

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB – BLIDA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département : Biologie et physiologie cellulaire

Option: Eau, Environnement et Santé publique

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention de Master
académique en science de La nature et de la vie

Thème

ETUDE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUES
ET MICROBIOLOGIQUES DE LA STATION
THERMALE DE HAMMAM MÉLOUANE À BLIDA

Réalisé par : **El Mahdi Loubna**

Devant les membres de jury

| | | |
|----------------------------|-------------------|------------|
| Président : Mr Grandi | MAA | USD-Blida1 |
| Examinatrice : Dr Boujamaa | MCB | USD-Blida1 |
| Promotrice: Mme Chaichi | MAA | USD-Blida1 |
| Co-promotrice : Mme Albane | INGENIEUR DE LABO | SEAL |

Année Universitaire 2016-2017

Remerciement

Au terme de ce rapport, j'ai le réel plaisir d'exprimer mes sincères Remerciements à tous ceux qui m'ont accompagnée au cours de la réalisation de ce mémoire.

C'est avec l'aide de Dieu tout puissant, que ce modeste projet a pu être réalisé, Dieu qui nous a donné foi, raison et lucidité.

Dieu Merci.

En deuxième lieu, je tiens à exprimer mes remerciements et reconnaissances, les plus distingués, envers mon encadrent Madame Wissem Chaichi qui a acceptée d'encadrer mon travail et m'a apportée de précieux conseils pour la réalisation de ce mémoire.

J'exprime également mes remerciements à mon Co-encadrent Albane Nadia Ingénieure au Laboratoire de Chimie de l'eau de SEAAL.

Mes remerciements et mes grâtes vont aussi à tous les personnes de SEAAL particulièrement à Madame Lilia Missabisse responsable de labo de la physico-chimie de l'eau, et à Monsieur Djamel Tafahi responsable de labo d'hygiène de Blida.

Mes remerciements s'adressent aux membres du jury pour avoir acceptés de juger ce travail et à tous nos professeurs de la Faculté de Science et de la vie de Blida.

Je suis également reconnaissante à mes collègues de la licence et du Master pour tous les bons moments que nous avons partagés ensemble pendant toute la période de formation.

Enfin je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à la réalisation de ce mémoire, et dont les noms ne figurent pas dans ce document. Que toutes ces personnes trouvent ici l'expression de ma Profonde estime et gratitude.

Merci...

Dédicace

Je dédie ce travail

À

A mes parents : *Abd elAziz et khadidja*

Sans qui tout n'aurait jamais commencé. Merci pour leurs judicieux conseils, leurs encouragements et leur confiance.

Mon cher père qui a toujours été près de moi, pour m'écouter et me soutenir, Puis ce travail exprime le respect et l'amour que je lui porte.

Ma chère mère qui n'a jamais épargné un effort pour m'aider et m'encourager. Veuillez trouvez en ce travail la consolation et le témoin de la patience et de l'amour.

De tout cœur, je les remercie.

Mes grandes -mères: *Samia et Zouina*. Qui m'ont accordée toute l'aide et le soutien voulu, qui m'ont garantie un amour que nul n'oublie et m'ont guidée avec leurs conseils intangibles dans la conception de notre personnalité.

Mon cher oncle : *Nasser-Eddine*, sa femme et sa fille *Ikram* qui m'a encouragée et soutenue tout au long de ma formation.

A mes chère tante : *Samia et Nora* Pour son courage dans les épreuves les plus terribles et pour son admiration.

Mes chères sœurs et chers frères : *Ahlem, Bouchra, Issam, Mohamed et Tarik*.

Mon cher fiancé *Ismail laaloutti* qui m'a aussi encouragé, et m'a aidé pour faire ce projet, et il était présent à chaque carrefour de ma vie, pendant toute ma formation sont de près ou de loin, merci beaucoup.

Aux personnes qui étaient toujours à mes cotés et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'étude supérieur, mes aimables amies et sœurs de cœur *Meriem, Asma et Fadoua*.

Liste des abréviations

Abs : absence

AFNOR : Association française de normalisation

ASR : Anaérobie Sulfito-réducteurs

Ca²⁺ : calcium

C° : degré Celsius

IND : indénombrable

ISO : organisation internationale de standardisation

L : litre

mé : milliéquivalent

mg : milligramme

Mg²⁺ : magnésium

ms/cm : millisimence par centimètre

NH₄⁺ : ammonium

NPP : nombre plus probable

NO₂⁻ : nitrite

NO₃⁻ : nitrate

NTU: Nephelométric turbidity unit

OMS: organisation mondiale de la santé

PE : prise d'essai

pH : potentiel d'hydrogène

SO₄: sulfate

UFC: Unité formant colonie

UV: ultra violet

Liste des tableaux

Tableau N° 1 : Effets des polluants sur la santé humaine

Tableau N°2 : Classification des eaux d'après leur pH

Tableau N° 3 : Maladies à transmission hydrique

Tableau N°4: Paramètres mesurés et méthodes analytiques utilisées

Tableau N°5: Protocole d'échantillonnage

Tableau N°6 : Résultats d'analyses organoleptiques

Tableau N°7 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de source

Tableau N°8 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau de robinet

Tableau N°9 : Résultats des analyses bactériologiques de bassin des femmes

Tableau N°10 : Résultats des analyses bactériologiques de bassin des hommes

Liste des figures

Figure 1 : Carte géographique de Hammam Mélouane.

Figure 2 : principales stations d'échantillonnage.

Figure 3: Schéma directeur.

Figure 4 : Répartition des maladies entre Hommes et Femmes.

Figure 5 : Représentation des variations en concentration des éléments minéraux de la station thermale Hammam Mélouane.

Figure 6: Projection des paramètres physiques de la station thermale Hammam Mélouane sur les deux axes de l'ACP.

Figure 7: Étude de la corrélation entre les paramètres physique de la station thermale de Hammam Mélouane.

Figure 8: Étude de la corrélation entre les paramètres physique de la station thermale de Hammam Mélouane.

Figure 9 : Effet des différents paramètres physico-chimiques sur la qualité de l'eau thermale de Hammam Mélouane.

Figure 10 : Effet des différents paramètres physico-chimiques sur la qualité de l'eau thermale de Hammam Mélouane.

Figure 11 : Effet des différents paramètres physico-chimique sur la qualité de l'eau thermale de Hammam Mélouane.

Figure 12: Étude comparée des paramètres physico-chimique de la qualité de l'eau thermale de Hammam Mélouane.

Glossaire

Aquifère : un corps de roche perméable comportant une zone saturée, ensemble du milieu solide de l'eau contenue.

Gastro-entérite : une inflammation de la muqueuse digestive (estomac et intestin), en générale d'origine infectieuse.

Matière colloïdales : ce sont des particules en suspension de taille comprise entre 0.1 et 1 à 2 μ , l'importance de l'état colloïdale peut être estimée la première approche, par la turbidité, sinon par la couleur de l'eau.

Saumâtres : qui a la saveur salée de l'eau de mer.

Saumure : eau fortement salée, parfois aromatisée. Destinée à la conservation (des denrées alimentaires).

Septicémie : en pathologie ; infection généralisée due à la présence de germes pathogènes disséminées dans l'organisme par le sang.

Sommaire

Introduction

Données Bibliographiques

Chapitre I : Généralité sur les eaux souterraines

I.1 L'eau souterraine

I.2 les différents types des nappes

I.3 caractéristique générale des eaux souterraines

Chapitre II : L'eau de source

II.1 Eau de source

II.2 Différents types des sources

II.3 Classification des eaux de sources

II.4 l'usage de l'eau de source

Chapitre III : La détérioration de la qualité des eaux souterraines

III.1 La pollution des eaux de sources

III.2 Principales sources de pollution

III.3 Principaux types de polluants

III.4 les conséquences de la pollution

III.5 Programme de lutte contre la pollution des eaux souterraines

Chapitre IV : les eaux thermales

IV.1 Définition des eaux thermales

IV.2 Notion de thermalismes

IV.3 les différentes stations thermales médicales

IV.4 Différentes types d'eaux thermales

IV.5 Le bien fait des cures thermales

Chapitre V : Recherche des indications de surveillance

V.1 Paramètres Organoleptiques

V.2 Paramètres physico-chimiques

V.3 Paramètres microbiologiques

Matériel et Méthodes

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

I.1 Description de la zone d'étude

I.1.1 Situation géographique et climatologie

I.1.2 Capacités des réserves d'eaux

I.1.3 Installation du matériel et infrastructure existante

I.2 Matériel et méthodes

I.2.1 Matériel non biologique

I.2.2 Matériel biologique

I.3 Méthode d'analyse

I.3.1 Analyse physico-chimique

I.3.2 Analyse bactériologique

I.4 Analyses statistiques

I.4.1 Diagramme de Ternaire

I.4.2 l'analyse de la variance

I.4.3 L'analyse multivariable

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1 Résultats du sondage

II.2 Résultats des analyses organoleptiques

II.3 Résultats des analyses physico-chimiques

II.4 Résultats des analyses bactériologiques

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

La station thermale de Hammam Mélouane est très connue en Algérie depuis plusieurs siècles, par leurs effets thérapeutiques dans le traitement de certaines infections de natures variées. Afin de prévenir le risque sanitaire lié à l'utilisation de leurs eaux auprès des curistes, des séries d'échantillonnage et d'analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux de sources, de robinet et de deux piscines hommes et femmes de cette station ont été effectuées durant 4 mois. Les résultats des paramètres physico-chimiques des eaux prélevées au niveau de la station thermale divergent selon les normes. Cette dernière est connue par son eau méso-thermale (35 °C), une conductivité élevée (de l'ordre de 31980 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et des teneurs élevées en calcium (575.09 mg. L⁻¹) ainsi qu'en magnésium (599.33 mg. L⁻¹). Les analyses bactériologiques ont montré une absence des microorganismes pathogènes dans les eaux de robinet de la station étudiées. Par contre une contamination est indiquée dans l'eau de source par les indicateurs de pollution fécale (coliformes totaux, coliformes fécaux, *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux) durant la période de prélèvement, nous les avons comparé aux celles des eaux de piscine femmes et hommes qui présentent des densités très forte. Les résultats de cette étude devraient inciter les autorités responsables à prendre les mesures nécessaires pour la surveillance et le contrôle de la qualité de cette eau.

Mots clés : Hammam Mélouane, analyse physico-chimique, analyse bactériologique, les normes, contamination fécale.

Abstract

The thermal spa of Hammam Mélouane has been much known in Algeria for several centuries, by their therapeutic effects in the treatment of certain infections of varied nature. In order to prevent the health risk related to the use of their water near the curists, of the series of sampling and physico-chemical and microbiological analyses of spring waters, of tap and two swimming pools men and women of this station were carried out during 4 months. Results of the physicochemical parameters of the water taken on the divergent level of the spa according to the standards. The latter is known by her méso-thermal water (35 °C), a high conductivity (about 31980 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and of the high percentages of calcium (575.09 Mg. L^{-1}) like out of magnesium (599.33 Mg. L^{-1}). The bacteriological analyses showed an absence of the pathogenic micro-organisms in studied water of tap of the station. On the other hand a contamination is indicated in spring water by the indicators of fecal pollution (total coliformes, fecal coliformes, *Escherichia coli* and fecal streptococci) during the period of taking away, one them compared to water of swimming pool women and men who have densities very strong. The results of this study should encourage the authorities responsible to take the necessary measures for the monitoring and the quality control of this water.

Keywords: Hammam Mélouane, analyze physicochemical, analyzes bacteriological, the standards, fecal contamination.

الملخص

عرف المركب الحموي حمام ملوان في الجزائر منذ القدم بتأثيراته الطيبة في معالجة بعض أنواع الالتهابات، إلا أن هناك بعض المخاطر الصحية المرتبطة باستخدام الزوار للمياه المعدنية لهذا المركب. من أجل منع هذه المخاطر قمنا بدراسات على سلسلة من العينات أخذت من مياه الحنفية و مياه المنبع، و كذا مياه حمامات السباحة للرجال و النساء دامت مدتها 4 أشهر. إذ قمنا بتحليلها فيزيائيا و ميكروبيولوجيا. نتائج التحاليل الفيزيائية للمياه المسحوبة تختلف وفق المعايير، المعروف عن هذه المياه أنها مياه متوسطة الحرارة (35 °C)، لها ناقلية عالية في حدود (31980 $\mu\text{S/cm}$)، مستويات عالية من الكالسيوم (575.09 Mg. L⁻¹) و المغنيزيوم (599.33 Mg. L⁻¹)، كما أظهرت التحاليل البكتيريولوجية أثناء الدراسة غياب الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض في مياه الحنفية ، مع الإشارة إلى تلوث مياه العنصر بمؤشرات التلوث البرازي (مجموع القولونيات، القولونيات البرازية، و المكورات العقدية البرازية) مقارنة بحمامات السباحة للرجال و النساء التي كانت تحتوي على كثافة عالية جدا من هذه الكائنات الدقيقة.

في الأخير و من خلال النتائج المتحصل عليها، ينبغي على السلطات المسؤولة أن تتخذ التدابير اللازمة لرصد و مراقبة نوعية هذه المياه.

الكلمة المفتاح :

حمام ملوان, تحاليل فيزيائية و كيميائية, تحاليل بكتيريولوجية, المعايير, التلوث البرازي.

Introduction

L'eau est une ressource indispensable dans la vie, elle est si familière qu'on oublie souvent son rôle, son originalité, ainsi que sa nécessité absolue, sans l'eau la terre ne serait qu'un astre mort et aucune vie humaine, biologique n'existerait.

Elle est présente en grand quantité sur notre planète ; on la retrouve à la surface de la terre (océans, lacs, fleuve, etc.), mais aussi en profondeur sous forme de nappes phréatiques (Basassier et *al.*, 2006)

Les eaux de sources pour leur site protégé répondent au souhait du consommateur en quête d'un produit naturel participant chaque jour au maintien d'un bon équilibre naturel, elles contiennent peu d'éléments dissous. Elles contiennent peu d'éléments dissous, ne fatiguent pas le rein (2).

La répartition des eaux thermo-minérales. En Algérie, est très irrégulière. Ces sources augmentent le nombre au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'Est. Cette répartition semble suivre celle des gîtes métallifères. C'est ainsi que l'on compte une vingtaine de sources minérales dans le département d'Oran, environ 40 dans celui d'Alger et 150 dans le département de Constantine.

Le service des Mines a classé ces sources en sources sulfureuses, ferrugineuses, alcalines, salines, chlorurées sodiques, sulfatées, carbonatées sodiques, etc.... Cette classification n'a d'ailleurs rien d'absolu et le classement de certaines sources peut varier selon l'importance que l'on attache à tel ou tel sel minéralisateur. La minéralisation des eaux est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent. Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments gypso-salins du Trias très répandu en Algérie, ce cas est rencontré à titre d'exemple à Hammam Mélouane 29.42 gr/l, Hammam El Biban 15 gr/l et Hammam Salhine 9 gr/l (Ouali, 2008)

La pollution des eaux souterraines représente l'un des aspects les plus inquiétants et l'utilisation de ces eaux à des fins alimentaires représente un danger pour la santé (Belgiti et *al.*, 2008) , la grande majorité des problèmes représente un danger pour la santé manifeste liés à l'eau résultent d'une contamination microbienne (bactérie, virus, protozoaire). L'eau contaminée est à l'origine de certaines maladies comme la poliomyélite, la fièvre typhoïde, le choléra, et d'autres maladies diarrhéiques (Ballif, 2012), ces maladies hydriques demeurent les principales causes de morbidité et de mortalité, en très grande majorité chez les enfants de moins de 5 ans (Dégbey et *al.*, 2008)

Dans cette optique, notre travail s'est orienté au niveau de la station thermale de Hammam Mélouane dans trois catégories d'échantillonnage, le premier : l'eau de source, le second l'eau du robinet et le dernier la piscine dont l'objectif est :

- Contrôler de la qualité physico- chimique avec les différents paramètres :

- L'étude Bactériologique : consiste à la recherche des germes indicateurs d'une contamination fécale ainsi que les germes pathogènes.

Les hypothèses émises durant cette étude sont :

- Y'a-t-il une différence entre l'eau de source et l'eau de robinet de cette station?
- L'eau thermale de Hammam Mélouane suit-elle les normes?
- La source thermale a-t-elle un effet thérapeutique?

Recherche bibliographique

I. Généralité sur les eaux souterraines

L'eau est omniprésente sur la terre, c'est la source de vie, sans elle, la vie des êtres vivants serait impossible. Elle joue un rôle important dans la répartition des êtres vivants est indispensable pour la vie humaine, animale et végétale.

L'eau est une ressource naturelle stratégique ; en Algérie la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine du fait de son exploitation relativement facile et sa meilleure qualité (2).

I.1. Eaux souterraines

Les eaux souterraines occupent une place particulièrement importante dans l'environnement (Jackson, 1986). Elles représentent un réservoir d'où l'on peut extraire une eau de bonne qualité pour l'approvisionnement en eau potable ainsi que pour des applications dans l'industrie et l'agriculture (Delarras, 2010).

Elles sont potable sans traitement, mais ce n'est pas toujours le cas, leur contenu minéral est très variable, selon la nature de sous-sol et la profondeur de puits (Boeglin, 2001).

I.2. Les différents types des nappes

D'après Roland Vilaginèse en 2010, les gites aquifères se subdivisent en deux catégories principales : les nappes libres et les nappes captives.

I.2.1. Nappe active (nappe libre)

Pour former une nappe libre, l'eau s'accumule schématiquement, au dessus de la base imperméable comme elle le ferait dans un récipient plein de sable.

L'altitude à laquelle s'établit le sommet de la nappe s'appelle son niveau piézométrique (Vilaginèse, 2010).

La nappe est alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement (Boeglin, 2001).

I.2.1.1. Nappe alluviale

Les plaines alluvionnaires sont souvent formées des matériaux détritiques, c'est-à-dire de débris, très poreux et gorgés d'eau. Il y a une réserve importante à exploiter et qui est presque toujours entretenue par le débit des rivières ainsi que par les précipitations.

I.2.1.2. Nappe phréatique

Lorsque le fond imperméable est pratiquement horizontal et peu profond, il existe une nappe dite phréatique dans laquelle on peut creuser des puits.

I.2.2. Nappe Captive

Les nappes captives peuvent se définir comme « des nappes recouvert par une couche de terrain imperméable ou peu perméable ».

Dans les nappes captives, la surface piézométrique peut être située au-dessus du toit (Vilaginèse, 2010)

I.3. caractéristique générale des eaux souterraines

Selon Degremont en 2005, la nature géologique de terrain a une influence déterminant sur la composition chimique de l'eau est en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule : il s'établie un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau.

Ces eaux souterraines sont caractérisées par (Jackson. 1986) :

- Une faible turbidité et une grande limpidité
- Une température entre 15 et 20°C
- Une composition chimique constante
- L'absence presque totale d'oxygène
- Souvent d'une grande pureté bactériologique

II. L'eau de source

II.1 Définition de l'eau de source

Sont les points où affleure l'eau souterraine contenue dans les formations géologiques aquifères. Elle est d'origine souterraine déterminée, provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain bactériologiquement sain et protégé des risques de pollutions. Elle doit être apte à la consommation sans autre traitement que la sédimentation des matières en suspensions et la séparation des composés instables à l'aide de procédés physiques. Toute adjonction est interdite sauf celle de gaz carbonique (Bretzel, 1997)

II.2 différents types des sources

Elles se classent selon Roland (2003), en 3 catégories :

➤ Sources de déversement :

Elles se définissent comme des « sources issues d'un aquifère recoupé par la surface topographique et dont le substratum affleure ».

➤ Sources d'émergence :

Elles se définissent comme des sources à l'intersection de la surface piézométrique d'un aquifère libre et de la surface topographique et dont le substratum affleure pas ».

➤ Sources ou exutoire par fractures :

Ils se définissent comme « des sources issues de l'intersection de fractures de sous-sol (failles, diaclases) avec la surface topographique ».

Elles apparaissent surtout dans des terrains calcaires ou cristallins, les sources thermo minérales appartiennent des cette catégorie.

II.3 Classification des eaux de sources

II.3.1 classification selon la température :

La température des eaux thermo minérales a pour origine le gradient géothermique.

- Les sources froides : en dessous de 25°C
- Les sources hypo-thermales : entre 20 et 35°C
- Les sources méso-thermales : entre 35 et 50°C
- Les sources hyperthermales : entre 50 et 100°C
- Les émissions de vapeur : plus de 100°C

II.3.2 classification chimique :

Il existe plusieurs classifications des eaux de sources, basée sur la somme des ions comparables par leurs propriétés chimiques. Est jusqu'à présent la plus connue. Elle a été largement utilisée dans les recherches sur les eaux du pétrole.

La minéralisation globale de l'eau s'exprime par la somme des éléments et des combinaisons chimiques qu'elle contient. Elle est mesurée par le résidu sec ou compact qui s'obtient après évaporation de l'eau à la température.

D'après Bogomolor (1986) les eaux sont classées en fonction de la quantité des résidus sec en :

- Eaux douces : contenant jusqu'à 1 g/l de sels
- Eaux faiblement salées 1 à 5 g/l
- Eaux saumâtres 5 à 10 g/l
- Eaux salées 10 à 50 g/l
- Eaux saumures , à partir de 50 g/l et au-dessous

II.4 L'usage de l'eau de source

Cette eau légère et digeste, d'un bon équilibre ionique, Convient remarquablement à la préparation des aliments : légumes biologiques, dilutions des jus de fruits, sans en altérer les vertus ; préparation d'excellents potages, thé, café ; cuisson des aliments biologiques, riz, pâtes (1).

✚ D'une rare pureté, l'eau de source convient parfaitement pour faire germer les graines, et pour le bain des plantes délicates.

✚ Non calcaire, l'eau de source peut être utilisée également pour le soin des cheveux.

Des études réalisées en dermatologie et ophtalmologie ont démontré la parfaite tolérance de l'eau de source sur les peaux délicates et sensibles. Notamment au niveau des paupières (1).

III. La détérioration de la qualité des eaux souterraines

La qualité des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par des mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être utilisée d'autres fins (irrigation...) où devra subir un traitement approprié pour trouver sa potabilisation (Chekroud, 2007).

III.1 Pollution des eaux souterraines

L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celle liées à la structure naturelle des terrains où elle a séjourné et en particulier lorsque les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les standards nationaux ou internationaux (Lallemand et Roux, 1999).

III.2 principales sources de pollution

La pollution des eaux de surfaces et des eaux souterraines est provoquée généralement par les activités anthropiques pour lesquelles l'eau constitue le vecteur de transport et de dissémination idéale (Belkhiri, 2012).

❖ Pollution domestique

Les déchets et les ordures contiennent une importante quantité de matières biodégradables contaminant les eaux souterraines lorsqu'ils sont entraînés par les eaux d'infiltration (Jackson, 1986).

❖ Pollution agricole

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses des ressources des eaux (Zerrouki et al, 2006) et résulte de l'intensification des cultures par les fertilisants et de leur protection par les pesticides. Cette pollution est véhiculée, soit par les eaux de ruissellement, soit par les eaux d'infiltration et concerne donc les eaux superficielles et les eaux souterraines (Marcel, 1989).

❖ Pollution industrielle

Elle a toujours eu une part prépondérante dans la contamination des nappes souterraines (Jackson, 1986). Les rejets industriels renferment des produits divers sous formes insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration comme par exemples les métaux lourds, les composés cyanurés ou phénols, les pesticides et hydrocarbures divers (Djazol, 1982).

III.3 Principaux types de polluants

Polluants physiques :

Les principaux agents physiques de la pollution sont : la chaleur, le transport de matières solides en suspension et la Radioactivité (Belkhiri ,2011).

Polluants chimiques :

L'eau, par son pouvoir dissolvant élevé. Dissout les substances rejetées par l'activité humaine. Les polluants chimiques sont nombreux et d'origines diverses : sels minéraux dissous, métaux lourds, pesticides, détergents et hydrocarbures (Ramdhane, 1999).

Polluants bactériologiques :

L'action des micro-organismes contribue à la transformation des contaminations en différents sous produits et à leur destruction (Boeglin, 2001).

III.4 Conséquences de la pollution

Conséquences sanitaires :

La pollution de l'eau peut avoir des conséquences sur la santé de l'homme. Les nitrates (sels de l'acide nitrique) existants dans l'eau potable peuvent être la cause de maladies mortelles chez les jeunes enfants. Le cadmium, présent dans les engrais dérivés des boues d'épuration, est susceptible d'être stocké par les plantes cultivées. La consommation ultérieure de ces végétaux contaminés peut provoquer des troubles digestifs sérieux et une atteinte du foie ou des reins (3).

