

Mémoire de Master

Présenté par :

- AGGOUNE NADINE.
- AIT SADI LYNDIA.

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie

Spécialité : Chimie analytique

Thème :

***Analyses physico-chimiques des eaux de
de la station et de l'eau minérale naturelle de
l'entreprise SARL IFRI***

Soutenu le :06/07/2022

Devant le jury composé de :

Nom&Prénom	Département d'affiliation	Qualité
Mr HENACHE ZAHIR	chimie	Président
Mme BENKHODJA ZAHRA	chimie	Examineur
Mme IMLOUL TAYAKOUT	Chimie	Encadrant

2021-2022

Remerciement

Tous d'abord nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donnée la foi et de nous avoir permis d'en arriver là.

Dans le premiers temps, nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances l'entrepris SARL IFRJ et nous remercions Mr Touahri.w, Mr H. Djilali et Mr B.Tarik de nous avoir accueillis dans son service ainsi qu'à tout l'ensemble du personnel du laboratoire de IFRJ pour leur aide, leurs conseils et pour leur complicités.

Nous tenons à remercier Mme T.Imoul qui nous à fait l'honneur de diriger ce travail fin d'étude. Nous avons apprécié votre aide et vos conseils si précieux, Votre rigueur scientifique et vos qualités pédagogiques .Nous ont aidés tout au long de la réalisation de ce travail, l'expression de notre estime et de notre reconnaissance.

Nous remercions tous les professeurs de la faculté science exacte et département chimie.



DÉDICACE

A avant tout ; je rends grâce à Allah de m'avoir donnée la foi, la patience et l'abnégation pour accomplir ce travail.

Nous dédions ce modeste travail à :

Mon cher papa ; Allah yarhamho et ma chère maman pour leurs éducation ; leurs patience leurs énormes sacrifices à nous offrir une vie pleine de joie et d'amour, leurs soutiens et encouragement.

Amon très chère mari qui m'a toujours soutenu et encouragé.

A mes chers frères et sœurs pour appui et leur encouragement, A toute ma famille pour leur soutiens.

A. LYNDIA.



DÉDICACE

A avant tout ; je rends grâce à Allah de m'avoir donnée la foi, la patience et l'abnégation pour accomplir ce travail.

Nous dédions ce modeste travail à :

Ma chère maman ; Allah yarhamaha et mon cher papa pour leurs éducations ; leurs patiences leurs énormes sacrifices à nous offrir une vie pleine de joie et d'amour, leurs soutiens et encouragement,

A toute ma famille et à mon cher frère.

A. NADINE.

LISTE DE FIGURES

Chapitre I:

<i>N°</i>	<i>TITRE</i>	<i>PAGE</i>
01	<i>Les états de l'eau.</i>	3
02	<i>La molécule d'eau.</i>	3
03	<i>Cycle de l'eau.</i>	4
04	<i>Schéma de l'eau de souterraine</i>	5

Chapitre II:

<i>N°</i>	<i>TITRE</i>	<i>PAGE</i>
01	<i>Colonne échangeuses d'ions.</i>	13
02	<i>Regeneration à co-courant.</i>	14
03	<i>Regeneration à contre-courant.</i>	14
04	<i>Résines échangeuses d'ions.</i>	15
05	<i>Osmoseur.</i>	18
06	<i>Principe d'osmose inverse.</i>	19
07	<i>Adoucisseur.</i>	19
08	<i>Adoucissement de l'eau.</i>	20
09	<i>Processus des déminéralisation de l'eau.</i>	21
10	<i>Décarbonatation.</i>	22
11	<i>Chaudière.</i>	23
12	<i>Tours de refroidissement.</i>	24
13	<i>Circuit fermé.</i>	25
14	<i>Tour de refroidissement ouvert.</i>	26
15	<i>Tour de refroidissement fermé.</i>	27

Chapitre III:

<i>N°</i>	<i>TITRE</i>	<i>PAGE</i>
01	<i>Organigramme de SARL IFRI.</i>	32
02	<i>pH mètre.</i>	33
03	<i>Condumètre.</i>	34
04	<i>Spéctrophotomètre.</i>	40

Chapitre IV:

<i>N°</i>	<i>TITRE</i>	<i>PAGE</i>
01	<i>Variation des valeurs de pH des eaux de la chaîne de production de SARL IFRI</i>	45
02	<i>Variation de la conductivité des eaux de la</i>	46

	<i>chaîne de production SARL IFRI</i>	
<i>03</i>	<i>Variation des valeurs de la dureté totale des eaux de processus</i>	<i>47</i>
<i>04</i>	<i>Variation des valeurs des chlorures dans les eaux de processus SARL IFRI</i>	<i>48</i>
<i>05</i>	<i>Variation du pH de l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>51</i>
<i>06</i>	<i>Variation des valeurs de la conductivité de l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>51</i>
<i>07</i>	<i>Variation des valeurs de la dureté totale dans l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>52</i>
<i>08</i>	<i>Variation de la dureté calcique dans l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>53</i>
<i>09</i>	<i>Variation de la dureté magnésienne dans l'eau minérale naturelle IFRI</i>	<i>54</i>
<i>10</i>	<i>La teneur de chlorures dans l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>54</i>
<i>11</i>	<i>Résultats obtenus lors du dosage des sulfates dans l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>55</i>
<i>12</i>	<i>Teneur en fer dans l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>56</i>
<i>13</i>	<i>Teneur en cuivre dans l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>56</i>
<i>14</i>	<i>Variation des teneurs de nitrate de l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	<i>57</i>

15	<i>Variation des teneurs de nitrite de l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	58
16	<i>Variation des teneurs en TAC dans l'eau minérale naturelle IFRI.</i>	59

LISTES DES TABLEAUX

<i>N°</i>	<i>TITRE</i>	<i>PAGES</i>
<i>I.1.</i>	<i>CLASSIFICATION DES EAUX D'APRES LEURS pH.</i>	<i>08</i>
<i>I.2.</i>	<i>Plage des valeurs pour le titrehydrotimétrique .</i>	<i>09</i>
<i>II.1.</i>	<i>Types de résines</i>	<i>16-17</i>
<i>IV.1.</i>	<i>Teneur en TA (mg/l de CaCo₃) de la chaine de production de SARL IFRI.</i>	<i>49</i>
<i>IV.2.</i>	<i>Teneur enTAC des eaux de la chaine de production de l'eau de SARL IFRI.</i>	<i>50</i>

Liste des abréviations

- **EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.
- **°C** : Degré Celsius.
- **°F** : Degré français.
- **G** : Gramme.
- **HSN** : Acide calcane carboxylique.
- **Mg /l** : Milligramme par litre.
- **ml**: millilitre.
- **nm** : Nanomètre.
- **NET** : Noir ériochrome Toluène.
- **N** : Normalité.
- **TA** : Titre Alcalimétrique Simple.
- **TAC** : Titre Alcalimétrique Complet.
- **TH** : Titre Hydrotimétrique.
- **THCa²⁺** : Titre calcique.
- **THMg²⁺** : Titre magnésienne.
- **µm** : Micromètre.
- **µS/cm** : Micro Siemens par centimètre.
- **AgNO₃** : Nitrate d'argent.
- **Cu** : Cuivre.
- **Ca** : Calcium.
- **Cl⁻** : Chlorure.
- **Fe** : Fer.
- **HCO₃⁻** : ion hydrogénocarbonate.
- **HCl** : Acide chlorhydrique.
- **K** : Potassium.
- **Mg** : Magnésium.
- **NO₃⁻** : Nitrate.
- **NO₂⁻** : Nitrite.
- **NaOH** : Hydroxyde de sodium.
- **pH** : Potentiel Hydrogène.
- **K₂ CrO₄** : Bichromate de potassium.
- **mmol/L** : Millimol par litre.
- **H₂ O** : Eau.
- **SO₄²⁻** : sulfate.
- **mol /L** : mol par litre.
- **CO₃²⁻** : carbonate.
- **T** : Température.
- **MES** : Matières en suspension.
- **MM** : Matières minérales.

- **MS** : Matière sèche.
- **MO** : Matière organique.
- **%** : Pourcentage.
- **DCO** : Demande chimique en oxygène.
- **K_{1 0}** : Solution tampon (NH₄ /NH₃).
- **ppm** : Partie par million.

Sommaire :

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur l'eau	
I.1. Définition de l'eau.	3
I.2. Cycle de l'eau	3
I.3. Importance de l'eau.	4
I.4. Différentes sources d'approvisionnement en eau.	4
I.4.1. Eaux de pluie.	5
I.4.2. Eaux de surface.	5
I.4.3. Eaux souterraines.	5
I.4.4. Eaux de mer.	6
I.5. Composition de l'eau.	6
I.6. Les paramètres organoleptiques.	7
I.6.1. La couleur.	7
I.6.2. Le gout et l'odeur.	7
I.6.3. La turbidité.	7
I.7. Les paramètres physico-chimiques.	7
I.7.1. La température.	7
I.7.2. Le potentiel hydrogène (PH).	8
I.7.3. La conductivité électrique.	8
I.7.4. la dureté totale.	9
I.7.5. L'alcalinité totale.	9
I.7.6. La demande chimique en oxygène (DCO).	10
I.7.7. Matière organique.	10
I.7.8. Matières sèches (Ms).	10
I.7.9. Les matières minérales (MM).	10

Chapitre II. Les processus traitement des eaux

II.1.Eau brute de SARL IFRI	11
II.2. Chaîne de traitement des eaux SARL IFRI.	11
II.2.1. Filtration à sable.	11
II.2.1. Déferrisation.	12
II.3. Echangeurs d'ions.	13
II.3.1. Régénération.	13
II.3.2. Résines	15
II.4. Méthodes et matériels utilisés dans les traitements des eaux	17
II.4.1. Osmoseur.	17
II.4.2. Principe d'osmose inverse.	18
II.4.3. Adoucissement de l'eau	19
II.4.4. Techniques d'adoucissement.	19
II.4.5. Déminéralisation.	20
II.4.6. Décarbonatation.	21
II.4.7. Chaudière.	22
II.4.8. Tours de refroidissement.	23
II.4.8.1. Définitions d'une tour de refroidissement.	23
II.4.8.2. Types de circuits.	23
II.4.8.2.1. Circuits ouvert.	24
II.4.8.2.2. Circuits fermé.	24
II.4.8.2.3. Circuit semi-ouvert.	24
II.4.9. Principe de fonctionnement d'une tour de refroidissement.	25
II.4.9.1. Principe de fonctionnement d'une tour de refroidissement ouverte.	25
II.4.9.2. Principe de fonctionnement d'une tour de refroidissement fermé.	26

Chapitre III : Méthodes et techniques d'analyses

III.1. Présentation de la SARAL IFRI.	29
III.1.1. L'objectif de l'unité.	29
III.1.2. Présentation de la chaîne de production.	29
III.1.3. Activités de l'entreprise IFRI.	30
III.1.4. Le Processus de traitement utilisé.	30
III.1.4.1. Le captage des eaux minérales.	30
III.1.4.2. Le traitement effectué.	30
III.1.5. Fonctions techniques.	31
III.2. Techniques d'analyses physico-chimiques.	33
III.2.1. Le potentiel hydrogène.	33
III.2.2. La conductivité.	34
III.3. Méthodes volumétriques.	35
III.3.1. Détermination de la dureté totale (TH).	35
III.3.2. La dureté calcique.	36
III.3.3. La dureté magnésienne.	36
III.3.4. Titre alcalimétrique simple (TA).	36
III.3.5. Titre alcalimétrique complet (TAC).	37
III.3.6. Dosage des chlorures.	38
III.4. Méthode spectrométrique.	39
III.4.1. Dosage des nitrates.	40
III.4.2. Dosage des nitrites.	41
III.4.3. Dosage des sulfates.	42
III.4.4. Dosage du fer	43
III.4.5. Dosage du cuivre.	44

Chapitre IV : Discussion des résultats

IV.1. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques	45
IV.1.1. Potentiel d'hydrogène (Ph)	45
IV.1.2. Conductivité	46
IV.2. Résultats et interprétation de l'analyse de la minéralisation globale	47
IV.2.1. Dureté Totale (TH)	47
IV.2.2. Ions chlorures	48
IV.3. Résultats et interprétations d'autres paramètres	49
IV.3.1. Titre alcalimétrique (TA)	49
IV.3.2. Titre alcalimétrique complet (TAC)	49
IV.4. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques des l'eau minérale naturelle IFRI	50
IV.4.1. Les paramètres physiques	50
IV.4.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)	50
IV.4.1.2. Conductivité	51
IV.4.2. Résultats et interprétations de l'analyse de la minéralisation globale	52
IV.4.2.1. Dureté Totale (TH)	52
IV.4.2.2. Dureté calcique	52
IV.4.2.3. Dureté magnésienne	53
IV.4.2.4. Les chlorures	54
IV.4.2.5. Sulfates (SO_4^{2-})	55
IV.4.2.6. Ions Fer (Fe^{2+})	55
IV.4.2.7. Cuivre (Cu)	56
IV.4.3. Résultats et interprétations de l'analyse des paramètres polluants	57
IV.4.3.1. Les nitrates (NO_3^-)	57
IV.4.3.2. Les nitrites (NO_2^-)	57

IV.4.4. Résultats et interprétations de l'analyse d'autres	58
IV.4.4.1. Titre alcalimétrique complet (TAC)	58
Conclusion	60

Introduction Générale

L'eau constitue un élément primordial à la vie. La disposition de l'eau en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé [1]. Le corps humain d'un adulte est composé à 60% d'eau, chez un bébé, le pourcentage est plus élevé, et s'élève jusqu'à 75%.

Son utilisation est très vaste, l'eau remplit des fonctions clés et essentielles, elle ne sert pas seulement à s'hydrater, que ce soit chez les humains, les animaux ou les plantes, elle sert aussi à nettoyer et à maintenir une bonne hygiène, à fournir de l'énergie, à réguler le climat ou à accueillir la vie.

Parmi les sources en eaux ce sont exploitées, celles souterraines constituent la principale source d'approvisionnement. Elles sont les plus abondamment consommées (plus de 70%) et constituent une ressource naturelle très précieuse pour diverses activités humaines [2].

L'eau minérale naturelle est une eau possédant des propriétés thérapeutiques reconnues par l'appellation n'implique pas obligatoirement une forte teneur en minéraux. D'origine souterraine, elle est d'autant mieux protégée puisqu'elle provient des nappes très profondes et sa composition est due au milieu d'où elle provient ou avec lequel elle a été en contact. Destinée à l'alimentation en tant que boisson, elle doit présenter une grande pureté du point de vue microbiologique et répondre à des critères de qualités physico-chimiques.

L'objectif de notre travail consiste donc à étudier le suivi des caractéristiques physico-chimique de l'eau minérale et les eaux de la station de traitement de l'entreprise SARL IFRI de la commune d'Ouzellaguene.

Le travail présenté dans ce mémoire s'articule le autour de quatre chapitres:

- Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique concernant les généralités sur l'eau.
- Le deuxième chapitre consiste à la présentation de l'organisme d'accueil SARL IFRI ainsi que les processus de traitement des eaux.
- dans troisième chapitre seront présentés le matériel et les méthodes utilisés.

Introduction Générale

- Le quatrième chapitre est consacré au volet pratique, s'appuyant sur l'étude effectuée au sein de l'entreprise IFRI, aux résultats obtenus et leurs interprétations. nous terminons notre mémoire par une conclusion.

Chapitre I

Généralités sur l'eau.

I. Généralités sur l'eau

I.1. Définition de l'eau

L'eau, ressource vitale dans la vie des êtres-vivants, recouvre plus de 70 % de la surface de la terre. Dans la nature, sous l'influence de divers facteurs tels que: l'action du soleil, la pression atmosphérique et la température, l'eau change d'état physique et on la retrouve sous trois formes (**figure I.1**).

- A l'état liquide: rivières, lacs, fleuves.
- A l'état gazeux: vapeur, nuages.
- A l'état solide: glace, neige [3].

