	18
8. Dosage de l'ammonium (méthode au bleu d'indophénol)	19
9. Dosage des sulfates (méthode néphélométrique)	20
10. Détermination du chlore résiduel	21
IV. ANALYSES BACTERIOLOGIQUES	21
1. Stérilisation du matériel	21
2. Bactéries recherchées	22
3. Milieux de culture	23
4. Méthodes employées	23
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS	26
CONCLUSION GENERALE	31
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Milieux de culture utilisés pour le dénombrement des bactéries	25
Tableau 2 : Résultats des analyses organoleptiques et physico-chimiques	27
Tableau 3 : Résultats des analyses bactériologiques	28
Tableau 4 : Résultats des tests d'oxydase et d'indole	30

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme du laboratoire contrôle qualité des eaux	5
Figure 2: Cycle de production d'eau potable	7
Figure 3 : Station de chloration	9
Figure 4 : Compositions du chlore total	9
Figure 5 : Variation du chlore résiduel en fonction du Cl ₂ ajouté	11
Figure 6 : Source d'eau « Ain Chkef »	13
Figure 7 : Flacon stérilisé-Lampe à souder portative au gaz	14
Figure 8 : pH-mètre	15
Figure 9 : Turbidimètre	16
Figure 10 : Conductimètre	16
Figure 11 : Spectrophotomètre UV-visible	18
Figure 12 : Test DPD	21
Figure 13 : Bec bunsen-Autoclave	22
Figure 14 : Milieux de culture	23
Figure 15 : Filtration sur membrane	24
Figure 16 : Ensemencement en profondeur	25
Figure 17 : Milieu TSA	29
Figure 18 : Test d'oxydase-Test d'indole	30

INTRODUCTION

L'eau, aussi appelé l'or bleu, est une ressource naturelle essentielle à la vie. Elle ne doit pas être un bien marchand mais un patrimoine commun qu'il faut absolument défendre et protéger pour l'intérêt de tous. Elle peut être source de maladies. A cause de son lien étroit avec la santé, elle est devenue l'aliment le plus contrôlé dans le monde.

Afin de contrôler la qualité d'une eau ; il est nécessaire d'effectuer des analyses physico-chimiques et bactériologiques qui révèlent la présence de gaz, de matières minérales et de matières organiques en suspension ou en solution et éventuellement des micro-organismes. Plusieurs de ces composants ont une origine naturelle en prévenance des roches, du sol et de l'air ou de la vie humaine et animale. A ceux-ci vont s'ajouter les apports résultant des activités humaines : urbanisation, industrie, agriculture.

Les techniques physico-chimiques de traitement des systèmes de transfert et de stockage, peuvent aussi entraîner la présence de certains réactifs et éléments dans les eaux d'alimentation, phénomène plus important que l'eau a une dureté peu élevée et un PH faible. C'est la qualité et la quantité de ces divers constituants qui définissent une eau, précisent son aptitude à diverse utilisation.

Le contrôle de qualité de l'eau est indispensable avant de le destiner à la consommation. C'est dans ce contexte, que ce travail a été entrepris.

Le présent travail a pour objectif de contrôler la qualité de l'eau souterraine de la source AIN CHKEF.

Ce manuscrit comprend trois parties :

- Le rapport sera entamé par une introduction générale,
- o La première partie permettra de présenter une étude bibliographique.
- o La deuxième partie sera consacrée à une exposition de matériels et des méthodologies du travail effectué au laboratoire de contrôle.
- o Les résultats et discussions relatives aux analyses organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques seront traitées dans la dernière partie.
- Le rapport sera terminé par une conclusion générale.

Partie 1 : Etude bibliographique

I. Présentation de la RADEEF : [1]

Ces dernières années, la ville de Fès a connu une extension tellement considérable que son approvisionnement en eau et électricité qui est devenu une tâche lourde à assurer, une extension tant sur le plan industriel que celui de l'habitat. Par conséquent les besoins de la population sont croissants. Cette tâche revient à un établissement public à caractère social, industriel et commercial connu sous la dénomination : **RADEEF** ; Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la Wilaya de Fès.

1. Historique de la R.A.D.E.E.F :

La RADEEF a été créé par délibération du Conseil Municipale de la ville de Fès en date du 30 Avril 1969, suite à l'expiration de la concession de la distribution d'énergie électrique auparavant exercée par la compagnie Fassie (compagnie française du temps du protectorat).

Actuellement, la RADEEF assure la distribution de l'eau et de l'électricité ainsi que la gestion du réseau d'assainissement liquide l'intérieur de la ville de Fès et de la commune Ain Chkef.

La RADEEF est structurée en trois divisions :

- La division EAU : son but principal est la gestion et l'entretien du réseau d'eau potable de la Wilaya sans oublier l'amélioration des performances des installations et la réalisation des extensions nécessaires.
- La division Electricité : La régie assure la distribution de l'énergie électrique à plus de 1.076.251 habitants répartis sur l'ensemble du territoire de la préfecture de Fès.
- La division Assainissement : elle est chargée de l'exploitation et de l'entretien de réseau d'assainissement liquide, et aussi l'étude et la réalisation de nouveaux équipements.

2. Ressources en eau potable :

La régie assure l'alimentation en eau potable de la ville de FES et des centres à partir :

- Une production RADEEF : Forages et Sources (24%).
- Une production ONEP : Forages et eau traitée de l'oued Sebou (76%).

La production propre de la RADEEF ; est composée de 2 sources et 10 forages artésiens.

❖ Sources propres de la RADEEF :

- Source Ain chkef : est une source naturelle avec très bonne qualité d'eau, avec un débit de 190 l/s. Source avec station de pompage, qui pompe l'eau vers le réservoir sud.

- Source Ain bourkais : est une source naturelle plus petite que la source Ain Chkef, avec un débit de 50 l/s. Elle pompe l'eau vers le réservoir route Imouzzer, source sans station de pompage, l'écoulement se fait de façon gravitaire.

❖ Forages propres de la RADEEF :

La RADEEF est composée des 10 forages artésiens propres, ils exploitent une nappe captive, c'est à dire qu'il est compris entre deux couches imperméables, avec des conditions des pressions élevées.

3. Aperçu sur le laboratoire de la RADEEF et ses activités :

La Régie dispose d'un laboratoire d'analyses, de contrôle et de surveillance de la qualité des eaux, qui a été créé en 1976 au siège de la RADEEF puis il fut transféré près du réservoir sud west en janvier 1993. Il a pour but d'assurer que l'eau du robinet ne présente aucun risque pour la santé.