Tableau N°1 : Effets des polluants sur la santé humaine

| Polluant | Effets sur la santé |
|---|---|
| Matière en suspension | Transport des polluants à augmentent donc le risque de contamination de l'homme |
| Matière organique | Favorise le développement d'organismes pathogènes |
| Azote (nitrites, phosphore) | <ul style="list-style-type: none">• Maladie bleu chez les enfants• Risques de Cancers |
| Métaux | <ul style="list-style-type: none">• Troubles respiratoires, digestifs, nerveux ou cutanés• Arsenic, Nickel et chrome également considérés comme cancérigènes |
| Pesticides | <ul style="list-style-type: none">• Effets reprotoxiques (malformations, stérilité, troubles de la reproduction) |
| Biologiques (Bactérie, virus, parasite) | <ul style="list-style-type: none">• Choléra, typhoïdes, gastroentérites, maladie du légionnaire, méningo-encéphalites, Hépatites... |

Conséquences écologiques

Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution. D'une manière générale, les conséquences écologiques sont à considérer au travers de la réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture, tourisme, promenade...), à courts et longs termes (Gaujous, 1995).

III.5 Programme de lutte contre la pollution des eaux souterraines

La décontamination étant très difficile il faut agir en priorité sur la prévention contre la pollution de l'eau souterraine (castany, 1982).

- La protection a pour objet de limiter les dommages consécutifs à un accident en mettant en place les moyennes qui permettent de juguler la dispersion des polluants dans l'espace et dans le temps.
- La prévention qui vise à limiter les fréquences d'apparition des accidents avec risques de pollution.
- La détection ou le contrôle par des réseaux de surveillance de la qualité de l'eau souterraine.
- La parade par des moyens techniques appropriés et la décontamination très difficile dans l'état des techniques actuelles.
- L'épuration parfaite des effluents serait top couteuse et un premier équilibre doit s'établir entre la nécessité de préserver en partie l'épuration naturelle, et le coût de l'épuration des rejets (Gauthier et Villars, 1970)

IV. Les eaux thermales

IV.1 Notion de thermalisme

Le thermalisme est l'utilisation thérapeutique des propriétés de certaines eaux minérales naturelles pour guérir ou soulager des personnes souffrant d'affections divers (Roques, 2007).

La médecine thermique est naturelle par définition, c'est une médecine douce, complémentaire est qui constitue une alternative aux autres soins médicaux (Roques, 2007).

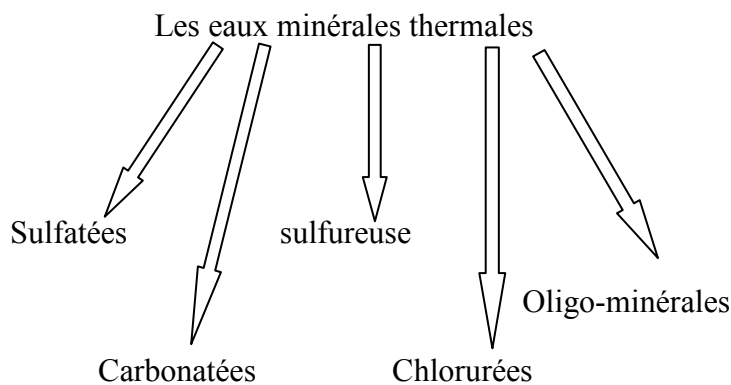
IV.2 Différents stations thermales médicalisées

Parmi les nombreuses stations thermales qui existent en Algérie, huit seulement sont médicalisées, il s'agit des stations thermales : Hammam Bouhanifia (Mascara), Hammam Bouhadjar (Ain Témouchent), Hammam Boughrara (Tlemcen), Hammam Rabbi (Saida), Hammam Righa (Ain Defla), Hammam Guergour (Sétif), Hammam Salhine (Biskra), Hammam Meskhoutine (Guelma)

Ces stations thermales sont gérées par la société Algérienne de thermalisme et sont conventionnées avec les différentes caisses de sécurité sociale (CNAS, CASNOS, Caisse militaire). Y'a d'autre station qui sont pas gérées par cette société comme la station thermique de Hammam Mélouane...

IV.3 différents types d'eaux

La classification chimique des eaux minérales repose sur la présence majeure en sels minéraux et se compose de 5 groupes (Sandres, 2006)



IV.4 Le bienfait des cures thermales

Selon Asselin (2006), les bienfaits des cures sont multiples :

- ✚ En rhumatologie, les cures thermales s'appliquent à toutes les affections rhumatologiques chroniques ainsi qu'aux séquelles de traumatismes ostéo-articulaires.
L'arthrose, tout particulièrement la gonarthrose, la coxarthrose, l'arthrose digitale mais également les lombalgies, peuvent être une indication à des cures thermales (Asselin, 2006).
- ✚ Ils réduisent la douleur au premier stade du travail pendant l'accouchement. L'immersion dans l'eau est bien tolérée par les femmes qui en sont au premier stade du travail, et cette intervention engendre des réductions de la douleur et de la prise d'analgésiques.
- ✚ Ils soulagent les symptômes des varices : traitement par hydrothérapie de 12 minutes, alternant eau froide et eau chaude, cinq jours par semaines pendant 3 semaines, sous traitement. Le résultat est une réduction du volume des jambes, et des circonférences des chevilles et des mollets.
- ✚ Ils soulagent le psoriasis : grâce à ces effets mécaniques, thermiques et chimiques, l'hydrothérapie pourrait être utile en dermatologie.
- ✚ Ils diminuent les symptômes de l'insuffisance cardiaque chronique.
- ✚ Maladies neurologiques fonctionnelles dont les affections psychosomatiques.

IV. Recherche des indications de surveillance

IV.1. Paramètres organoleptiques :

❖ Couleur

La couleur des eaux est due à des acides humiques, grosse molécules contenant des cycles aromatiques ou polyaromatiques avec des fonctions hydroxyles ou acides. ces molécules correspondent à des fins dégradations de la matière organique et sont dans la plupart de cas très peu biodégradables (Roland, 2012).

❖ Odeur- Saveur

Ces deux paramètres sont regroupés et font appel au même type de traitement. L'odeur et la saveur anormales sont dues à des molécules organiques contenues en très faibles quantités dans les eaux. Ces molécules peuvent être soit des molécules d'origines naturelles : métabolites d'algues, d'actinomycètes..., soit d'origines de pollution domestiques ou industrielles (Roland, 2010).

❖ Turbidité

La turbidité de l'eau caractérise la masse de matière en suspension par unité de volume d'eau. La turbidité peut se révéler être un indicateur de pollution. En effet, la présence de matière en suspension peut être d'origine animale ou minérale (Lalanne, 2012).

IV.2. Paramètres physico-chimiques :

La connaissance de certains paramètres physico-chimiques donne une appréciation préliminaire de la qualité du degré de la pollution d'une eau (Bordjiba et *al.*, 2009).

IV.2.1. paramètres physiques

❖ Température

Elle est d'une grande importance dans l'étude et la surveillance de la qualité des eaux (Bordet, 2007). En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout de gaz, dans la dissociation des sels dissous et d'autre (Rodier et *al.*, 2005).

❖ Potentiel d'hydrogène

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺) (Villers et al, 2005). Il détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau, ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques (NA.751/1990).

Tableau N°2 : Classification des eaux d'après leur pH

| | |
|----------|--|
| pH<5 | Acidité forte |
| pH=7 | pH neutre |
| 7<pH<8 | Neutralité approchée→ majorité des eaux de surface |
| 5.5<pH<8 | Majorité des eaux souterraines |
| pH=8 | Alcalinité forte, évaporation intense |

Source : Agence Nationale des ressources hydriques

❖ Conductivité électrique

La conductivité électrique est la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique (Bremaud, 2006). Cette capacité dépend de plusieurs facteurs tels que la nature des ions présents et leur concentration totale (Kourradi, 2007).

Selon Lalanne (2012), La mesure de la conductivité de l'eau fournit donc une première approche de sa composition et de ces propriétés chimiques.

❖ Matière en suspension

Les MES, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets (Rodier et *al.*, 1984).

❖ Résidus sec

La détermination des résidus totaux sur une eau non filtrée reflète la teneur en matière dissoutes et en suspension non volatiles.

IV.2.2. Paramètres chimiques

❖ Calcium

Est un élément de la dureté de l'eau, il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe à l'état de bicarbonates et en quantités faibles. Les eaux chargées de calcium sont dures et celles qui sont faiblement chargées son douces (Dergemont, 2005).

❖ Sulfates

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours des sulfates en proportions très variables (Henry et Beaudry, 1998).

La forte concentration en sulfates provoque de troubles gastro-intestinaux, aussi elles peuvent donner un goût désagréable à l'eau (Belkhiri, 2011).

❖ Sodium

Elément constant dans l'eau mais à des concentrations très variables, c'est un des éléments des bases alcalines et alcalino-terreuses jouant un rôle dans le maintien de la perméabilité des sols (Rodier *et al.*, 2005).

❖ Manganèse

C'est l'un des éléments les plus répons dans la nature, il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. C'est un élément significatif de la dureté de l'eau (Kourradi, 2007).

❖ Chlorures

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentration variables dans les eaux naturelles (Makhoukh *et al.*, 2001).

Une concentration élevée de chlorures peut provoquer l'eczéma et l'érythème (Belkhiri, 2011).

❖ Potassium

Sa présence est à peu près constante dans les eaux naturelles. On en retrouve généralement 10 fois moins que sodium (Rodier *et al.*, 2005).

Le potassium a un effet laxatif, mais il donne un léger goût. Généralement, il ne présente pas d'inconvénients (Chekroud, 2007).

- **Les paramètres de pollution :**

- ❖ **Ammoniacale**

L'azote ammoniacale est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (Rodier *et al.*, 2005).

- ❖ **Nitrates**

Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux ; il peut varier de 1 à 15 mg/l (Rodier *et al.*, 2005).

- ❖ **Nitrites**

Une eau qui renferme des nitrates est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique (Potelon et Zysman, 1998).

- **Eléments métalliques :**

A la différence de la plupart des contaminants organiques, les métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux.

- ❖ **Fer** : et manganèse tachent les appareils de lavage et de plomberie et donnent un goût désagréable à l'eau.
- ❖ **Chlore** : donne un goût désagréable.
- ❖ **Cuivre** : donne un goût désagréable et tache. L'absorption de grandes quantités de ce métal peut causer des problèmes de santé.
- ❖ **Zinc** : donne un goût désagréable à l'eau. L'eau se couvre d'une pellicule grasseuse lorsqu'on le fait bouillir.
- ❖ **Soufre** : donne un goût et une odeur désagréables, il cause aussi des troubles intestinaux.

IV.3 Paramètres microbiologiques

Les établissements thermaux disposent des soins utilisant l'eau comme agent thérapeutique, à des patients dont les défenses parfois affaiblies peuvent les rendre vulnérables aux infections. Cette eau doit répondre aux caractéristiques particulières de qualité microbiologique et de sécurité exigées pour tout produit à usage thérapeutique (**conseil supérieur d'hygiène publique de France, 1999**)

Les bactéries

❖ Coliformes totaux

Ils appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae*. Ce sont des bacilles à Gram négative, non sporulés, anaérobies facultatifs, oxydase négative, capable de se multiplier en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48 heures à une température de 35 à 37°C. Ils sont largement répandus dans la nature et survivent plus longtemps dans l'eau.

❖ Coliformes Fécaux

Où encore appelés « coliformes thermo-tolérants », ils possèdent les mêmes caractéristiques que les coliformes totaux mais seulement ils fermentent le lactose avec production gaz à 44°C (Guiraud, 1998).

❖ *Pseudomonas aeruginosa*

Est un bacille aérobie à Gram négatif, surtout présent dans le sol et l'eau (Delarras, 2003). Il peut vivre dans n'importe quel milieu humide. Cette bactérie est résistante à plusieurs antibiotiques et désinfectant. L'espèce la plus importante est *Pseudomonas aeruginosa*, agent commun d'infections nosocomiales (Brousseau *et al.*, 2009)

❖ Les streptocoques fécaux (SF)

Les Streptocoques sont des coques à Gram positif en forme de chainettes. Ils sont catalase négatif (Goubau et Pellegrins, 2000). Ce sont des hôtes normaux de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud (Poeton et Zysman, 1998).

❖ Anaérobies Sulfito-réducteurs

Ce sont des anaérobies strictes à Gram positive, catalase négative, sporulées, réduisent les sulfites en sulfures d'hydrogènes (Henze et al., 2008).

D'après Rodier (1996), les *Clostridium* sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale.

❖ Salmonelle

Les salmonelles appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae*. Ce sont des bacilles à Gram négative, non sporulés, généralement mobiles par des flagelles. Ces germes sont des parasites intestinaux de l'homme et des animaux et sont éliminés dans les matières fécales. La présence de ces germes dans les eaux usées est liée à l'existence dans les populations riveraines d'individus infectés, des malades et porteur apparemment sains (Kourradi, 2007).

❖ Vibrions Cholériques

Appartiennent à la famille des *Vibrionaceae*, bactéries à Gram négatif, aéro-anaérobies facultatif, de forme incurvé ou droit, mobiles par ciliature polaire, non sporulés, dégradent les glucides par voie fermentaire, catalase positive, indole positive (Gelinas, 1995).

IV.4. Les maladies à transmission Hydrique (MTH)

Les MTH recouvrent un large éventail de manifestation pathologique bactérienne, parasitaire ou virale.

Tableau N° 3 : Maladies à transmission hydrique

| Maladies | Agents pathogènes |
|--|--|
| Origine bactérienne Légionellose Fièvres typhoïde et paratyphoïde Dysenterie bacillaire Choléra | <i>Legionella pneumophila</i> <i>Salmonella typhi</i> et <i>paratyphi A et B</i> <i>Shigella dysenteriae</i> <i>Vibrio cholerae</i> |
| Origine parasitaire Amibiase Bilharzioses | <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Shistosoma haematobium, S.mansoni</i> |
| Origine virale Poliomyélite Hépatite A Hépatite E | Entérovirus. Virus de la polimyélite Virus d'hépatite A (HVA) Virus d'hépatite E (HVE) |

(Delarras, 2003)

la partie expérimentale

Ces bâches à d'eaux fonctionnent à l'aide des pompes immergées avec un débit de 6 à 7 litre/seconde avec une température de 37 à 38c°.

La capacité de stockage est évaluée à 30000 litre. L'alimentation des différents bains se fait à partir des dites réservoirs par des canalisations en inox et en pvc.

I.1.3 Installation du matériel et infrastructure existante

- Un bloc de hammam composé de 100 salles de bain équipées de baignoire individuelle et de douche (entre hommes et femmes).
- Salle d'attente
- 2 salles de rééducation
- 2 saunas
- 2 salles de massage

I.2 Matériel et Méthodes

I.2.1 Matériel non biologique

Le matériel pour l'analyse physico-chimique et bactériologique est présenté en annexe.

On a effectué un sondage sur 74 Personnes pris au hasard qui ont visité la station thermale de Hammam Mélouane

Les questions posées sont :

- **Le sexe :** **Homme** **Femme**
- **Quelle est la raison de leur visite ? pour des soins ou bien une visite touristique ?**
 Cure thermale **Visite touristique**
- **Quel type de maladie ?**
- **La cure thermale est elle bénéfique ?** **Oui** **Non**

Tableau N°4: Paramètres mesurés et méthodes analytiques utilisées

| Paramètres | Abréviation | Unités | Matériels et méthodes analytiques |
|------------------------------|--------------------------------------|--------|--|
| Température | T | °C | Thermomètre numérique (HANNA Instrument) |
| Potentiel d'hydrogène | pH | | Potentiométrie : Mesure électro- métrique du pH avec l'électrode de verre |
| Conductivité | CE | ms/cm | Conductimètre : Mesure de la conductance électrique par deux électrodes de platine |
| Turbidité | Turb | NTU | Turbidimétrie : HACH 2100N |
| Dureté | TH | °F | Potentiométrie |
| Titre alcalimétrique complet | TAC | °F | Volumétrie |
| Matière en suspension | MES | mg/l | Etuve. Fioles, capsules, filtres, rampe de filtration, balance, dessiccateur. |
| Chlorure | Cl ⁻ | mg/l | Volumétrie |
| Bicarbonate | HCO ₃ ⁻ | mg/l | Volumétrie |
| Sulfate | SO ₄ ⁻ | mg/l | Spectrophotomètre UV Visible |
| Nitrite | NO ₂ ⁻ | mg/l | Spectrophotomètre UV-Visible |
| Nitrate | NO ₃ ⁻ | mg/l | Spectrophotomètre UV-Visible |
| Azote ammoniacale | NH ₄ ⁺ | mg/l | Spectrophotomètre UV-Visible |
| Fer | Fe ²⁺ | mg/l | Spectrophotomètre UV Visible : colorimétrie |
| Aluminium | Al ²⁺ | mg/l | Spectrophotomètre UV. Visible : Colorimétrie |
| Phosphate | PO ₄ ³⁻ | mg/l | Spectrophotomètre UV. Visible |
| Calcium/ Magnésium | Ca ²⁺ Mg ²⁺ | mg/l | Spectrophotomètre UV. Visible Colorimétrie |
| Manganèse | Mn ²⁺ | mg/l | Spectrophotomètre UV Visible : colorimétrie |

I.2.2 Matériel biologique

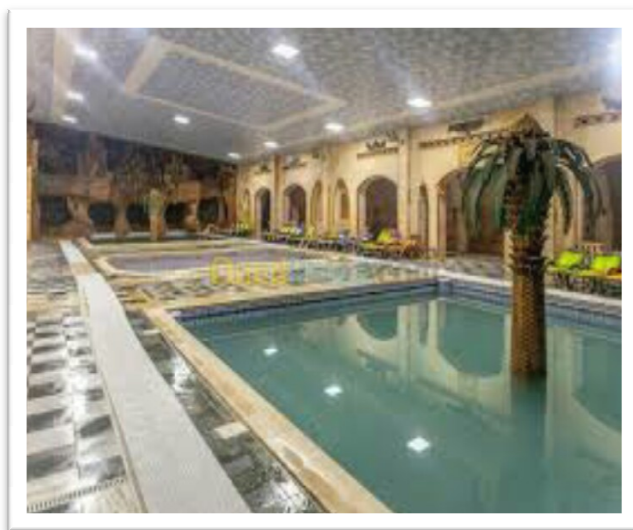
Le matériel qui a concerné notre étude porte sur l'eau de source, de robinet et de piscine.

Echantillonnage :

Les échantillons destinés aux différentes analyses sont prélevés à différents niveaux de la station, à partir de la source après l'eau de robinet, bassin des femmes et des hommes, selon le protocole de l'échantillonnage et les photos suivantes :

Tableau N°5: Protocole d'échantillonnage

| Analyse | Physico-chimique | Bactériologique |
|----------|---------------------------|---------------------------|
| Période | Une fois par quinze jours | Une fois par quinze jours |
| Quantité | 1.5 L | 250 ml |



Piscine collectif



L'eau de robinet



La source

Photos 2 : principales stations d'échantillonnage

Matériel de prélèvement :

Pour le prélèvement d'eau destinée à l'analyse microbiologique on utilise des flacons en verre borosilicate de 250 ml, ils doivent être stérilisés par la chaleur humide à l'autoclave à 120°C pendant 20 min (Rodier *et al.*, 2005)

Si le prélèvement est réalisé à l'aide d'un flacon en plastique (usage unique), généralement destinée à l'analyse physico-chimique, il est nécessaire de rincer 2 à 3 fois avec de l'eau prélevée avant de le remplir.

Mode de prélèvement :

- Stériliser le robinet avec un coton alcoolisé à 70°.
- Flamber le robinet et laisser couler 3 à 5 min avant de faire le prélèvement.
- La quantité d'eau stagnante doit être évacuée à débit lent et régulier, afin de ne pas introduire les particules solides propres à l'installation interne.
- Flamber le bord du goulot et mettre le bouchon.
- Inscrire sur l'étiquette les indications nécessaires à l'identification des Prélèvements : origine de prélèvement, date et heure de prélèvement.

Transport et conservation :

Nos flacons étaient maintenus à une température comprise entre 4 et 6 °C à l'obscurité dans une boîte à isolement thermique (glacière) appropriée munie des poches de glaces, et transportés le plus vite possible au laboratoire afin de limiter toute croissance des germes éventuellement présents.

Un délai maximal de 8 heures, est généralement recommandé entre les opérations de prélèvement et l'analyse, la conservation au laboratoire se fait aussi à 4°C (Rodier *et al.*, 2005).

I.3.1 Analyse physico-chimique

Les modes opératoires sont fournis par ISO.

Paramètres physiques :

❖ Mesure de pH par la méthode potentiométrique avec de verre (NF T90-008)

• Principe

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène $[H^+]$ présents dans l'eau ou les solutions. La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé) plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

- **Les Réactifs utilisent:**

Solution Tampon pH=7

Solution Tampon pH =4

- **Étalonnage de l'appareil :**

- Allumer le pH mètre.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH = 7.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH = 7.
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec de l'eau distillée.
- Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH 9 ou pH 4.

Puis rincer abondamment l'électrode avec de l'eau distillée.

- **Mode opératoire :**

- Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode du pH mètre dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment avec d'une faible vitesse d'agitation.

Puis noter le pH.

❖ **Température**

La température d'une eau a une influence importante sur les phénomènes chimiques, tel que la solubilité et la désinfection.

La température de l'eau est mesurée sur place à l'aide d'un thermomètre numérique. Le résultat est exprimé en degré Celsius (c°).

❖ **Mesure de la Conductivité électrique (NF T90-031)**

- **Principe :**

Détermination directe à l'aide d'un conductimètre approprié de la conductivité électrique, des solutions aqueuses automatiquement corrigée à 25 c°.

- **Mode opératoire :**

- Introduire l'électrode du conductimètre dans l'eau distillée.
- Si l'appareil n'est pas étalonné, effectuer l'étalonnage en choisissant une solution d'étalonnage la plus proche de domaine de mesure.
- Laisser l'appareil se stabilisé à 0µs/cm.
- Introduire l'électrode directement dans le flacon de l'échantillon.
- L'électrode doit être rincée abondamment avec l'eau distillée après chaque mesure.

- Les résultats sont lus directement sur l'écran du conductimètre.

❖ **Détermination de la TDS** (méthode Allemande utilisée par SEAAL)

Elle a été déterminée au laboratoire à l'aide d'une électrode incorporé au conductimètre étalonné. On lit directement la TDS exprimée en mg/l.

❖ **Mesure de la turbidité** (NF T 90 – 033)

• **Principe**

La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau, qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présente dans l'échantillon.

• **Mode opératoire**

- L'affichage de la turbidité indique : 0.00 NTU.
- Après remplir la cuvette de mesure (50mm) avec l'échantillon à analyser, bien homogénéiser et bien essuyer avec du papier hygiénique.
- Effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence des bulles d'air avant chaque mesure.
- L'affichage indique des résultats exprimés en unité (NTU).

❖ **Mesure des résidus secs à 105c°**

• **Principe**

Les résidus sec représente la quantité de sel dissous dans l'échantillon après élimination des matières en suspension puis évaporation de l'eau, une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée, le résidu dessèche est ensuite pesé.

• **Mode opératoire**

- Filtrer l'échantillon sur papier filtre.
- Peser la capsule vide (PV en gr).
- Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée.
- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser la dans la capsule.
- Porter cette dernière à l'étuve à 105c° pendant 24h.
- Laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement (PP en gr).

Les résultats donnée en mg/l d'où :

PP : est le poids plein de la capsule

PV : est le poids vide de la capsule

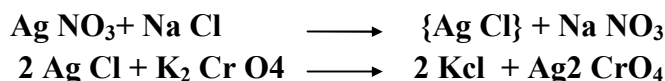
$$(PP - PV) \times 10 = \text{mg/l de RS}$$

I.3.2 paramètres chimiques

❖ Détermination des chlorures (NF T 90 – 014)

• Principe

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.



• Mode opératoire :

- Prendre 5 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre).
- Titrer avec Ag NO_3 à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.
- Effectuer les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 470 nm en réglant le 0.

• Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l.