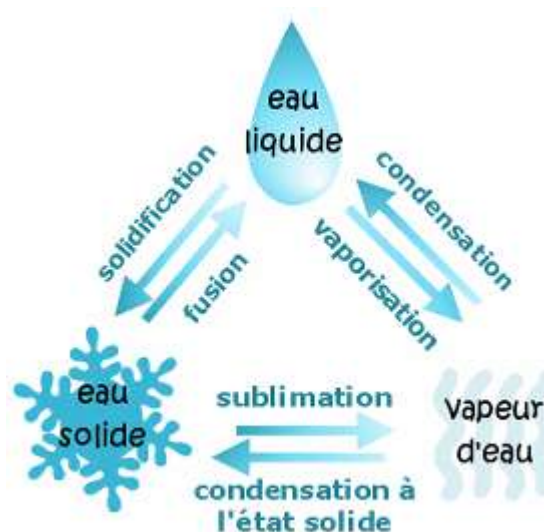
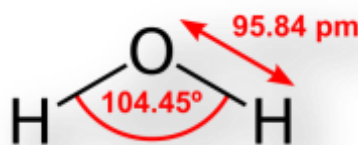


Figure I.1: Les changements d'état de l'eau

La molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène relié à deux atomes d'hydrogène. Du fait de la présence de deux doublets non liants sur l'atome d'oxygène, la molécule d'eau a une structure angulaire (**figure I.2**) [4].



FigureErreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.**1.2:** la formule développée de l'eau

I.2. Cycle de l'eau

Comme nous l'avons dit précédemment, l'eau est un élément qui se retrouve dans la nature sous trois états (liquide, gazeux et solide), ils suivent entre eux un cycle éternel. D'abord vient l'évaporation, grâce au soleil, l'eau évaporée des rivières, des lacs et des océans forme de fines gouttelettes, qui, en se regroupant, forment des nuages qui se transforment en pluie par condensation. Une partie de l'eau de pluie s'écoule sur la surface de la terre dans les ruisseaux et les lacs. Alors qu'une quantité plus importante s'infiltré dans le sol et rejoint les nappes phréatiques. Une partie de l'eau infiltrée est absorbée par la végétation qu'elle nourrit puis rejetée dans l'atmosphère, c'est l'évapotranspiration (**figure I.3**) [5].

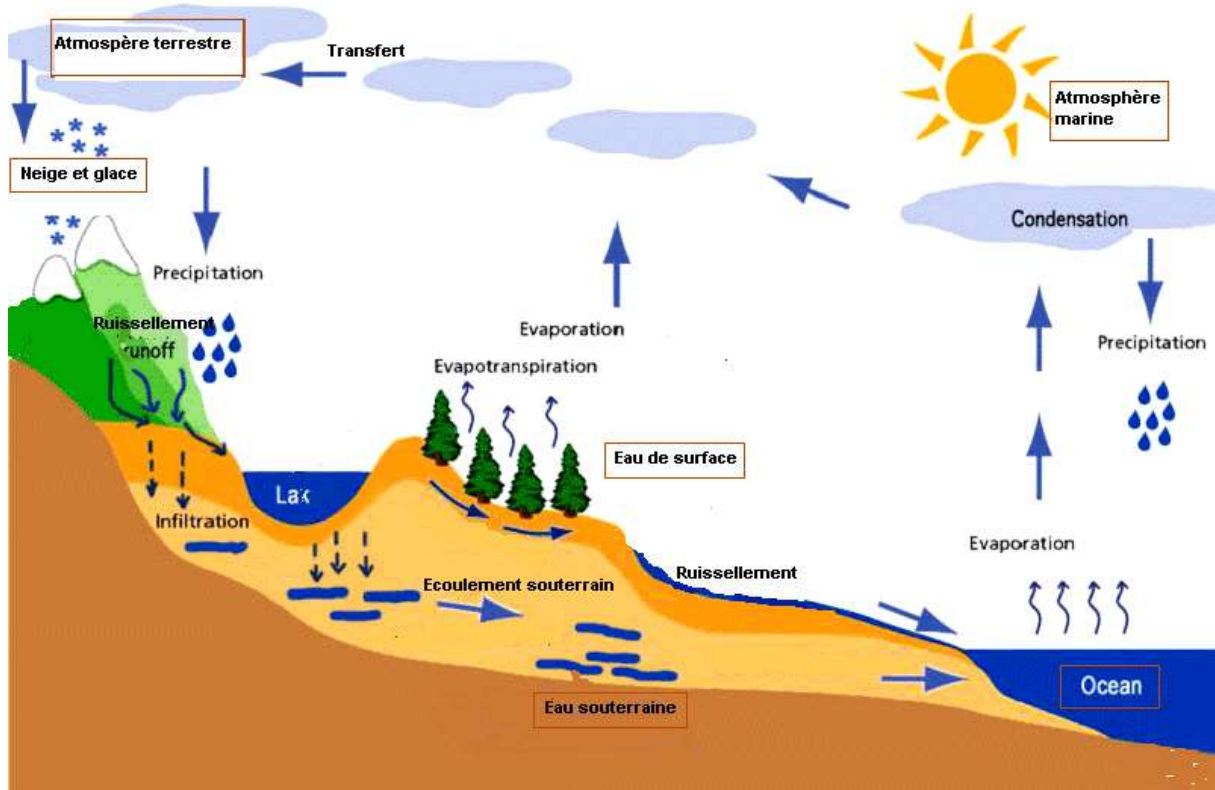


Figure. I.3: Cycle de l'eau

I.3. Importance de l'eau

L'eau est l'un des éléments les plus importants sur terre. Chaque être vivant a besoin d'eau pour sa survie. Sans eau, les plantes, les animaux, tout périrait. Nos corps sont composés d'environ 75% d'eau. Les utilisations de l'eau sont traditionnellement réparties entre trois secteurs: domestique, agricole et industrielle. Sans eau, la vie est pratiquement impossible [6].

I.4. Différentes sources d'approvisionnement en eau

Les sources d'approvisionnement en eau sont :

- Eaux de pluie ;
- Eaux de surface ;
- Eaux souterraines ;
- Eaux de mer ;

I.4.1. Eaux de pluie

Les eaux pluviales, à condition qu'elles n'aient pas été en contact de matériaux divers (toits métalliques, par exemple) ou qu'elles n'aient pas traversé une atmosphère polluée par l'industrie, sont généralement un atout pour l'homme. Elles sont en général saturées en oxygène, ne contiennent pas de sels dissous, sont donc très douces. Leur incapacité à capter et l'irrégularité des pluies font que cette source d'approvisionnement est rarement utilisée [7].

I.4.2. Eaux de surface

Les eaux de surface appelées également "eaux superficielles" englobent l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes en contact direct avec l'atmosphère (les rivières, les lacs, les étangs, les barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [8].

I.4.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. L'eau provenant des précipitations s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval. Du fait qu'elle est invisible, l'eau souterraine est fréquemment perçue, à tort, comme étant à l'abri de tout risque de contamination (figure I.4) [9].

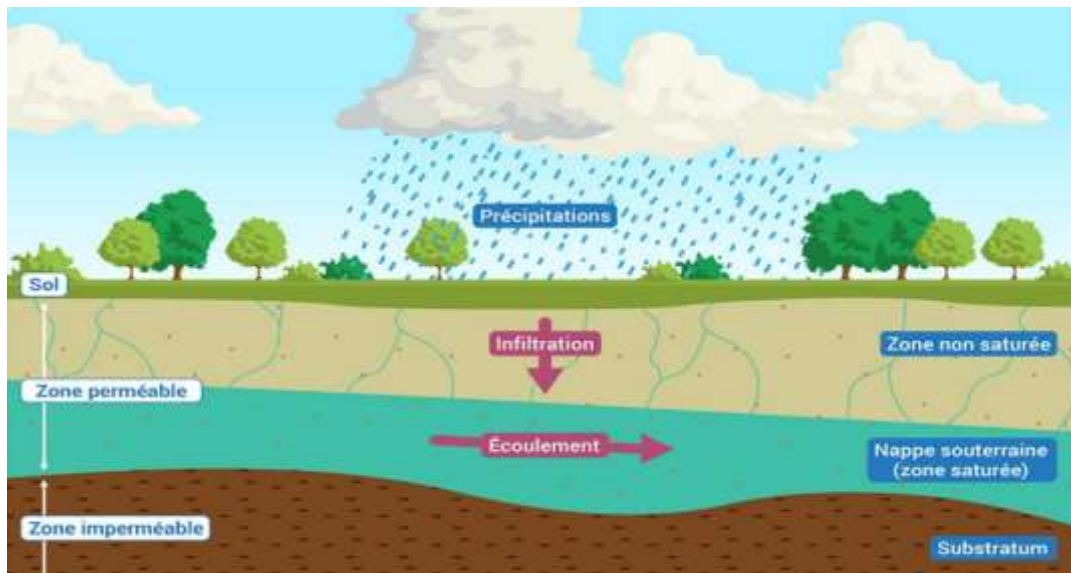


Figure I.4: Schéma de l'eau souterraine.

I.4.4. Eaux de mer

L'eau de mer est l'eau salée des mers et des océans. On dit qu'elle est « salée » parce qu'elle contient des substances dissoutes, les sels, constitués d'ions, principalement des ions halogénures comme l'ion chlorure et des ions alcalins comme l'ion sodium.

I.5. Composition de l'eau

L'eau se charge de sels minéraux et de micro-organismes présents dans la nature.

- Le calcium: il est indispensable dans la constitution des os.
- Le magnésium: il combat la fatigue, lutte contre la constipation.
- Le sodium: il contrôle l'équilibre en eau de nos tissus et aide à transmettre l'influx nerveux.
- Le potassium: il agit sur les contractions musculaires.
- Le bicarbonate: il est vital dans le maintien de l'équilibre acido-basique et du pH de nos cellules.
- Les chlorures: ils sont présents dans les liquides intracellulaires.
- Les sulfates: ils sont des éléments essentiels des cartilages, cheveux....

Les Oligo-éléments [6]

- Le fluor: c'est un anti carie par excellence.
- Le cuivre: il intervient dans le fonctionnement des enzymes et les protéines.
- Le fer: c'est un constituant de l'hémoglobine.
- L'iode: il entre dans les compositions des hormones.

I.6. Les paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques sont les premiers repères dont l'homme dispose pour évaluer la qualité d'une eau.

I.6.1. La couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est à dire passant à travers un filtre.

Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [10].

I.6.2. Le goût et l'odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matière organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire [11].

I.6.3. La turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en matières en suspension qui la troublent. Elle peut être causée par: des particules organiques comme des matières animales ou végétales décomposées ou des organismes vivants (par exemple des algues), des particules inorganiques (limon, argile et composés chimiques naturels tels que le carbonate de calcium) [12].

I.7. Les paramètres physico-chimiques

Ils résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. La mesure de ces paramètres se fait au niveau des rejets, à l'entrée et à la

sortie des usines de traitement et dans les milieux naturels.

I.7.1. La température

La température est un facteur important dans la vie aquatique. en effet changement son la température affecte les diverses propriétés de l'eau. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz. Elle influe sur la solubilité de l'oxygène dans l'eau. La température a une influence aussi sur le pouvoir auto-épuration des cours d'eaux [13].

I.7.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH est appelé potentiel hydrogène. Il mesure la valeur de dissociation en ions des acides et des bases (produits alcalins) en solution dans l'eau [14]. L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin); la valeur médiane "7" correspond à une solution neutre à 25°C (Tableau.I.2). Le pH d'une eau naturelle peut varier de "4" à "10" en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Le pH n'a pas de signification hygiénique, mais il présente une notion très importante pour la détermination de l'agressivité de l'eau [15].

- Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous forme ionique plus toxique [16].
- Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, qui est toxique [16].
- Le pH d'une eau potable doit se situer entre 6.5 et 9.5 [17].

Tableau 1.2. Classification des eaux d'après leurs pH [18].

pH<5	Acidité forte = présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
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.

I.7.3. La conductivité électrique

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. La conductivité varie en fonction de la température. Elle est liée à la concentration et à la nature

des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique qui conduit peu [19].

I.7.4. La dureté totale

La dureté totale ou le titre hydrotimétrique (TH) correspond à la somme des concentrations en cations Ca²⁺ et Mg²⁺ à l'exception des alcalins. Une eau est dite douce, lorsqu'elle est pauvre en ces cations et elle est dite dure lorsqu'elle est riche en ces derniers [20]. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium (Tab.1.3).

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \quad I.1.$$

- **La dureté Calcique (THCa)**

Elle correspond à la teneur globale en sels de calcium. C'est la quantité de sel de calcium soluble dans l'eau.

$$[THCa^{2+}] = TH - [THMg^{2+}] \quad I.2.$$

- **La dureté Magnésienne (THMg)**

Elle représente la concentration totale en sels de magnésium.

$$[THMg^{2+}] = TH - [THMgCa^{2+}] \quad I.3.$$

Tableau I.3. Plage de valeurs pour le titre hydrotimétrique [20].

TH (°F)	0 à 7	7-15	15 à 25	25 à 42	Supérieur à 42
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	dure	Très dure

I.7.5. L'alcalinité totale

Contrairement à l'acidité, l'alcalinité de l'eau correspond à la présence de bases et sels d'acides faibles. Dans les plans d'eau naturelle, la cause la plus fréquente est la présence de bicarbonate, de carbonate et d'hydroxyde. Peut également mesurer d'autres sels d'acides faibles et interférer Mesures: acide humique, phosphate, citrate, tartrate...silice. Les ions peuvent également interférer, surtout lorsque le pH est supérieur à 8.5. La mesure de l'acidité distingue deux rubriques comme rubriques titre d'alcalinité ou d'alcalinité simple (TA) et titre

d'alcalinité complète (TAC). Les unités utilisées sont les degrés français ($1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg. CaCO}_3$ pour $\text{L}^{-1} = 0,2 \text{ meq. L}^{-1}$). dans les pays anglo-saxons, l'alcalinité (exprimée en Alk) est exprimée en $\text{mg. L}^{-1} \text{ CaCO}_3$.

Mesure continue de TA et TAC sur le même échantillon, les deux méthodes de détection seront introduites simultanément. tout d'abord, il est nécessaire de clarifier ces conditions et significations de mesure [21].

I.7.6. La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg. L^{-1} , est la quantité d'oxygène consommé par des substances présentes dans l'eau et oxydables sous certaines conditions. En fait, les mesures correspondent à des estimations de matières oxydables présentes dans l'eau quelle que soit son origine organique ou minérale [22].

I.7.7. Matières organiques

Ce sont, par définition, des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se retrouvent dans l'eau. Elles se décomposent du fait de leur instabilité chimique et par l'action des microorganismes de l'eau en formant des composés de plus en plus simples.

I.7.8. Matières sèches (MS)

La teneur en matières sèches inclut la matière en suspension et les sels. Elle est utilisée aussi pour déterminer la siccité de la boue. (Exprimé en %) [12].

1.7.9. Les matières minérales (MM)

C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles, elles représentent le résidu de la calcination qui correspond à la présence des sels. [23].

Chapitre II

processus de traitement des eaux.

Les établissements IBRAHIM & fils de la société Ifri sont dans le domaine des boissons depuis 1986. La devise de la société étant de faire mieux et toujours plus pour satisfaire les consommateurs. Dans la S.A.R.L Ifri, l'eau, matière première et principale, est d'abord traité avant d'être utilisée dans la production des boissons non alcoolisées (eau minérale, eau gazéifiée).

Le traitement de l'eau dans la S.A.R.L IFRI se fait suivant un processus composé des étapes suivantes:

- Pompage de l'eau du forage.
- Filtre à sable.
- Déferrisation.
- Osmoseur.
- Adoucisseur.
- Chaudière.
- Tours de refroidissement.

II. 1. Eau brute de SARL IFRI

La S.A.R.L IFRI dispose d'un forage d'alimentation en eau situé à 500 mètres de l'entreprise, d'une profondeur de 70 mètres. L'eau est pompée avec un débit de 30 m³/h.

II.2. Chaîne de traitement des eaux dans SARL IFRI

II.2.1. Filtration à sable

Une fois que l'eau est pompée du forage, elle subit un traitement physique: la filtration. La filtration consiste à faire passer l'eau à travers un filtre à sable, éliminant les particules en suspensions, pour, ensuite, être stockée dans une cuve en acier inoxydable. Le système de filtration à sable est reconnu comme étant l'une des meilleures solutions de filtration pour l'eau et applicable sur toute une variété de sources qui sont utilisées en micro irrigation [24].

II.2.2. Déferrisation

Généralement, on retrouve dans les eaux souterraines du fer en grande concentrations. Ce dernier colore l'eau et lui donne une mauvaise odeur. De plus, l'eau ferrugineuse est dangereuse pour la santé et engendre de sérieux problèmes matériels comme l'obstruction des canalisations. Éliminer le fer de l'eau potable est primordial, après la filtration à sable, l'eau passe par un déferriseur pour apporter une eau saine et sans danger pour l'homme ainsi que pour la pérennité des équipements [25].