Le laboratoire est composé de deux cellules : Une cellule d'analyses ; d'autre de compteurs, la première est constituée de 4 salles :

- Une salle de conservation des produits chimiques nécessaires pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques.
- Une salle pour lavage et stérilisation du matériel équipée d'une étuve, bec bunsen, autoclave, four, hôte d'aspiration.
- Une salle d'analyses physico-chimiques équipée de matériels suivant : Turbidimètre, Conductimètre, pH-mètre, balance, spectrophotomètre, four, agitateur mécanique et la verrerie nécessaire.
- Une salle d'analyses bactériologiques équipée d'appareil : Trois incubateurs à différents thermomètres, deux réfrigérateurs, four, hôte d'aspiration, pompe d'aspiration, pompe de filtration, bain marie, une étuve et de la verrerie nécessaire aux analyses bactériologiques.

➤ Les activités du laboratoire de la RADEEF sont :

- Le contrôle de la qualité de l'eau distribuée dans la ville de Fès et ses régions.

Cette eau distribuée doit répondre aux normes de potabilité selon la norme marocaine et ceci en effectuant des prélèvements des échantillons pour analyses physico-chimiques et bactériologiques.

- Le contrôle quotidien du chlore résiduel sur l'ensemble du réseau d'eau d'approvisionnement de la ville de Fès et ses régions.
- Le contrôle des opérations de nettoyage et de désinfection des réservoirs et des conduites.
- La réalisation des enquêtes sur la qualité de l'eau lors des réclamations.
- La désinfection de toutes les conduites nouvellement installées.

4. Organigramme du laboratoire contrôle qualité des eaux :

Le laboratoire contrôle qualité des eaux est composé de plusieurs structures (Figure.1) :

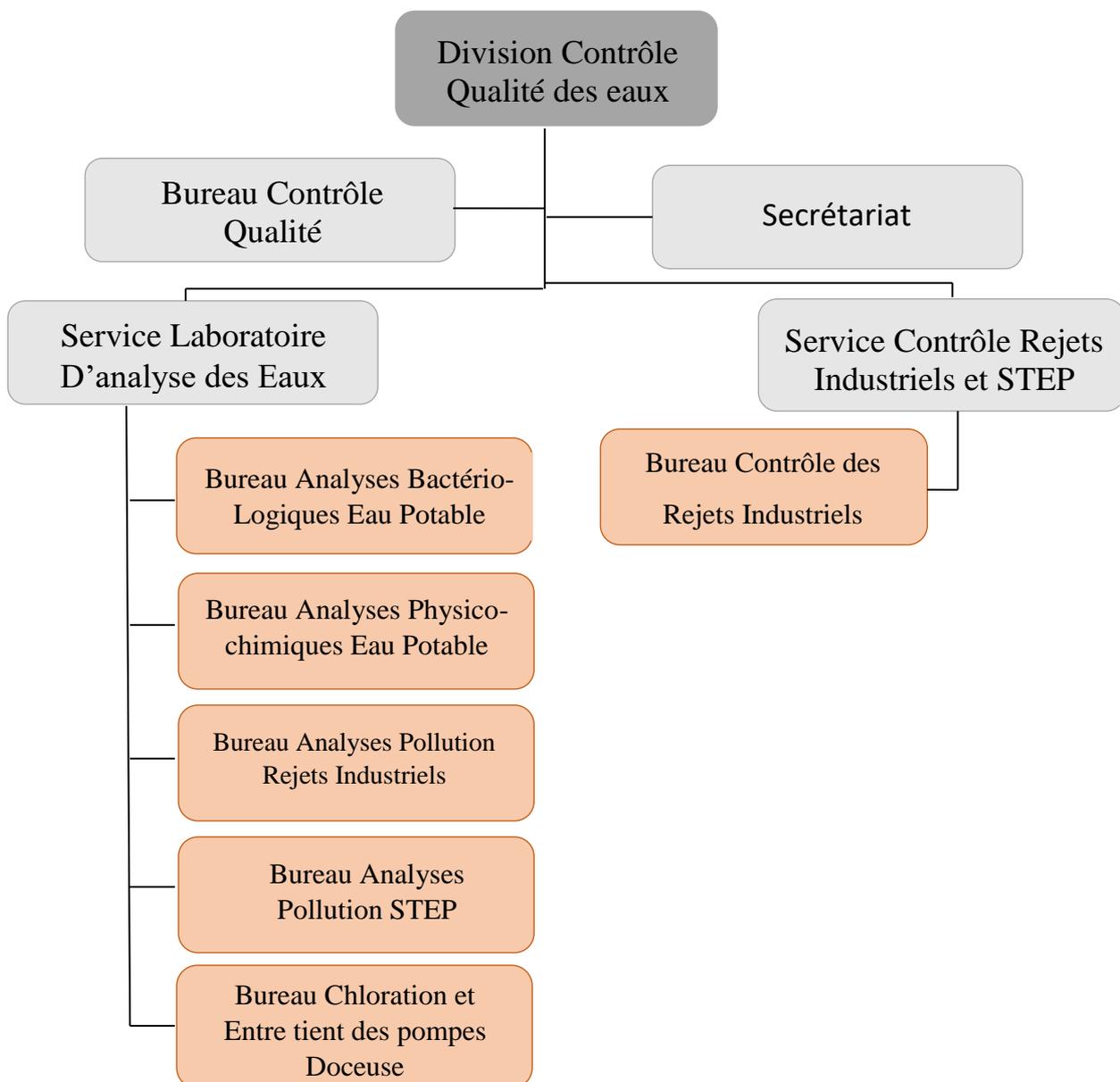


Figure 1 : Organigramme du laboratoire contrôle qualité des eaux

II. Généralités sur l'eau : [2-3]

1. Types d'eau :

Les réserves disponibles des eaux naturelles sont constituées :

- Des eaux souterraines (infiltrations, nappes),
- Des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs et rivières),
- Des eaux de mer.

a) Eau souterraine :

Les eaux souterraines, pendant longtemps ont été synonymes d'eau profonde et répondant aux normes de potabilité. Ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles. Elles peuvent aussi contenir des éléments à des concentrations dépassant largement les normes de potabilité, ceci est dû à la composition du terrain de stockage.

Les eaux souterraines doivent être traitées avant distribution toutes les fois que la concentration des éléments dépasse la valeur autorisée par les règlements en vigueur.