❖ Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du Magnésium (Mg^{2+}) (ISO N° 6058)

• Principe

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec solution de sel disodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) à pH 10. Le noir Erichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

• Mode opératoire

▪ Titre de l'E.D.T.A

- Prélaver 10 ml de la solution CaCO_3 à 1g/l (20mé/l) qui seront dosés en même temps que les échantillons. Cette solution contient 20 mé/l de Ca^{++} .
- Placer les PE dans les béchers de 50ml, on y ajoute systématiquement 2 ml de tampon (Ca/Mg) 2 ml de NaOH (Ca) et une pincée d'indicateur Murixide (Ca) et noire Erichrome (Ca/Mg); la solution prend une teinte rose (Ca/Mg) et rouge (Ca).
- Traiter la solution étalon de Ca^{++} et les échantillons préparés de manière identique. L'E.D.T.A étant placé dans la burette, on verse jusqu'au virage du rose au bleu en maintenant une agitation dans le bécher.
- Noter soigneusement le volume V_1 d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer la solution étalon de Ca^{++} et les volumes V_2 d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer les échantillons.

▪ **Calcul de la Normalité de l'E.D.T.A**

10 ml à 20mé/l de calcium ont été dosés par V1 d'E.D.T.A

$$N_{E.D.T.A} \text{ (mé/l)} = (20 \times 10) / V1 = 200 / 10$$

❖ **Détermination des bicarbonates (NF T0-036)**

• **Principe**

Détermination des volumes successif d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux pH= 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. Les bicarbonates n'existant qu'à pH compris entre 4.4 et 8.3

• **Mode opératoire**

- Prendre 100 ml d'eau à analyser
- Noter son pH puis titrer avec HCl à 0,1 N jusqu'à obtention d'un pH de 4,3.

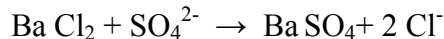
• **Expression des résultats**

$$\begin{aligned} \text{HCO}_3^- \text{ mé/l} &= (V \times N \times 1000) / PE \\ \text{HCO}_3^- \text{ mg/l} &= \text{HCO}_3^- \text{ mé/l} \times 61 \end{aligned}$$

❖ **Détermination du sulfate (NF T90-011)**

• **Principe :**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum En présence de Ba Cl₂.



• **Mode opératoire :**

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

• **Expression des résultats**

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l.

❖ **Détermination des nitrates (T90-012)**

• **Principe :**

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

Mode opératoire :

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
 - Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.
 - Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
 - Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.
 - Reprendre le résidu avec 2 ml. H₂SO₄ laisser reposer 10 mn.
 - Ajouter 15 ml d'eau distillée.
 - Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectro au 415 nm.
- **Expression des résultats :**

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en nitrate en mg/l.

❖ **Détermination des nitrites (ISO 5667)**

• **Principe**

Par diazotation des nitrites avec l'acide sulfanilique à pH=2.5 puis par copulation du composé formé avec l'α-Naphtylamine, on obtient un colorant azoïque rouge stable au moins 12 heures dont on mesure l'intensité à 534 nm.

• **Mode opératoire**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte.
- Attendre 10mn.

* L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO₂⁻.

- Effectuer la mesure colorimétrique à 543 nm.

• **Expression des résultats**

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en nitrite en mg/l.

❖ **Détermination de l'azote ammoniacale (ISO N°7150)**

• **Principe**

La mesure spectrométrique à environ 655 nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

- **Mode opératoire**
 - Prendre 40 ml d'eau à analyser.
 - Ajouter 4ml du réactif I.
 - Ajouter du réactif II et ajuster à 50ml avec d'eau distillée et attendre 1h30.
 - L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de NH_4^+
 - Effectuer la lecture à 655 nm.

- **Expression des résultats**

Le résultat est donné directement en mg/l

❖ **Dosage des matières organiques par oxydabilité au permanganate (T 90 -050)**

- **Principe**

Oxydation par un excès de permanganate de potassium, en milieu acide et à ébullition (10mn), des matières oxydables contenues dans l'échantillon. Réduction de l'excès de permanganate par l'oxalate de sodium en excès et titrage en retour de l'excès d'oxalate par le permanganate de potassium.

- **Mode opératoire**

- Prendre 100 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique dilué à 2.2 M et homogénéiser. Porter à ébullition douce puis ajouter 20ml de la solution de permanganate de potassium à 2mmol/l.
- Après 10min, ajouter 20ml de la solution d'oxalate de sodium à 5mmol/l.
- Titrer après décoloration, alors que la solution est encore chaude, avec la solution de permanganate de potassium à 2mmol/l jusqu'à apparition d'une coloration rose.

❖ **Titration de la solution de permanganate de potassium (ISO 9964/3)**

Ajouter 20ml d'oxalate de sodium à 5mmol/l. Chauffer jusqu'à 80°C et titrer avec le permanganate de potassium à 2mmol/l jusqu'à apparition de la coloration rose.

❖ **Dosage de phosphate PO_4^{3-} (ISO N° 6878)**

- **Principe**

Le molybdate d'ammonium $\text{MO}_7(\text{NH}_4)_4\text{H}_2\text{O}$ réagit en milieu acide en présence de phosphate en donnant un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique développe une coloration bleu (bleu de molybdène) susceptible d'un dosage colorimétrique.

- **Mode opératoire**

Au moment du dosage mélanger les 2 réactifs (solution molybdique et le solution d'acide ascorbique) dans des proportions suivantes :

- 20ml de pris d'essai.
- Ajouter 5ml du réactif mélangé contenant 3 volumes de la solution molybdique, 1 volume de la solution ascorbique.
- Effectuer les réactions dans des tubes à essai.
- Porter un bain marie à 80c° durant 10 minutes.
- Laisser refroidie et mesurer l'absorption à 825 nm.

- **L'expression des résultats**

La concentration des phosphates est exprimée en mg/l.

- ❖ **Détermination du Fer (ISO 6332)**

- **Principe**

Après oxydation en milieu acide, le Fer est réduit à l'état ferreux et dosé par spectrophotométrie en utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec la phénanthroline.

- **Mode opératoire**

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

- **Expression des résultats**

La courbe donne la teneur en Fer exprimé par mg/l.

- ❖ **Détermination d'Aluminium (méthode Allemande utilisée par SEAAL)**

- **Mode opératoire**

Sur 50ml d'eau à analyser, on ajoute 15ml de l'ériocyanine, 10ml de tampon pH 6 et 1ml d'acide ascorbique ; après homogénéisation, on laisse reposer pendant 20min. la lecture sera effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 560nm.

- **Expression des résultats**

Les résultats sont donnés directement en mg/l.

❖ **Détermination du Manganèse (ISO 6333)**

• **Principe**

Le manganèse est oxydé en permanganate à l'aide de periodate de potassium en milieu acide. Le permanganate ainsi formé est dosé spectrophotométriquement.

• **Mode opératoire**

- Verser un bécher 100ml d'eau à analyser qui doit contenir entre 5 et 100 μ de manganèse.
- Traiter en suite l'échantillon comme indiqué pour l'établissement de la courbe d'étalonnage.
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 525 nm.

• **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 100ml, la courbe donne la teneur en manganèse exprimé en mg/l.

❖ **Détermination de la Matière en suspension (T 90 – 105)**

Vaporisation de l'échantillon à une température de 150° pendant 2 heures, détermination des matières en suspension par pesée différentielle.

* Des eaux non chargées en MES : on utilise des filtres pour la filtration.

* Les eaux chargées en matière en suspension, on utilise directement les échantillons dans des capsules.

• **Mode opératoire :**

- Dans des eaux d'une faible concentration en MES, on utilise des filtres.
- Mouiller le filtre avec de l'eau distillée.
- Mettre dans l'étuve pendant quelques minutes.
- Sortir le filtre, puis le mettre dans le dessiccateur pour le refroidissement.
- Puis peser le filtre sur la balance jusqu'à obtention d'un poids stable.
- Prendre une fiole de 100 ml, laver abondamment avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau distillée.
- Prendre une prise d'essai de 100 ml, placer le filtre dans la rampe de filtration.
- Verser le volume d'eau (100 ml) jusqu'à filtration complète.
- Récupérer le filtre et le mettre à l'étuve à 150°C pendant 2 heures.
- Mettre le filtre dans le dessiccateur pendant 15 minutes jusqu'à refroidissement total.
- Peser le filtre.

I.3.2 Analyse bactériologique

Une analyse bactériologique d'une eau destinée à l'usage humain comporte la recherche et le dénombrement de germes indicateurs de contamination fécale comme les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. La recherche d'autres germes tels que *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella sp.*

❖ Recherche et dénombrement des coliformes et des streptocoques en milieu liquide (Méthode NPP)

✚ Colimétrie en milieu liquide

La technique de recherche des bactéries coliformes en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- **Le test de présomption** : réservé à la recherche des coliformes totaux.
- **Le test de confirmation** : réservé à la recherche des coliformes thermotolérants et *E. coli*

A. Test de présomption

- **Mode opératoire**

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 50ml dans un flacon contenant 50ml de milieu BCPL D/C uni d'une cloche de Durham.
- 3 fois 10ml dans 3 tubes contenant 10ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 3 fois 1ml dans 3 tubes contenant 10ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.
- Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

- **Lecture**

Les tubes considérés comme positifs, sont ceux où il se produit simultanément :

- Un trouble microbien dans toute la masse du liquide, accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présents dans le milieu).
- Un dégagement de gaz (supérieur à 1/10 de la hauteur de la cloche).

Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites.

Le dénombrement des coliformes totaux se fera alors selon la valeur du nombre caractéristique rapportée sur la table de Marc Grady (NPP) en annexe.

B. test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la recherche des coliformes thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*E.coli*.

- **Principe**

Les coliformes thermotolérants ont les mêmes propriétés de fermentation que les coliformes à 44c°. *Escherichia coli* est un coliforme thermotolérant qui entre autre ; produit de l'indole à partir du tryptophane à 44c°.

- **Mode opératoire**

- Le flacon et les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une Öse bouclé dans un tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham.
- Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait cette fois-ci à 44c° pendant 24 heures.

- **Lecture**

Les tubes positifs sont ceux ou apparait :

- Un dégagement Gazeux.
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production de l'indole par *E. coli*. après adjonction de 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table de NPP en tenant compte du fait qu'*E.coli* est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44 c°.

Etant donné que les coliformes fécaux font partie des coliformes totaux, il est impossible de trouver plus de coliformes fécaux que les coliformes totaux.

Streptométrie

- **Mode opératoire**

La recherche et le dénombrement des streptocoques dans les eaux en milieu Liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives :

- **Test de présomption** : réservé à la recherche présomptive des streptocoques.
- **Test de confirmation** : réservé à la confirmation réelle des streptocoques.

- **Test de présomption**

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 50ml dans un flacon contenant 50ml de milieu Rothe D/C.
- 3 fois 10ml d'eau, les 3 tubes contenant 10ml de milieu Rothe D/C.
- 3 fois 10ml d'eau, les 3 tubes contenant 1ml de milieu Roth S/C.
- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.
- L'incubation se fait à 37c° pendant 24 à 48 heures.

- **Lecture**

Seront considérés comme présomptifs les tubes présentant un trouble microbien, seulement ces derniers :

- Ne doivent en aucun cas faire l'objet de dénombrement.
- Doivent par contre, absolument faire l'objet d'un repiquage sur milieu Eva-Litsky dans le but d'être justement confirmé.

- **Test de confirmation**

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des streptocoques éventuellement présents dans le test de présomption.

Les tubes de Rothe trouvés positifs feront donc l'objet d'un repiquage à l'aide d'une pipette dans un tube contenant le milieu Eva-Litsky.

L'incubation se fait cette fois-ci à 37c°, pendant 24 heures.

- **Lecture**

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.
- Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.

La lecture finale s'effectue également selon la prescription de la table NPP.

Recherche et dénombrement des spores d'Anaérobies Sulfite-Réducteurs

Les spores des ASR constituent généralement des indices d'une contamination ancienne

- **Mode opératoire**

- Prendre environ 250ml d'eau à analyser dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80c° pendant 8 à 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.

- Après le chauffage, refroidir immédiatement le tube sous l'eau de robinet (choc thermique).
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5ml par tube.
- Après, ajouter 20ml de gélose Viande fois, fondue puis refroidie à 45⁺. additionnée d'une ampoule d'Alun de Fer et d'une ampoule de Sulfite de sodium.
- Ensuite mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air et en évitant l'introduction d'oxygène.
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes d'environ, puis incubé à 37c° pendant 18 à 24 heures.

- **Lecture**

La première lecture doit absolument être fait à 16 heures car souvent les colonies des ASR sont envahissantes en aucun cas se trouvait en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse sera refaite en utilisant des dilutions décimales de 10-1 voir 10-2, la deuxième lecture se fera à 24 heures et la troisième et dernière à 48 heures.

A la fin, dénombrer toute colonie noire de 0.5 mm de diamètre, poussant en masse.

Il est donc impératif de repérer et dénombrer rapidement toutes les colonies noires de 0.5 mm de diamètre, ayant poussé en masse, en excluant d'emblée les colonies qui seraient développées en zone anaérobie, soit jusqu'à 1cm en dessous de la gélose.

- ✚ **Recherche des *Pseudomonas***

La recherche des *Pseudomonas* se fait par la technique d'étalement en surface.

- Devant un bec bunsen et à l'aide d'une pipette pasteur on prélève 0.1ml d'eau à analyser. Inoculer la gélose nutritif qui a été couler avant dans des boites de pétri.
- Former in râteau en faisant fondre le bout de la pipette pasteur.
- Etaler uniformément l'inoculum sur la surface de la gélose nutritif.
- Incuber à une température de l'ordre de 37c° pendant 24 à 48 heures.

- ✚ **La recherche des salmonelles**

Les salmonelles sont des entérobactéries qui se présentant sous forme de bacilles à Gram négatifs (BGN), ne fermentant pas le lactose, amis fermentant le glucose avec production de gaz H₂S ; elles se divisent en 2 grandes groupes : les mineurs et les majeurs.

1^{er} jour : premier Enrichissement

Le 1^{er} enrichissement s'effectue sur le milieu de sélénite-cystéine D/C (**SFB I**) réparti à de 100 ml par flacon.

Ce dernier sera donc ensemencé à l'aide de 100ml d'eau à analyser, puis incubé à 37c° pendant 18 à 24 heures.

2^{ème} jour : deuxième enrichissement et isolement

Ce flacon fera l'objet :

- D'une part, d'un 2^{ème} enrichissement sur milieu Sélénite en tube (SFB II) à raison de 0.1ml.
- D'autre part, d'un isolement sur gélose Héктоene.

L'incubation se fait donc à 37c° pendant 24Heures.

3^{ème} jour : Isolement

La solution SFB II isolé sur gélose Hektoen II, prendre 1ml de SFB II et l'introduire dans un bouillon sélénite-cystéine (SFB III).

L'incuber à 37c° pendant 18 à 24 heures.

4^{ème} jour : lecture des boîtes et identification

Les boîtes en gélose Hektoen subira une lecture en tenant compte, le fait que les salmonelles se présentent le plus souvent sous forme de colonies de couleur gris avec centre noir.

Ces derniers vont subir une identification biochimique.

Recherche des Vibrions

Les vibronacae se présentent sous formes de bacilles à Gram négatif droits ou incurvés (BGN), très mobiles, possédant une oxydase, aéro-anaérobies facultatives, fermentant le glucose sans production de gaz ni H₂S (Hautement pathogène).

1^{er} jour : premier enrichissement

Le 1^{er} enrichissement s'effectue sur le milieu Eau Péptonée Alcaline 10 concentré réparti à raison de 50ml par flacon au quel on ajoute aseptiquement 450ml d'eau à analyser au moment du prélèvement.

Ce dernier sera par la suite incubé à 37c° pendant 18 à 48 heures.

2^{ème} jour : deuxième enrichissement et isolement

Ce flacon fera l'objet :

- D'une part, d'un 2^{ème} enrichissement sur milieu EPA on tube à raison de 1ml.
- D'autre part, d'un isolement sur gélose GNAB I.

L'incubation se fait donc à 37c° pendant 24 heures.

3^{ème} jour : lecture des boites et identification

- D'une part, le tube d'EPA fera l'objet d'un isolement sur GNAB II.
- D'autre part, la boite de gélose GNAB I subir une lecture en tenant compte du fait que les vibriions se présentant sous forme de grosses colonies lisses et transparentes caractéristiques.

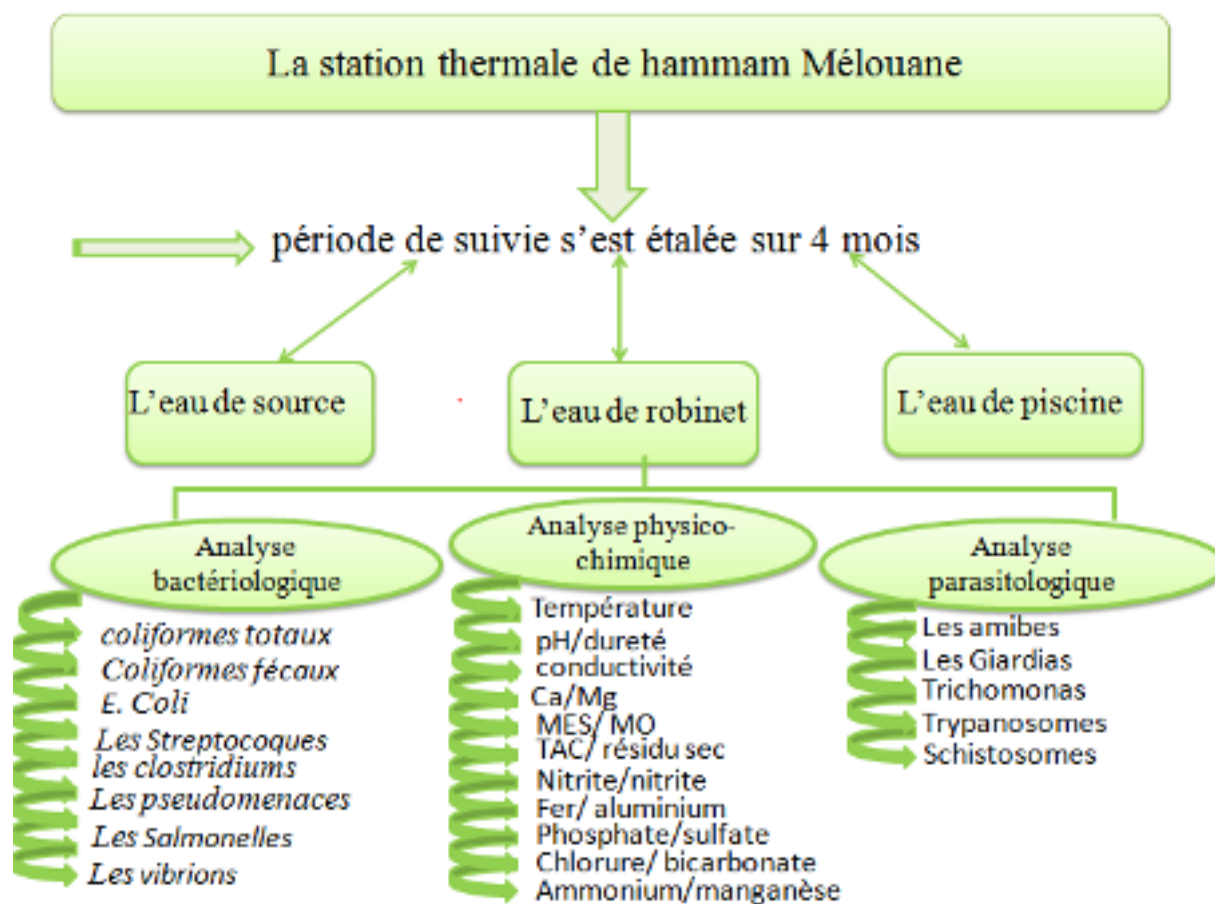


Figure 3: Schéma directeur

I.4. Analyses statistiques :

Les valeurs moyennes des concentrations des éléments minéraux sont présentées par des graphes pour visualiser la richesse en ces composés minéralogiques. Le plus souvent ce type de graphique est réalisé par Excel.

I.4.1 Diagramme de ternaire (PAST vers. 1.37)

Dans le cas d'une comparaison quantitative entre 3 variables, les points d'intersection sont étudiés à l'aide d'un diagramme ternaire, nous avons effectuée 3 comparaisons, la première concerne la valorisation quantitative entre les 3 variables : pH, Conductivité, température. La seconde comparaison à l'aide du diagramme de ternaire concerne les 3 variables : Résidus sec, Matière organique, manière en suspension. Et la dernière comparaison quantitative a été faite entre 3 variables : la dureté, titre alcalimétrique et salinité. Le test est réalisé par le logiciel PAST ver. 1.37 (Hammer *et al.*, 2001).

I.4.2 L'analyse de la variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009)

Lorsque le problème de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les constituants (les paramètres physico-chimiques), nous avons eu recours à une analyse de la variance (ANOVA pour *Analysis Of Variance*), dans les conditions paramétriques si la distribution de la variable quantitative est normale. Lorsque plus de deux modalités interviennent par facteur, nous avons appliqués en outre le teste de Tukey qui intervient après l'ANOVA. Il permet de vérifier la significativité de la variable d'intérêt entre toutes les combinaisons des modalités.

I.4.3 Analyse multivariable PAST vers 1,95 (Hammer *et al.*, 2001)

Dans le cas de variables quantitatives, les relations multivariées sont étudiées à l'aide d'une analyse en composantes principales (A.C.P), l'exploitation des résultats a fait appel à une analyse multivariée (A.C.P).

III. Résultats et discussion

III.1 Résultats du sondage :

Nous avons établie un sondage lors de nos visites au niveau de la station thermale de Hammam Mélouane, où nous avons constatés 74 personnes qui ont répondu positivement à ce questionnaire qui est réparti entre 20 hommes et 54 femmes pris au hasard.

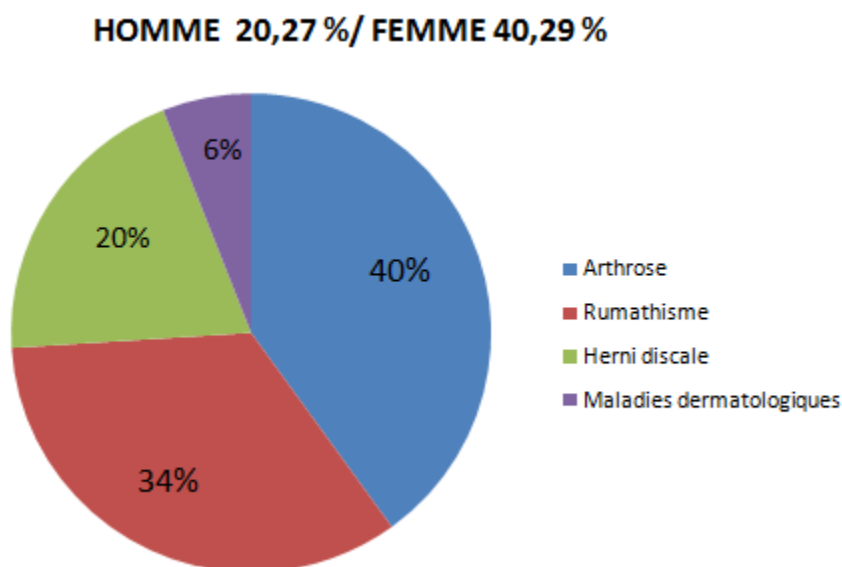


Figure 4 : Répartition des maladies entre Hommes et Femmes.

Nous avons noté que 67.56% souffraient de différentes maladies et 32.42% était en bonne santé, parmi la population atteinte de maladie, 40% se plaignaient d'Arthrose, 34% du Rhumatisme, 20% d'une Hernie discale et 6% d'une maladie de la peau.

III.2 Résultats des analyses organoleptiques

Tableau 7 : Résultats d'analyses organoleptiques

| Paramètre organique | Résultats |
|---------------------|--------------|
| Coloration | Jaunâtre |
| Odeur | Aucune odeur |
| Gout (saveur) | Salin |

D'après les résultats mentionnés au niveau du tableau N°7, la présence de la couleur est due à la présence des Matières organiques dissoutes ou colloïdales, elle est inodore et possède un goût salin à cause de la présence des sels.

III.3 Résultats des analyses physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques fournissent des indications sur la qualité de l'eau, mais ils sont assujettis à des variations par les activités anthropiques qui modifient les caractéristiques de l'eau. La comparaison des moyennes au niveau de cette station a permis de déceler l'existence d'un gradient généralement croissant pour les paramètres de la température, conductivité, dureté totale, chlorures, sulfates et matières en suspensions.

Les variations des concentrations en bicarbonates, Phosphate, Aluminium, Ammonium, Manganèse, Nitrite et Fer dans l'eau de Hammam Mélouane montrent que les valeurs sont minimales et conformes aux normes recommandées par JORA, 1996 pour l'ensemble des prélèvements (Fig.5a, b).