II.3. Echangeurs d'ions

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles, comportant dans leur structure moléculaire des radicaux acides ou basiques susceptibles de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique, et sans altération ou solubilisation, les ions positifs ou négatifs, fixés sur ces radicaux, contre des ions de même signe se trouvant en solution dans le liquide à leur contact. Cette permutation appelée échange d'ions permet de modifier la composition ionique du liquide objet du traitement, sans modification du nombre total de charges existant dans ce liquide avant l'échange (**Figure II.1**)

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (ex : cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide [26].

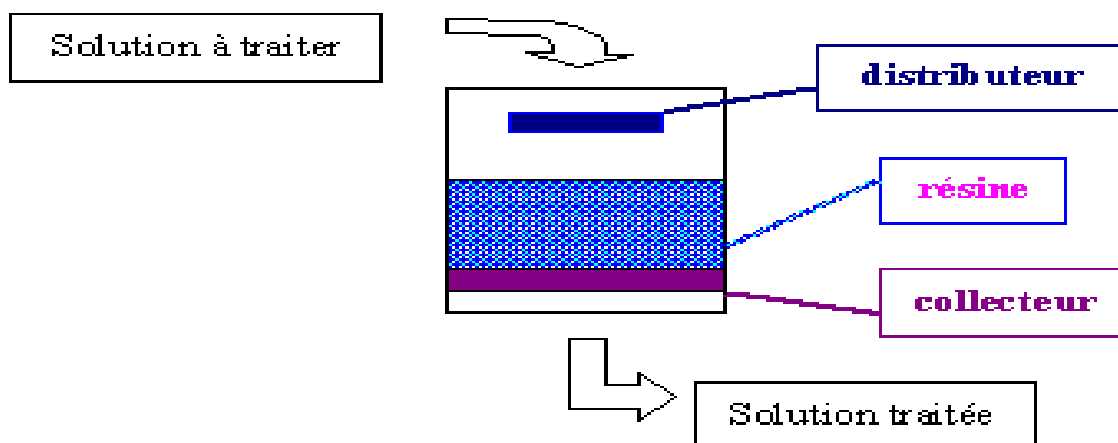


Figure II.1. Colonne échangeuse d'ions

II.3.1. Régénération

Dans le cas des adoucisseurs, on régénère habituellement le lit d'échange à l'aide d'une solution de sel commun (NaCl), le degré de régénération est fonction de :

- La quantité de régénérant utilisée par m³ d'échangeur.
- La concentration de la solution de régénérant entre 10 et 15 %.
- Le débit de la solution de régénérant.

Le degré de régénération détermine la capacité d'échange du lit et l'importance quantitative de la fuite, celle-ci étant d'autant plus faible que la capacité d'échange est considérable.

Le courant régénérant peut être descendant (Co-courant) (**Figure II.2**) ou ascendant (contre-courant) (**Figure II.3**) avec expansion du lit. Ce dernier mode est plus efficace, bien que plus délicat à effectuer.

La régénération à Co-courant est normalement précédée d'un bref lavage à contre-courant pour dépasser le lit.

La régénération est toujours suivie d'un rinçage, cette eau de rinçage peut être recyclée [27].

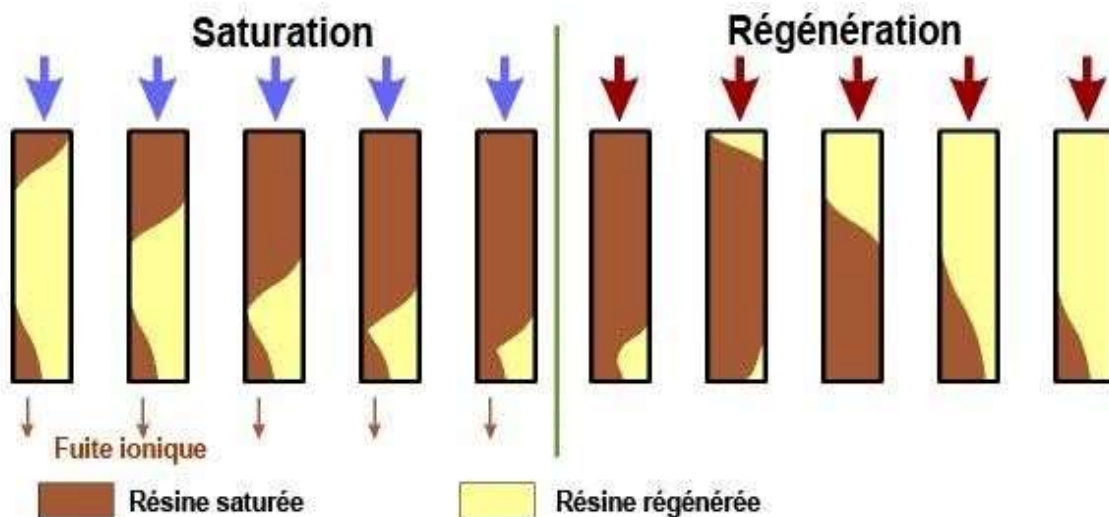


Figure II.2. Régénération à Co-courant

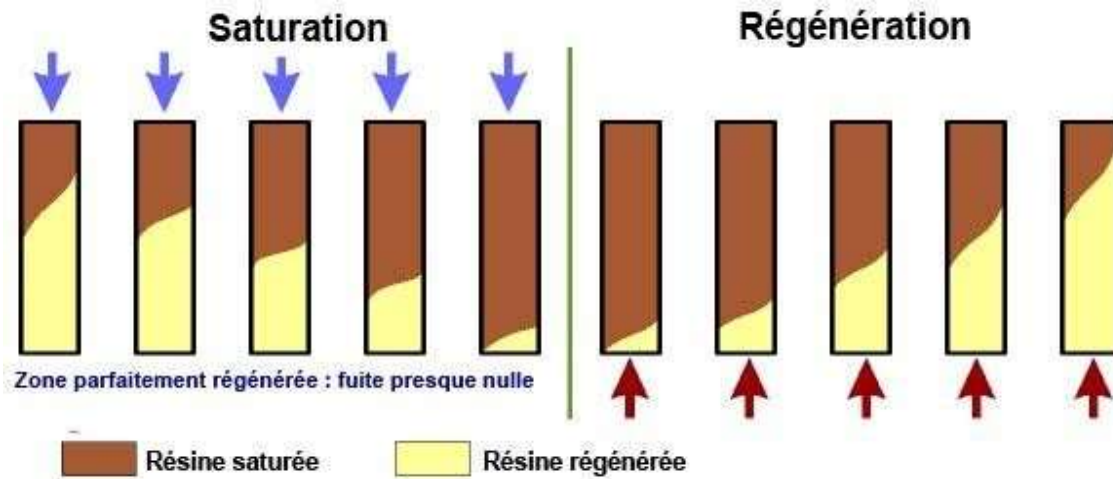


Figure II.3. Régénération à contre-courant.

II.3.2. Résines

Les résines échangeuses d'ions captent les ions présents dans l'eau pour les remplacer par du sodium (Figure II.4).



Figure II.4. Résines échangeuses d'ions

Les résines sont classées en fonction de la nature de l'ion qui vont être échangés (Tableau II.1).

Tableau II.1: Types de résines

Type de résines	Avantages	Inconvénients
Résines cationiques fortement acide	<ul style="list-style-type: none"> - Convient pour tous les types d'eau, - Elimination complète des cations, - Capacité variable, - Bonne stabilité physique, - Bonne stabilité à l'oxydation, - Coût initial faible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité faible de fonctionnement
Résines cationiques faiblement acide	<ul style="list-style-type: none"> - Très grande capacité, - Très grande efficacité de fonctionnement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elimination partielle des cations, - Utilisable seulement avec des eaux spécifiques, - Capacité de fonctionnement fixe, - Faible stabilité physique, - Coût initial élevé, - Cinétiques faibles.
Résines anioniques fortement basique	<ul style="list-style-type: none"> - Elimination complète des anions (incluant la silice et CO₂), - Coût initial faible, 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance faible aux polluants organiques, - Vie limitée, - Instable

	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité et qualité variables, - Cinétiques excellentes, - Rinçages court. 	thermodynamiquement.
<p>Résines anioniques faiblement basiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Grande capacité d'élimination, - Grande efficacité de régénération, - Excellente résistance aux polluants organiques, - Bonne stabilité thermique, - Bonne stabilité à l'oxydation, - Peut-être régénérée avec : <ul style="list-style-type: none"> * Un excès de soude de la résine fortement basique, * Des sous-produits alcalins, * De l'ammoniaque, * De la soude et autres bases faibles et effluents usés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elimination partielle des anions, - N'élimine ni la silice ni le CO₂, - Rinçage long, - Cinétiques faibles.

II.4. Méthodes et Matériels utilisés dans les traitements des eaux

II.4.1. Osmoseur

Un osmoseur est un dispositif chargé de filtrer l'eau afin d'en éliminer les minéraux indésirables. Il est composé d'une zone de préfiltration, d'une membrane d'osmose inverse et d'une zone de post-filtration

Le principe est de passer l'eau sous pression à travers une membrane semi-perméable. L'eau osmosée peut être utilisée dans les unités de lavage et de stérilisation [28].



Figure II.5. Osmoseur

II.4.2. Principe d'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméabilité à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression (**Figure II.6**) [29].

Le phénomène d'osmose est réversible à condition de fournir de l'énergie: si l'on applique une pression à une solution, l'eau traversera la membrane: on obtiendra une solution de faible concentration en solutés [30].

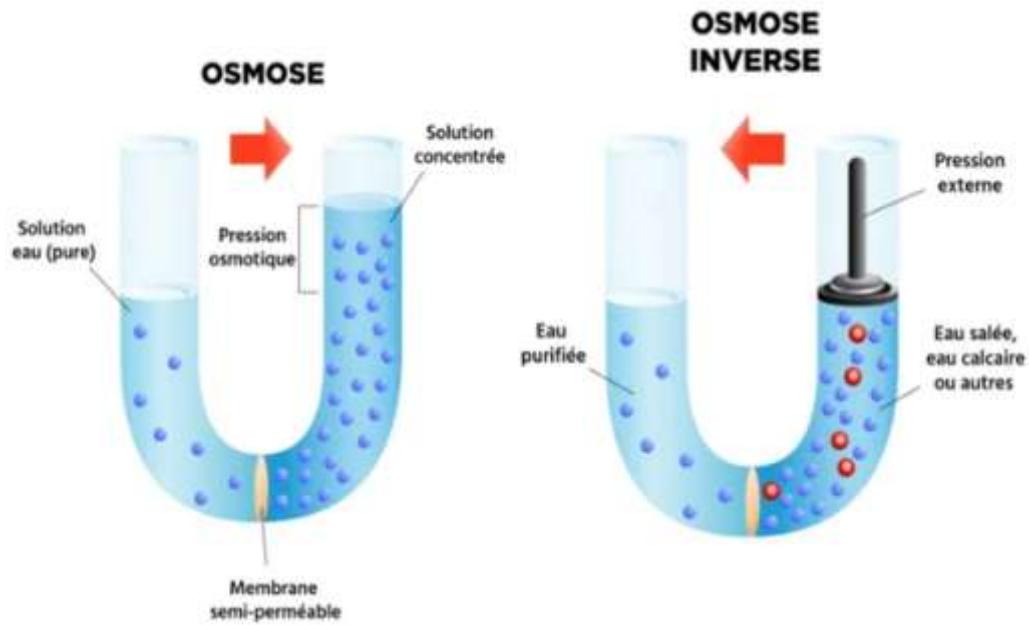


Figure II.6. Principe d'osmose inverse

II.4.3. Adoucissement de d'eau

L'adoucissement de l'eau est un procédé de traitement initialement destiné à réduire la dureté de l'eau (due à la présence de sels de métaux alcalino-terreux : carbonates, sulfates et chlorures de calcium et de magnésium) (Figure II.5) [31].

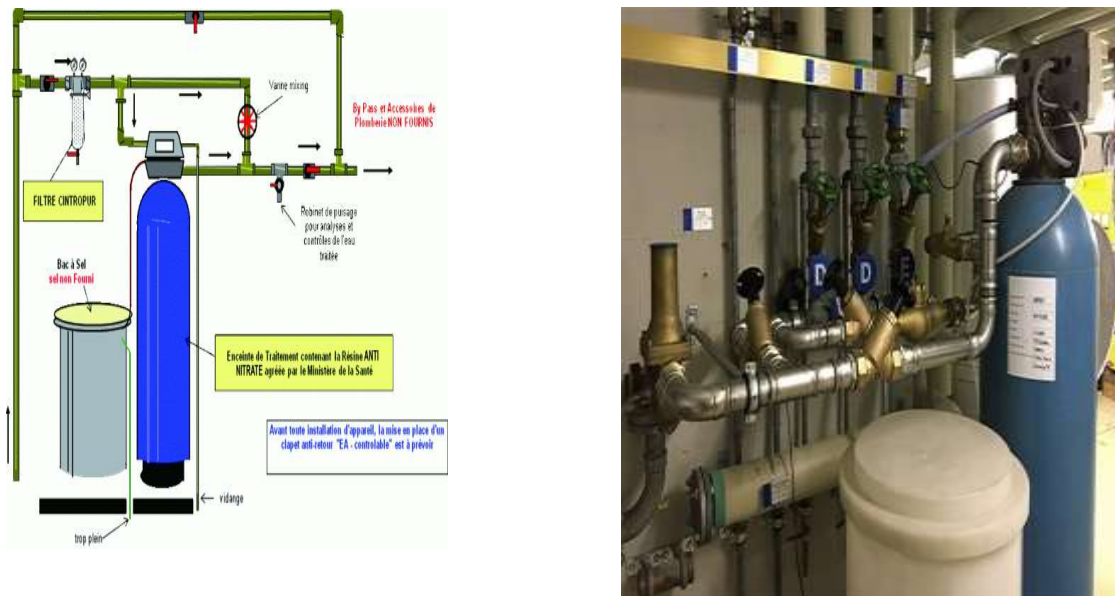


Figure II.7. Adoucisseur

II.4.4. Techniques d'adoucissement

Les techniques d'adoucissement font appel à deux procédés, à savoir la décarbonatation qui n'élimine que les ions calcium et magnésium, liés aux bicarbonates donc c'est un adoucissement partiel.

L'adoucissement total qui élimine l'ensemble des ions calcium et magnésium, mais sans modifier l'alcalinité de l'eau (**Figure II.8**) [32].

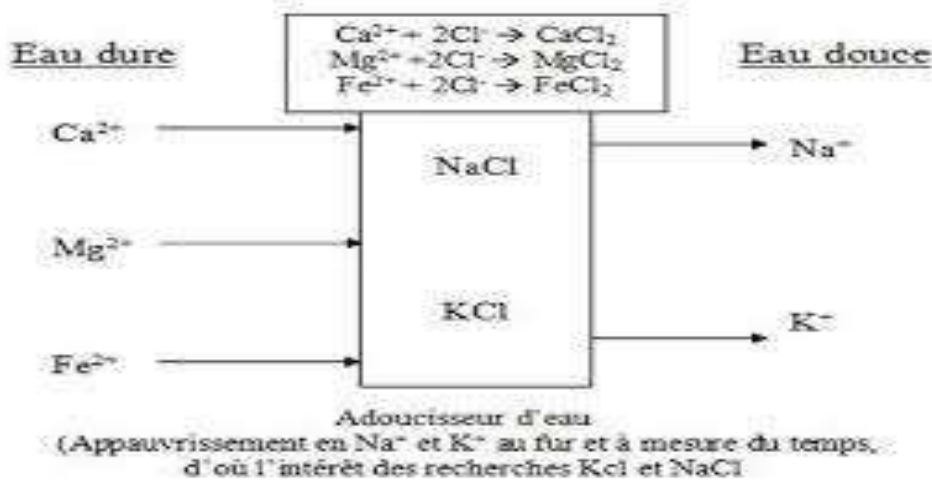
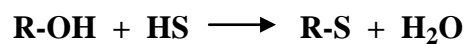


Figure II.8. Adoucissement de l'eau.