Parmi les caractéristiques de ces eaux :

- Une faible turbidité.
- Une température et une composition chimique constante.
- Une absence presque générale d'oxygène.

b) Eau de surface :

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Sans traitement, les eaux de surface sont rarement potables. Elles sont généralement polluées bactériologiquement. De plus, elles peuvent présenter d'autres pollutions :

- D'origine urbaine : les rejets provenant de la collecte des E.R.U (métabolisme de l'homme, confort domestique), après leur traitement en station d'épuration.
- D'origine industrielle : polluants et micropolluants organiques ou inorganiques.
- D'origine agricole : engrais et produits pesticides et herbicides entraînés par les eaux de pluie et le ruissellement.

c) Eau de mer :

L'eau de mer est l'eau salée des mers et des océans, elle n'est pas potable, et en général ne doit pas être bue par les êtres humains. Le sel en est le responsable : si l'on boit de l'eau de mer, à long terme la quantité d'eau nécessaire pour éliminer ces sels devient supérieure à la quantité d'eau gagnée par absorption d'eau de mer.

2. Cycle de production d'eau potable :

La production d'eau potable passe par plusieurs étapes : captage, production, stockage, distribution, consommation, collecte, dépollution et retour en milieu naturel (Figure 2).



Figure 2: Cycle de production d'eau potable

1- Captage :

L'eau destinée à la consommation provient du milieu naturel. Elle est plus souvent prélevée dans les nappes souterraines ou bien dans des cours d'eau. Les ressources utilisées pour l'alimentation en eau font l'objet d'une surveillance particulière afin de limiter les risques de distribution d'une eau de mauvaise qualité. Une fois prélevée, l'eau brute est refoulée vers une usine de traitement qui produit l'eau potable que nous consommons.

2- Production :

Selon l'origine, l'environnement, et les milieux que traverse cette eau, elle se charge en minéraux, polluants, et germes pathogènes, et une fois acheminée à l'usine, l'eau brute pompée subit des traitements physiques, chimiques et parfois biologiques. Afin que cette eau soit potable après être passée par plusieurs traitements (clarification, filtration, et désinfection), elle doit répondre à des paramètres définis par des normes bien justifiées.

3- Stockage :

Sous pression et dans des tuyaux enterrés, l'eau est acheminée de la station de production vers un réservoir (château d'eau ou réservoir souterrain). Le réservoir est essentiel pour que l'eau soit disponible à votre robinet 24h/24h.

4- Distribution :

Le réseau public distribue l'eau potable jusqu'au pied des habitations. Après le compteur, le réseau public est transporté par les tuyaux privés jusqu'au robinet. Lors de la distribution, on fait une chloration qui permet à l'eau potable de faire ce voyage en toute sécurité pour la santé des consommateurs.

5- Consommation :

Comme toutes les eaux, en traversant les sols et les roches, l'eau du robinet s'est minéralisée : son goût, sa saveur, ses teneurs en sels minéraux (potassium, calcium ...) et en oligoéléments (bicarbonates, nitrates ...) varient selon sa région d'origine.

6- Collecte :

Les eaux usées sont recueillies dans des collecteurs pour être acheminées vers un réseau d'égouts. Ces réseaux sont entretenus rigoureusement pour éviter tout risque pour la santé publique et l'environnement.

7- Dépollution :

Après usage des eaux potables, elles sont conduites vers les stations d'épurations ou usines de dépollution pour se débarrasser de leur pollution grâce à des traitements sophistiqués, où elles seront rendues à la nature pour éviter la dégradation des cours d'eau.

8- Retour au milieu naturel :

L'eau dépolluée va être restituée au milieu naturel et va rentrer à nouveau dans le cycle éternel de l'eau. 90% des eaux sont rejetées dans les eaux continentales, 8% dans les eaux marines et 2% sont utilisées par exemple en irrigation.

3. Traitement de l'eau par chloration :

La chloration est la dernière étape du traitement de l'eau potable avant sa distribution, elle permet d'éliminer les microorganismes pathogènes présents dans l'eau et de garantir l'absence de tout germe infectieux (bactéries ou virus) dans l'eau.

Pour cela ; on utilise un traitement par le chlore (eau de Javel) qui consiste à injecter une dose de chlore dans l'eau et à laisser agir pendant un temps donné ; dont une petite quantité reste dans l'eau produite pour éviter un développement bactérien dans le réseau d'eau (Figure 3).



Figure 3 : Station de chloration

a) Rôle du chlore :

Le chlore est un produit chimique utilisé pour s'assurer de la qualité de l'eau depuis la source jusqu'au point de consommation, il permet de détruire les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau après un temps d'action d'environ 30 minutes pour la rendre potable.

Outre son effet bactéricide (pouvoir désinfectant), le chlore possède un effet rémanent (effet de désinfection dans le temps) qui protège l'eau d'une nouvelle contamination lors du stockage et de la distribution.

b) Détermination du degré chlorométrique des eaux de javel :

Pour la désinfection de la matière organique présente dans un réservoir, on détermine la quantité nécessaire d'eau de Javel qu'il faut ajouter, c'est dans ce but qu'on doit connaître tout d'abord son degré chlorométrique.

Le degré chlorométrique est la quantité du chlore actif (Figure 4) présent dans 1 l d'eau de javel.

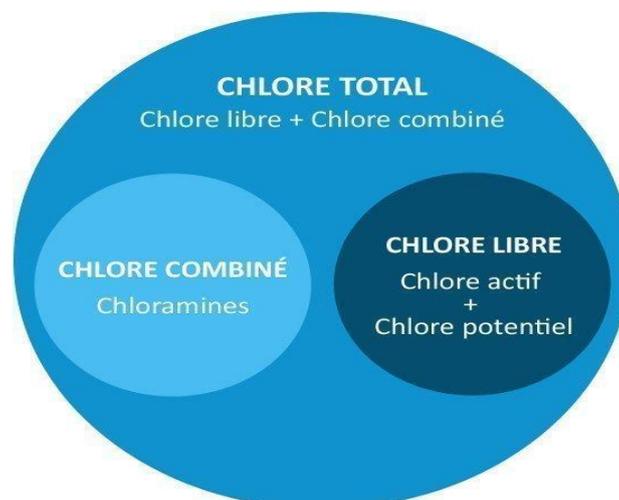


Figure 4 : Composition du chlore total

- L'eau de javel : est une solution aqueuse et alcaline d'hypochlorite de sodium NaClO.
- Chlore actif : c'est le chlore qui a donné naissance à l'hypochlorite NaClO, à raison d'une molécule de chlore pour une molécule de NaClO.

Dans le laboratoire, la détermination du degré chlorométrique se fait par la méthode de pointus.

En milieu carbonaté (pH=8) et en présence d'hypochlorite ClO⁻, l'iodure de potassium KI se transforme en iodate I⁻ lorsque tout le chlore est combiné, une goutte de KI en excès réagit sur l'iodate avec libération d'iode I₂.

Les réactifs utilisés pour ce dosage sont :

- Solution de KI (2,767 g/l).
- Bicarbonate de sodium NaHCO₃ (3 g).
- Empois d'amidon comme indicateur coloré.