Nous avons également déterminé les teneurs en concentrations en Calcium et en Magnésium au niveau de l'eau de source, les premiers enregistrent une valeur maximale est de 804 mg/l et une valeur minimale est de 499 mg/l (Fig.5a). Les résultats des concentrations en magnésium montrent que les valeurs dépassent le seuil de la norme qui est de 150 mg/l, alors que la valeur trouvée maximale est de 970 mg/l et la valeur minimale est de 475 mg/l (Fig.5a).

La figure (5b) qui correspond à l'eau de robinet, où on remarque que les valeurs en calcium sont comprises entre 589 mg/l et 1000 mg/l. Les concentrations en magnésium sont de 72,144 mg/l à 703,35 mg/l, ces dernières dépassent de loin les normes.

La concentration en chlorure dépasse la norme recommandée qui est signalée dans la figure 5 (a, b) est de 600mg/l ; les valeurs enregistrées sont à l'ordre de : 2428,4 mg/l à 1012mg/l (Fig.5a). Les valeurs notées dans la figure (5b) sont comprises entre 2432,93mg/l et 852 mg/l.

Toutefois, la présence de Nitrate dans la figure 5(a, b) ne dépasse pas le seuil de la norme algérienne (50mg/l).

Les valeurs trouvées pour le sulfate dans la figure 5(a, b) dépassent de loin le seuil de la norme qui est indiquée par 400 mg/l, sachant que les taux de concentrations trouvés sont : 7000 mg/l (Fig.5a) et 6000 mg/l (Fig.5b), sachant que l'apport pluvial est très important durant cette période.

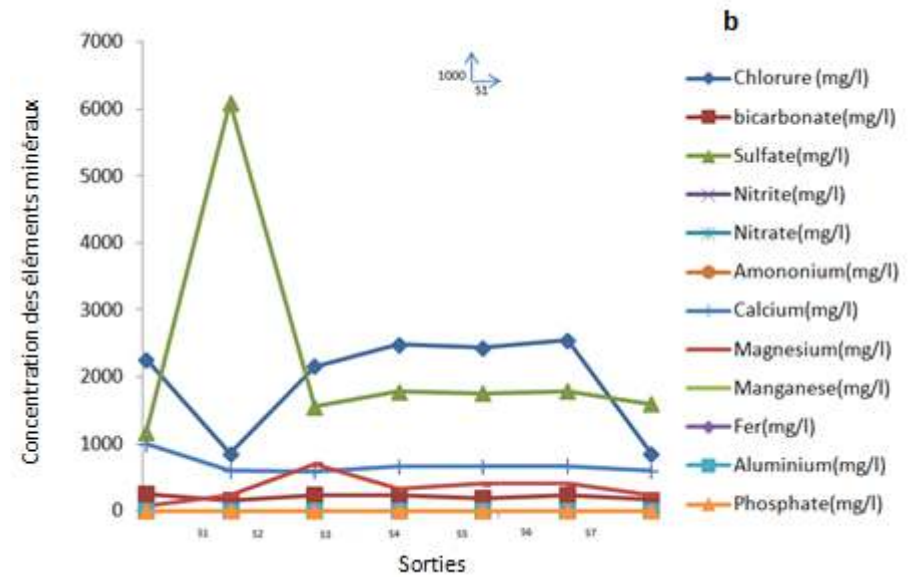
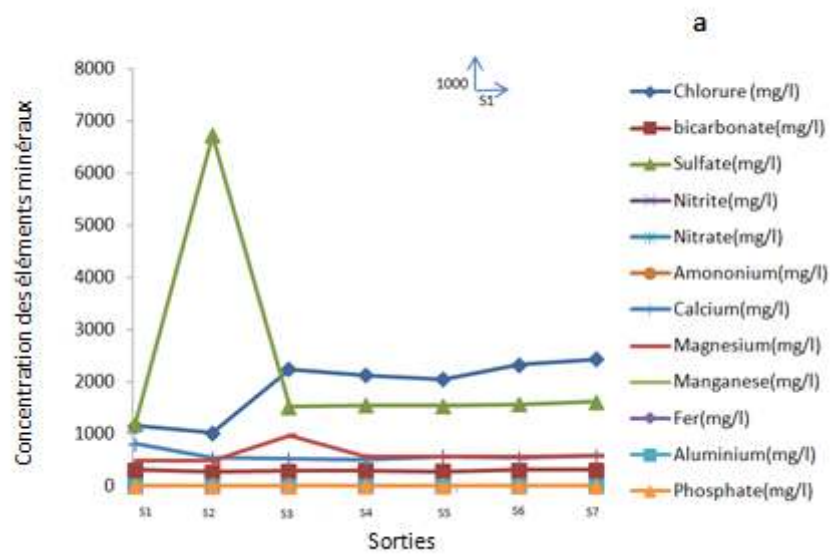


Figure 5(a, b) : Représentation des variations en concentration des éléments minéraux de la station thermale Hammam Mélouane.

a : Eau de source b : Eau de robinet

III.3.1 Modulation de la qualité physique de l'eau thermale de Hammam Mélouane

L'évaluation de la fluctuation de la qualité physique de l'eau thermale à été faite dans deux points de prélèvement à savoir : l'eau de source (fig.6 a) et l'eau de robinet (fig.6 b).

Cas de l'eau de source

L'analyse en composantes principales (ACP) a été adoptée afin de définir les tendances de la qualité physique de l'eau thermale.

L'analyse multivariée est acceptable de faite que les deux axes présentent un pourcentage de contribution près de 95% (fig.6a).

La projection des données relatives a la conductivité sur l'axe 1 (64,47%) permet de constaté que les prélèvements lors de nos prélèvement non pas eu un effet directe par apport à la projection de la température et pH sur l'axe 2 (32,75%) qui nous permettent d'observé que les tendances de la différentiation de la qualité physique lors de nos jours de prélèvement influence positivement par apport à la turbidité de l'eau.

La figure 7(a, b) représente les deux points de prélèvement dans la station thermale de Hammam Mélouane. Cette représentation, ressort que les paramètres étudiés sont regroupés en deux grands groupes.

Dans la première partie positive des paramètres physique matières en suspensions (MES) est corrélée avec un taux de (0,70); Résidus sec (RS) est corrélé avec un taux de (0,99) sachant que l'indice de corrélation est de 63,76%. La matière organique (MO) est corrélée négativement avec un taux de (-0,26), qui est située dans la partie négative à la formation de cette corrélation est indiquée par 26,30%. Dans l'optique d'un suivi régulier de la qualité des eaux, la possibilité de réduire de matière organique peut maximiser un réel intérêt dans la gestion des milieux aquatiques.

L'analyse multivariée montre que les paramètres physiques étudiés sont regroupé en deux groupe.

Le premier groupe est un groupe négatif, comprend le titre alcalimétrique (TAC) est corrélé avec un taux de (-0,35), la salinité est corrélée avec un taux de (-0,99), ainsi que la teneur en sel dissous (TDS), est corrélée avec un taux de (-1), sachant que l'indice de corrélation est de 31,70%. En ce qui concerne le deuxième groupe, la dureté est corrélée positivement avec un taux de (0,29), avec un indice de corrélation de 63,25%. A fin de suivre régulièrement de la qualité des eaux, la possibilité de réduire de titre alcalimétrique, la salinité et la teneur en sel dissous peut maximiser un réel intérêt dans la gestion des milieux aquatiques (Fig. 8a).

Cas de l'eau de robinet

Par analogie à l'eau de robinet, l'analyse en composante principale de l'ACP est satisfaisante du moment où les deux axes de projection de données dépassent largement les 94% en terme de pourcentage de contribution (Fig.6 b).

Nous avons préféré de discuter l'effet de la qualité physique sur la conductivité qui nous permettent de dire que les dates de prélèvement qui correspondent au deuxième, sixième et septième se rapproche à l'effet de la projection du pH et de la température qui sont limitée sur l'axe 1.

La tendance de la turbidité signale que le quatrième prélèvement se rapproche positivement par apport au cinquième prélèvement (Fig.6 b).

La figure (7b) représente le point de prélèvement dans la station thermale de Hammam Mélouane de l'eau de robinet. Ce diagramme des paramètres étudiés sont regroupés en deux grands groupes.

La première partie correspond la partie négative, la matière organique corrélé avec un taux de (- 0,23), les résidus secs avec un taux de (-1), sachant que l'indice de corrélation est de 35,64%. Concernant la matière en suspension est corrélé positivement avec un taux de (0,15) et un indice de corrélation de 49,55%.

A propos de la figure (8b) explique la répartition des paramètres physiques en deux grands groupes, l'un comprend la dureté et le titre alcalimétrique qui sont corrélés positivement avec des taux respectivement de : (0.046) et (0.43), sachant que l'indice de corrélation est de 53,55% , le deuxième groupe est le groupe négative représente la salinité qui est corrélé avec un taux de (-0,44) et la teneur en sel dissous (TDS) qui est corrélé avec un taux de (-0,99) ; connaissons que l'indice de corrélation est de 29,64%.

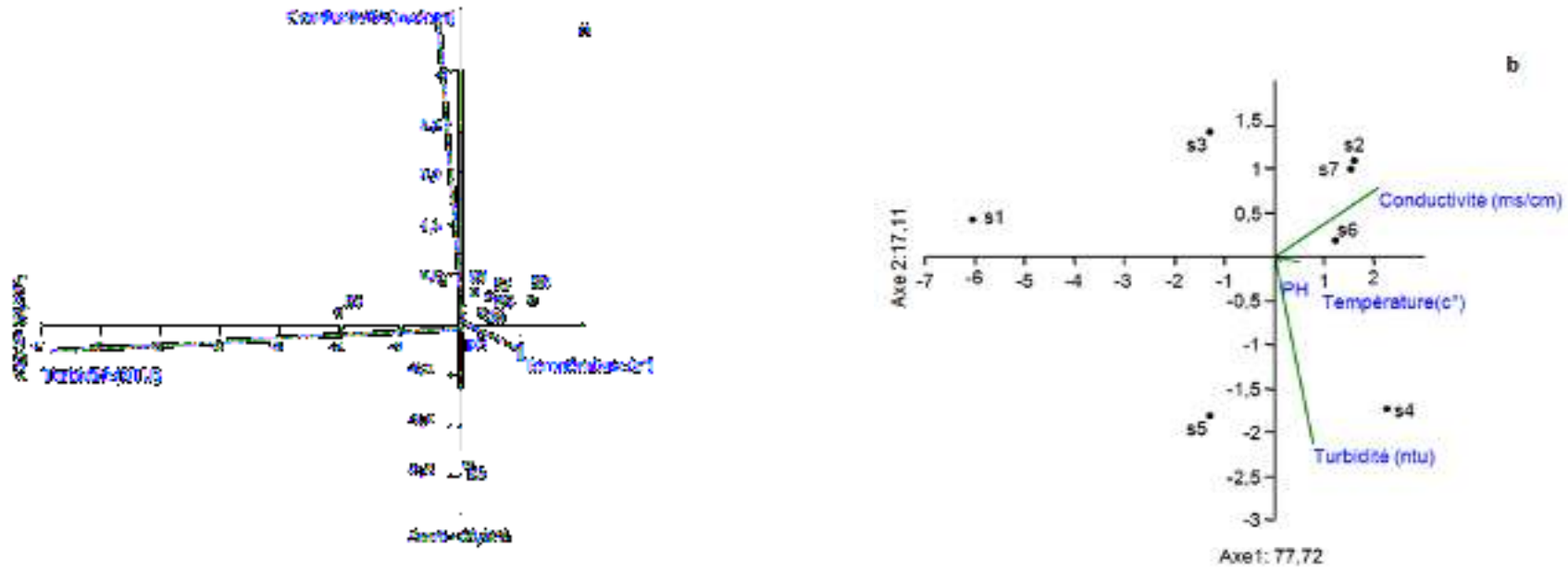


Figure 6 (a, b): Projection des paramètres physiques de la station thermique Hammam Mélouane sur les deux axes de l'ACP

a : Eau de source ; b : Eau de robinet ; S : sortie

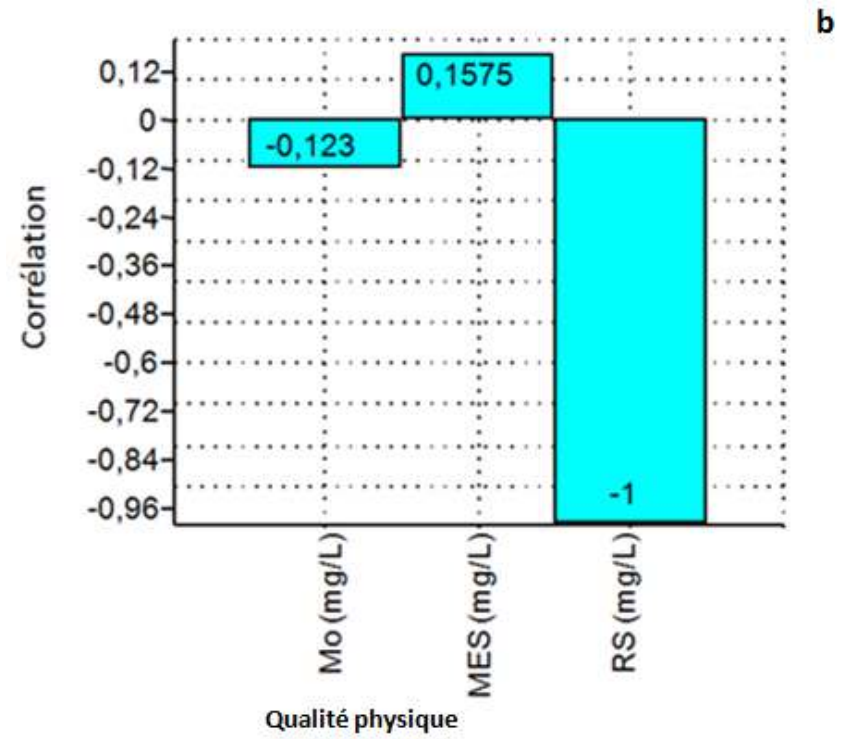
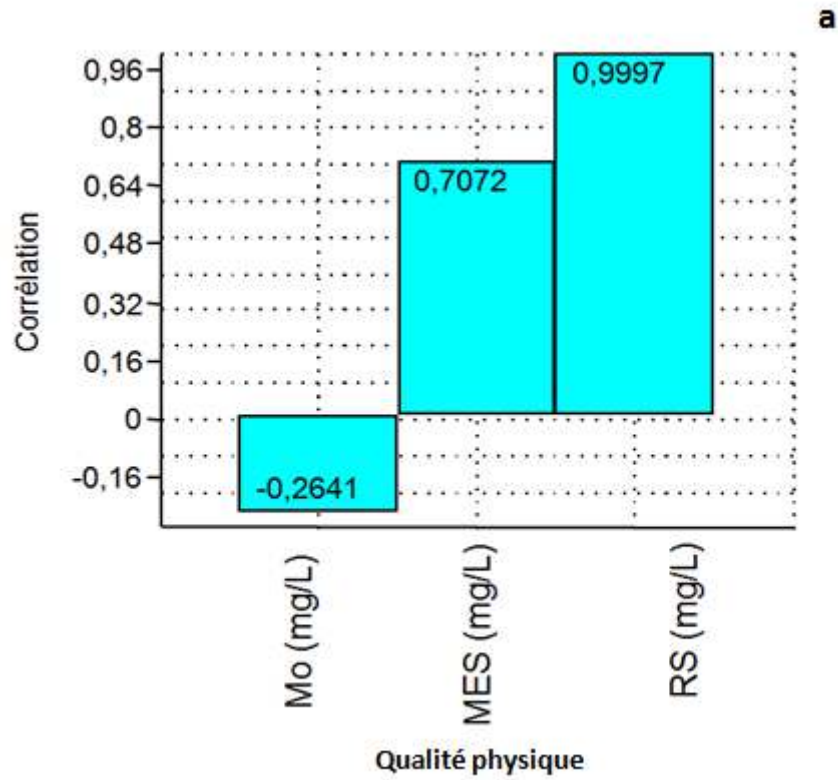


Figure 7 (a, b) : Étude de la corrélation entre les paramètres physique de la station thermale de Hammam Mélouane.

a : Eau de source ; **b** : Eau de robine ; **MO** : matière organique; **MES** : matière en suspension ; **RS** : résidu sec

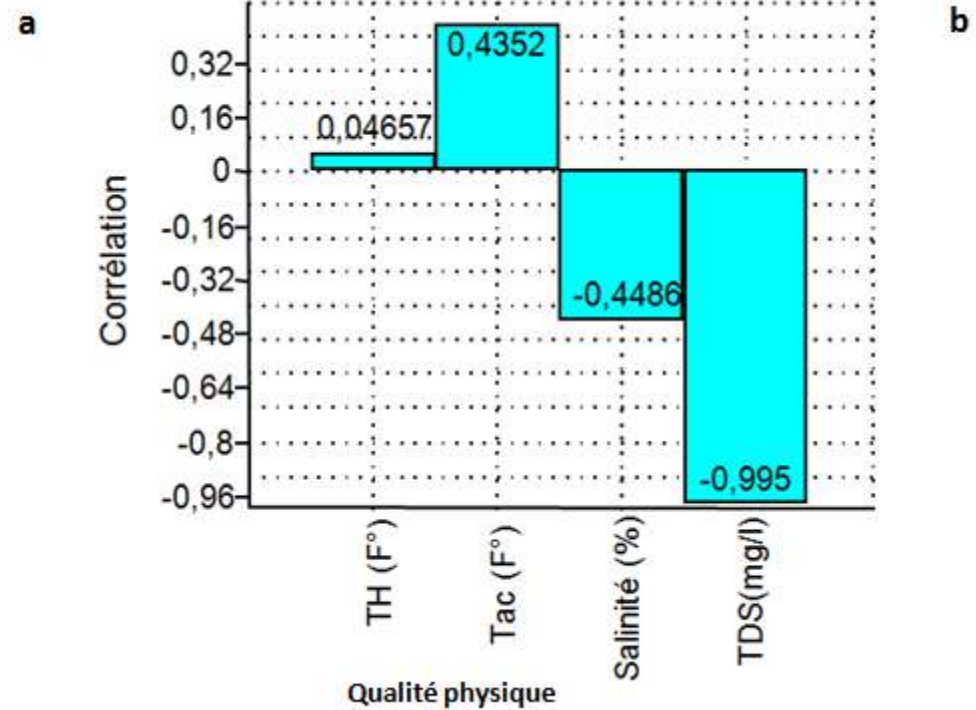
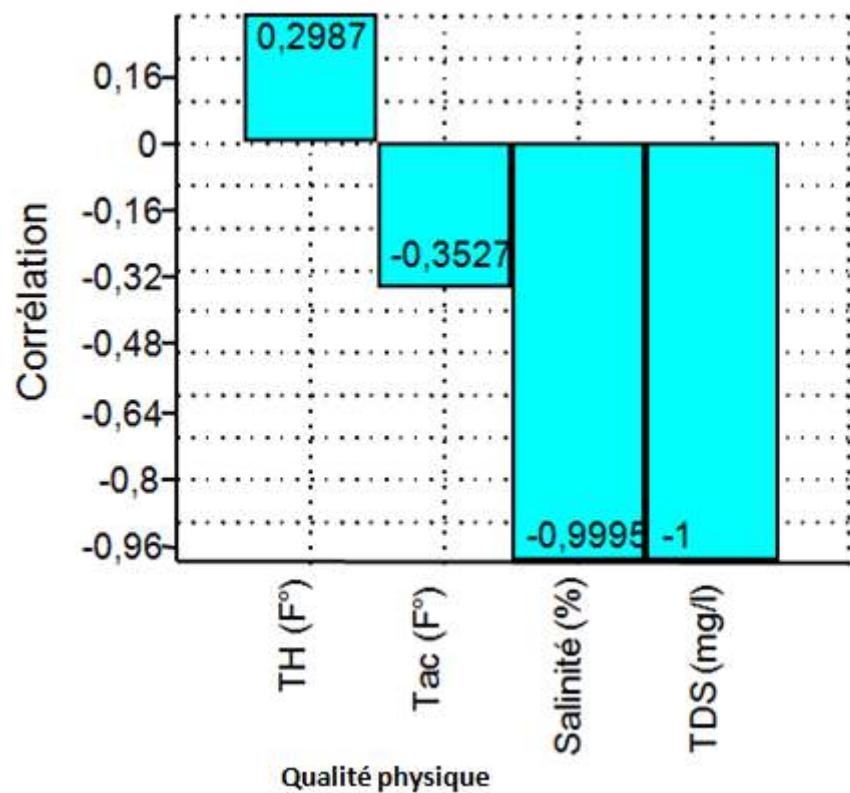


Figure 8 (a, b) : Étude de la corrélation entre les paramètres physique de la station thermale de Hammam Mélouane.

a : Eau de source ; b : Eau de robinet ; TH : la dureté ; TAC : titre alcalimétrique complet ; TDS : la teneur en sel dissoute

III.3.2 Valorisation de l'effet physico-chimique sur la qualité de l'eau thermale de Hammam Mélouane

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que l'accumulation de la qualité physique présente une différence significative sous l'effet des paramètres physico-chimiques dans la Figure 9 (a, b) sachant que : au point de prélèvement de l'eau de source on note ($F = 56,49$; $P = 5,03 \times 10^{-11}$; $P \leq 0,01$), et pour l'eau de robinet ($F = 2383$; $P = 1,60 \times 10^{-16}$; $P \leq 0,01$).

La turbidité présente une accumulation importante, suivie de la température. La conductivité et le pH, les proportions accumulées sont minimales par comparaison au deux premiers (Fig.9a).

La figure (9.a) montre la qualité de l'eau présente une accumulation temporelle hautement significative (Test Tukey $P = 0,00016^{***}$; $P \leq 0,01$) entre la conductivité, pH et température. La même figure note que la turbidité et la conductivité accumulent d'une manière hautement significative (Test Tukey $P = 0,00095^{***}$; $P \leq 0,01$)

La conductivité présente une accumulation importante avec des taux allant jusqu'à 45 ms/cm, suivie de la température qui dépasse les 35 °C. Le pH et la turbidité leurs proportions accumulées sont minimales par comparaison au deux premiers avec les taux respectivement (8 ; 5 NTU) (Fig.9b).

La qualité de l'eau de robinet de cette station thermale présente une accumulation temporelle hautement significative (Test Tukey $P = 0,00016^{***}$; $P \leq 0,01$) entre turbidité, conductivité et température. Entre la turbidité et le pH y a une accumulation très importante (Test Tukey $P = 0,00022^{***}$; $P \leq 0,01$) (Fig. 9b).