II.4.5. Déminéralisation

L'eau déminéralisée est une eau qui ne contient en principe aucun ion (tels Ca^{2+} et HCO_3^-); par contre, il peut rester des matières non chargées (matières organiques, bactéries, etc.). On l'appelle aussi eau déionisée. Elle est qualifiée d'eau purifiée. Pour déminéraliser une eau, on la fait passer successivement sur un échangeur de cation puis sur un échangeur d'anions fortement basique (**Figure II.9**) [33].

les réactions qui ont lieu:



R: Site échangeur sur la résine

M: Cation

S: Anion

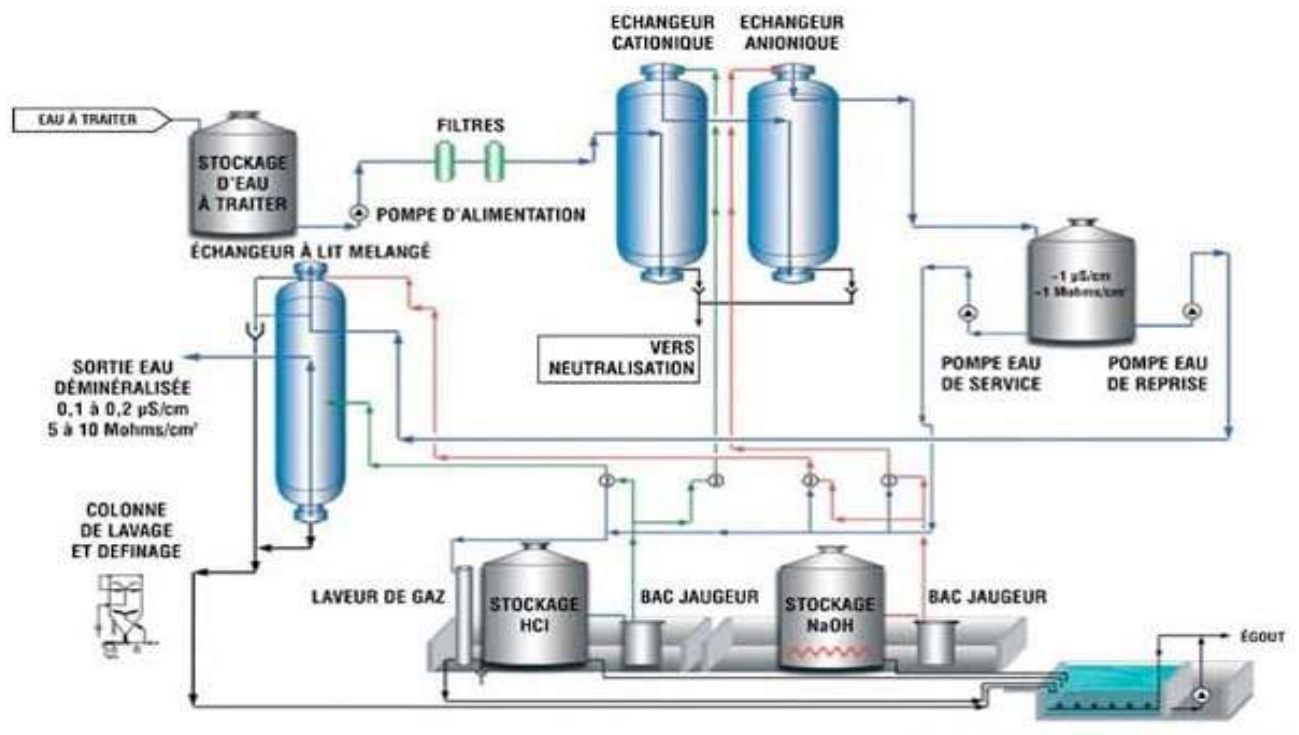


Figure II.9. Processus de déminéralisation de l'eau

II.4.6. Décarbonatation

La décarbonatation est un procédé permettant de corriger les eaux possédant une teneur élevée en calcium et en magnésium: deux minéraux responsables de la formation du tartre.

La décarbonatation se fait par une résine cationique faible de type acide carboxylique, qui est régénérée selon le cycle acide. Par conséquent, la résine est sous la forme (R-COOH) (Figure II.10).

Cette résine a la propriété d'immobiliser les cations métalliques et de libérer les anions correspondants sous forme d'acides libres jusqu'à ce que le pH de l'eau traitée atteigne 4-5, ce qui correspond à la libération totale d'acide carbonique associé au bicarbonate.

En revanche, les cations liés à des anions d'acides forts tels que Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- ne sont pas affectés par la résine.

L'eau ainsi traitée peut avoir un TAC de zéro. Sa dureté est équivalente à celle de l'eau brute (TH-TAC). S'il n'y a pas de dureté permanente, TH = 0 [34].

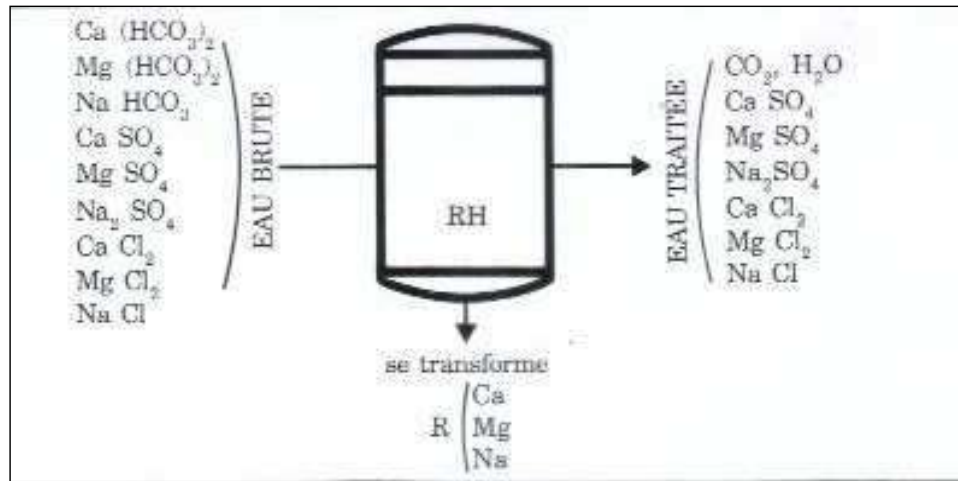


Figure II.10. Décarbonatation.

II.4.7. Chaudière

Une chaudière est un système permettant d'augmenter la température d'un fluide caloporteur afin de transporter de l'énergie thermique (Figure II.11) [35].

A l'industrie après l'adoucisseur, l'eau est envoyée à la bêche, puis elle va être chauffée à une température de 80 °C, puis elle passe vers la chaudière pour augmenter la température plus jusqu'à 100 °C.



Figure. II.11. Chaudière

II.4.8. Tours de refroidissement

Le refroidissement industriel consiste au refroidissement et aussi à l'évacuation de la chaleur émise par les machines, telles que machines de soudage et machines de moulage par injection, ainsi que dans les processus industriels (**Figure II.12**).

II.4.8.1. Définition d'une tour de refroidissement

Une tour de refroidissement fonctionne comme un échangeur de la chaleur, par contact direct entre l'eau et l'air ambiant. Son efficacité repose sur la surface de contact entre l'élément liquide de l'air.

Pour maximiser cette surface de contact, l'eau est diffusée en gouttelettes dans un courant d'air qui traverse la tour: c'est ainsi que la chaleur est évacuée dans l'air ambiant et que l'eau est refroidie [36].

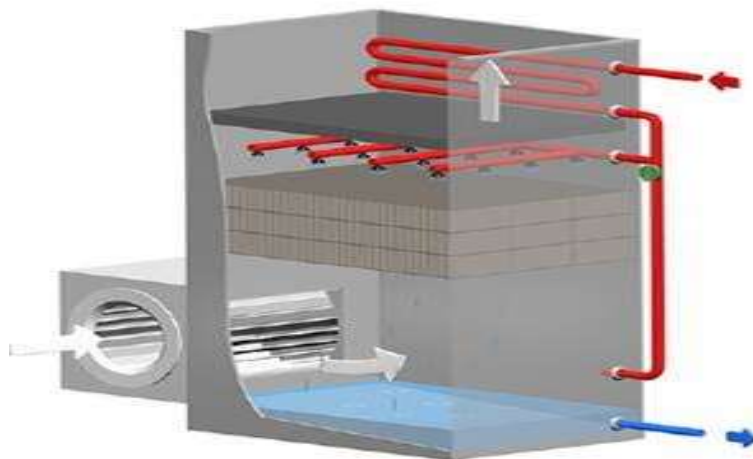


Figure II.12. Tours de refroidissement.

II.4.8.2. Types de circuits

II.4.8.2.1. Circuit ouvert

L'eau froide est prélevée dans la rivière, le forage ou le réseau de distribution. Elle traverse la source chaude (échangeurs, outils à refroidir, etc.), puis est rejetée soit en rivière soit à l'égout [37].

II.4.8.2.2. Circuit fermé

L'eau de refroidissement tourne en circuit intégralement fermé, une source froide par exemple, un deuxième échange eau-eau ou eau-air étant intercalé sur la boucle de circuit (Figure II.13) [37].

Dans ce cas, les pertes d'eau sont réduites au minimum et d'eau d'appoint peut être traitée avec des procédés relativement coûteux dont l'incidence sera faible en valeur absolue [38].



Figure II.13. Circuit fermé

II.4.8.2.3. Circuit semi-ouvert

L'eau est recyclée après avoir été refroidie par la tour de refroidissement, elle-même refroidie au contact de l'air. Les circuits imprimés sont largement utilisés dans l'industrie. Il existe différents types de tours de refroidissement, généralement classées par mode. La création d'un contact aérien est également connue sous le nom de brouillon. Le tirage peut être:

- Naturel: dans ce type de tour, également appelée hyperbolique en raison de sa forme, l'air circule à contre-courant de l'eau à refroidir.

- Obligatoire : Dans ce type de tour, l'air circule à l'intérieur de la tour au moyen d'une ventilation de défaillance mécanique causée par des ventilateurs latéraux qui poussent l'air dans la tour [39].

II.4.9. Principe de fonctionnement d'une tour de refroidissement

II.4.9.1. Principe de fonctionnement d'une tour de refroidissement ouverte

L'eau refroidie par la tour ouverte est renvoyée vers le condenseur du lyophilisateur. Le condenseur agit comme un échangeur à partir duquel le gaz réfrigérant chaud est refroidi, permettant au compresseur de fonctionner en mode normal (**Figure II.14**).

L'eau est finalement renvoyée à la tour de refroidissement à une température de 38°C à travers le condenseur.

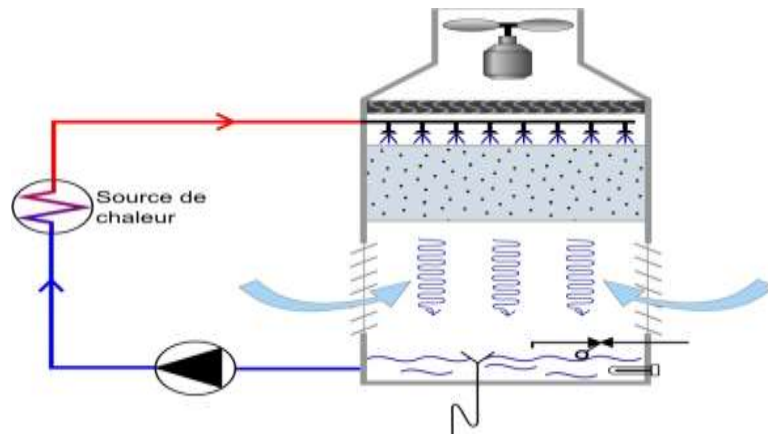


Figure II.14. Tour de refroidissement ouvert

Les avantages:

- Le coût,
- Le rendement (échange direct),
- L'encombrement,
- Le poids.

Les inconvénients:

- Le volume du circuit d'eau plus important à traiter,
- Le développement du tartre et des bactéries dans le circuit primaire,
- La difficulté de nettoyage et de désinfection du système,
- La pollution possible du processus [40].

II.4.9.2. Principe de fonctionnement d'une tour de refroidissement fermé

Les tours de refroidissement en circuit fermé fonctionnent de manière similaire aux tours de refroidissement ouvertes, sauf que la charge thermique à rejeter est transférée du fluide de processus (le fluide étant refroidi) à l'air ambiant via un serpentin d'échange thermique (Figure II.15). .

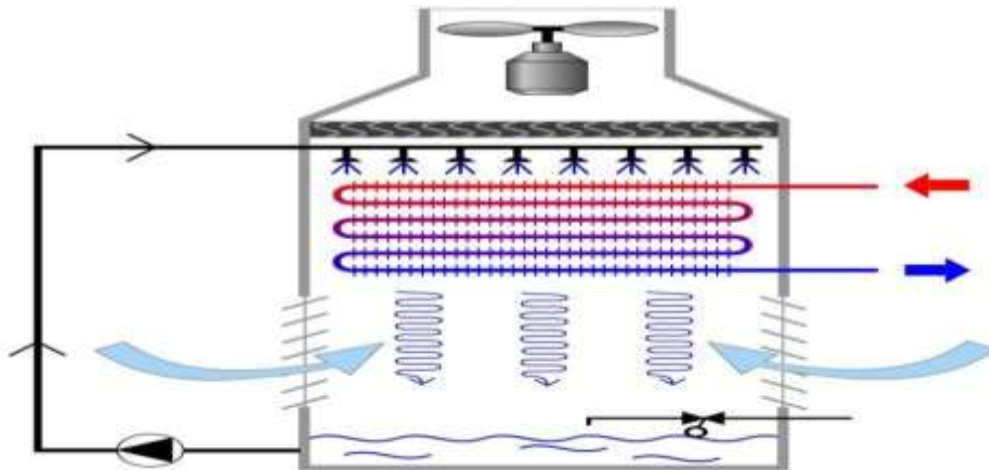


Figure II.15. Tour de refroidissement fermée

- Les avantages:

- Un seul appareil (pas d'échangeur externe),
- Grand débit d'eau constant sur échangeur,
- Pas de pollution du processus (circuit primaire fermé et propre),
- Température d'eau de pulvérisation basse,
- Surface échangeur lisse et accessible pour nettoyage,
- Volume d'eau à traiter très limité et confinement sanitaire au bassin.

- Les inconvénients:

- Encombrement,
- Poids,
- Prix.

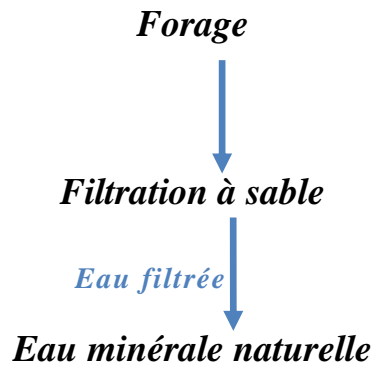


Figure II.16. Traitement des eaux naturelles Ifri

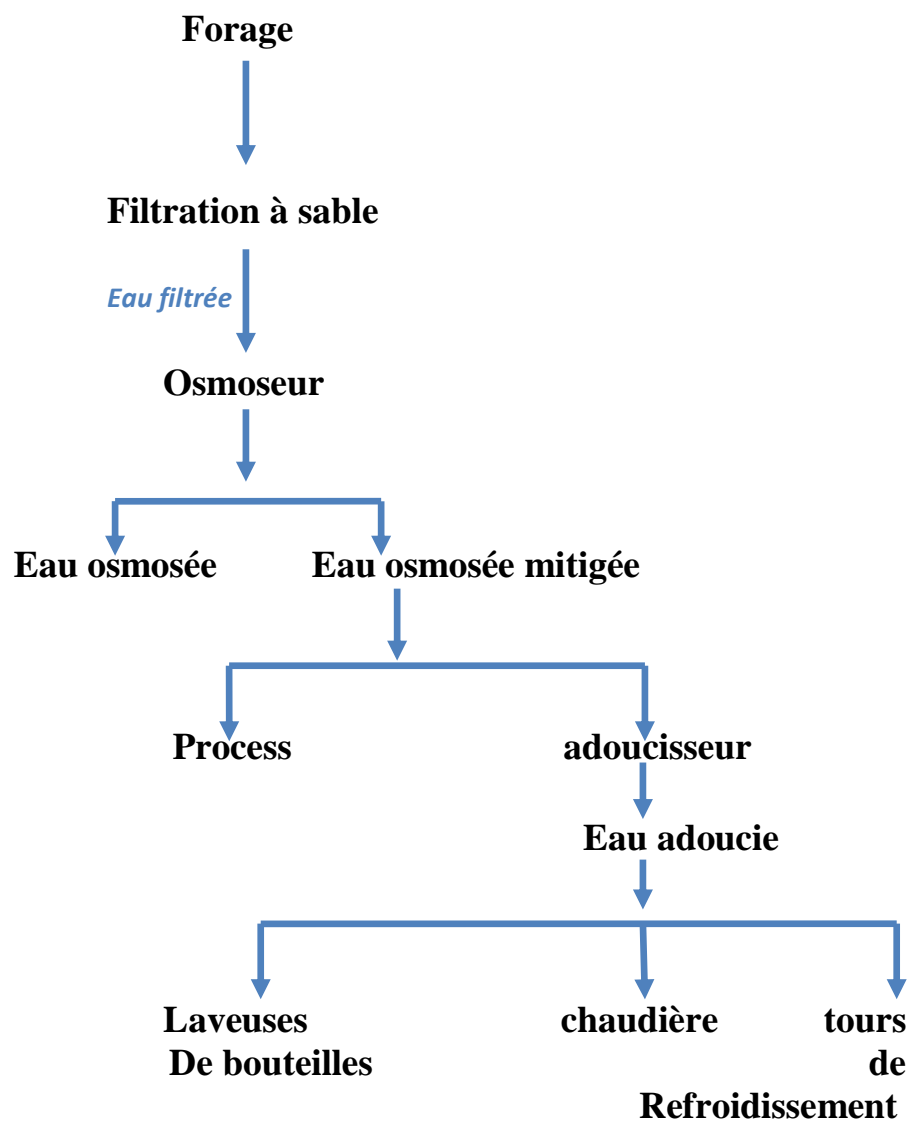


Figure II.17. Traitement industriel des eaux SARL Ifri.