Le mode opératoire suivi est :

- Dilution de 1/10 d'une eau de Javel concentrée.
- Prélèvement 10 ml de la solution diluée d'eau de Javel dans un erlenmeyer, à laquelle on ajoute (3 g) de bicarbonate de sodium.
- Dosage de l'eau de javel dilué avec une solution KI en présence d'empois d'amidon jusqu'au virage bleu.

Soit N le nombre de millilitres de solution de KI versé, le degré chlorométrique est égal au volume versé de KI multiplié par 1,12.

Pour une prise d'essai de 10 ml :

$$N \cdot 1,12 \text{ degré chlorométrique français.}$$

La réaction du dosage est : $2I^- + Cl_2 \rightarrow I_2 + 2Cl^-$

c) Demande en chlore :

La demande en chlore est la quantité d'eau de javel nécessaire pour désinfecter 1m³ d'eau. Elle correspond à peu près à la dose dans laquelle le point de rupture « Break point » est atteint (Figure 5).

La courbe ci-après (Figure 5) représente la variation du chlore résiduel en fonction du Cl₂ ajouté :

La zone A : le chlore oxyde les substances réductrices d'eau : il est consommé.

La zone B : le chlore réagit avec des matières azotées pour former des mono et dichloramines.

La zone C : le chlore réagit avec des mono et dichloramines pour former des trichloramines volatiles.

Break point ou point de rupture : toutes les matières azotées ont été oxydées et tous les trichloramines sont pratiquement disparues. Le chlore total est égal au chlore résiduel qui désigne le chlore demeurant en solution après chloration.

La zone D : le chlore ajouté reste sous forme de chlore libre.

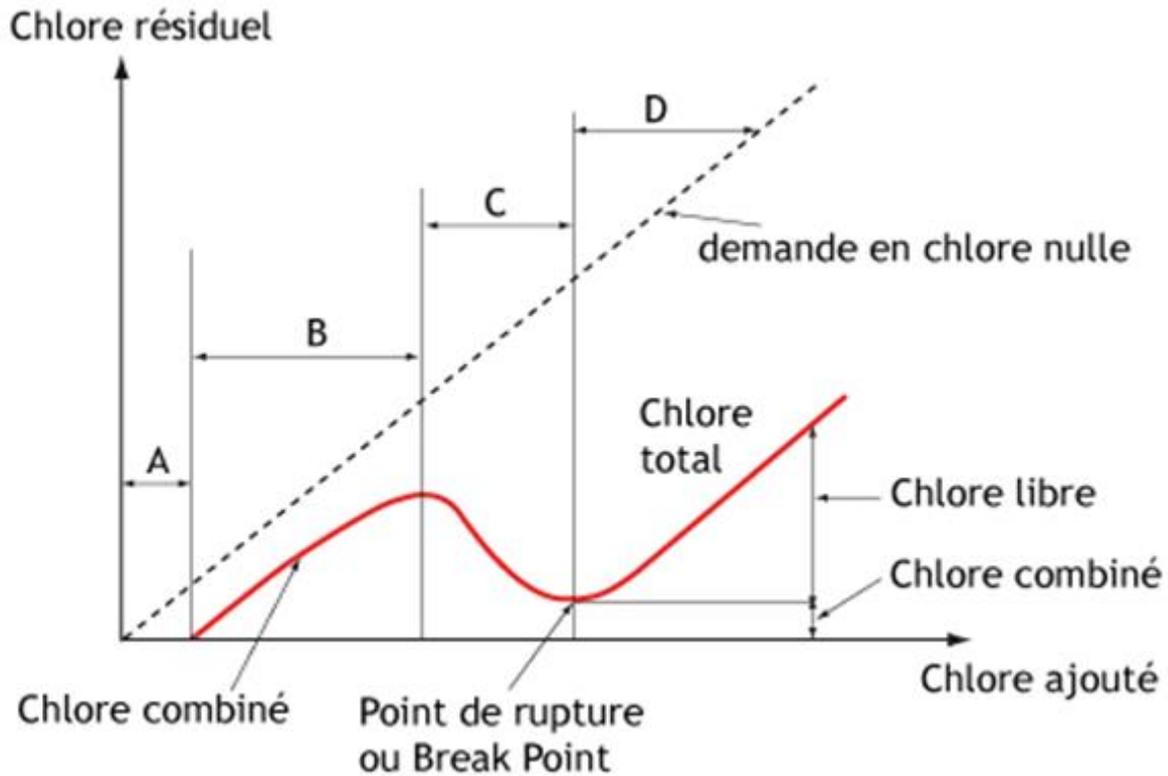


Figure 5 : Variation du chlore résiduel en fonction du Cl_2 ajouté

La première partie de la courbe correspond à la formation de mono, di et trichloramine. Leur destruction par le chlore ajouté apporte un affaiblissement de la teneur en chlore total, d'où diminution de la pente jusqu'au point de rupture, à partir duquel tout le chlore ajouté se transforme en chlore libre, disponible pour la désinfection. L'écart entre la droite des abscisses et le point de rupture correspond à la présence de trichloramine non réductible par le chlore. Un excès témoigne d'une très mauvaise qualité de l'eau brute. Le point de rupture est donc d'autant plus bas que les impuretés de l'eau ont été oxydées par le chlore. Cette courbe montre qu'il faut bien ajouter du chlore pour faire baisser la teneur en chloramine.

Partie 2 : Contrôle de la qualité de l'eau potable

I. Introduction : [3-5]

Cette partie est consacrée à l'étude expérimentale relative aux analyses organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques des eaux provenant de la source Ain Chkef ; avant et après traitement par de l'eau de javel.

1. Présentation de la source Ain Chkef :

La source d'AIN CHKEF qui a tiré la réputation de la région d'Ain Chkef toute cernée d'arbres, est une source fraîche jaillissant du creux d'une faille qui se localise au plateau du Saiss, juste aux quelques Km au sud de la ville de Fès, son débit de pompage est de 450l/s, elle alimente après chloration la région d'Ain Chkef (Figure 6).



Figure 6 : Source d'eau « Ain Chkef »

2. Echantillonnage :

Il y a deux types du prélèvement, on distingue :

- Les prélèvements pour les analyses physico-chimiques :

Un flacon en plastique, lavé trois fois par l'eau du robinet, est rempli et conservé à 4°C dans une glacière.

- Les prélèvements pour les analyses bactériologiques :

Un examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé. Le prélèvement se fait dans un flacon en verre stérilisé (Figure 7) selon un mode opératoire précis évitant toute contamination accidentelle ou variation de la qualité et de la quantité des bactéries présentes lors du prélèvement.