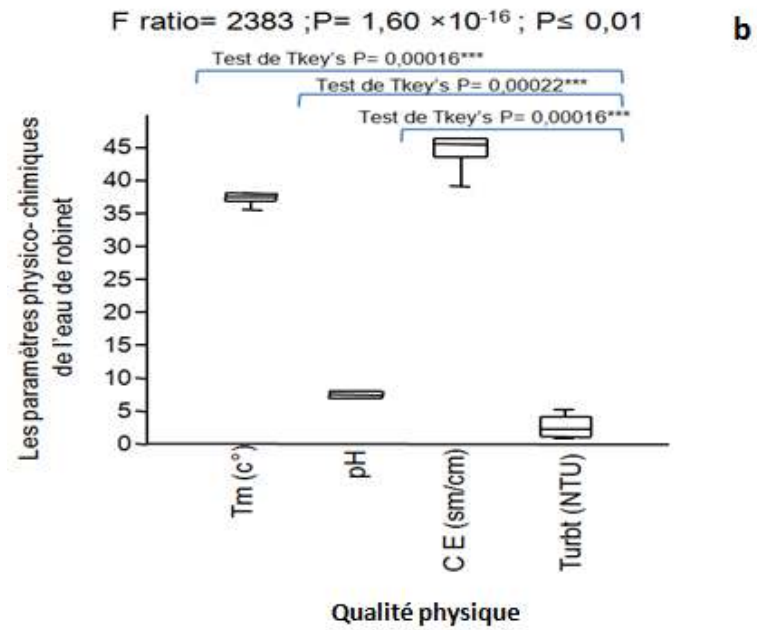
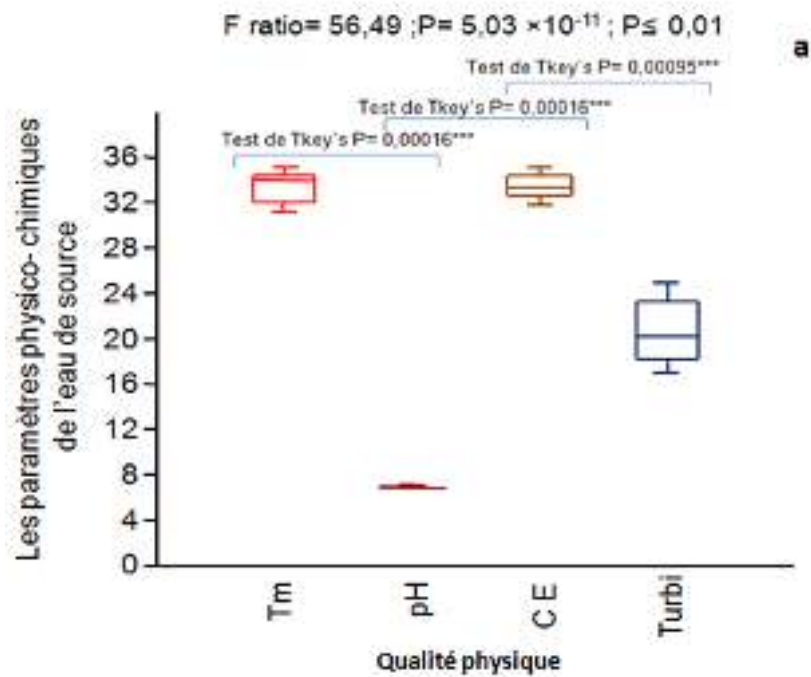


Figure 9 (a, b) : Effet des différents paramètres physico-chimiques sur la qualité de l'eau thermique de Hammam Mélouane

a : Eau de source ; **b** : Eau de robinet ; **Tm** : température ; **CE** : conductivité électrique ; **Turbi** : la turbidité ; **pH** : potentiel d'hydrogène

Les résultats de cet analyse montrent que l'accumulation de la qualité physique présente une différence significatif sous l'effet des paramètres physico-chimiques dans la Figure 10 (a, b) sachant que : au point de prélèvement de l'eau de source on note ($F= 63,18$; $P= 1,35 \times 10^{-7}$; $P \leq 0,01$), et pour l'eau de robinet ($F = 412,8$; $P= 8,66 \times 10^{-11}$; $P \leq 0,01$).

La teneur en sels dissous (TDS) par (mg/l) présente une accumulation importante qui a atteint les 2400 mg/l, suivie de la dureté (TH) avec des taux moindre ne dépassant pas les 400 F°. Les proportions accumulées de la salinité et le titre alcalimétrique complet (TAC) sont nulles en les comparons avec les deux premiers (Fig.10a)

Nous avons remarqués à partir de la figure (10.a), la qualité de l'eau présente une accumulation temporelle hautement significative (Test Tukey $P= 0,00016^{***}$; $P \leq 0,01$) entre la teneur en sels dissous (TDS), Salinité, le titre alcalimétrique complet (TAC) et la dureté (TH).

La figure (10b) montre que la teneur en sels dissous (TDS) présent une accumulation très importante qui a atteint le pic (2700 mg/l), suivie de la dureté (TH) avec un taux de (300°F). La salinité, sa proportion accumulée sont minimales par apport au deux premières. La proportion du titre alcalimétrique complet (TAC) est nulle (Fig.10b).

La figure (10b) montre que la qualité de l'eau présente une accumulation temporelle hautement significative entre la TDS et la salinité ainsi que la dureté (Test Tukey $P= 0.00016^{***}$; $p \leq 0,01$). La même figure démontre que la salinité et la dureté ne s'accumulent pas, leur probabilité est non significative (Test Tukey $P= 0,003$; $P \geq 0,05$).

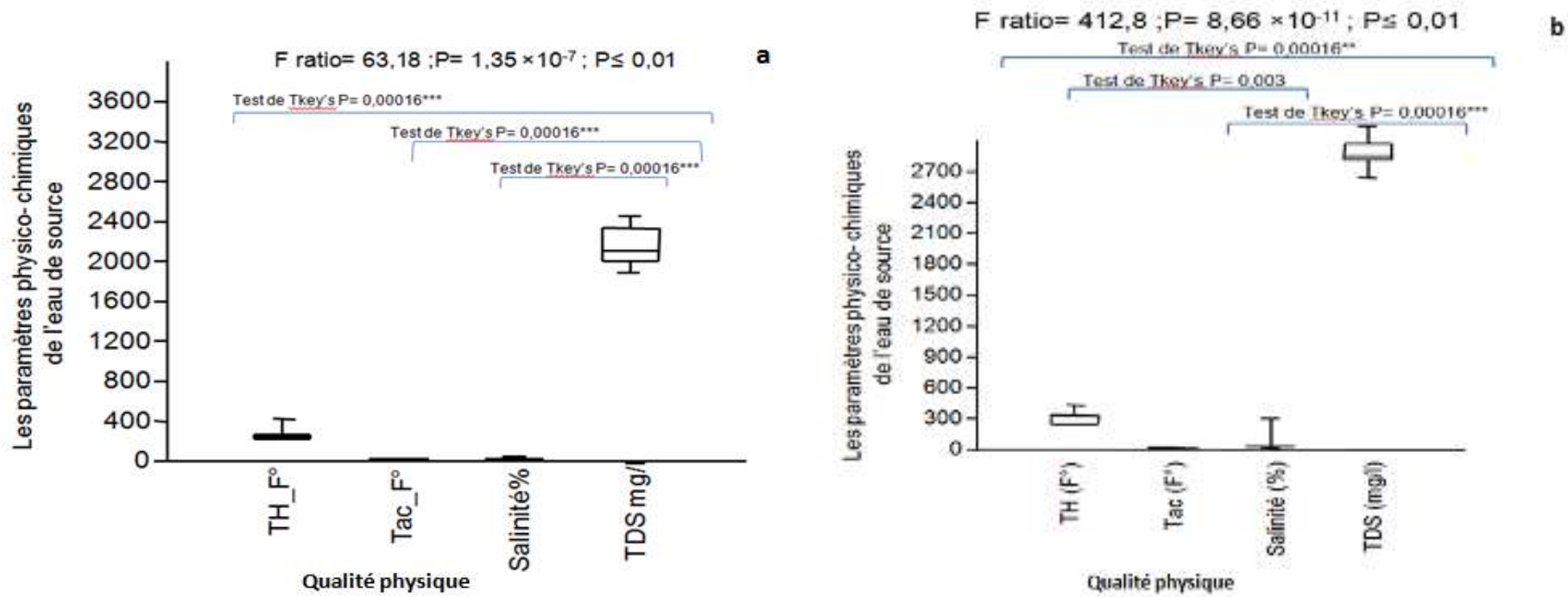


Figure 10 (a, b): Effet des différents paramètres physico-chimiques sur la qualité de l'eau thermique de Hammam Mélouane

a : Eau de source b : Eau de robinet TH : la dureté ; TAC : titre alcalimétrique complet ; TDS : la teneur en sel dissout

La figure 11 (a, b) s'exprime d'une différence hautement significative de l'accumulation de la qualité physique sous l'effet des paramètres physico-chimiques sachant que : au point de prélèvement de l'eau de source on note ($F = 1,04 \times 10^{-4}$; $P = 3 \times 10^{-15}$; $P \leq 0,01$), et pour l'eau de robinet ($F = 25,23$; $P = 2,22 \times 10^{-5}$; $P \leq 0,01$).

Les Résidus sec présentent une accumulation importante qui a atteint le summum (2700mg/l). Les matières en suspensions (MES) et la matière organique (MO), leurs proportions accumulées sont minimales par comparaison aux résidus sec (Fig.11a).

La figure (11a) montre que la qualité de l'eau présente une accumulation temporelle hautement significative entre les résidus sec et la matière en suspension (MES) ainsi que la matière organique (MO). La même figure démontre que les matières en suspensions (MES) et la matière organique (MO) ne s'accumulent pas, leur probabilité est non significative (Test Tukey $P = 0,02$; $P \geq 0,05$).

Les Résidus sec présentent une accumulation très faible chez le point de prélèvement du robinet par rapport à la figure (11a) qui représente le point de prélèvement de la source, sachant que la probabilité est non significative entre les Résidus sec et les matières en suspensions (MES) (Test Tukey $P = 0,10$; $P \geq 0,05$). Ainsi que, les proportions accumulées sont minimales par comparaison aux résidus secs et que leur probabilité est non significative entre la matière organique et les matières en suspension (MES) (Test Tukey $P = 0,09$; $P \geq 0,05$) (Fig.11b).

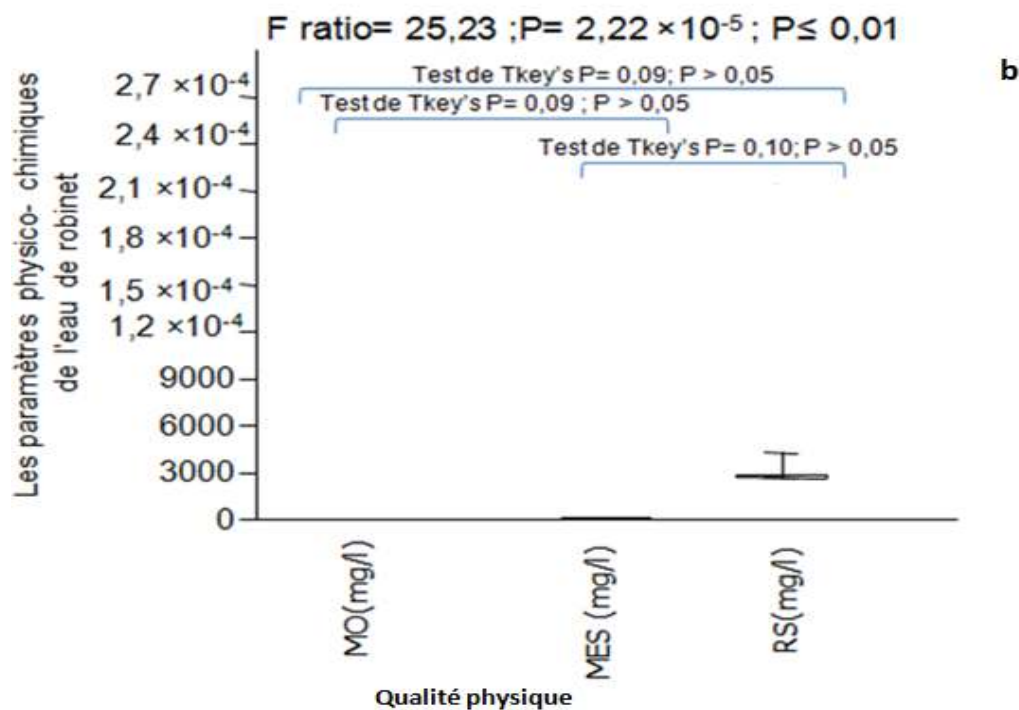
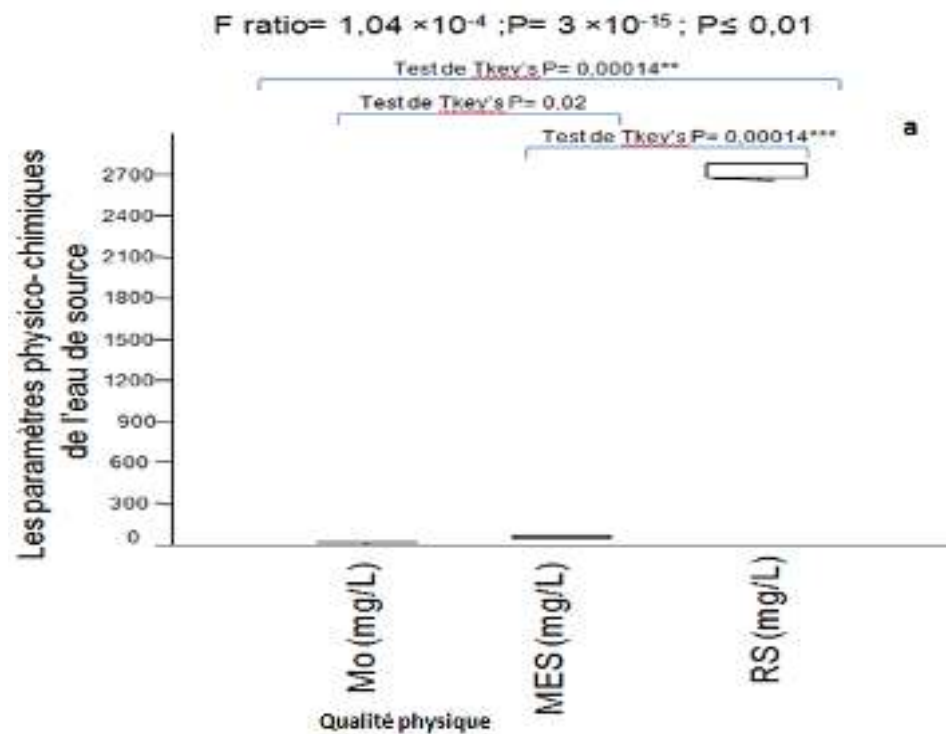


Figure 11 (a, b): Effet des différents paramètres physico-chimique sur la qualité de l'eau thermique de Hammam Mélouane

a : Eau de source ; b : Eau de robinet ; MO : matière organique ; MES : matière en suspension ; RS : résidus sec

III.3.2 Comparaison quantitative des paramètres physico-chimique de la qualité de l'eau thermale de Hammam Mélouane

Le ternaire nous a permis de comparer quantitativement les paramètres physico-chimiques de l'eau de source et l'eau de robinet de hammam Mélouane. Au point de prélèvement de l'eau de source pour cela nous pouvons remarquer que la conductivité et la température affichent une richesse importante pendant les jours de prélèvement par rapport au pH (Fig. 12 a).

La comparaison quantitative entre les paramètres physiques et à l'aide du ternaire, nous montre que la dureté (TH) affiche une richesse importante pendant la période d'étude par rapport au titre alcalimétrique (TAC) et salinité (Fig. 12 a).

Concernant la comparaison entre la matière organique (MO), les matières en suspensions (MES) et résidus sec (RS), indique que les résidus sec annoncent une richesse importante durant le suivi par rapport à la matière en suspension (MES) et matière organique (MO) (Fig. 12 a).

Pour l'eau de robinet qui est représenté par la figure 12b, l'étude comparative entre les paramètres physiques illustre que la température et la conductivité montrent une richesse importante pendant toute la période de prélèvement par rapport au pH ceci est semblable à la figure (12a). Alors que, pour la dureté (TH), la salinité et le titre alcalimétrique (TAC), nous avons remarqué que la dureté (TH) affiche une richesse importante pour la majorité des sorties par rapport à la salinité et le titre alcalimétrique complet (TAC), sauf pour la 7^{ème} sortie qui indique une tendance vers la salinité.

À propos de la matière organique (MO), les matières en suspension (MES) et les résidus sec montre que les résidus sec affiche une richesse importante durant le suivi par rapport aux matières en suspensions (MES) et matière organique (MO) (Fig. 12 b).

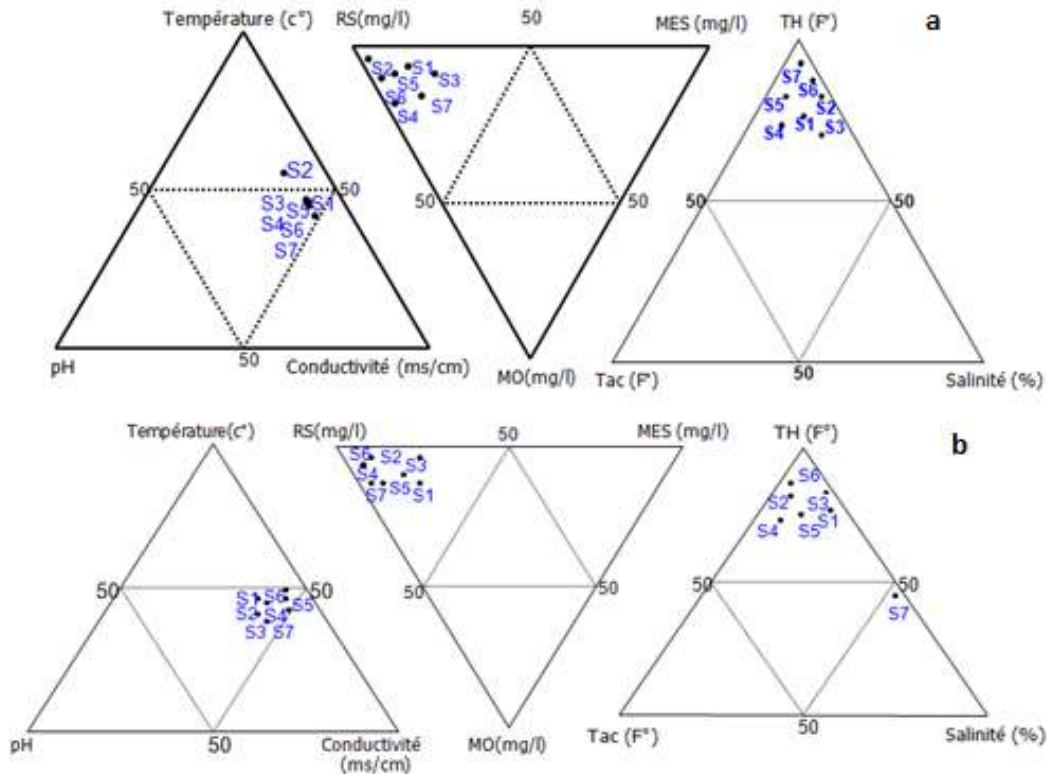


Figure 12 (a, b) : Étude comparée des paramètres physico-chimique de la qualité de l'eau thermique de Hammam Mélouane.

a : Eau de source ; **b** : Eau de robinet ; **MO** : matière organique ; **MES** : matière en suspension ; **RS** : résidu sec ; **TH** : la dureté ; **MES** : matière en suspension ; **TAC** : titre alcalimétrique complet ; **Tm** : température ; **S** : sorties

Discussion générale :

L'analyse statistique fait apparaître que la physico-chimie discrimine très bien l'eau de cette station thermale et témoigne de leur qualité.

Selon nos résultats, l'étude des paramètres physiques a été réalisées sur les véritables suivants : la température, pH, la conductivité, la turbidité, la dureté ; les matières en suspensions, la matière organique, salinité, TDS et résidu sec. (Mesurées aux deux points de prélèvements).

Ces variables physiques ont été d'abord été analysées à l'aide d'une ACP associée à une analyse multivariable et du Test de ONE WAY ANOVA, effectuées sur l'ensemble des données relevés à partir de la station qui ont présentés des différences hautement significatives.

Ces résultats traduits très probablement que chaque paramètre physique à une corrélation avec l'autre.

La température de l'eau est un facteur importants dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit sur presque la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Nouayti *et al.*, 2015). Dans cette station thermale, la température a présenté une variation de jour à autre avec un minimum de 30°C et maximum de 38°C, en effet, cette eau est méso-thermale.

Le pH de l'eau renseigne sur son alcalinité, les valeurs mesurées à partir de nos échantillons confirment que l'eau de Hammam Mélouane est neutre, avec une moyenne de 6,90 (Rodier *et al.*, 2005).

La conductivité électrique et la TDS sont déterminées par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau, par conséquent, la conductivité électrique et TDS renseignent sur le degré de minéralisation de l'eau (Nouayti *et al.*, 2015). Les valeurs moyennes enregistrées montrent des variations importantes, Elles sont de 44,54 ms/cm pour la conductivité et de 2809,47mg/l pour la teneur en sel dissout. Ceci s'explique à la fois que les eaux de cette station du point visuelle sont très minéralisées.

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et magnésium. Il n'est pas évidant de définir un niveau entre ce qui constitue une eau dure et une eau douce. L'expression « dureté eau » semble venir de ce qu'il était « dure » de laver avec une telle eau (Rodier *et al.*, 2005). Les résultats trouvés à partir notre étude sont de 250°F au minimum et de 440°F au maximum. Ce qui confirme que notre eau est dure.

On ce qui concerne la turbidité, on remarque que durant la saison pluviale, il apparait des augmentations en valeurs de la turbidité de l'eau. Ces résultats sont semblables avec les résultats de Behar en 1997. « La turbidité est une mesure qui permet d'identifier les particules en suspensions dans l'eau et qui peuvent nuire à sa clarté. C'est une indicatrice importante de sédiments en suspension, de substances minérales, de matière organique et des différents niveaux d'érosion. En générale, les valeurs augmentent fortement pendant et après une pluie. Une turbidité élevée peut être également à l'origine d'une augmentation de la température de l'eau et d'une diminution d'oxygène dissous ».

Ainsi que, les résultats trouvés par Rodier et son équipe en (2005) sur les résidus secs permettent d'apprécier la minéralisation de l'eau et d'évaluer également la teneur en matière dissoutes et en suspensions. Selon nos résultats les résidus secs dépassent la norme (200mg/l), ce qui nous a permit de dire que cette eau est très minérale et très riches en matières dissoutes et en suspensions.

Selon le même auteur, 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. Nos résultats confirment que l'eau de Hammam Mélouane possède une teneur élevée en matière organique et qui est déterminée par contamination bactérienne.

Parmi les objectifs établis par cette étude, était de rechercher les éléments propres qui ont un effet thérapeutique pour la santé humaine. Dans les conditions naturelles, les sulfates forme de soufre dissous la plus réponde dans les eaux naturelles. De nombreuses activités humaines et naturelles peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre (Nouayti *et al.*, 2015). Les valeurs des sulfates dans les eaux étudiées sont très variables, elles oscillaient entre 1174.003 mg/L à 6100 mg/L, les résultats obtenus sont similaires à l'étude de Nouayti et son équipe en 2015. Les eaux sulfatées exercent une action curative sur les muqueuses, lieu de développement des infections chroniques, elles sont aussi indiquées pour le traitement des eczémas, des séquelles et cicatrice de brulure (Grimm et Schmit, 2004).

Les teneurs en chlorure des échantillons étudiées sont très élevées est dépassent le seuil de la norme recommandé (600mg/l) avec une moyenne de 1820mg/l. Ceci explique que l'eau de cette station est polluée, on compare nos résultats avec Houti et son équipe en 2015, qui ont obtenus des chlorures à anions inorganiques avec des concentrations variables dans les eaux naturelles. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution, leur existence est à l'origine d'infiltration des eaux marines dans les nappes phréatiques et profond ; ainsi qu'à l'effet de l'activité humaine. Ces eaux ont un effet stimulant sur la croissance et sont indiquées dans le traitement des troubles gynécologiques (Grimm et Schmit, 2004).

Nous avons également déterminé les teneurs en éléments majeurs suivants : Ca^{2+} ; Mg^{2+} , pour le calcium la valeur moyenne enregistré est de 682mg/l et la moyenne enregistré pour le magnésium est de 341mg/l, cette concentration n'est pas conforme à la norme qui est de (150mg/l). Ces valeurs concordent avec les valeurs élevées trouvées pour la conductivité et la dureté. La majorités des eaux naturelles contiennent une quantité de calcium et de magnésium, leurs teneurs dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (Nouayti *et al.*, 2015).

Le calcium a un rôle dans la croissance osseuse, la minéralisation des dents et la contraction musculaire. Le magnésium est contribue au bon fonctionnement du système nerveux et à la contraction musculaire (Grimm et Schmit, 2004).

Parmi les éléments métalliques en trace qui ont été étudié dans l'eau thermale de Hammam Mélouane est le Fer., sa valeur moyenne enregistrée est 0,039. Cette valeur est très faible par apport aux études de Rodier en 2005, les eaux minérales et principalement les eaux thermo minérales peuvent en contenir plus de 10 mg/l. Les eaux oligo-minérales sont riches en fer, sont utilisés pour le traitement de l'anémie (Grimm et Schmit, 2004).

D'après nos résultats, et selon Chérif-Zahar en 1947, l'eau de Hammam Mélouane est chlorurés sodiques, sulfaté calcique, ferrugineuses et magnésienne. Il en découle des indications thérapeutiques nombreuses, parmi eux on peut citer :

- Toutes les formes de Rhumatisme chronique, toutes les séquelles traumatismes, les tuberculoses osseuses et ganglionnaires, les affections gynécologiques chroniques et douloureuses, les affections hépatiques et urinaires.

II.4 Résultats des analyses Bactériologiques

La plupart des microorganismes à l'origine des grandes épidémies historique d'origine hydrique. Le risque toxique dans le domaine de l'eau est dans la presque totalité des cas un risque chronique. Au contraire le risque microbiologique est un risque aigue correspondant à une pollution essentiellement intermittente (Rodier *et al.*, 2009).