Chapitre III

Méthodes et techniques d'analyses.

III.1. Présentation de la SARL IFRI

L'entreprise SARL IFRI est située à Ighzer Amokrane, chef lieu de commune et de daïra d'Ifri Ouzellaguen, dans la wilaya de Bejaia. Elle est implantée à l'entrée Est de la vallée de la Soummam, en contrebas du massif montagneux du Djurdjura qui constitue son réservoir naturel d'eau.

La SARL IFRI est une société industrielle spécialisée dans la production des eaux minérales et des boissons diverses. Ayant couvert les besoins du marché national, grâce à une gamme de produits tellement diversifiées, IFRI est partie à la conquête de nouveaux marchés dans le monde. Aujourd'hui, elle exporte ses produits vers la France, l'Angleterre, l'Espagne, l'Italie, l'Allemagne, la Belgique, le Luxembourg....

En 1986, elle était créée sous forme d'une petite entreprise familiale qui comporte environ 30 personnes. Et depuis 1996, elle est transformée en une entreprise industrielle moderne produit cinq millions de bouteilles, la production atteignait le chiffre de cinquante-six millions de bouteilles vendues en 1999, environ de 170 millions de bouteilles en 2006, puis 700 millions bouteilles en 2014.

III.1.1. Objectif de l'unité

La SARL IFRI investit ses concentrations dans le but d'élargir sa gamme de produit, et d'augmenter sa capacité de production, cela permettra d'élargir son réseau d'exploration vers d'autres pays.

III.1.2. Présentation de la chaîne de production

La SARL IFRI présente huit chaînes de production qui sont:

- Une chaîne de production **SIDEL** d'eau minérale naturelle de 0.5 L, 0.33L et 1L d'une capacité de 12000 bouteilles/heure.
- Une chaîne de production **COMBI** d'eau minérale naturelle de 1.5L d'une capacité de 16000 bouteilles /heure.
- Une chaîne de production **KRONES** d'eau minérale naturelle de 0.5L et 1.5L d'une capacité de 16000 bouteilles/heure.
- Une chaîne de production **KRONES** de boissons gazeuses en emballage verre 1L et 0.25L d'une capacité 15000 bouteilles /heure.
- Une chaîne de production **KRONES** des eaux fruitées en emballage verre de 0.25 L et

1L d'une capacité 15000 bouteilles/heure.

- Une chaîne de production **COMBI** de boissons gazeuses en emballage PET de 0.33L, 1L et 0.25L d'une capacité 12000 bouteille /heure.
- Une chaîne de production **KRONES** d'eau minérale naturelle gazéifiée en emballage verre de 1L et 0.25L d'une capacité 12000 bouteilles/heure.
- Une chaîne de production **KRONES** d'eau minérale naturelle gazéifiée en emballage PET de 1L d'une capacité 12000 bouteilles/heure.

III.1.3. Activités de l'entreprise IFRI

L'entreprise IFRI a pour mission de produire une gamme diversifiée à savoir :

- Eaux minérales naturelles,
- Eaux minérales gazéifiées,
- Eaux minérales fruités,
- Eaux fruités au lait (lactées),
- Les boissons sodas,
- Les boissons isotoniques pour le sport sous la marque Azro,
- Huile d'olive sous la marque Numidia.



III.1.4. Processus de traitement utilisé

III.1.4.1. Captage des eaux minérales

A l'aide des pompes très puissantes, l'eau provenant des sources est aspirée vers l'air libre à travers des tuyaux inoxydables qui préservent toute sa pureté et sa minéralité et éliminent tout contact avec le milieu extérieur.

III.1.4.2. Traitement effectué

Une fois que l'eau est pompée du forage, elle subit un traitement physique qui est la filtration. L'eau est passée à travers des filtres à sable pour éliminer les particules en

suspension, stockée dans des réservoirs en acier inoxydable et distribuée à différentes lignes de remplissage.

III.1.5. Fonctions techniques

Le domaine technique assure le contrôle de l'exécution des travaux et le suivi du processus technique de fabrication. Il comprend trois services dans sa structure, à savoir:

➤ **Service de fabrication**

Ce département est responsable des équipements industriels de fabrication, de la détermination des normes et de la capacité de production de l'unité, et se compose de dix équipes de neuf personnes chacune.

➤ **Service de laboratoire**

Le service laboratoire est géré par deux ingénieurs et un technicien. Il intervient dans le contrôle quotidien de la qualité des matières premières et des produits finis.

➤ **Service de la maintenance**

Il assure le contrôle des travaux et l'entretien des équipements de fabrication.

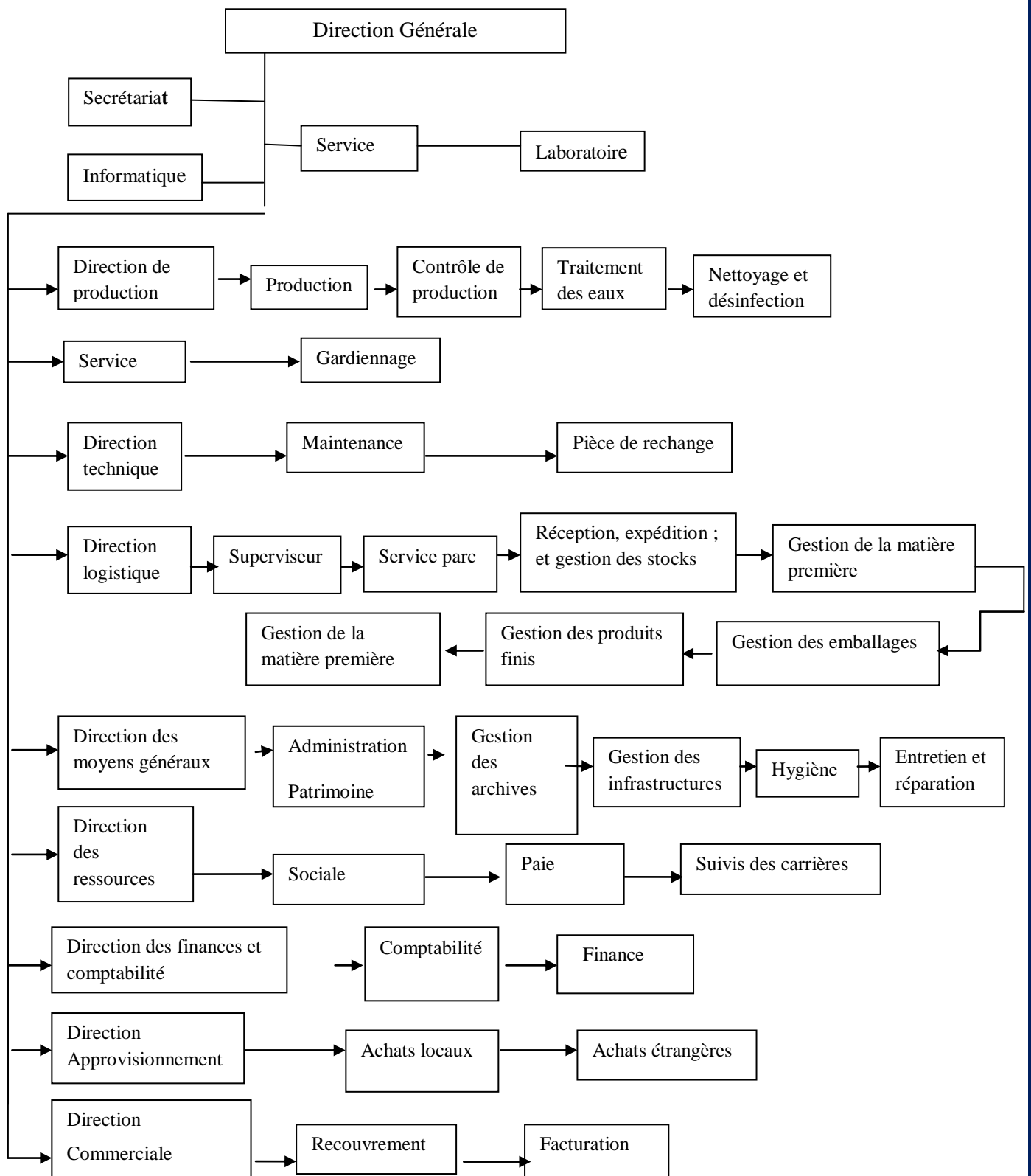


Figure III.1: Organigramme de S.A.R.L IFRI

III.2. Techniques d'analyses physico-chimiques

III.2.1. Potentiel d'hydrogène

a. Principe

C'est une mesure de l'acidité des ions H^+ . Il représente chimiquement, l'acidité ou l'alcalinité d'une solution ou d'un liquide. L'échelle de pH s'étend de 0 (milieu très acide) à 14 (milieu très basique), en passant par 7 (milieu neutre).

La détermination du pH par la méthode potentiométrique est réalisée à l'aide d'un pH-mètre étalonné (**Figure III.1**).

Les valeurs du pH se situent entre 6 et 8.5 dans les eaux naturelles est diminuée en présence des teneurs en matière organique et augmente en période d'été, lorsque l'évaporation est importante [41].

b. Mode opératoire

- Etalonner le pH-mètre avec des solutions étalons,
- Plonger l'électrode dans l'eau à analyser et brasser l'eau avec l'électrode pour homogénéiser,
- Lire le pH lorsque la valeur affichée est stable.



Figure III.2. PH-mètre.

III.2.2. La conductivité

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier des sels dissous (chlorures, sulfates, calcium, magnésium,...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. La conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre (**Figure III.3**). .

a. Principe

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm, cette ensemble est appelé cellule conductimétrique.

b. Mode opératoire

Les mesures de conductivité s'effectuent sous agitation magnétique.

- Remplir un bécher d'échantillon d'eau à analyser,
- Placer la cellule au centre du bécher. Dans le cas contraire les parois du bécher peuvent perturber les lignes de courant et la précision de la mesure,
- Noter la valeur affichée sur le conductimètre en $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figure III.3. Conductimètre

III.3. Méthodes volumétriques

L'analyse volumétrique est une méthode d'analyse quantitative permettant de déterminer la teneur en substance dans une solution d'échantillon en ajoutant progressivement une solution standard de concentration connue et en mesurant le volume pendant la réaction.

III.3.1. Détermination de la dureté totale (TH)

a. Principe

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel di-sodique de la EDTA. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir Erichrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

$$\text{Dureté totale} = \text{Dureté calcique} + \text{Dureté magnésienne} \text{ en mg/L} \quad [42]. \text{ III.1.}$$

b- Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer,
- Ajouter 2 ml de solution tampon et trois gouttes de solution de N.E.T. La solution se colore en rouge foncé ou violet,
- En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA (0,02N) goutte à goutte jusqu'à ce que la solution vire au bleu,
- Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

$$\text{TH} = ([\text{EDTA}] \times V_s \times 1000 / V_e). \quad \text{III.2.}$$

[EDTA] : Concentration réelle, exprimée en moles par litre, de la solution d'EDTA utilisée.

V_s : Volume en ml de la solution d'EDTA utilisée pour le titrage (volume de la chute de la burette).

V_e : Volume de la prise d'essai (50 ml).

1°F : 0.1 mmol/L.

III.3.2. La dureté calcique

La dureté calcique, par définition, est la dureté due à l'ion calcium

a. Principe

Le principe de dosage est de complexer les ions calcium avec EDTA; on l'utilise comme indicateur coloré qui forme un complexe d'une coloration rouge en présence de l'ion Ca^{2+} et reprend sa teinte bleue lorsque la totalité de ces ions Ca^{2+} sont formés.

$$\text{La dureté calcique} = \frac{V_s \times 0.01}{V_e} \times 50 \times 1000 \quad \text{en mg/L} \quad \text{III.3.}$$

V_s : Volume en ml de la solution d'EDTA utilisée pour le titrage (volume de la chute de la burette).

V_e : Volume de la prise d'essai.

III.3.3. La dureté magnésienne

C'est l'ensemble des ions magnésium présente dans une eau, c'est la différence entre la dureté totale et la dureté calcique, elle est exprimée en mol /L ou en mg/L

III.3.4. Titre Alcalimétrique simple (TA)

Le TA correspond donc à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-).

a. Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau à analyser par un acide minéral dilué, en présence de la phénolphtaléine comme indicateur coloré.

b. Mode opératoire

- Introduire à l'aide d'une éprouvette, 50 ml d'échantillon (eau à analysée) dans un erlenmeyer de 250 ml,
- Ajouter 03 gouttes de solution d'indicateur de phénolphtaléine,
- Si aucune coloration rose n'est obtenue, considérer l'alcalinité titrable à $\text{pH} < 8,2$ comme nulle,

- Si une couleur rose est obtenue, titrer avec l'acide chlorhydrique (0,1N) jusqu'à la disparition de la couleur rose.
- Noter le volume d'acide consommé.

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}] \quad \text{III.4.}$$

III.3.5. Titre Alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC correspond donc à la somme des concentrations des ions d'hydrogencarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-).

a. Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation du volume d'eau utilisée dans la détermination de TA par un acide minéral dilué, en présence du méthyle orange comme indicateur coloré.

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \quad \text{III.5.}$$

b. Mode opératoire

- Ajouter 03 gouttes de solution d'indicateur de rouge de méthyle à la solution sur laquelle a été déterminée l'alcalinité titrable à pH 8,2;
- Continuer à titrer avec la solution d'acide chlorhydrique (0,1N) appropriée jusqu'à l'apparition de la couleur rose ;
- Noter le volume total d'acide consommé.

$$\text{TAC} = \text{La chute de la burette} \times 10(\text{°f}) \quad \text{III.6.}$$

III.3.6. Dosage des chlorures

a. Principe

Les chlorures sont des composés inorganiques résultant de la combinaison du dichlore gazeux avec un métal. Le chlorure de magnésium (MgCl_2) et de sodium (NaCl) sont les plus répandus.

Les chlorures interviennent dans la désinfection de l'eau. Ils ne présentent aucun risque pour la santé mais donnent à l'eau un goût fort et désagréable d'eau de javel. Les chlorures rendent l'eau corrosive et peuvent attaquer le béton et charger l'eau en trace des métaux indésirables.

Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorure est faible. L'apport par la précipitation est d'autant plus important que la distance à la mer est plus faible [43].

b. Mode opératoire

On prélève 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajoute 03 gouttes de bichromate de potassium K_2CrO_4 comme indicateur coloré. On titre avec la solution de nitrate d'argent $AgNO_3$ (0,02N), jusqu'à l'apparition de la couleur rouge brique.

$$[Cl^-] = \frac{(V_s - V_b) \times C \times f}{V} \quad \text{III.7.}$$

$[Cl^-]$: Concentration en mg/L de chlorure.

V_s : Le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisée pour le titrage de l'échantillon.

V_b : Le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisé pour le titrage du blanc.

C : La concentration réelle en mol/l de la solution de nitrate d'argent.

f : Facteur de conversion: $f=35453$.

III.4. Méthode spectrophotométrique

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution.