Avant de procéder au prélèvement de l'eau, il faut laver les mains soigneusement et les rincer avec de l'alcool et flamber le robinet par une lampe à souder portative au gaz (Figure 7). Ensuite, le flacon est rempli d'eau tout en laissant la lampe près du robinet.

Les échantillons sont conservés à 4°C dans une glacière et analysés dans les 6 h qui suivent les prélèvements.



Figure 7 : Flacon stérilisé-Lampe à souder portative au gaz

II. Analyses organoleptiques : [3-4]

Les analyses organoleptiques sont jugées aujourd'hui essentielles car ; c'est au travers que le consommateur se forge une idée sur la qualité de l'eau délivrée.

1. Goût :

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives et de sensibilités chimiques perçues par les organes gustatifs. Les échantillons à analyser doivent être prélevés dans des récipients en verre convenablement nettoyés. Les flacons seront rincés avec l'eau à prélever puis remplis complètement. Il est préférable de faire l'analyse le plus rapidement possible après le prélèvement, mais les échantillons peuvent éventuellement être conservés sous réfrigération pendant 24 h.

2. Odeur :

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Le sens olfactif peut seul parfois les déceler.

L'examen doit être pratiqué le plus rapidement possible après le prélèvement. L'échantillon peut éventuellement être conservé à 4°C en évitant toute mise en contact avec des odeurs étranges avec un temps de stockage ne dépassant pas 72 h.

3. Couleur :

La couleur de l'eau peut provenir de substances minérales comme le fer ou le manganèse et de substances organiques. En général, une eau potable doit être incolore.

Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité.

III. Analyses physico-chimiques : [4-5]

1. Température :

La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels, elle agit aussi sur la conductivité et le pH. Elle permet ainsi d'obtenir des indications sur l'origine des eaux. Une baisse température peut entraîner un ralentissement des réactions chimiques.

La mesure de la température s'effectue sur le terrain au moment du prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un thermomètre.

2. Potentiel d'hydrogène :

Le pH est un indicateur sur l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Il dépend de l'activité des ions H_3O^+ dans le milieu selon la relation $pH = -\log [H_3O^+]$, sa mesure se fait par pH-mètre étalonné (Figure 8), et qui permet de déterminer l'activité des ions H^+ en solution en utilisant deux électrodes ; une électrode hydrogène et une électrode de référence. Dans la pratique, on utilise généralement une électrode combinée.

Avant d'introduire l'électrode du pH-mètre dans l'eau à examiner, il faut toujours le rincer avec l'eau distillée.



Figure 8 : pH-mètre

La valeur du pH affichée sur l'écran du pH-mètre est lit après stabilisation. La mesure du pH s'effectue entre 20°C et 25°C.

3. Turbidité :

La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent ; causée par des particules en suspension. Le degré de turbidité sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace.

La turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre (Figure 9) où l'on introduit l'eau à analyser dans un petit flacon en verre qui doit être bien essuyé avant d'être placé dans l'appareil. Elle est exprimée en NTU (unité de turbidité néphélométrique).



Figure 9 : Turbidimètre

4. Conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, en fonction de la quantité des ions présents dans l'eau. Sa mesure permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité dépend de la température de l'eau, elle est importante lorsque la température augmente. Elle est mesurée par un conductimètre (Figure 10), mais avant d'introduire l'électrode dans l'eau à examiner, il faut bien la rincer par l'eau distillée.

Les résultats sont exprimés en $\mu\text{s}/\text{cm}$. La lecture se fait à une température entre 20 et 25 °C.



Figure 10 : Conductimètre

5. Dosage des chlorures (méthode de Mohr) :

Les chlorures Cl^- sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium K_2CrO_4 , la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent Ag_2CrO_4 .

Les réactifs utilisés pour le dosage des chlorures sont :

- Solution de chromate de potassium à 10%.
- Solution de nitrate d'argent N/10.

Le mode opératoire utilisé pour le dosage des chlorures est résumé ci-après :

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml ;
- Ajouter quelques gouttes de chromates de potassium à 10% ;
- Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rouge brique qui doit persister 1 à 3 min.

Soit V la tombée de burette en ml de Nitrate d'argent pour une prise d'essai 50 ml d'échantillon.

$$V \times 35,5 \Rightarrow \text{teneur en chlorure exprimée en mg de Cl}^-/\text{l.}$$

$$V \times 58,5 \Rightarrow \text{teneur en chlorure exprimée en mg de NaCl}^-/\text{l.}$$

L'ion Cl^- présent dans l'échantillon forment un précipité de AgCl selon la réaction suivante :



Lorsque le milieu est épuisé en Cl^- , les ions Ag^+ réagissent avec CrO_4^{2-} pour donner un complexe coloré (rouge brique) qui caractérise la formation de chromate d'argent qui nous indique le point d'équivalence selon la réaction :



N.B. :

Les chlorures sont très solubles avec leur saveur désagréable, ils ne participent pas aux processus biologiques et ils n'interviennent pas à la décomposition.

6. Dosage des nitrates (méthode de salicylate de sodium) :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates NO_3^- donnent de paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique par le spectrophotomètre UV-visible (Figure 11).



Figure 11 : Spectrophotomètre UV-visible

Les réactifs utilisés pour le dosage des nitrates sont :

- Salicylate de Na à 0,5% ($C_7H_5NaO_3$).
- L'acide sulfurique H_2SO_4 concentré.
- La soude NaOH, tartrate double de sodium et de potassium.
- Eau distillée.

Le protocole suivi pour le dosage des nitrates est résumé ci-après :

- 10 ml d'échantillon + 1 ml salicylate de sodium à 0,5% ;
- Evaporer à sec 75 à 80°C et laisser refroidir ;
- Ajouter 2 ml de H_2SO_4 ;
- Attendre 10 min ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double ;
- Coloration jaune ;
- Lecture au spectrophotomètre à 415 nm (Figure 11).

Pour une prise d'essai de 10 ml la teneur en azote est exprimée en mg d'azote nitrique/l et pour obtenir la teneur en nitrate NO_3^- ; on multiplie les résultats par 4,43.

N.B. :

On a : $M(NO_3^-) / M(N) = 62/14 = 4,43$; Alors : $[NO_3^-] (mg/l) = 4,43 * [N]$

7. Dosage des nitrites (méthode diazotation) :

La méthode est applicable à la détermination de la concentration de nitrites NO_2^- jusqu'à 0,25 mg/l, en utilisant le volume maximal (40 ml) de prise d'essai.

La diazotation de l' amino-4-benzène sulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(naphtyle-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré, susceptible d'un dosage colorimétrique (absorption moléculaire).