Les maladies qui transmettent sont surtout des dermatites, des otites et des gastro-entérites. Dans la grande majorité des cas, ce sont les baigneurs eux-mêmes qui sont responsable de la présence de ces microorganismes dans l'eau des bassins (El Yamani, 2006).

Les analyses bactériologiques traitées dans cette étude concernant l'eau prélevée à partir des 4 sites au niveau de la station thermale sont :

L'eau de Source

Les résultats relatifs aux variations spatiales des concentrations en Staphylocoques, en indicateurs de pollution fécale et en Streptocoques fécaux sont présentés dans le tableau n° 8. Au cours de cette étude l'examen bactériologique pour l'ensemble des prélèvements ont révélés des charges microbiennes dont les amplitudes sont très importantes entre les différents prélèvements. En effet, les coliformes totaux au niveau de l'eau de source dépassent les normes adoptées par l'OMS (1993) qui est calculée de 10UFC/10mL dans tous les prélèvements, sauf pour le deuxième prélèvement et le dernier prélèvement qui ont atteint le seuil de la norme.

La présence des bactéries thermo-tolérantes ainsi que les streptocoques fécaux est enregistrée durant toute la période de prélèvement qui coïncide à quatre mois de suivie au niveau de l'eau de source, ce qui nous a permis d'avancer, que cette présence est due probablement soit à la dégradation des déjections fécaux des animaux qui peuvent vivre dans la montagne ou bien la contamination des canalisations de l'eau de source.

Tableau N°8 : Résultats des analyses bactériologiques

| Date de prélèvements | Coliformes totaux | Les bactéries thermo-tolérantes | Streptocoque Fécal |
|----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------|
| 19-02-2017 | 12 | 9 | 3 |
| 05-03-2017 | 10 | 3 | 3 |
| 19-03-2017 | 14 | 10 | <1 |
| 02-04-2017 | 18 | 14 | 4 |
| 16-04-2017 | 14 | 10 | <1 |
| 30-04-2017 | 12 | 8 | 3 |
| 14-05-2017 | 10 | 7 | 3 |
| Normes JORA. 1996 | 10UFC/10ml | Abs | Abs |

L'eau de Robinet

Pour l'eau de robinet, nous observons la présence des coliformes totaux avec des valeurs variables. Globalement, ces valeurs ne dépassent pas le seuil des normes adoptées 10UFC/10ml, sauf pour le premier prélèvement qui est enregistré par 12 UFC/10ml. En ce qui concerne les bactéries thermo-tolérantes, on note leur présence très répondeur durant le premier prélèvement avec un taux de 9 UFC, les prélèvements qui suivent, enregistre un taux variable allons de 1 à 3 UFC, se qui explique que le seuil des normes est dépassé, mais on remarque qu'il existe des jours de prélèvements où le seuil des normes est conforme (absence totale). Passant aux streptocoques fécaux, les résultats on démontrés que les deux premiers jours de prélèvement ont dépassés de loin le seuil des normes avec des taux qui varie à 3 UFC, sachant que le seuil indique une absence totale de ces derniers.

Tableau N°9 : Résultats des analyses bactériologiques

| Date de prélèvements | Coliformes totaux | Les bactéries thermo-tolérantes | Streptocoque Fécal |
|----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------|
| 19-02-2017 | 12 | 9 | 3 |
| 05-03-2017 | 5 | 0 | <1 |
| 19-03-2017 | 7 | 3 | 0 |
| 02-04-2017 | 2 | 0 | 0 |
| 16-04-2017 | 3 | 3 | 0 |
| 30-04-2017 | 5 | 0 | 0 |
| 14-05-2017 | 5 | 1 | 0 |
| Normes JORA. 1996 | 10UFC/10ml | ABS | ABS |

Bassin des Femmes

Selon nos résultats, la densité bactérienne des coliformes totaux énumérée dans les eaux de bassin des femmes étudié au niveau de la station sont très élevés et ne respectent pas les normes adoptées par la réglementation européennes. Les valeurs moyennes sont respectivement 18 UFC/100ml et 14 UFC/100ml. Les indicatrices de contamination fécale : bactéries thermo-tolérantes et streptocoques fécaux sont détectées avec de grande valeurs, Ceci permet de dire qu'ils sont dépassés le seuil des normes. On note la présence des ASR durant 3 jours de prélèvements avec des valeurs de : 1 spore/20ml.

Tableau N°10 : Résultats des analyses bactériologiques

| Date de prélèvements | Coliforme totaux | Les bactéries thermo-tolérantes | Streptocoque Fécal | ASR |
|----------------------|------------------|---------------------------------|--------------------|-----|
| 19-02-2017 | 18 | 14 | 18 | 1 |
| 05-03-2017 | 14 | 10 | 14 | 1 |
| 19-03-2017 | 18 | 12 | 12 | 0 |
| 02-04-2017 | 14 | 10 | 14 | 1 |
| 16-04-2017 | 18 | 14 | 18 | 0 |
| 30-04-2017 | 18 | 11 | 11 | 0 |
| 14-05-2017 | 18 | 12 | 12 | 0 |
| Normes JORA. 1996 | 10UFC/100ml | 1UFC/100ml | ABS | ABS |

Bassin des Hommes

Dans les eaux de piscine des hommes, les densités observées pour les indicateurs de contamination fécale au cours de cette étude sont élevée pendant toute la période de prélèvement. Les résultats des coliformes totaux indiquent durant toute la période de prélèvement, le seuil des normes est largement dépassé ($\geq 10\text{UFC}/100\text{mL}$). Mais le cinquième prélèvement présente une quantité qui est en dessous les normes. En ce qui concerne les bactéries thermo-tolérantes, on note leur présence très réponsus durant toute la période de prélèvement avec un taux allons jusqu'à $14\text{ UFC}/100\text{ml}$, se qui explique que le seuil des normes est dépassé. La recherche et le dénombrement des streptocoques montrent que les valeurs trouvés ont été très important par rapport au seuil de la norme, qui est enregistré par une absence totale. Les ASR sont conformes à la norme qui doit être représenté par une absence totale, sauf le deuxième prélèvement indique un seuil dépassant les normes.

Tableau N°11 : Résultats des analyses bactériologiques

| Date de prélèvements | Coliforme totaux | Les bactéries thermo-tolérantes | Streptocoque Fécal | ASR |
|----------------------|------------------|---------------------------------|--------------------|-----|
| 19-02-2017 | 14 | 9 | 12 | 0 |
| 05-03-2017 | 14 | 10 | 13 | 1 |
| 19-03-2017 | 13 | 9 | 14 | 0 |
| 02-04-2017 | 14 | 10 | 1 | 0 |
| 16-04-2017 | 8 | 5 | 14 | 0 |
| 30-04-2017 | 18 | 14 | 12 | 0 |
| 14-05-2017 | 18 | 14 | 11 | 0 |
| Normes JORA. 1996 | 10UFC/100mL | 1UFC/100ml | ABS | ABS |

Malgré la forte charge des bactéries indicatrices de contaminations fécales, les résultats des analyses, effectuées durant la période d'étude, à la recherche des *Pseudomonases*, des *Staphylocoques*, des *Salmonelles* et *Vibrions* indiquent l'absence totale de ces germes.

Discutions des résultats

Les risques pour la santé liée à l'eau sont de nature microbiologique et toxicologique, l'eau est un véhicule idéal de transmission des microorganismes pathogènes.

Selon nos résultats, la densité bactérienne des coliformes totaux énumérée dans les eaux de bassin des femmes, des hommes ainsi que l'eau de source qui ont été étudié au niveau de la station sont très élevés et ne respectent pas les normes adoptées par la réglementation Européenne, selon Carun et Calderon en 2001, ont trouvés que les Coliformes totaux sont utiles pour évaluer l'efficacité du traitement et détecter les failles dans le système de distribution ainsi que la vulnérabilité d'un système d'eau à une contamination fécale.

Les coliformes fécaux proviennent des intestins et des excréments des humains et des animaux à sang chaud. La présence de ces bactéries dites pathogènes est très risquée pour la santé des humaines et des animaux. L'absorption d'une eau infectée de coliformes fécaux peut entraîner des maladies très graves et, dans certains cas, peut causer la mort. Les premiers symptômes sont généralement de nature gastro-intestinale : nausées, vomissements et diarrhées (Bartram et Rees en 2000).

Selon Bartram et Rees en 2000, indiquent *E-Coli* est le seul biotype de la famille des entérobactéries qui est presque toujours d'origine fécale. En outre, les bactéries *E-Coli* représentent environ 95% de toutes les bactéries Coliformes de la flore intestinale, par conséquent, le groupe Coliforme thermo tolérant être remplacé par *E-Coli* comme indicateur de pollution fécale. Ces germes témoins provoquent des Gastroentérites et d'infection urinaires.

Ghizellaoui en 2008, maintiens la présence des Coliformes fécaux par rapport aux streptocoques est un signe d'une contamination d'origine humaine. En outre, contrairement au Coliformes ils recroissent très difficilement dans le réseau. Les entérocoques résistent beaucoup aux substances aseptiques qui devraient empêcher leur croissance. Certains entérocoques peuvent se transformer en germes initiateurs de plusieurs maladies telles que les angines, les otites, les méningites et d'autres toutes aussi sérieuses.

Les spores D'anaérobies sulfite-réducteurs sont extrêmement persistantes aux processus de désinfection de l'eau par conséquent, leur valeur comme indicateur de contamination fécale a été mise en doute car les spores pourraient se trouver naturellement dans l'environnement ou représenter une source ancienne de contamination fécale (Pitkänen, 2010). Leur absence dans l'eau de Robinet et l'eau de source est un signe d'efficacité de la filtration naturelle. La présence de spore dans l'eau de bassin est un facteur très limitant qui rend ce germe ubiquiste et peut-être plus résistant que les pathogènes toxiques (Chlore en particulier) ou autres facteurs de stress (Catherine *et al.*, 1983).

Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail, montrent que les eaux prélevées au niveau de l'eau de source et de robinet de Hammam Mélouane sont considérées comme des eaux méso-thermales dont les caractéristiques physicochimiques sont très variées. Ces résultats confirment que sa conductivité très élevée, très minéralisé et sa teneur importante en sulfate. Ce qui explique que cette eau n'est pas destinée à la consommation humaine. La composition minérale des eaux de cette station en certains éléments majeurs tels que le Calcium peut offrir à cette eau un bénéfice thérapeutique et un effet curatif dans le traitement de certaines pathologies dermatologiques.

La qualité bactériologique des eaux de source n'est pas satisfaisante, même si pour les eaux de piscine de cette station sont caractérisées par une forte contamination par les indicateurs de pollution fécale et les germes pathogènes durant la période de prélèvement. Ce degré de contamination élevé dans l'eau de piscine serait essentiellement lié aux nombres important des baigneurs et au non respect des règles d'hygiène. Ce qui doit inciter les responsables à prendre des mesures nécessaires pour la surveillance et le contrôle de la qualité des eaux utilisées dans cette station thermale.

Certaines recommandations sont nécessaires pour éviter la contamination des eaux du bassin comme :

- Se douché avant de rentré à la piscine.
- Porté des casques et des vêtements spécial.
- Interdire l'utilisation des produits cosmétiques.
- Nettoyer les bassins quotidiennement.

Référence bibliographique

A

Asselin. G, 2006 ; application thérapeutiques. Approche intégrée en prévention 10p.

B

Ballif. J-L, 2012 ; Qualité des eaux d'un bassin versant agricole en champagne crayeuse. Variation dans les zones saturée et non saturée.

Basassier. R, Califano. J, Carrette. M, Lambardo. M, 2006 ; les pathogènes humaines et leurs virulences dans les eaux de distribution. Département génie biologique. Ecole polytechnique de l'université de Nice-Sophia Antipolis.

Bartram. J, Rees. G, 2000; monitoring bathing waters-a practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programmes. E. & FN Spon. 311p

Behar. S, 1997; definition of water quality parameters, testing the water chemical and physical vital signs of river.

Belghiti. D, Derwich. E, Beziane. Z, Benaabiate. L, 2008 ; Evaluation de la qualité des eaux de surface des Oueds Fès et Sebar utilisées en agriculture maraichère du Maroc, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, 07, pp.59-77.

Belkhiri. L, 2011; caractérisation and evaluation of the factors affecting the geochemistry of surface water of koudiat Medouar basin. Algéria African journal of Environmentale science and technology 5(5): 355-362.

Boeglin, J-C. 2001 ; technique de d'ingénieur. G1 (P.110 à 110-8) l'environnement. Edition : technique d'ingénieur/ Paris.

Bogomolor. G, 1986 ; Hydraulique et notion de géologie d'ingénieur. Edition Moscon. 278p.

Bordet. J, 2007; l'eau dans son environnement rurale: hydraulique et cycle de l'eau; l'alimentation en eau potable, l'assainissement des agglomérations. Edition Johanet, Paris. 370p.

Bordjiba. O, Bekhouche. F, Hassaine. A, Djenidi. R, 2009; European Journal of Scientific Research, Vol.26 No.1, 87-97p.

Bretzel. P, 1997 ; Qualité des eaux souterraines- qualité naturelle- influence de la surface-pollutions.

Bremaude. C, 2006 ; Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rurale. Edition Educagri. Dijon. France. 220p.

Brousseau. N, Levesque. B, Guilemet. T, Dauvin. D, Giroux. I-P, Cantin. P, Guingras. S, Laverdiere. D, 2009 ; Etude de la contamination microbiologique des Spas publics au Québec. Direction des risques biologiques environnementaux et occupationnels.107P.

Burille.J, 2006. Hydrologie et thermalisme français : contribution de la formation des hydrothérapies de santé et mastère professionnel Education et formation 1^{ère} 85p.

C

Cathrine. O, Jean-Francois. H, Eric. O, Jean-Marie. D, 1983 ; Baignades et risques infectieux. Donnes épidémiologiques-fondement du contrôle des eaux.

Castany. G, 1982 ; Hydrologie principes et méthodes. Edition : Paris, bordas. 273p

Chekroud, H. 2007 ; Etude de pollution des eaux de la plaine de TELEZZA due aux activités agricoles et commerciales. Mémoire de Magister. L'université du 20 Aout 1955. Skikda. 15,26 P.

Chérif-zahar, O. 1947; projet d'application du thermalisme à Hammam Mélouane. Université d'Alger, Faculté mixte de médecine et de pharmacie, 12-15p.

Chevalier. H, 2003. Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, institut national de santé publique du Québec, 4p.

Cote. P, Ferland. J, 2005. Guide d'exploitation des piscines et autre bassins artificiels salubrité, sécurité et stabilité en tout temps et en tout lieu, développement durable, environnement et parcs, Québec 139p.

Craun. G-F, Calderon. R-I-2001. Waterborne disease outbreaks caused by distribution system deficiencies. Journal American works water Association (AWWA). 93 (9): 64-75.

D

Debeiche. T-H, 2002; évolution de la qualité des eaux (salinité, Azote et métaux lourds) sous l'effet de pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de doctorat en science de la terre. Université de France-conté.199p.

Dégbey, C. Makoutode, M. Ouendo, E-M. Fayoumi, B. Brouwer, C, 2008; la qualité de l'eau de puits dans la commune d'aboney-calavi au Bénin. Volume 7n° 4,280 P.

Degremont, 2005. Méento technique de l'eau/. 10 ème édition.-rueil-malnation :Degremont,/ vol 2.

Delarras. C, 2003 ; surveillance sanitaire et microbiologique des eaux, Réglementation-prélèvement-analyses. Edition médicales internationales. Lavoisier. Paris 269P.

Delarras. C, 2010 ; La microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire : Edition médicale internationale Lavoisier, Paris.

E

El Yamani, 2006 ; Environnement et milieux, qualité des eaux p6.

G

Gaugous. D, 1995 ; la pollution des milieux aquatiques : aides mémoire. 2 ème édition rue Lavoisier : technique et documentation. 219p.

Gauthier. V, 1984 ; Encyclopédie scientifique de l'univers à la terre, les eaux, l'atmosphère. Nouvelle édition- (d-1). Bureau des longitudes (France). 240p.

Gauthier. C, Villars. M, 1970 ; la pollution des eaux souterraines. Vol.8. Paris. 92p.

Gélinas. P, 1995; Répertoire des microorganismes pathogènes transmis par les aliments, Fondation des gouverneurs: Edisme. Saint- Hyacinthe, Québec. 211p.

Ghizellaoui. S, 2008; Evaluation and évolution of the quality of the water resources in the distribution net work. Elsevier. Destination 222:502-512.

Goubau. P, Pellegrims. A, 2000 ; Wegwijzer in de microbiologie, 3^{de} ed. Garant. 151-5.

Grimm. A, Schmit. T, 2004 ; Fiche Eco-consommation 9, les propriétés de l'eau.

Guiraud. JP, 1998 ; Microbiologie alimentaire Lavoisier : technique et documentation « Edition DUNOD » Paris. PP133-615-652.

H

Hammer. O. Harper D.A.T et Ryan. P.D, 2001. Past : Paleontological Statistics Software Package for education and Datz Analysis. Palacontologia Electronica 4(1): 9 PP.Http: Palaco-electronica.org 12001-1/ past/ issue 1- 01.ntm.

Henry. M-T, Beaudry. G, 1998 ; chimie des eaux 1^{er} édition, le Griffon D'argile. Canada 537p.

Henze. M, Harremoës. P, La cour Jansen. J, Avin. E, 2008 ; Wastewater treatment : Biological and chimical processes, springer, Heidelberg.

Herpin. J.CH, 1856; Etudes médicales et statistiques sur les principales sources d'eau minérales de France, d'Angleterre et d'Allemagne.

Houti. A, Fikri Benbrahim.K, Rachiq.S, Zbadi.L, Belfkih.R, El Ouali Lalami. A, 2015 ; Contrôle de qualité des eaux minérales de deux station thermales de la région de Fès (Maroc) : Ain Allah et Moulay Yaakoub. ISSN : 2028-2508.

J

Jakson. N-J, 1986 ; Glossary of geology 3 ème edition, American Geological Institute, Vol.7; p327-740.

K

Kohler. P, 2008 ; thermalisme : l'eau qui signe. Accédait. In Spectacle du monde n°488. 66-68P.

Kourradi. R, 2007 ; Evaluation du degré de pollution anthropique de l'estuaire de Bou Regreg et impact sur la biologique et dynamique de *Scrobieularia plana* (Linné, 1758) et *solen marginatus*. Th-se de doctorat d'état en biologie, spécialité écologie animale. Université Mohammed V-AGDAI. Faculté des sciences Rahat, Maroc.300p.

L

Lalanne. F, 2012 ; Etude de la qualité de l'eau le long de la chaîne d'approvisionnement au niveau des consommateurs dans 10 villages de la Province du Ganzorgou, (Région du plateau centrale, (Borkina Faso). Fondation 2iE. Franck.Lalanne@2ie-edu.org. 33p.

Lallemand-Barrès. A et Roux, (1999) ; Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Manuel et méthodes. Orléans-France :Ed.BRGM.N°33.

M

Makhoukh. M, Sbaa. M, Berrahou. A, Clooster. A-Van, 2001 ; contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc orientale) Larhysse Journal. 9 : 145-162p.

Marcel. D, 1989 ; Chimie des oxydants et traitement des eaux. Génie chimique- technique industrielles- Génie des procédés. Vol.7. Lavoisier S.A.S. 582p.

N

Nouayti.N, Khattach. D, Hilali.M, 2015 ; Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haute Atlas central, Maroc). ISSN : 2028-2508.

O

OMS : Organisation mondiale de la santé 2000. Directive de qualité pour l'eau de boisson, volume 2- critères d'hygiène et documentation à l'appui organisation mondiale de la santé, 2 ème édition 1050p

Ouali. S, 2008 ; les sources thermales en Algérie. Devisions énergie solaire thermique et géothermique. Recherche et développement 3p.

P

Pitkanen. T, 2010. Studies on the detection methodes of compylobacter and fecal indicator bacteria in drinking water national institute for health an Welfare finland 11p.

Potelon. G-I, Zisman. K, 1998 ; le guide des analyses de l'eau potable. Edition de la lettre du cadre territorial. 253p.

R

Ramdane. A-M, 1999 ; Exploitation des eaux souterraines par forage/001/. 6p.

Rodier. J, Bazin. C, Broutin. JP, Chambon. P, Champasaur. H, 1984 ; l'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats série environnement et sécurité. 4^{ème} édition – pris : dumod.486p.

Rodier. J, 1996 ; l'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats série environnement et sécurité. 5^{ème} édition 633-668p.

Rodier. J, Bazin. C, Broutin. JP, Chambon. P, Champasaur. H, 2005 ; l'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} édition – pris : dumod.1383p.

Rodier. J, Legube. B, Merlet. N, Brunet. R, 2009 ; l'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 9^{ème} édition – pris : dumod.1579p.

Roland. V, 2003; Eau, Environnement et santé publique. 2^{ème} édition. Rue Lavoisier Paris : Lavoisier 2003.

Roland. V, 2010 ; Eau, Environnement et santé publique. 3^{ème} édition. Rue Lavoisier Paris : Lavoisier 2003.

Roque .C.F, 2007 ; le thermalisme la médecine que la terre nous a donnée. Géosciences numéro 5 p 74-99.

S

Senders, L. 2006 ; Les eaux thermales en traitement adjuvant Dermatologique et Dermo-cosmétique. L 122.4

V

Villers. J, Squilbin. M , Yourassowsky. C, 2005; Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.14-16p.

Z

Zerrouki. H, Selt. M.T, Ouadjina. N, Milliani. Z, Menoueri. K, Krider. C, Haddadi. N, Bouzertit. N, Boudjella. A, Benguerba. D, Azzouz. D et Ahmed Messoud. R, 2006 ; Le Fian de l'eau. Le magazine des journalistes scientifiques. Université SSAD DAHLAB DE BLIDA 24P.

- **Les sites d'internet :**

(1) : Eaux et bev (qualité de l'eau 8 bev- bioélectronique vincent) : biogassendi 25 ans d'expérience, de conseils personnalisés.

(2) : colloque international sur l'eau et l'environnement (contrôle de la qualité de certaines sources d'eau de la région de SAID).

(3) : Encyclopédie collection Microsoft®Encarta®2005© 1993-2004 Microsoft corporation. (4CD ROM).

Annexe I

I.1. Matériel pour les analyses physico-chimiques :

❖ Matériels pour échantillonnage

-Bouteille en plastique

-flacon stérile en verre

-Glacière

❖ Appareillage

- Etuve à 105°C
- Spectrophotomètre
- Conductimètre Delta OMH/HD 3406 ,2.
- Appareil multiparamètre (HACH)
- Bain marie
- pH mètre
- turbidimètre
- plaque chauffante
- thermomètre numérique HANNA instruments
- photomètre EPPENDORF+servotrace
- balance analytique
- microscope optique
- autoclave verticale
- incubateur à 37°C

❖ Verrerie

- Fiole 250 ml, 500ml
- Erlen
- Béchers
- Pipettes Pasteur
- Pipettes graduées
- Eprouvettes
- Burettes
- Lance de platine
- Entonnoir
- Eprouvette
- Tubes à essais

➤ Réactifs Azote ammoniacale

Réactif I :

- Acide dichloroisocyanurique 2 g.
- Hydroxyde de sodium (NaOH) 32 g.

- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

Réactif II (coloré) :

- Tricarbonate de sodium 130 g.
- Salicylate de sodium 130 g.
- Nitroprussiate de sodium 0.97 g.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml

➤ **Réactifs du Calcium/Magnésium**

Solution E.D.T.A

- 40g E.D.T.A
- 1 g soude caustique
- 1g chlorure de magnésium
- Dissoudre 40g E.D.T.A, ajouter les 5g NaOH puis ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000ml.
- Dissoudre ç part 1g de chlorure de magnésium, ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000ml
- Mélanger les 21 ainsi obtenus et y ajouter 8 autres litres d'eau distillée ce qui donne 10 litres d'E.D.T.A.

Solution : tampon pH/10 (Ca/Mg)

- Le tampon pH/10 est constitué par mélanges à volume égale des solutions A et B
- Solution A
- Peser 67g de chlorure d'ammonium préalablement séché 12 heures à l'étuve à 100°C puis refroidi au dessiccateur.
- Ajouter 400ml d'ammoniaque à 28% (448ml à 25%)
- Compléter à 1000ml par de l'eau distillée
- Solution B
- Dissoudre à 2 litre d'eau distillée 1.5Kg environ de tartrate double de sodium et de potassium appelé couramment sel de seignette. Chauffer jusqu'à dissolution totale et ajuster à 2l.
- Solution de SOUDE N (Ca)
- 40g de soude par litre d'eau distillée

INDICATION COLORE

Dosage du Ca/Mg

- Mélanger intimement puis broyer au mortier 100g de chlorure de sodium préalablement séché et une quantité de noir d'Erichromr T telle qu'on obtient un mélange de coloration mauve. On décèle la fin du virage par le Noire Erichrome T qui vire du rose au bleu.