C'est une méthode de dosage rapide et précise, qui permet la détection d'élément à l'état de traces, même en présence d'autres éléments en forte concentration [44].

a. Principe de l'analyse

Le principe de base de cette méthode repose sur des mesures d'adsorption d'une radiation lumineuse, réalisées sur une substance ramenée à l'état d'atomes libres.

Cette absorption est proportionnelle à la concentration en métaux contenus dans l'échantillon suivant la loi de Beer Lambert:

$$A = \log I_0/I = \epsilon.L.C \quad \text{III.8.}$$

A: Absorbance

I_0 : Intensité du rayon initial.

I : Intensité du rayon transmis.

L: Longueur de la source d'atomisation maintenue constante

C: Concentration de l'espèce à doser (en ppm ou en mg/l)

ϵ : Coefficient d'extinction molaire de l'espèce à doser ($l.mol^{-1}.cm^{-1}$)

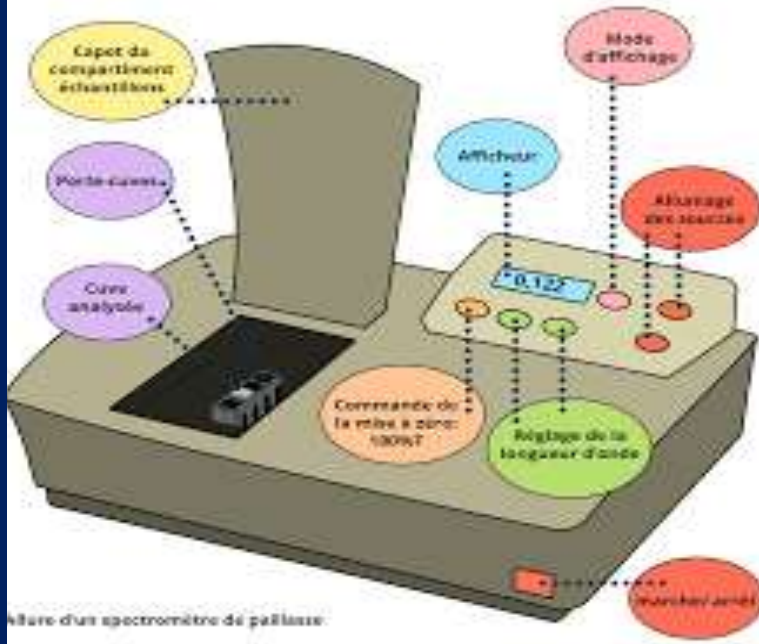


Figure III.4. Spectrophotomètre.

III.4.1. Dosage des nitrates

a. Principe

Les nitrates présents dans l'échantillon d'eau à analyser réagissent avec l'acide chromo tropique en milieu fortement acide pour former un produit de couleur jaune avec un maximum d'absorbance à 500 nm [45].

b. Réactifs

- Nitra VER. (une gélule de réactif Nitra VER)

c. Mode opératoire

- Après avoir allumé le spectromètre, sélectionner le gramme (longueur d'onde spécifique qui est de 500 nm),
- Remplir une cuvette avec 10 ml de l'échantillon,
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif Nitra VER à la cuvette,
- Agiter pour bien mélanger, une période de réaction de 5 minutes commence. Entre temps remplir une autre cuvette avec 10 ml de l'échantillon (le blanc),
- Quand le minuteur alerte par une simple sonnerie, lancer le blanc dans le puits de mesure et presser sur la touche zéro,
- Ensuite placer l'échantillon préparé contenant le réactif,
- Noter le résultat affiché sur l'écran.

III.4.2. Dosage des nitrites (NO_2^-)

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte [46].

a. Principe

Les nitrites dans l'échantillon d'eau à analyser réagissent avec l'acide sulfonique pour former un sel intermédiaire diazoïque. Ce dernier se combine avec l'acide chromo tropique pour produire un complexe rose aussi fort que la concentration de nitrite dans la solution, avec un maximum d'absorbance à 507 nm [47].

b. Réactif

- Nitri VER

c. Mode opératoire

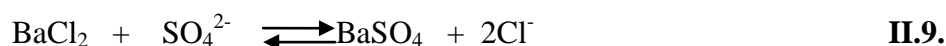
- Après avoir allumé le spectrophotomètre, sélectionner le programme (longueur d'onde spécifique qui est de 507 nm),
- Remplir une cuvette avec 10 ml de l'échantillon,
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactive NitriVER à la cuvette,
- Agiter pour bien mélanger, une période de réaction de 20 minutes commence. Entre temps, remplir une autre cuvette avec 10ml de l'échantillon (le blanc),
- Quand le minuteur alerte par une simple sonnerie, lancer le blanc dans le puits de mesure et presser sur la touche zéro,
- Ensuite placer l'échantillon préparé contenant le réactif,
- Noter le résultat affiché sur l'écran.

III.4.3. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates peuvent être trouvés dans toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfatés est l'oxydation des minerais de sulfites. Les sulfates proviennent aussi de l'érosion des roches et de l'eau de mer [43].

a. Principe

Les ions sulfates, de l'échantillon de l'eau à analyser, sont précipités et doser à l'état de sulfate de baryum suivant la réaction:



L'intensité de la turbidité est proportionnelle à la concentration en ions sulfate. La lecture s'affiche à 450 nm [47].

b. Réactifs

- Sulfa ver 4(gélule de réactif SulfaVER4)

c. Mode opératoire

- Après avoir allumé le spectrophotomètre, sélectionner le programme (longueur d'onde spécifique qui est de 450 nm),

- Remplir une cuvette avec 25 ml de l'échantillon,
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif SulfaVER4 à la cuvette,
- Agiter pour bien mélanger, une période de réaction de 5 minutes commence. Entre temps remplir une autre cuvette avec 10 ml de l'échantillon (le blanc),
- Quand le minuteur alerte par une simple sonnerie, lancer le blanc dans le puits de mesure et presser sur la touche zéro,
- Ensuite placer l'échantillon préparé contenant le réactif,
- Noter le résultat affiché sur l'écran.

III.4.4. Ions de Fer

La détermination de la teneur du fer est effectuée avec un spectromètre marque (DR 6000)

Méthode Ferro Ver (réactif de fer dans spectrophotomètre)

a. Principe

Le fer ferreux réagit avec le réactif Ferro Ver pour former un complexe indiqué par une coloration orange proportionnelle à la concentration du fer.

Les réactifs Ferro Ver convertissent tous les solubles et la plupart de fer insoluble dans l'échantillon de l'eau à analyse [48].

b. Mode opératoire

- Après avoir allumé le spectrophotomètre, sélectionner le programme (longueur d'onde spécifique qui est de 150 nm),
- Remplir une cuvette avec 10 ml de l'échantillon,
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactive ferroVer4 à la cuvette,
- Agiter pour bien mélanger, une période de réaction de 3 minutes commence. Entre temps remplir une autre cuvette avec 10ml de l'échantillon (le blanc),
- Quand le minuteur alerte par une simple sonnerie, lancer le blanc dans le puits de mesure et presser sur la touche zéro,
- Ensuite placer l'échantillon préparé contenant le réactif,
- Noter le résultat affiché sur l'écran.

III.4.5. Ions du cuivre

De même pour le cuivre, sa détermination est effectuée avec un spectromètre UV-VIS (DR 6000).

Méthode Cuver

a. Principe

Les ions cuivreux en milieu légèrement acide réagissent avec le réactif Cuver pour former un complexe dans lequel deux molécules de néocuproïne sont liées à une molécule de cuivre.

Le complexe est extrait par le chloroforme. La coloration jaune obtenue est susceptible d'un dosage spectrométrique à la longueur d'onde de 457 nm [49].

b. Réactif

- Cuver. (réactif de cuivre)

c. Mode opératoire

- Après avoir allumé le spectrophotomètre, sélectionner le programme (longueur d'onde spécifique qui est de 560 nm),
- Remplir une cuvette avec 10 ml de l'échantillon,
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif Cuver 4 à la cuvette,
- Agiter pour bien mélanger, une période de réaction de 2 minutes commence. Entre temps remplir une autre cuvette avec 10 ml de l'échantillon (le blanc),
- Quand le minuteur alerte par une simple sonnerie, lancer le blanc dans le puits de mesure et presser sur la touche zéro,
- Ensuite placer l'échantillon préparé contenant le réactif
- Noter le résultat affiché sur l'écran

Chapitre IV

Résultats et Discussions.

Une eau minérale naturelle est une eau d'origine souterraine, protégée de toute pollution. Ses caractéristiques chimiques doivent être stables. Elle doit être de nature à apporter, dans certains cas, ses propriétés favorables à la santé. Elle peut cependant recevoir des traitements visant à la débarrasser de certains composés toxiques ou non souhaitables.

L'objectif principal de notre travail est de déterminer les paramètres physico-chimiques d'eau de process et de l'eau minérale naturelle de l'entreprise IFRI.

Les paramètres étudiés pour l'eau de process sont: le pH, la conductivité, TA, TAC, TH et Cl^- , et pour l'eau minérale naturelle en plus des paramètres cités, nous avons étudié d'autres grandeurs tels que la teneur en: fer, cuivre, nitrites, nitrates et en sulfates.

Les résultats de ces paramètres sont illustrés sous forme d'histogramme ou tableaux et suivis d'une discussion.

IV.1. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques d'eau de process

IV.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le contrôle du pH est important durant le traitement de l'eau. Le pH mesure l'acidité et l'alcalinité de l'eau.

L'histogramme suivant représente les variations de potentiel Hydrogène (**figure IV.1**) de l'eau de process de SARL IFRI.

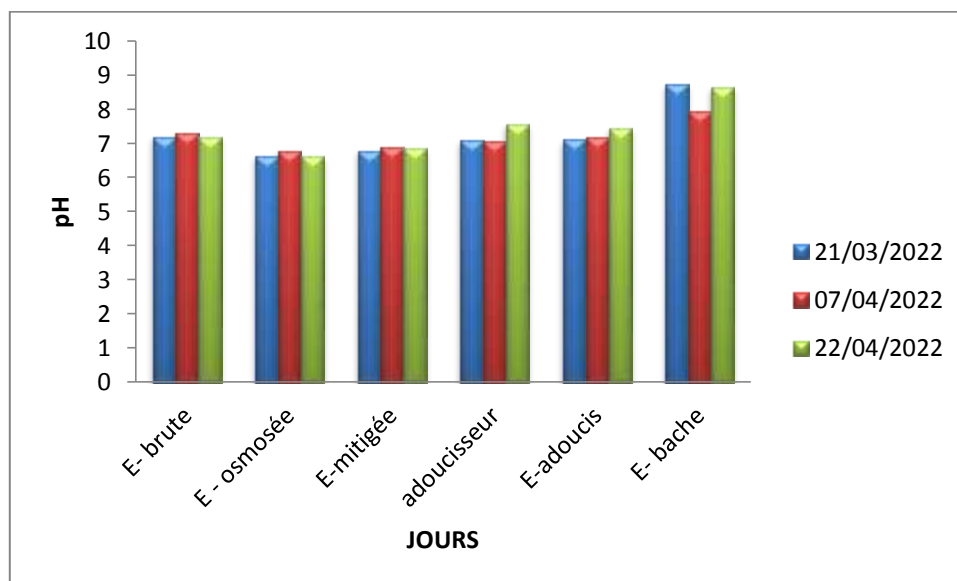


Figure IV.1. Variation des valeurs de pH des eaux de la chaîne de production de SARL IFRI.

D'après la **figure IV.1**, les valeurs de pH obtenus, pour toutes les eaux analysées varient entre (6.18 et 7.50) et sont conformes à la norme, à l'exception de l'eau de bache, son pH est inférieure à la norme cela est dû à l'ajout d'un produit anti corrosif et un anti entartrage.

IV.1.2. Conductivité

La conductivité donne une indication sur la minéralisation globale de l'eau. Une eau douce accusera généralement une conductivité basse et bien au contraire une eau dite dure affichera une conductivité élevée.

L'histogramme suivant représente les valeurs de la conductivité en ($\mu\text{s}/\text{cm}$) de l'eau de process:

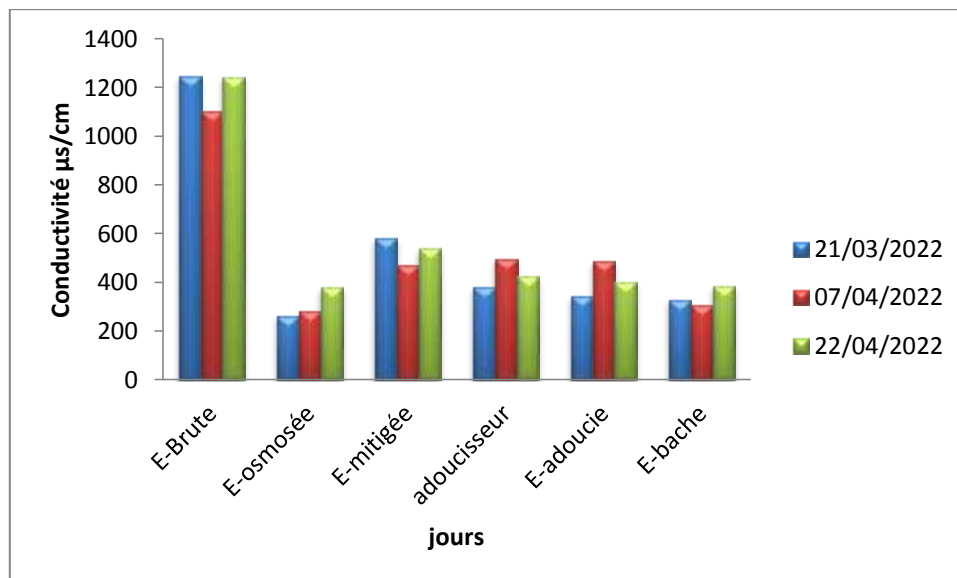


Figure IV.2. Variation de la conductivité des eaux de la chaîne de production SARM IFRI.

La conductivité est proportionnelle à la minéralisation de l'eau. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée [50].

On constate que, les valeurs de la conductivité de l'eau brute sont les plus élevées et conforme à la norme de l'entreprise ($NE = 1240 \mu\text{s}/\text{cm}$). Cela est due à la teneur des ions et des sels minéraux qui la constitue.

Dans le cas de l'eau osmosée, la conductivité diminue considérablement, ceci est dû à la diminution de la teneur des ions. Pour la suite du process, la conductivité augmente

légèrement pour l'eau mitigée puis diminue et maintenue plus en moins stable pour la suite du process car la majorité des sels minéraux sont éliminées au niveau l'osmoseur.

IV.2. Résultats et interprétations de l'analyse de la minéralisation globale d'eau de process

IV.2.1. Dureté Totale (TH)

L'histogramme ci-dessous représente les valeurs de la dureté totale de l'eau de process de SARL IFRI.

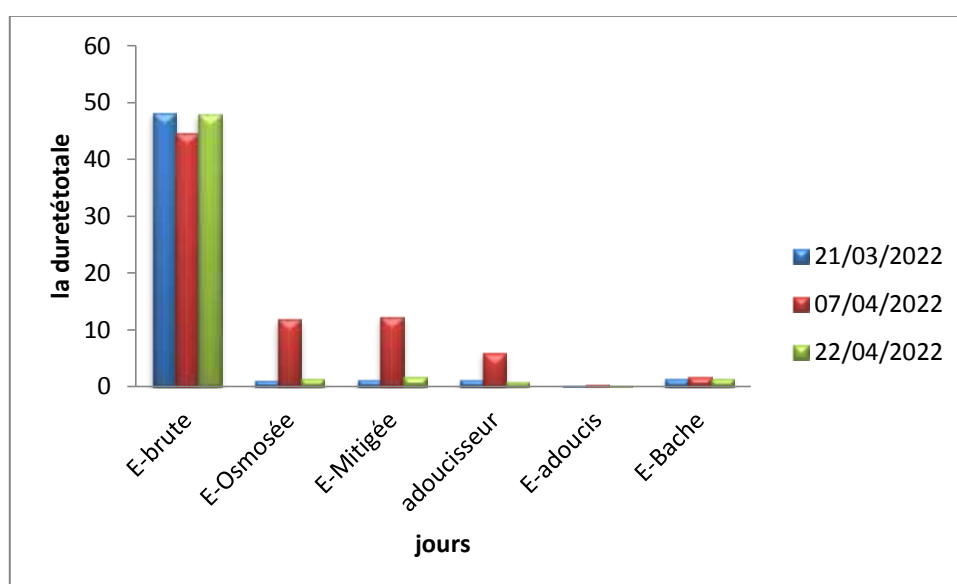


Figure IV.3. Variation des valeurs de la dureté totale des eaux de process.