Les réactifs utilisés pour ce dosage sont des réactifs de qualité analytique reconnue, et de l'eau distillée :

- Acide ortho phosphorique.
- Réactif coloré.
- 4 g d' amino-4 benzène sulfonamide.
- 10 ml d'acide ortho phosphorique H_3PO_4 .
- 50 ml d'eau dans un bécher.
- 0,2 g de dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane.

Transférer dans une fiole jaugée de 100 ml et compléter avec de l'eau distillée.

Le mode opératoire utilisé pour le dosage des nitrites est résumé ci-après :

- 40 ml d'échantillon + 1 ml de réactif coloré ;
- Homogénéiser et laisser reposer au moins 20 min ;
- Mesurer la concentration par le spectrophotomètre à $\lambda = 540$ nm dans une cuve d'épaisseur appropriée, en utilisant l'eau distillée comme référence (Figure 11).

Pour une prise d'essai de 40 ml, la teneur en azote nitreux est exprimée en $\mu\text{g/l}$.

8. Dosage de l'ammonium (méthode au bleu d'indophénol) :

En milieu alcalin et en présence du Nitroprussiate de Na^+ qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium NH_4^+ traités par une solution de chlore et de phénol sont transformés en monochloramines NH_2Cl et donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrophotométrie d'absorption moléculaire.

Les réactifs utilisés pour le dosage de l'ammonium sont :

- Solution chlorée :
 - Hydroxyde de sodium (2 g).
 - Citrate-tri-sodique (35 g).
 - Acide dichlorocyanurique (0,4 g).
 - Eau distillée 100 ml.

- Solution de nitroprussiate de Na^+ et de phénol :

- Phénol (3,5 g) ;
- Nitroprussiate de Na^+ (0,04 g) ;
- Eau distillée 100 ml.

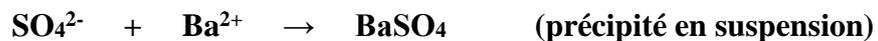
Le mode opératoire utilisé pour ce dosage est résumé ci-après :

- Introduire dans des fioles jaugées de capacité 50 ml, une partie aliquote de l'échantillon soit 20 ml ;
- Ajouter successivement 1 ml de la solution de nitroprussiate de Na^+ et de phénol et 1ml de la solution chlorée ;
- Agiter l'ensemble et placer les fioles à l'obscurité pendant 6 h ;
- Faire la lecture au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 630 nm.

Pour une prise d'essai de 20 ml, la droite d'étalonnage donne directement la concentration en mg de NH_4^+ /l d'eau.

9. Dosage des sulfates (méthode néphélométrique) :

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum (BaSO_4).



Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de TWEN20.

Les réactifs utilisés pour le dosage de l'ammonium sont :

- Solution d'acide chlorhydrique à 10%.
- Agent stabilisant : solution TWEN20 à 25%.
- Solution de chlorure de baryum stabilisé.
- Chlorure de baryum ($\text{BaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$) (5 g).
- TWEN20 10 ml.
- Eau distillée 50 ml.

Le protocole suivi pour ce dosage est :

- 39 ml d'échantillon ;
- 1 ml d'acide chlorhydrique ;
- 5 ml de la solution de chlorure de baryum stabilisé (BaCl_2).

Agiter énergiquement et laisser reposer au moins 15 min ; agiter à nouveau et faire la mesure comme lors de l'étalonnage.

Pour une prise d'essai de 39 ml, la droite d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimée en mg de SO_4 /l d'eau.

10. Détermination du chlore résiduel :

Le chlore résiduel est déterminé par le test DPD (diéthyl-p-phénylènediamine) au moyen d'un comparateur visuel. Ce test consiste à ajouter un comprimé de DPD à l'échantillon. Ce dernier donne une coloration rose qu'on compare avec le disque coloré du comparateur à l'œil nue et on détermine enfin la quantité du chlore résiduel présent dans l'eau en mg/l (Figure 12).



Figure 12 : Test DPD

IV. Analyses bactériologiques : [3]

L'objectif de ces analyses est de rechercher des espèces qui sont susceptibles d'être pathogènes, car l'eau potable ne doit contenir ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique.

1. Stérilisation du matériel :

Le matériel utilisé par ces analyses doit être stérilisé afin d'éliminer les divers micro-organismes. La méthode utilisée au laboratoire est la stérilisation par la chaleur humide, ainsi que par la chaleur sèche.

• Stérilisation par la chaleur sèche :

Le flambage : cette méthode est basée sur l'emploi du bec bunsen, elle est utilisée pour la stérilisation extemporanée (pour l'utilisation immédiate) du matériel de manipulation.

Il faut signaler que toutes les manipulations d'ouverture de tube et boîtes de culture devront être réalisées à côté de la flamme (Figure 13).

- **Stérilisation par la chaleur humide :**

L'autoclave : c'est un appareil très performant qui est indispensable dans une unité de microbiologie. Il est utilisé pour stériliser les milieux de culture, aussi pour stériliser tout autre matériel de microbiologie (Figure 13).

Le chauffage a lieu sous pression de vapeur d'eau à une température de 100°C à 130°C pendant une durée qui varie en fonction du milieu, de la température utilisée et du volume des récipients.

En milieu saturé d'humidité et sous pression, la stérilisation s'opère à des températures inférieures à celles qui sont nécessaires en milieu sec.



Figure 13 : Bec bunsen-Autoclave

2. Bactéries recherchées :

Durant les analyses bactériologiques on cherche les germes suivants :

- **Streptocoques fécaux :**

S'apparentent aux coliformes fécaux, elles sont donc des bactéries pathogènes ; ce sont de bactéries capables de se développer dans un milieu contenant de l'acide de sodium à 37°C pendant 48 h.

- **Coliformes totaux :**

Sont des bactéries capables de croître en présence des sels biliaires ou autre agent de surface, capables de fermenter le lactose en 48 h à une température de 37°C. Pour mettre en évidence la présence de coliformes totaux on fait passer les échantillons d'eau (100 ml) à travers une membrane de porosité inférieure à 45 µm, on ensemence la membrane dans le milieu nutritif Tergitol à une température de 37°C.

- **Coliformes fécaux :**

Ce sont les bactéries coliformes ayant les mêmes propriétés que les bactéries coliformes totaux. Pour mettre évidence la présence des coliformes fécaux, on ensemence la membrane dans le Tergitol à une température de 44°C.

- **Germes totaux :**

Ce sont tous les micro-organismes qui sont capables de croître des matières nutritives. Pour le dépistage de ces germes totaux, on met 1 ml d'eau à analyser dans une boîte de pétri stérile ; puis, on ajoute la gélose à l'état liquide, on ferme la boîte de pétri et on la déplace selon une ligne traçant le chiffre 8 ; ensuite, on laisse la gélose se solidifier et on incube soit à la température de 37°C, soit à 22°C.