➤ **Reactifs nécessaires de Dosage de Matières Organiques**

- **Solution de KMnO₄ (N/80) KMnO₄**

| | |
|--|---------|
| *KMnO ₄ | 0.3292g |
| *Eau distillée Q.S.P | 1000 ml |
| - Solution de Mohr (N/80) (FeSO₄ (NH₄) SO₄, 6H₂O) | |
| *Sel de Moher | 5g |
| * Eau distillée Q.S.P | 1000ml |
| Acide sulfurique à ½ (en volume) | 5ml |

➤ **Réactifs du sulfate**

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

Peser 1,479 g de Na₂SO₄. 1000 ml d'eau distillée.

Solution stabilisante :

| | |
|-------------------------------|-----------------|
| Acide chlorhydrique (c) | 60 ml. |
| Ethanol | 200 ml. |
| Chlorure de sodium. 150 g. | |
| Glycérol | 100 ml. |
| Eau distillée | Q.S.P. 1000 ml. |

Solution de chlorure de baryum :

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

➤ **Réactifs de chlorure**

Solution de nitrate d'argent à 0,01 N:

1,6987 d' AgNO₃ → 1000 ml d'eau distillé

Indicateur coloré K₂CrO₄ à 10 %:

10 g de K₂CrO₄ → Q.S.P 100 ml d'H₂O distillé.

Solution de chlorures à 71 mg/l:

0.107g de NH₄Cl.....1000ml d'eau distillé

➤ **Réactifs du nitrate**

- Solution de salicylate de sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h.).

0.5 Gr de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau distillée.

- Solution d'hydroxyde de sodium 30 %.
30 gr de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.
- H₂SO₄ concentré.
- Tartrate double de sodium et de potassium.
 - ✓ Hydroxyde de sodium Na OH . 400 g.
 - ✓ Tartrate de sodium et de potassium 60 g.
 - ✓ Eau distillée qsp 1000 ml.
- Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc.
- Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.
- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l.
 - Nitrate de potassium anhydre 0.722 g.
 - Eau distillée 1000 ml.
 - Chloroforme 1 ml.

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

➤ **Réactifs de nitrite**

Réactif Mixte :

- Sulfanilamide 40 g.
- Acide phosphorique 100 ml.
- N-1- Naphtyl éthylène diamine 2 g.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

➤ **Réactifs des matières oxydables**

Solution de permanganate de potassium à 20mmol/l:

- KM_nO₄ 3,1608 g.
- H₂O distillée bouillante q.s.p 1000 ml.

Porter la solution à 90-95 °C pendant 2heures, refroidir et laisser reposer au moins 2jours.

Décanter la solution claire et conserver dans une bouteille en verre brun.

Solution de KM_nO₄ à 2mmol/l:

- Solution de KM_nO₄ à 20mmol/l..... 100 ml.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

Cette solution doit-être conservée à l'obscurité .Bien qu'elle soit relativement stable, il est conseillé de la renouveler assez souvent et de la vérifier

Solution d'oxalate de sodium à 0,05 mol/l :

- Na₂C₂O₄ 6,7 g.
- Eau distillée q.s.p 1000 ml.

Cette solution est stable environ 6mois à l'obscurité.

Solution d'oxalate de sodium à 5mmol/l :

Introduire 100ml de la solution d'oxalate de sodium à 0.1N dans une fiole jaugée de 1000ml. Compléter au volume avec de l'eau distillée.

Cette solution est stable 2 semaines.

Solution d'acide sulfurique diluée à environ 2.2 moles/l:

Ajouter lentement avec précautions 120ml d'acide sulfurique concentré ($\rho=1.84\text{g/ml}$) à 500ml d'eau distillée. Ajouter la solution de permanganate de potassium à 0.01N jusqu'à persistance d'une coloration rose pâle. Compléter à 1000 ml d'eau distillée dans une fiole jaugée.

➤ Réactifs de phosphate

- | | | |
|-----------------------------------|---------|---|
| - Heptamolybdate d'ammonium | 13 g. | A |
| - Eau distillée | 100 ml. | |
| - Tartrate d'antimoine | 0.35 g. | B |
| - Eau distillée | 100 ml | |
| - Acide sulfurique pur | 150 ml | C |
| - Eau distillée | 150 ml. | |
- (A + B) + C → 500 ml d'eau distillée.

Acide ascorbique à 10 %

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

Solution mère à 50 mg/l PO_4^3

Solution fille à 2 mg/l PO_4^3

➤ Réactifs de Fer

Tampon Acétate:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| - Acétate d'ammonium | 40g |
| - Acide acétique cristallisable..... | 500ml |
| - Q.S.P | 100 ml d'eau distillée. |

Chlorhydrate d'hydroxylamine à 10 % :

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| - Chlorhydrate d'hydroxylamine..... | 10g |
| - Q.S.P | 100 ml d'eau distillée. |

Cette solution est stable pendant une semaine.

- Solution de Phénanthroline -1,10:

Dissoudre 0,42 g de Phénanthroline-1,10 monohydrate($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) dans 100ml d'eau distillée contenant 2gouttes d'Acide chlorhydrique.

Cette solution est stable pendant une semaine. Conserver dans un flacon teinté et au réfrigérateur.

.Solution mère étalon de Fer à 1 g/l:

- Solution fille étalon de fer à 0,01 g/l (à préparer extemporanément).

Diluer au 1/100 la solution précédente.

Annexe II

Matérielle pour l'analyse microbiologique :

❖ Milieu de culture :

- Bouillon lactosé au pourpre de bromocrésolé (BCPL)
- Milieux indole+ mannitol (milieu de Schubert)
- Bouillon à l'acide de sodium (bouillon de Schubert)
- Bouillon à l'éthyle violet et acide de sodium (Eva-litsky)
- Gélose viande foie (VF)
- Gélose nutritive
- Gélose Chapman
- Gélose Héктоene
- Milieu SFB
- EPA
- G.N.A.P

❖ Réactifs, additifs et solutions

- Eau physiologie stérile
- Alun de fer
- Sulfite de sodium
- Réactifs de kowacs
- Eau de javel

❖ Appareillage et verrerie

- Pipettes pasteurs stériles à usage unique
- Pipettes graduées de 25ml
- Tuber à essai stériles
- Bec benzène
- Les boites de pétri
- Etuve à 37 C°. 44 C°
- Bain marie
- Réfrigérateur
- Flacons en verre de 250ml stériles
- Portoirs
- Anse de platine
- Autoclave

❖ Recherche des coliformes

- **Bouillon lactosé au bromocrésolé-pourpre, (BCPL milieu simple et double concentration) en g/l d'eau distillée+la cloche :**

| | |
|--------------------------|-----|
| - Peptone | 5g |
| - Extrait de viande | 3g |
| - Lactose | 10g |
| - Pourpre de bromocrésol | 15g |

- Bacto-Agar-Difco 15g
- Eau distillée 1000ml

PH final : 6,9±0,2

- **Bouillon de Schubert en g/l d'eau distillée :**

- Tryptophane 0.2g
 - Acide glutamique 0.2g
 - Sulfate de magnésium 0.7g
 - Citrate de sodium 0.5g
 - Sulfate d'ammonium 0.4g
 - Chlorure de sodium 2g
 - Peptone 10g
 - Mannitol 7,5g
 - Phosphate disodique 4g
 - Phosphate monopotassique 0,6g
 - Eau distillée 500ml
- pH final : 7,4± 0,2

- **Réactif de kowacs**

- Paradiméthylaminobenzaldéhyde 5g
- Alcool iso-amylique 75ml
- Acide chlorhydrique 25ml

❖ **Recherche des streptocoques fécaux**

- **Milieu Rothe (milieu simple et double concentration) en g/l d'eau distillée :**

| | S/C | D/C |
|------------------------------------|------|------|
| - Hydrolysats tryptique de caséine | 12.6 | 25.2 |
| - Peptone bactériologique | 8 | 16 |
| - Glucose | 5 | 10 |
| - Chlorure de sodium | 5 | 10 |
| - Phosphate dipotassique | 2,7 | 5,4 |
| - Phosphate monopotassique | 2,7 | 5,4 |
| - Acide de sodium | 0,2 | 0,4 |

- **Milieu EVA LITSKY en g/l d'eau distillée :**

- Peptone 20g
 - Glucose 5g
 - Chlorure de sodium 5g
 - Phosphate dipotassique 2,7g
 - Phosphate monopotassique 2,7g
 - Azohydrate de sodium 0,3g
 - Éthyle-violet 5 ml
 - Eau distillée 1000ml
- pH final : 6,8± 0,2

- **Gélose nutritive**

- Extrait de viande 1g
- Extrait de levure 2g
- Peptone 5g
- Chlorure de sodium 5g
- Agar 15g

pH= 7,4

- **Gélose Chapman**

- Peptone 10g
- Extrait de viande de bœuf 1g
- Chlorure de sodium 75g
- Mannitol 10g
- Rouge de phénol 0,025 g
- Agar-agar 15g

pH= 7,4

- ❖ **Recherche des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs**

- **Milieu viande-foie (VF)**

- Base viande-foie 30g
- D-glucose 2g
- Agar 8g
- Ethyle violet 7,6±0,2g

Autoclaver à 124°C

- **Alun de fer à 5%**

- Citrate ammoniacal (alun de fer) 5g
- Eau distillée 100ml

- **Sulfite de sodium à 10%**

- Na₂SO₃, 7H₂O (hyper hydraté) 10 g
- Eau distillée 100ml

OU

- Na₂SO₃ (anhydre) 5.0g
- Eau distillée 100ml

- ❖ **Recherche de salmonella**

- **Bouillon au sélénite de sodium (SFB)**

Composition type en g/l

- Peptone 5g
- Tryptone 4g
- Chlorure de sodium 5g
- Phosphate dipotassique 27g
- Phosphate monopotassique 0,2g

pH final = $6,9 \pm 0,1$

- Phosphate disodique 4g
- Mannitol
- Cystéine

pH final = $7 \pm 0,2$

Autoclaver à 120 °C pendant 15 min

• **Gélose Héктоène**

- Protéose peptone 12g
- Extrait de levure 3g
- Lactose 12g
- Saccharose 12g
- Salicine 2g
- Citrate de fer et d'ammonium 1.5g
- Sels biliaires 9g
- Fuchsine acide 0.1g
- Bleu de bromothymole 0.065g
- Chlorure de sodium 5g
- Thiosulfate de sodium 5g
- Agar 14g
- Eau distillée 1000ml

pH finale = $7.5 \pm 0,2$

❖ **Recherche des vibrions**

• **Eau peptonée alcalin (EPA)**

- Protéase peptone 10g
- Peptone 10g
- Chlorure de sodium 5g
- Sodium thiosulfate 0,3g

pH final = 8,6

Autoclaver à 120°C pendant 15 min

• **Agar G.N.A.P**

- Peptone de viande 5g/l
- Extrait de viande 3g/l
- Chlorure de sodium 2g/l
- Bile de bœuf desséchée 18g/l

pH finale = 8.6

Autoclaver à 120°C pendant 15 min

Annexe III

I- les Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de source

| la date | Température c° | pH | conductivité ms/cm | Turbidité NTU | Dureté F° | Tac F° |
|------------|----------------|------|--------------------|---------------|-----------|--------|
| 19/02/2017 | 30 | 6.84 | 35.03 | 23.23 | 224 | 25.06 |
| 05/03/2017 | 34 | 6.90 | 20.94 | 21.33 | 214.7 | 24.76 |
| 19/03/2017 | 32 | 6.81 | 33.31 | 35.5 | 421.26 | 12.85 |
| 02/04/2017 | 34 | 6.83 | 33.87 | 18.33 | 254.6 | 17.61 |
| 16/04/2017 | 34.5 | 6.90 | 32.73 | 19.33 | 251.93 | 18.83 |
| 30/04/2017 | 34 | 6.86 | 33.4 | 13.36 | 248.33 | 16.83 |
| 14/05/2017 | 35 | 7 | 34.36 | 20.3 | 261.93 | 21 |

| la date | Salinité % | TDS mg/l | Chlorure (mg/l) | bicarbonate (mg/l) | Sulfate (mg/l) | Nitrite (mg/l) |
|------------|------------|----------|-----------------|--------------------|----------------|----------------|
| 19/02/2017 | 16.90 | 1680 | 1150.2 | 305.16 | 1192.71 | 0.093 |
| 05/03/2017 | 33.6 | 3359 | 1012.9 | 262.27 | 6727.68 | 0.0391 |
| 19/03/2017 | 20.50 | 2005 | 2240.6 | 288.4 | 1520.00 | 0.016 |
| 02/04/2017 | 21.2 | 2105.6 | 2127.6 | 290.79 | 1550 | 0.044 |
| 16/04/2017 | 20.03 | 1994.6 | 2042.4 | 280.1 | 1536.66 | 0.034 |
| 30/04/2017 | 22.3 | 2227.3 | 2328.8 | 306.33 | 1566.6 | 0.031 |
| 14/05/2017 | 23.3 | 2327.3 | 2428.4 | 301.30 | 1616.66 | 0.139 |

| la date | Nitrate (mg/l) | Ammonium (mg/l) | Calcium (mg/l) | Magnésium (mg/l) | Manganèse (mg/l) | Fer (mg/l) |
|------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------|
| 19/02/2017 | 1.543 | 1.339 | 804 | 477.3 | 0.036 | 1.71 |
| 05/03/2017 | 0.979 | 0.979 | 535.86 | 475.09 | 0.019 | 1.573 |
| 19/03/2017 | 0.90 | 0.90 | 514.6 | 972.44 | 0.029 | 1.56 |
| 02/04/2017 | 0.87 | 0.87 | 499.2 | 566.1 | 0.033 | 1.72 |
| 16/04/2017 | 0.93 | 0.93 | 562.66 | 562.64 | 0.025 | 1.42 |
| 30/04/2017 | 0.93 | 0.93 | 536 | 556.12 | 0.019 | 1.58 |
| 14/05/2017 | 0.92 | 0.846 | 573.33 | 585.64 | 0.025 | 1.646 |

| la date | Aluminium (mg/l) | Matière organique (mg/l) | Phosphate (mg/l) | MES | Résidus sec |
|------------|------------------|--------------------------|------------------|-------|-------------|
| 19/02/2017 | 0.03 | 15.3 | 0.09 | 70 | 2776 |
| 05/03/2017 | 0.020 | 7.60 | 0.085 | 66.02 | 2739 |
| 19/03/2017 | 0.036 | 11.87 | 0.078 | 64.49 | 2689.33 |
| 02/04/2017 | 0.047 | 14.83 | 0.087 | 53.5 | 2682 |
| 16/04/2017 | 0.036 | 15.16 | 0.076 | 44.7 | 2674.33 |
| 30/04/2017 | 0.041 | 12.9 | 0.064 | 45.6 | 2686 |
| 14/05/2017 | 0.046 | 11.56 | 0.087 | 60.5 | 2787.66 |

II- les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de robinet

| la date | Température c° | pH | conductivité ms/cm | Turbidité NTU | Dureté F° | Tac F° |
|------------|----------------|------|--------------------|---------------|-----------|--------|
| 19/02/2017 | 35.5 | 6.81 | 39.07 | 0.86 | 280 | 21.01 |
| 05/03/2017 | 37 | 7.22 | 46.50 | 2.29 | 250.01 | 21.51 |
| 19/03/2017 | 37.51 | 7.40 | 44.61 | 1.21 | 440.02 | 21.46 |
| 02/04/2017 | 37 | 7 | 46.2 | 5.2 | 329.93 | 20 |
| 16/04/2017 | 38 | 7.96 | 43.5 | 4.24 | 333.33 | 21 |
| 30/04/2017 | 38 | 7.95 | 45.6 | 2.87 | 336 | 19.5 |
| 14/05/2017 | 37.5 | 7.50 | 46.30 | 2.29 | 250.01 | 14.57 |

| la date | Salinité % | TDS mg/l | Chlorure (mg/l) | bicarbonate (mg/l) | Sulfate (mg/l) | Nitrite (mg/l) |
|------------|------------|----------|-----------------|--------------------|----------------|----------------|
| 19/02/2017 | 24.90 | 2360 | 2263.5 | 256.20 | 1174.003 | 0.21 |
| 05/03/2017 | 29.81 | 2970 | 852 | 162.27 | 6100.003 | 0.036 |
| 19/03/2017 | 28.51 | 2840 | 2160 | 236.10 | 1560 | 0.099 |
| 02/04/2017 | 29.4 | 2850 | 2485 | 240.13 | 1780 | 0.149 |
| 16/04/2017 | 28.2 | 2815 | 2432.93 | 190.44 | 1760 | 0.128 |
| 30/04/2017 | 28.6 | 2860.33 | 2548.9 | 235.86 | 1790 | 0.093 |
| 14/05/2017 | 298.87 | 2971 | 856.33 | 170.17 | 1600.01 | 0.115 |

| la date | Nitrate (mg/l) | Ammonium (mg/l) | Calcium (mg/l) | Magnésium (mg/l) | Manganèse (mg/l) | Fer (mg/l) |
|------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------|
| 19/02/2017 | 0.59 | 2.4 | 1000.02 | 72.144 | 0.02 | 0.05 |
| 05/03/2017 | 0.42 | 2.481 | 600.16 | 239.936 | 0.011 | 0.047 |
| 19/03/2017 | 0.549 | 1.75 | 589.09 | 703.35 | 0.03 | 0.049 |
| 02/04/2017 | 1.61 | 1.79 | 665.86 | 329.32 | 0.025 | 0.04 |
| 16/04/2017 | 1.07 | 2.11 | 660.5 | 403.84 | 0.019 | 0.019 |
| 30/04/2017 | 1.06 | 2.3 | 669.6 | 404.64 | 0.039 | 0.032 |
| 14/05/2017 | 0.48 | 2.487 | 600.05 | 239.98 | 0.061 | 0.038 |

| la date | Aluminium (mg/l) | Matière organique (mg/l) | Phosphate (mg/l) | MES (mg/l) | Résidus sec (mg/l) |
|------------|------------------|--------------------------|------------------|------------|--------------------|
| 19/02/2017 | 0.049 | 14.3 | 0.096 | 140 | 2893.3 |
| 05/03/2017 | 0.03 | 6.87 | 0.069 | 80.6 | 2764 |
| 19/03/2017 | 0.041 | 13.01 | 0.049 | 75.76 | 2764.33 |
| 02/04/2017 | 0.044 | 12.4 | 0.044 | 103.66 | 2664 |
| 16/04/2017 | 0.029 | 13.2 | 0.058 | 92.3 | 2714.3 |
| 30/04/2017 | 0.036 | 13.13 | 0.061 | 89.76 | 26919 |
| 14/05/2017 | 0.041 | 14.1 | 0.059 | 100.76 | 2750 |

Annexe IV

Matériel non biologique utilisée



Spectrophotomètre



Multiparamètre



Turbidimètre



plaque chauffante



Etuve



balance analytique



Microscope optique



Incubateur

Annexe V

Méthode d'analyse bactériologique

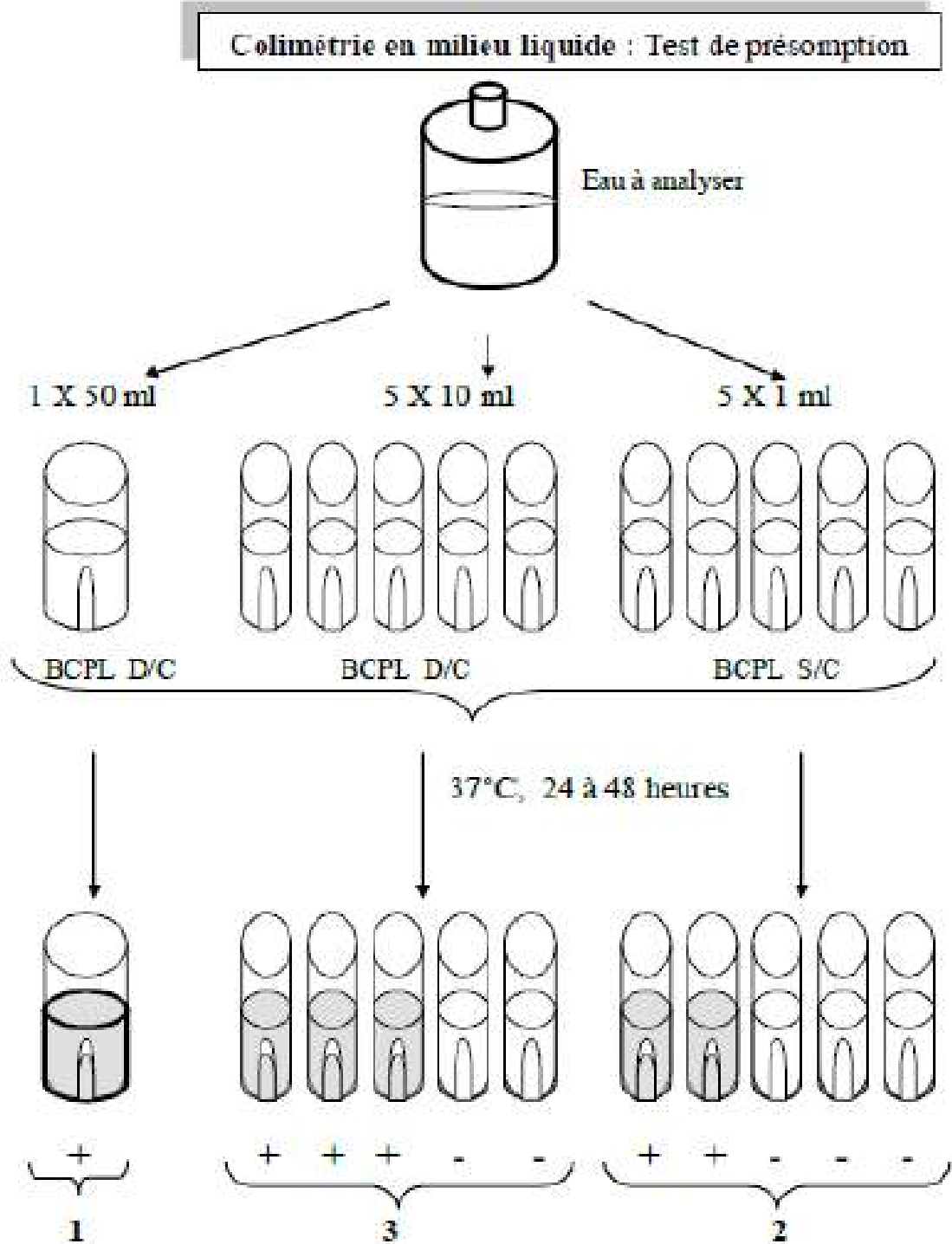


Figure 1 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux

Méthode d'analyse bactériologique

Colimétrie en milieu liquide : Test de confirmation

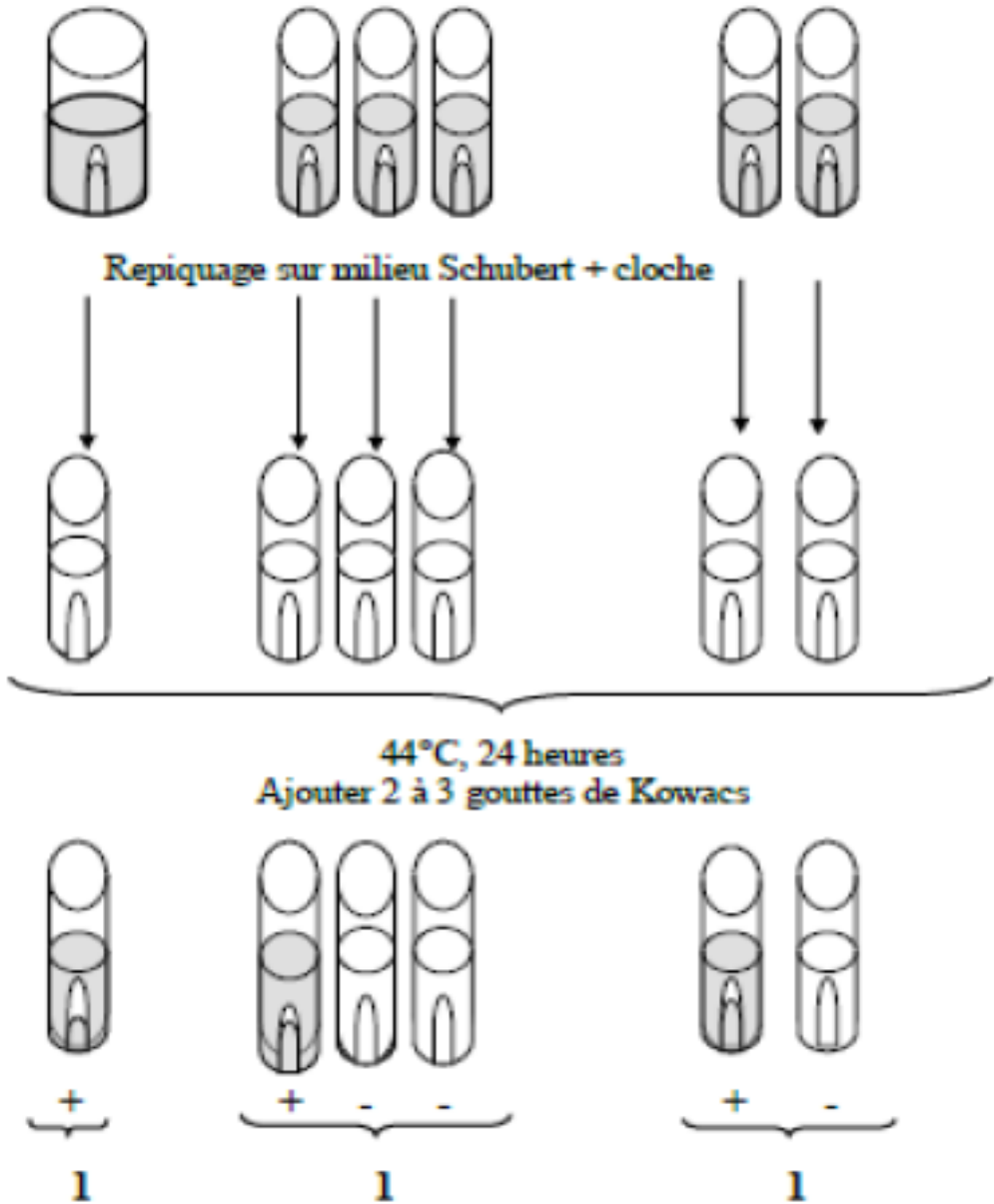


Figure 2 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux

Méthode d'analyse bactériologique

Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux en milieu liquide :
Test de Présomption