Le titre hydrotimétrique (T.H) ou dureté de l'eau, est un indicateur de la minéralisation de l'eau en cations divalents alcalino-terreux susceptibles de précipiter sous forme de dépôts calcaires. Elle est due uniquement aux ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).

On constate que la dureté totale est plus élevée pour l'eau brute puis elle diminue pour les autres eaux. L'adoucissement de la dureté est réalisée par le processus de l'osmose. Cela permet de préserver les équipements et protège le réseau de distribution contre le tartre.

IV.2.2. Ions chlorures

La figure suivante traduit les valeurs de dosage des chlorures en mg/l des eaux de la chaîne de production SARL IFRI

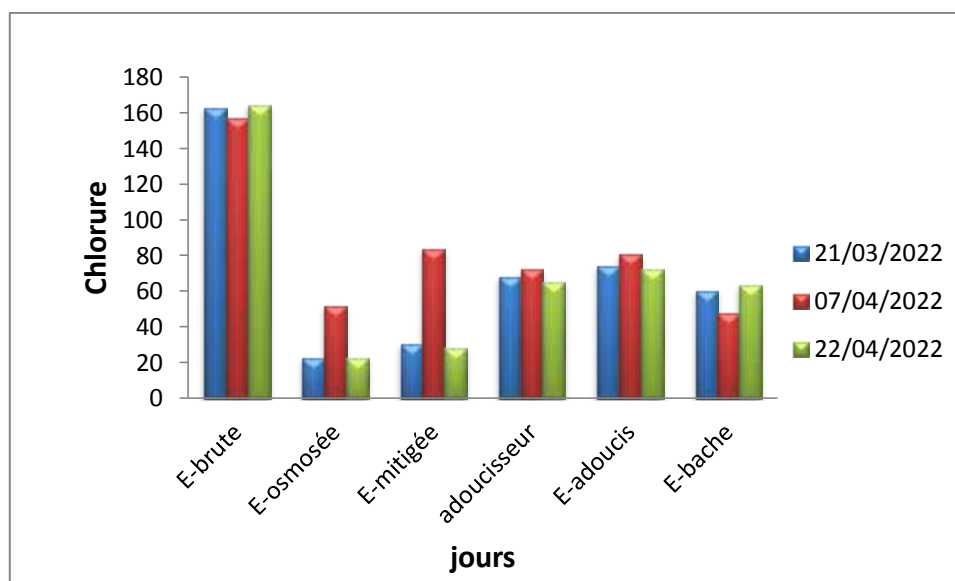


Figure IV.4. Variation des valeurs des chlorures dans les eaux de process SARL IFRI

La teneur en chlorure est liée principalement à la nature des terrains traversés par l'eau. D'après les résultats obtenus, on constate que la concentration en chlorures est assez remarquable dans l'eau brute puis diminue et varie faiblement pour les autres eaux et cela est dû aux procédés d'éliminations utilisés. On note toutefois que la teneur en chlorure dans l'eau brute répond au norme de l'entreprise.

IV.3. Résultats et interprétations d'autres paramètres

IV.3. 1. Titre alcalimétrique (TA)

Le titre alcalimétrique (TA) d'une eau permet de connaître sa concentration en carbonates (CO_3^{2-}) et en bases fortes, autrement dit son alcalinité.

Tableau IV.1: Teneur en TA (mg/l de CaCO₃) des eaux de la chaîne de production de SARL IFRI.

TA (°f)	Points d'échantillonnages					
	Eau Brute	Eau Osmosée	Eau Mitigée	Eau Adoucisseur	Eau Adoucie	Eau Bâche
21/03/2022	0	0	0	0	0	7
07/04/2022	0	0	0	0	0	1
22/04/2022	0	0	0	0	0	6
Norme de l'entreprise	–	–	–	–	–	–

Les résultats montrent que (**Tableau IV.1**) le titre alcalimétrique TA est nul pour toutes les eaux à l'exception de l'eau de bâche car son pH > 8.3.

IV.3.2. Titre alcalimétrique complet (TAC):

Le titre alcalimétrique complet (TAC) représente la concentration en ions carbonates, bicarbonates et hydroxydes présents dans l'eau.

Tableau IV.2: Teneur en TAC des eaux de la chaîne de production de l'eau de SARL IFRI.

TAC (°f)	Points d'échantillonnages					
	Eau Brute	Eau Osmosée	Eau Mitigée	Eau Adoucisseur	Eau Adoucis	Eau Bâche
21/03/2022	0	0	0	0	0	14
07/04/2022	0	0	0	0	0	14
22/04/2022	0	0	0	0	0	13
Norme de l'entreprise	<30	–	–	<30	<30	<30

Les résultats illustrés dans le **Tableau IV.2** montrent que les valeurs de TAC sont nulles de l'eau brute à l'eau adoucie à l'exception de l'eau de bêche car elle contient des produits anti corrosif et anti tartre.

IV.4. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques des l'eau minérale naturelle IFRI.

L'eau minérale naturelle se caractérise par sa pureté originelle et sa composition parfaitement stable et garantie en minéraux. Elle est de fait la seule eau à pouvoir bénéficier de propriétés favorables à la santé.

Dans cette partie, nous présentons et discutons les principaux résultats obtenus, concernant l'analyse de l'eau minérale naturelle IFRI en les comparant avec les normes en vigueur:

- Journal officiel de la république algérienne N°03 du 27 janvier 2015, pour l'eau minérale naturelle IFRI (les normes).

IV.4.1. Les paramètres physiques

IV.4.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

L'histogramme ci-dessous représente les résultats du pH de l'eau minérale naturelle IFRI (**figure. IV.5**).

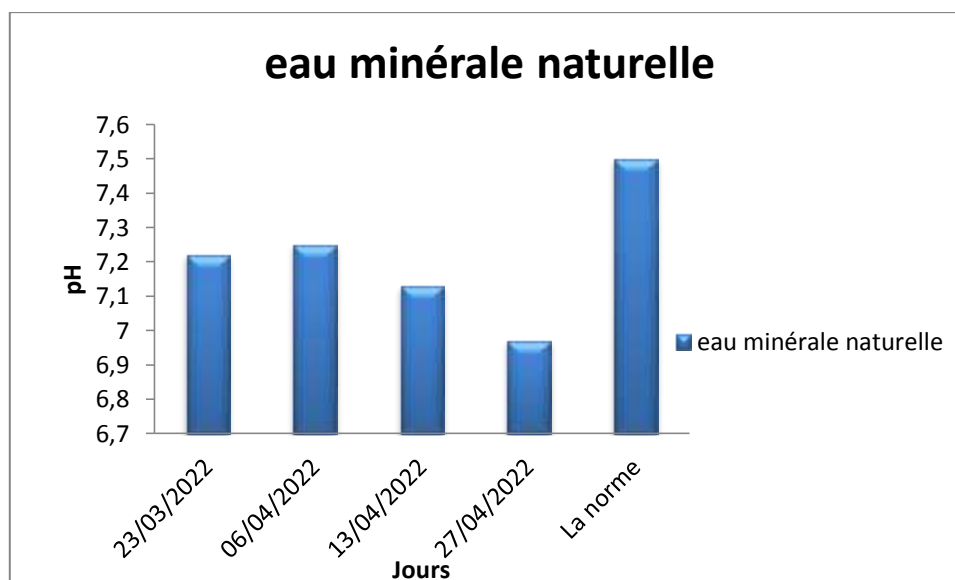


Figure IV.5. Variation du pH de l'eau minérale naturelle IFRI.

D'après la **figure. IV.5**, les valeurs de pH obtenus lors des analyses de l'eau minérale naturelle embouteillée IFRI, elles varient dans l'intervalle [6.97-7,25]. On constate que ces

valeurs sont conformes à la norme (journal officiel de la république Algérienne N°03 du 27 janvier 2015), qui varie entre [6,5 à 8,5]. Par conséquent, ces valeurs indiquent l'absence totale des bases fortes.

IV.4.1.2. Conductivité

La figure IV.6 ci-dessous représente l'histogramme des résultats de la conductivité de l'eau minérale IFRI

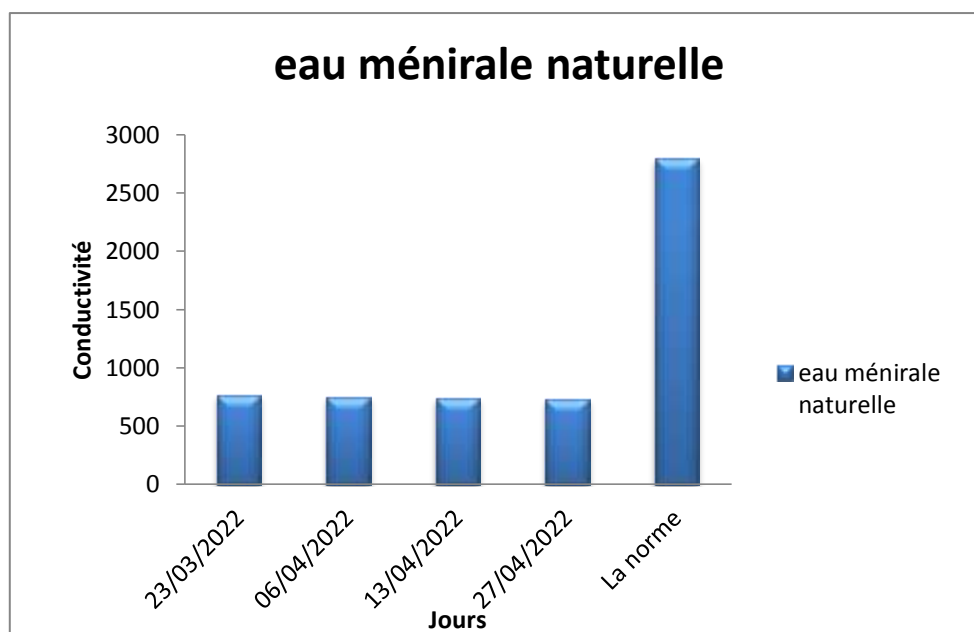


Figure IV.6. Variation des valeurs de la conductivité de l'eau minérale naturelle IFRI.

On remarque que les valeurs de la conductivité varient légèrement entre [733 à 768µs/cm], ces valeurs sont conformes à la norme algérienne qui sont inférieure à 2800µs/cm. Et d'après les valeurs obtenues l'eau minérale naturelle embouteillée IFRI est peu minéralisée.

IV.4.2. Résultats et interprétations de l'analyse de la minéralisation globale

IV.4.2.1. Dureté Totale (TH)

L'histogramme suivant représente les valeurs de la dureté totale de l'eau minérale naturelle IFRI.

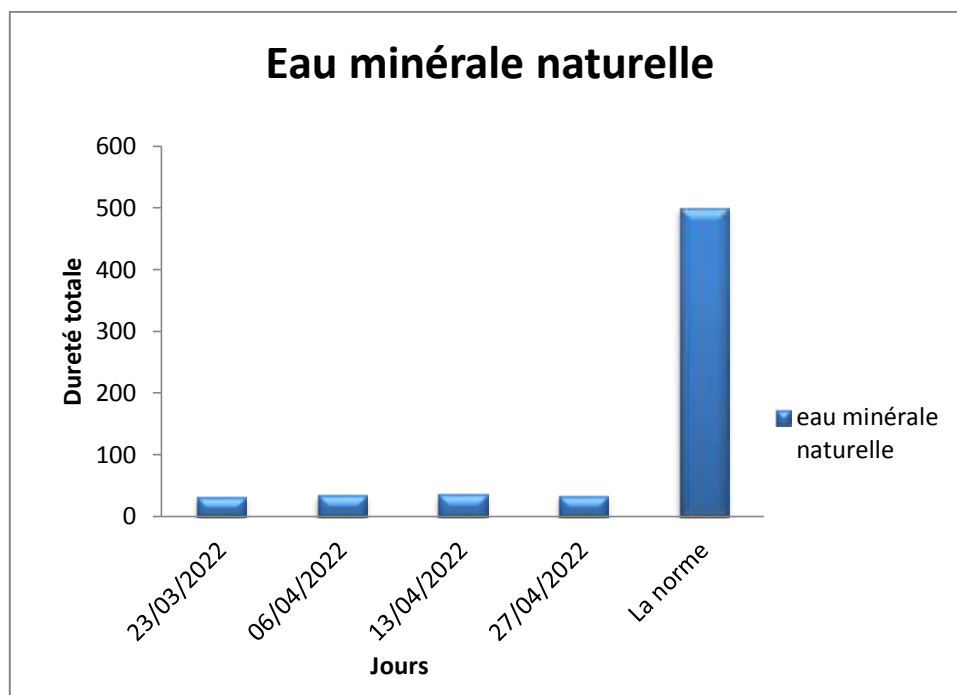


Figure IV.7. Variation des valeurs de la dureté totale dans l'eau minérale naturelle IFRI.

La **figure IV.7.** représente la variation de la dureté totale en fonction des différents jours d'analyse pour l'eau minérale naturelle IFRI. L'étude de ce paramètre montre que les concentrations de TH (°F) varient faiblement en fonction de temps.

D'après nos résultats et selon les normes, on peut classer l'eau minérale naturelle IFRI comme une eau dure.

IV.4.2.2 Dureté calcique

Les résultats concernant la teneur en calcium dans l'eau minérale IFRI sont représentés sur l'histogramme de la **figure IV.8.**

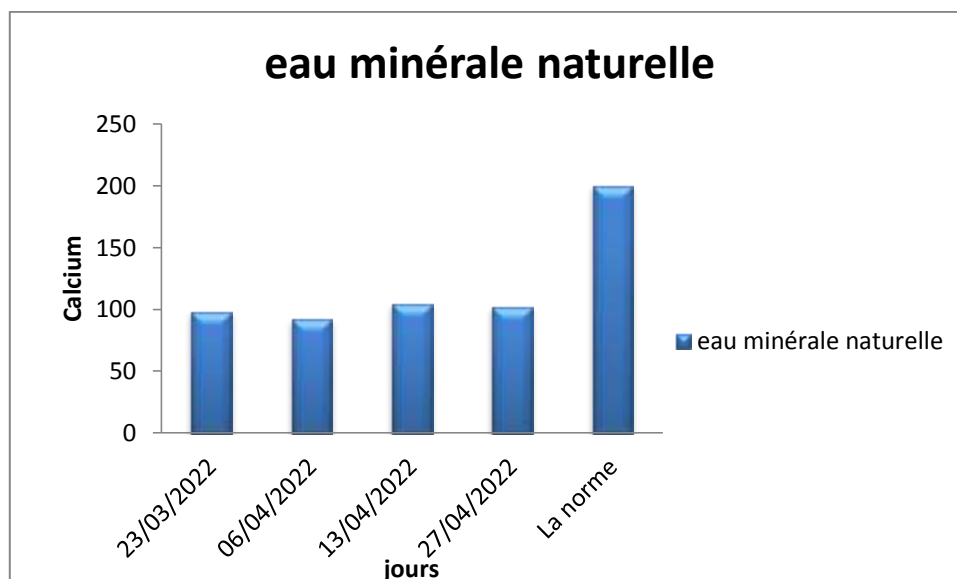


Figure IV.8. Variation de la dureté calcique dans l'eau minérale naturelle IFRI.

Les valeurs des teneurs en calcium dans l'eau minérale naturelle IFRI **figure (IV.8)** varient entre [92.34 à 104.6 (mg/l)] et elles sont directement liées à la nature géologique du terrain traversé. Ces valeurs sont conformes à celle fixées par les normes algérienne (max 200mg/l).

D'après les résultats, on peut dire que l'eau minérale naturelle IFRI est calcique car les résultats sont importants en calcium. Donc ce métal alcalino-terreux il peut prévenir une formation gypsifères qui sont soluble.