3. Milieux de culture :

Un milieu de culture est un support qui permet la culture des bactéries, des cellules afin de permettre leur étude. En principe, les bactéries trouvent dans ce milieu les composants indispensables pour leur multiplication en grand nombre rapidement, mais aussi parfois des éléments qui permettront de privilégier un germe bactérien ou une famille.

Il existe 3 milieux de cultures utilisés pour le dénombrement des bactéries (Figure 14).



Figure 14 : Milieux de culture

4. Méthodes employées :

- **Ensemencement en surface :**

La méthode de filtration sur membrane, est une technique qui nous permet de dénombrer les bactéries présentes même en petit nombre dans l'eau (Figure 15).

Un volume d'eau précis est filtré à travers une membrane filtrante, dont les pores ne laissent pas passer les bactéries. Ces dernières, après filtration seront retenues dans la membrane, qui sera déposée sur un milieu de culture. Chaque bactérie retenue sur la membrane donne naissance à une colonie après incubation de 24 h à 37°C. Les colonies sont ensuite dénombrées.



Figure 15 : Filtration sur membrane

***Mode opératoire :**

- L'ensemble de l'appareillage doit être placé près du bec benzène, de manière à ménager une zone de travail stérile et à pouvoir stériliser le matériel ;
- Placer la membrane stérile sur le système de filtration ;
- Agiter le flacon vigoureusement, verser 100 ml d'échantillon dans le système à filtrer.

***Ensemencement :**

- Mise en culture : en zone stérile ;
- Ouvrir le système de filtration, retirer la membrane à l'aide de la pince ;
- Poser la membrane dans une boîte de pétri (contenant un milieu de culture) en la roulant, de manière à ne pas emprisonner de bulle d'air.

***Incubation :**

- Pour la recherche des coliformes totaux : l'incubation se fait à 37°C pendant 48 h.
- Pour la recherche des coliformes fécaux : elle se fait à 44°C pendant 48 h.
- Pour la recherche des streptocoques : elle se fait à 37°C pendant 48 h.

***Lecture :**

- La lecture des boîtes, après incubation permet de reconnaître la présence de ces bactéries par une coloration jaune des colonies pour les coliformes totaux et fécaux, et rouge pour les streptocoques fécaux.

Le nombre de colonies est exprimé par 100 ml d'échantillon.

➤ **Ensemencement en profondeur :**

Cette méthode a pour but de mettre en évidence les germes totaux.

On incorpore une quantité de l'échantillon dans une boîte de pétri contenant la gélose fondue (milieu nutritif) (Figure 16).

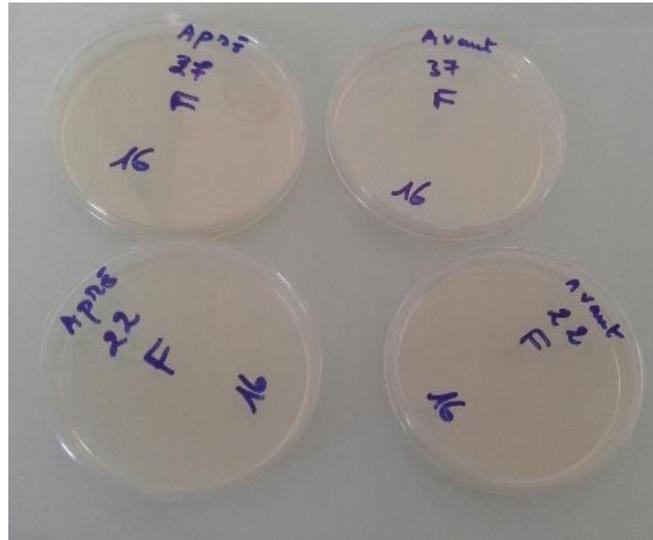


Figure 16 : Ensemencement en profondeur

***Mode opératoire :**

- Inoculer 1 ml d'échantillon dans une boîte de pétri ;
- Verser une quantité suffisante de la gélose nutritive ;
- Homogénéiser par agitation le milieu et l'eau à analyser ;
- Laisser refroidir pour solidifier ;
- Incuber à 37°C pendant 48 h.

***Incubation**

- Pour la recherche des germes totaux : l'incubation se fait à 22 et 37°C pendant 48 h.

***Lecture :**

- Identification des colonies et dénombrement : colonies blanchâtres.

Le tableau 1 récapitule toutes les bactéries recherchées dans l'eau ainsi que leurs milieux de culture utilisés pour leur dénombrement.

Tableau 1 : Milieux de culture utilisés pour le dénombrement des bactéries

Bactéries	Milieu de culture	Méthode d'ensemencement	T (°C) d'incubation	Aspect des colonies
Streptocoques fécaux	Slanetz	En surface	37	Halo-rouges
Coliformes	Tergitol-7-agar	En surface	Totaux : 37 Fécaux : 44	Halo-jaunes
Germes totaux	Gélose nutritive	En profondeur	22 et 37	Blanchâtres

Partie 3 : Résultats & Discussions

Dans cette partie ; nous allons présenter les résultats des analyses organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques effectuées sur les eaux provenant de la source Ain Chkef.

Les résultats d'analyses organoleptiques et physico-chimiques sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Résultats des analyses organoleptiques et physico-chimiques

Paramètres	Echantillon avant chloration	Echantillon après chloration	VMA ¹
Goût	-	-	- ²
Odeur	-	-	-
Couleur	-	-	-
T (°C)	21.9	22.3	20 < T(°C) < 25
Conductivité (µs/cm)	769	754	2700
pH	7.65	7.61	6.5 < pH < 8.5
Turbidité (NTU ³)	0.438	0.596	5
Chlorures (mg/l)	49.7	49.7	750
Nitrates (mg/l)	14.13	14.66	50
Nitrites (µg/l)	0.45	0.43	0.5
Ammonium (mg/l)	0	0	0.5
Sulfates (mg/l)	66.45	4	400
Chlore résiduel (mg/l)	0	0.35	0.1 < [Cl ₂] < 1

Les résultats d'analyses organoleptiques montrent que l'eau ne contient ni goût, ni odeur, ni couleur, cela signifie que l'eau de la source Ain chkef ne contient ni produits chimiques, ni matières organiques.

D'après le tableau 2, les résultats d'analyses physico-chimiques révèlent que les valeurs de : Température, pH, Turbidité, Conductivité, Chlorures, Nitrates, Nitrites, Ammonium, Sulfates, Chlore résiduel ne dépassent pas les valeurs maximales admissibles par la norme marocaine, donc cette eau est potable, ce qui signifie que le traitement réalisé sur l'eau de Ain Chkef est efficace.