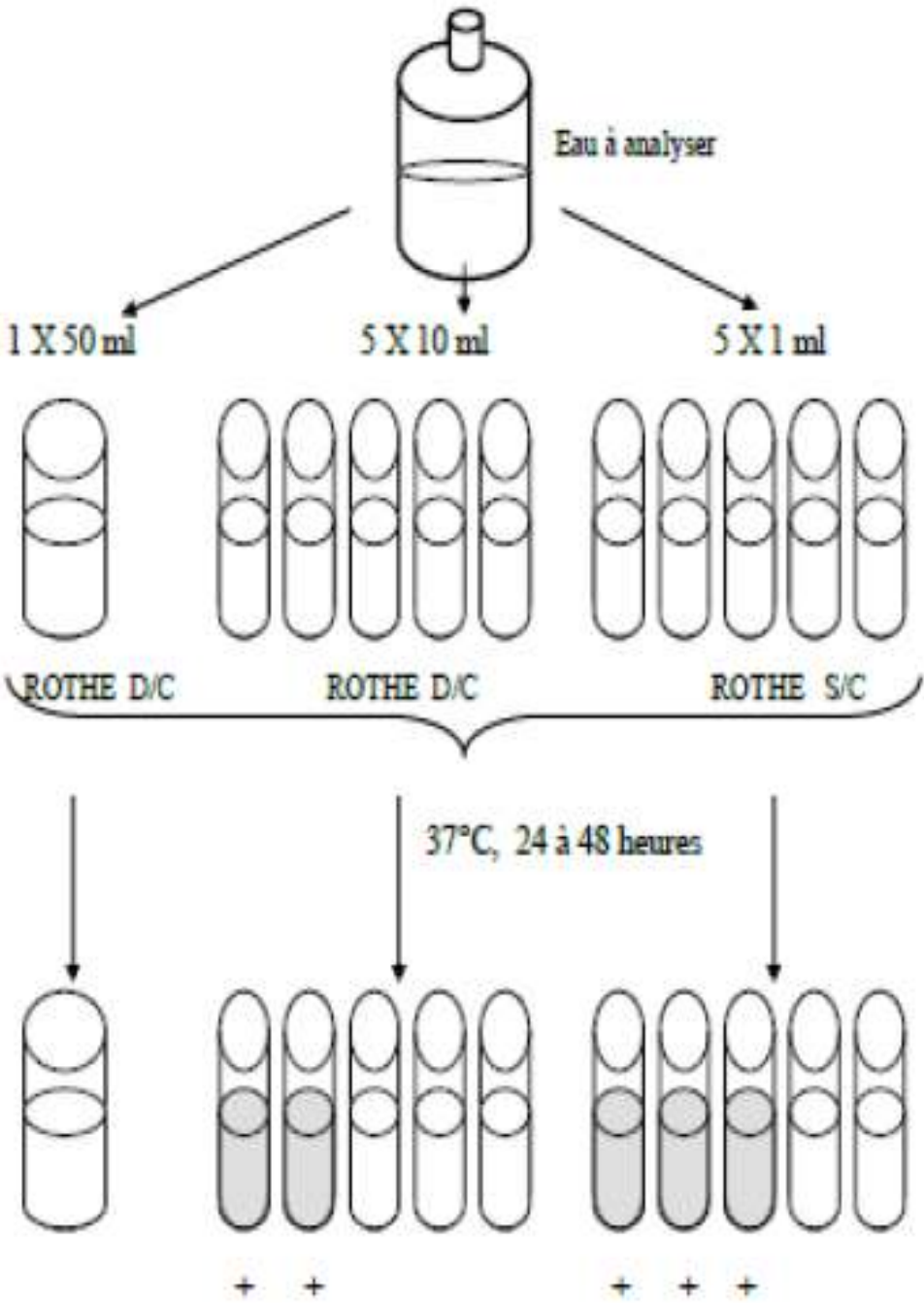


Figure 3: Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Méthode d'analyse bactériologique

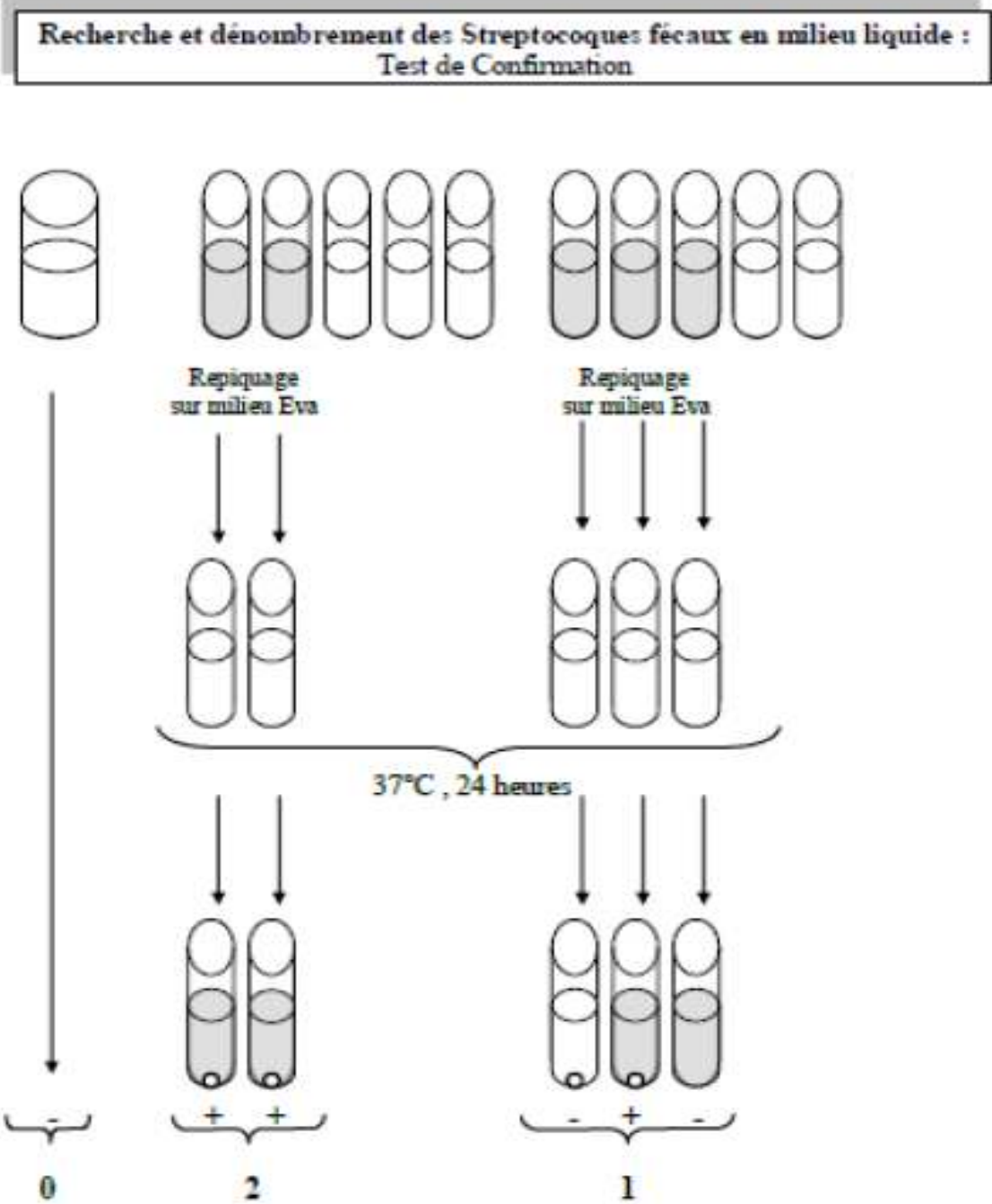


Figure 4 : recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Méthode d'analyse bactériologique

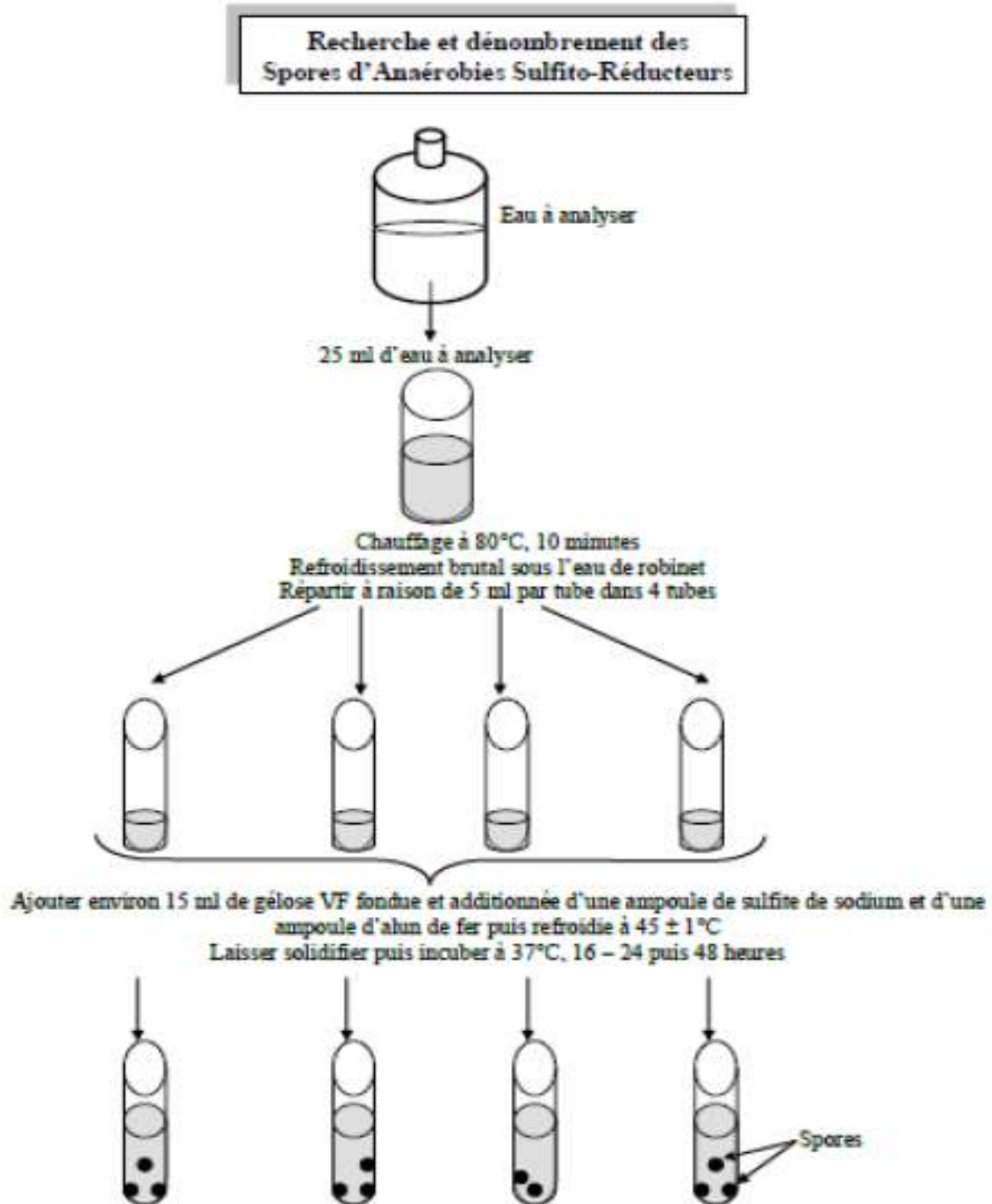


Figure 5 : recherche et dénombrement des spores d'anaérobies Sulfito-Réducteurs

Méthode d'analyse bactériologique

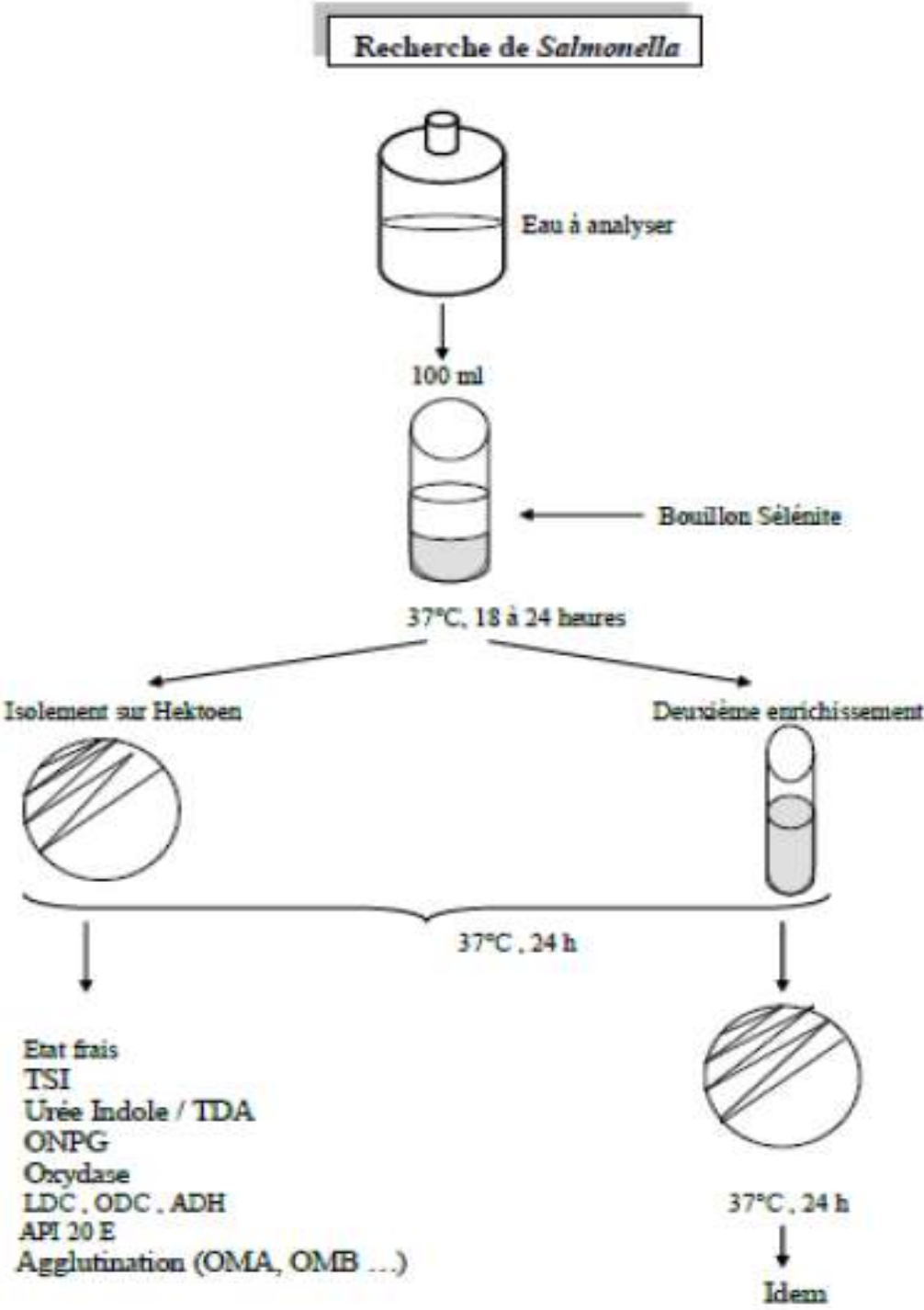


Figure 6 : recherche et dénombrement de *Salmonella*

Méthode d'analyse bactériologique

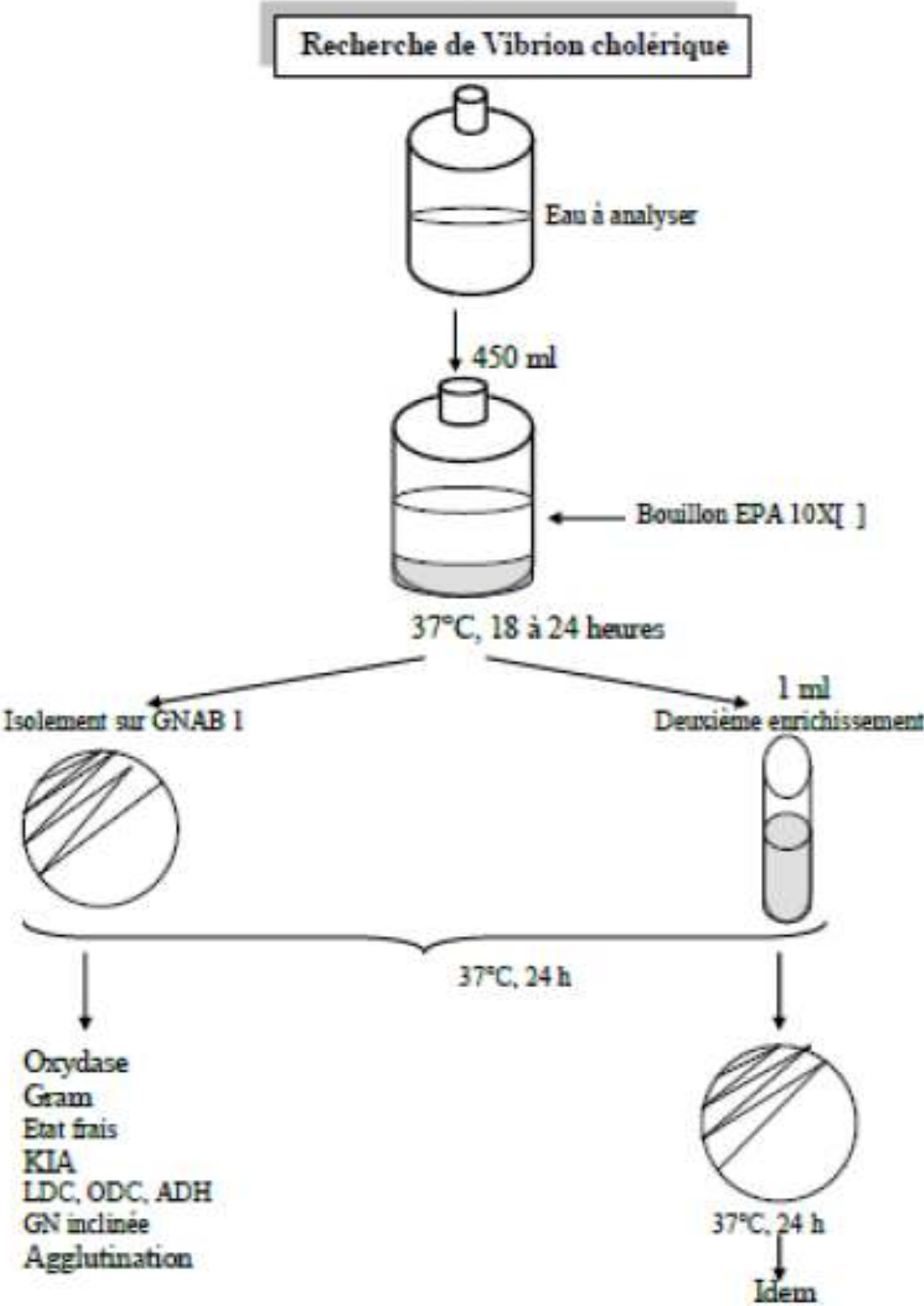


Figure 7 : recherche et dénombrement de vibriion cholérique

Méthode d'analyse bactériologique

Table NPP (Nombre Plus Probable)

| 1 X 50 ml | 5 X 10 ml | 5 X 1 ml | Nombre caractéristique | Limites de confiance | |
|-----------|-----------|----------|------------------------|----------------------|------------|
| | | | | Inférieure | Supérieure |
| 0 | 0 | 0 | <1 | | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | <0,5 | 4 |
| 0 | 0 | 2 | 2 | <0,5 | 6 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | <0,5 | 4 |
| 0 | 1 | 1 | 2 | <0,5 | 6 |
| 0 | 1 | 2 | 3 | <0,5 | 8 |
| 0 | 2 | 0 | 2 | <0,5 | 6 |
| 0 | 2 | 1 | 3 | <0,5 | 8 |
| 0 | 2 | 2 | 4 | <0,5 | 11 |
| 0 | 3 | 0 | 3 | <0,5 | 8 |
| 0 | 3 | 1 | 5 | <0,5 | 13 |
| 0 | 4 | 0 | 5 | <0,5 | 13 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | <0,5 | 4 |
| 1 | 0 | 1 | 3 | <0,5 | 8 |
| 1 | 0 | 2 | 4 | <0,5 | 11 |
| 1 | 0 | 3 | 6 | <0,5 | 15 |
| 1 | 1 | 0 | 3 | <0,5 | 8 |
| 1 | 1 | 1 | 5 | <0,5 | 13 |
| 1 | 1 | 2 | 7 | 1 | 17 |
| 1 | 1 | 3 | 9 | 2 | 21 |
| 1 | 2 | 0 | 5 | <0,5 | 13 |
| 1 | 2 | 1 | 7 | 1 | 17 |
| 1 | 2 | 2 | 10 | 3 | 23 |
| 1 | 2 | 3 | 12 | 3 | 28 |
| 1 | 3 | 0 | 8 | 2 | 19 |
| 1 | 3 | 1 | 11 | 3 | 26 |
| 1 | 3 | 2 | 14 | 4 | 34 |
| 1 | 3 | 3 | 18 | 5 | 53 |
| 1 | 3 | 4 | 21 | 6 | 66 |
| 1 | 4 | 0 | 13 | 4 | 31 |
| 1 | 4 | 1 | 17 | 5 | 47 |
| 1 | 4 | 2 | 22 | 7 | 59 |
| 1 | 4 | 3 | 28 | 9 | 85 |
| 1 | 4 | 4 | 35 | 12 | 100 |
| 1 | 4 | 5 | 43 | 15 | 120 |
| 1 | 5 | 0 | 24 | 8 | 75 |
| 1 | 5 | 1 | 35 | 12 | 100 |
| 1 | 5 | 2 | 54 | 18 | 140 |
| 1 | 5 | 3 | 92 | 27 | 220 |
| 1 | 5 | 4 | 160 | 39 | 450 |
| 1 | 5 | 5 | >240 | | |

Figure 8 : la table de Mac Grady (NPP)