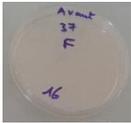
¹ Valeur maximale admissible

² Absence

³ Unité de turbidité néphélométrique

Les analyses bactériologiques ont été réalisées sur l'eau de la source Ain Chkef ; les résultats ainsi trouvés sont montrés dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Résultats des analyses bactériologiques

Germes recherchés	T(°C) d'incubation	Nombre de colonies				VMA
		Avant chloration	Aspect des colonies	Après chloration	Aspect des colonies	
Germes totaux	22	0/1ml		0/1ml		100/1ml
	37	0/1ml		0/1ml		20/1ml
Streptocoques fécaux	37	0/100ml		0/100ml		0/100ml
Coliformes	37	4/100ml		0/100ml		0/100ml
	44	5/100ml		0/100ml		0/100ml

D'après le tableau, nous avons remarqué qu'aucun germe total et streptocoque fécal n'est trouvé dans l'eau étudiée, par contre les coliformes ont été trouvés avant chloration avec une quantité de l'ordre de 4 à 5 colonies.

Le traitement par chloration élimine totalement les germes coliformes contenus dans l'eau avant traitement.

Dans le cas des coliformes trouvés dans l'eau non traitée par le chlore, nous avons effectué un test confirmatif basé sur un repiquage d'un nombre représentatif des colonies suspectes (au moins 10) dans :

✓ **Gélose tryptonée au soja (TSA) :** (Figure 17)

- Incubation des boîtes inoculées à 36 ± 3 °C pendant 21 ± 3 h ;
- Etalement d'une partie de la culture sur papier filtre imprégné de 2 à 3 gouttes du réactif d'oxydase ;
- Apparition d'une coloration bleu/violet foncé dans les 30 s : Réaction oxydase positive (Figure 18).

Toutes les colonies suspectes ayant une oxydase négative ; sont présumées des coliformes.

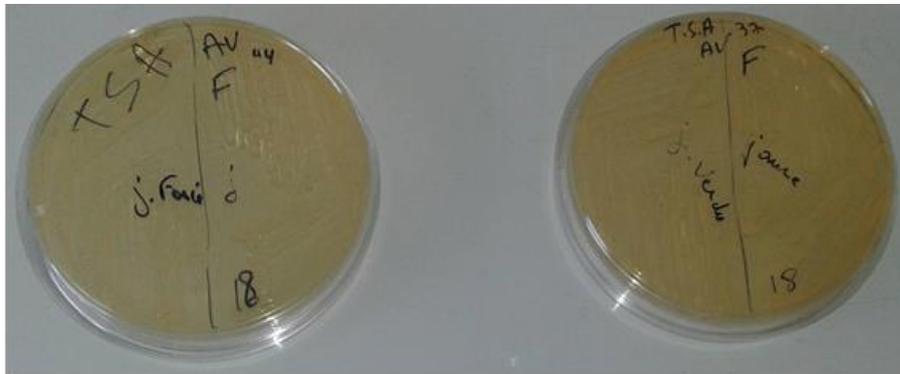


Figure 17 : Milieu TSA

✓ **Bouillon au tryptophane :**

- Incubation tubes à essai à $44 \pm 0,5$ °C pendant 21 ± 3 h ;
- Ajout de 0,2 à 0,3 ml de réactif Kovacs ;
- Apparition d'une coloration rouge à la surface du bouillon ;
- Confirmation de la production d'indole (Figure 18).

Toutes les colonies, ayant une réaction oxydase négative mais positive à l'indole, sont considérées comme étant des E.coli, donc le test du bouillon est pour savoir l'existence des E.coli.

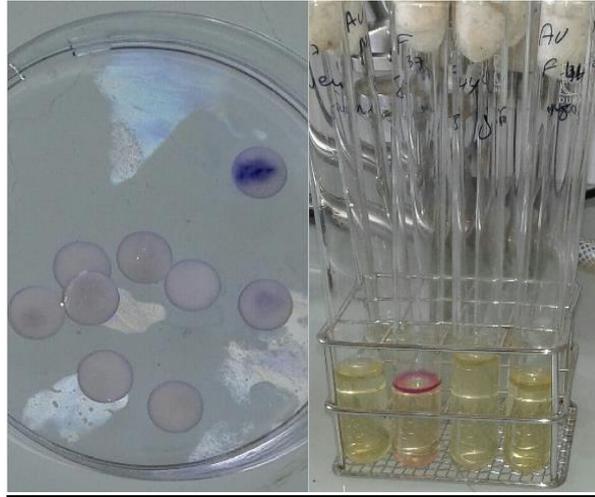


Figure 18 : Test d'oxydase-Test d'indole

Tableau 4 : Résultats des tests d'oxydase et d'indole

Colonie testée	1	2	1	2
Test d'oxydase	+	-	-	-
Test d'indole	N.D ⁴	+	-	-

D'après ces résultats, nous déduisons que parmi les coliformes totaux trouvés ; il y'a présence de E.coli qui sont des germes pathogènes et qui peuvent être nocifs pour la santé humaine.

⁴ Non déterminé

Conclusion générale

Une eau destinée à l'alimentation humaine ne doit contenir aucun germe pathogène d'une part, d'autre part ; il faut que les paramètres physico-chimiques mesurés respectent la norme marocaine.

L'objectif de ce travail est de connaître les effets de la chloration sur l'eau de cette source, pour cela nous avons réalisé des analyses avant et après chloration qui ont montrés que cette eau est de bonne qualité et respecte les normes marocaines édictées par la réglementation sur la qualité de l'eau potable de point de vue organoleptique et physico-chimiques.

Mais de point de vue bactériologiques, nous pourrons déduire que l'eau de la source Ain Chkef avant chloration ne répond pas aux normes de potabilité du faite qu'il y a présence de quelques germes pathogènes, mais après chloration nous pourrons déduire que cette eau devient potable.

Après avoir réalisé ces analyses sur la source AIN CHKEF, nous concluons que l'eau de cette source ne peut être consommée qu'après une simple désinfection par l'eau de javel.

Références bibliographiques

- [1] Site officiel de la RADEEF : www.radeef.ma .
- [2] Norme AFNOR, Qualité de l'eau, 6^{ième} édition.
- [3] BENNOUNA Kaoutar, « les effets de la chloration sur la source d'Ain Chkef » Projet de Fin d'Etudes 2014/2015, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- [4] Jean Rodier, Bernard Legube, Nicole Merlet, Analyse de l'eau, DUNOD, 9^{ième} édition.
- [5] EL AOMARI Anass, « Suivi de potentiel d'hydrogène et de turbidité de l'eau potable par carte de contrôle » Projet de Fin d'Etudes 2015/2016, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.