IV.4.2.3. Dureté magnésienne

La **figure IV. 9.** représente l'histogramme des valeurs de la dureté magnésienne en mg/l

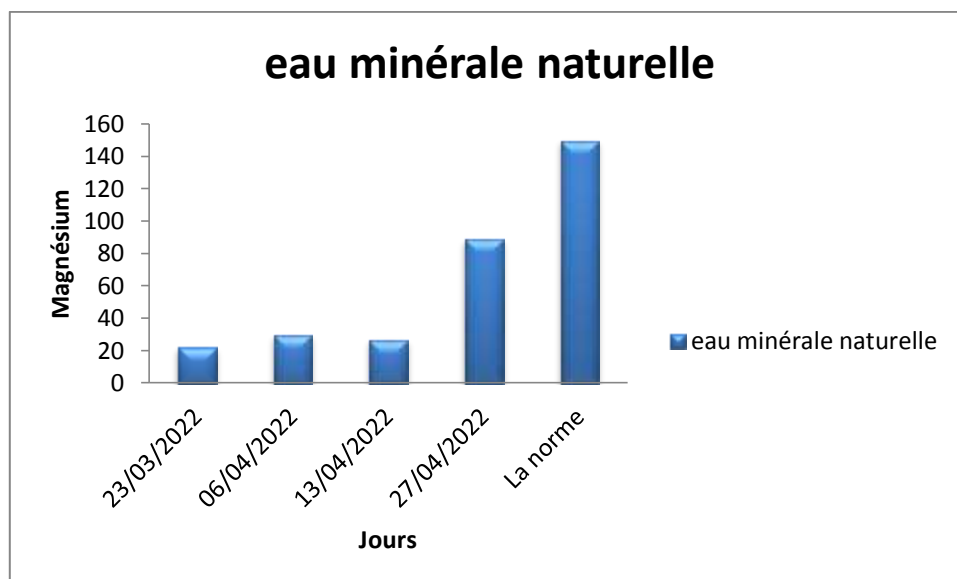


Figure IV.9. Variation de la dureté magnésienne dans l'eau minérale naturelle IFRI

Les teneurs en magnésium des eaux sont liées principalement à la nature des terrains traversés. La dureté est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La **figure IV.9** montre que les concentrations de magnésium sont nettement inférieures à celles du calcium.

IV.4.2.4. Les chlorures

la **figure IV.10** ci-dessous illustre les résultats de la concentration en teneur en chlorures dans l'eau minérale IFRI.

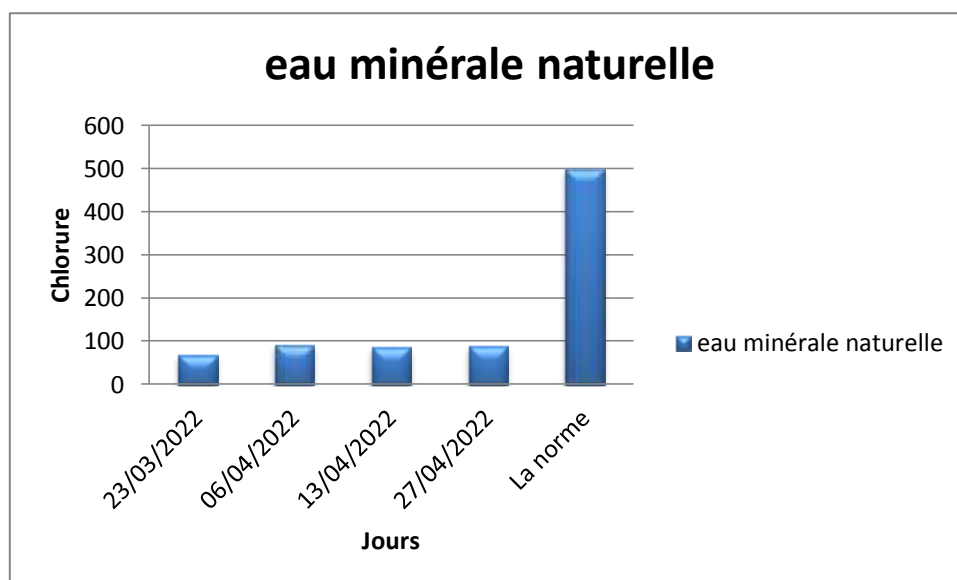


Figure IV.10. Teneur de chlorures dans l'eau minérale naturelle IFRI.

D'après la **figure IV.10**, les quantités en chlorures notées pour l'eau minérale naturelle IFRI varient, entre [68.5 et 91.46 mg/l]. On constate que ces teneurs sont légèrement faibles à la norme algérienne qui est fixée à 500 mg/l. La présence de chlorure dans l'eau minérale IFRI est principalement liée à la nature des terrains traversés et à la dissolution des sels naturels.

IV.4.2.5. Sulfates (SO_4^{2-})

Les résultats de dosage des sulfates dans l'eau minérale IFRI sont représentés dans l'histogramme de la **figure IV.11**. Les sulfates proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse.

D'après les résultats des échantillons analysés (**figure IV.11**), les valeurs enregistrées dans l'eau minérale naturelle IFRI en sulfate (56 à 59 (mg/l)), restent inférieures à la norme algérienne qui est fixée (max 400 mg/l).

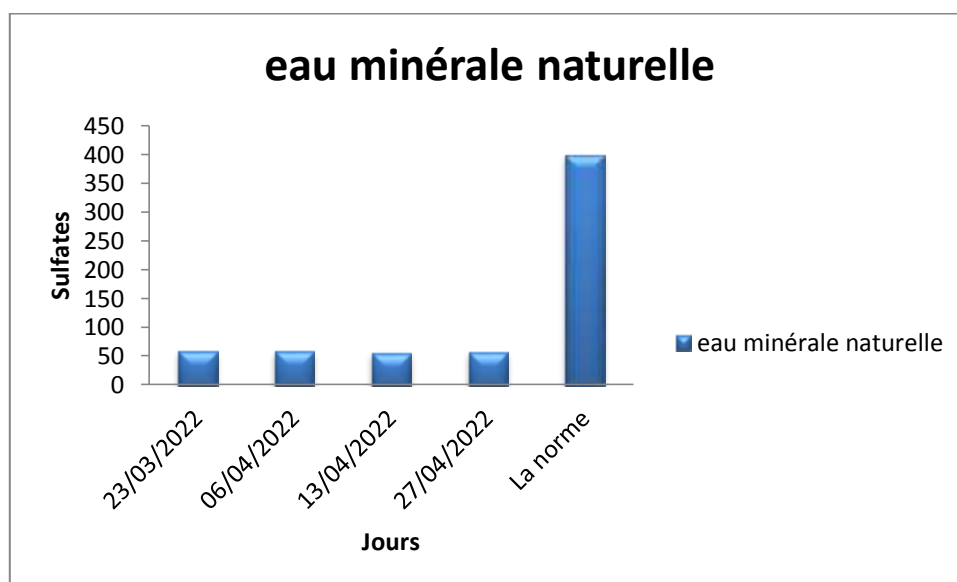


Figure IV.11. Résultats obtenus lors du dosage des sulfates dans l'eau minérale naturelle IFRI.

IV.4.2.6. Ions Fer (Fe^{2+})

L'histogramme de la **figure IV.12** représente les résultats de dosage du Fer (Fe^{2+}).

Le Fer et le Manganèse se trouvent en solution dans les eaux appauvries en oxygène. Ils sont à l'origine de la corrosion et de dépôt dans les réseaux de distribution d'eau [51].

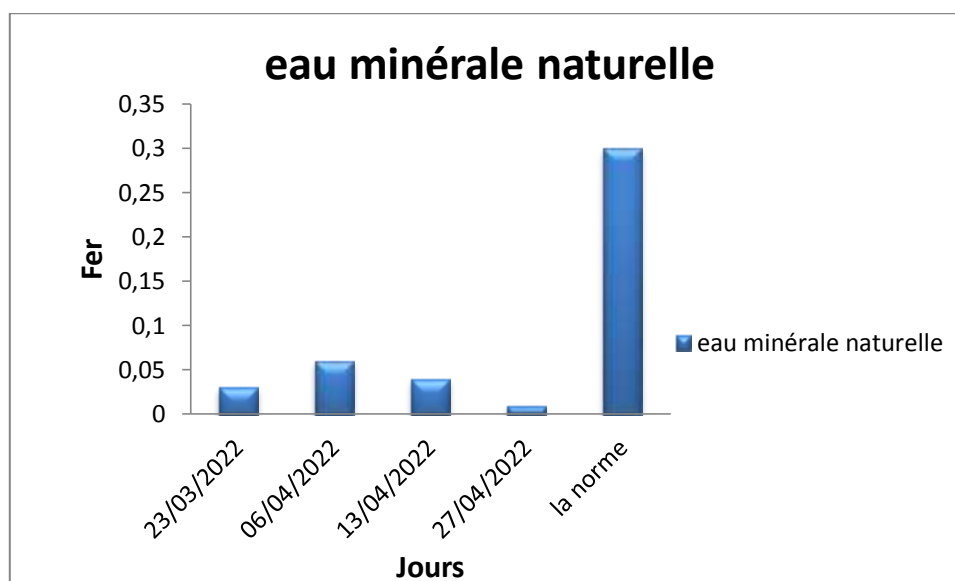


Figure IV.12. Teneur en fer dans l'eau minérale naturelle IFRI.

L'eau minérale d'IFRI contient des quantités de fer de l'ordre de (0.01-0.06). Nous constatons que toutes ces valeurs ne dépassent pas la norme algérienne qui est de l'ordre de 0.3mg/l.

IV.4.2.7. Cuivre (Cu)

Le cuivre est considéré comme métal lourd. C'est un élément de la croûte terrestre, il est présent dans l'eau sous forme de traces. Le cuivre provient de l'érosion des sols, de dissolution des minerais (cuprite..).

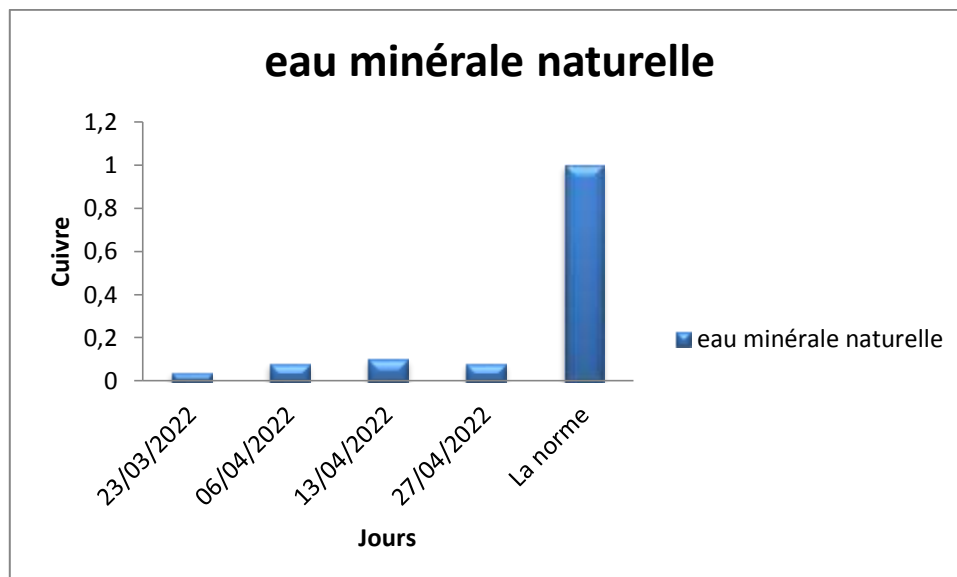


Figure IV.13. Teneur en cuivre dans l'eau minérale naturelle IFRI.

Les résultats obtenus en teneurs en cuivre (figure IV.13) varient entre [0.04 à 0.1] et restent inférieurs à la norme de l'eau minérale naturelle IFRI (1 mg/l).

IV.4.3. Résultats et interprétations de l'analyse des paramètres polluants

IV.4.3.1. Les nitrates (NO₃⁻)

Les résultats d'analyse des teneurs en nitrates sont présents dans l'histogramme ci-après.

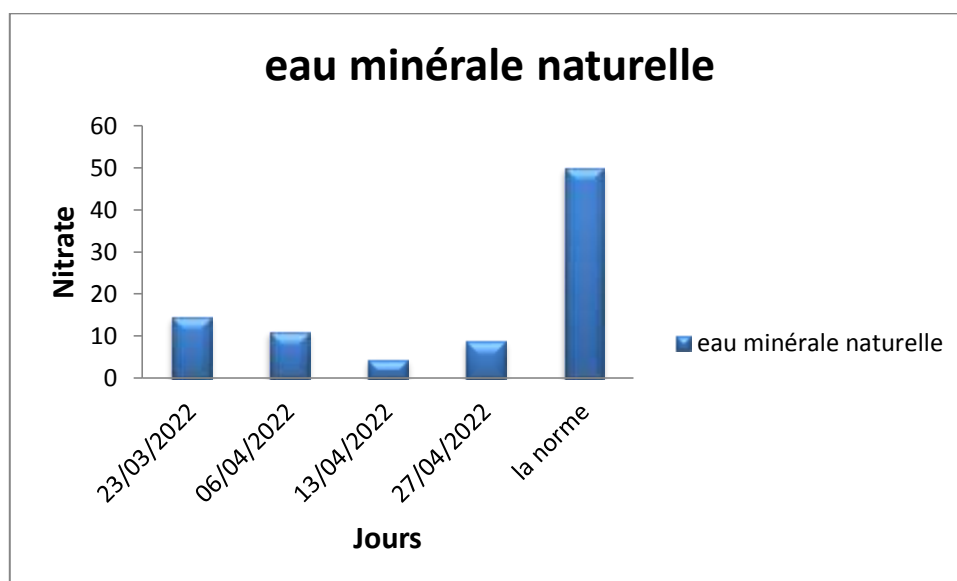


Figure IV.14. Variation des teneurs de nitrate de l'eau minérale naturelle IFRI.

Les nitrates dans les eaux proviennent de l'agriculture (engrais azotés), des rejets des ordures et de l'industrie.

Pour l'eau étudiée, les valeurs des nitrates obtenus sont inférieures à la norme (max 50). De ce fait, l'eau minérale naturelle IFRI n'est pas exposée à un risque de pollution par les nitrates.

IV.4.3.2. Les nitrites (NO_2^-)

Les résultats d'analyse des teneurs en nitrites sont présents dans l'histogramme suivant.

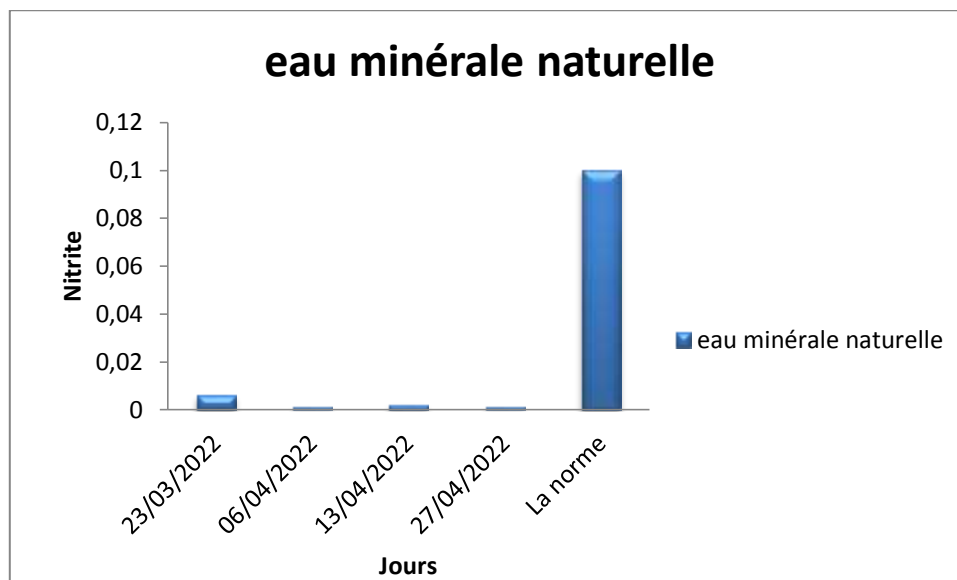


Figure IV.15. Variation des teneurs de nitrite de l'eau minérale naturelle IFRI.

Comme les nitrates, la présence de nitrites dans l'eau peut résulter: de l'utilisation d'engrais chimiques et de fumiers, de la décomposition de matières végétales et animales.

Les normes algériennes indiquent une maximale de 0.1 mg/l, la valeur enregistrée de nitrite pour l'eau minérale IFRI est inférieure à 0.06 mg/l ceci s'expliquerait par le fait que ce genre de pollution n'existe pas dans la région où se trouve le bassin d'où est puisée l'eau IFRI.

IV.4.4. Résultats et interprétations de l'analyse d'autres paramètres

IV.4.4.1. Titre alcalimétrique complet (TAC)

La figure ci-dessous représente les résultats de titre alcalimétrique complet dans l'eau minérale IFRI.

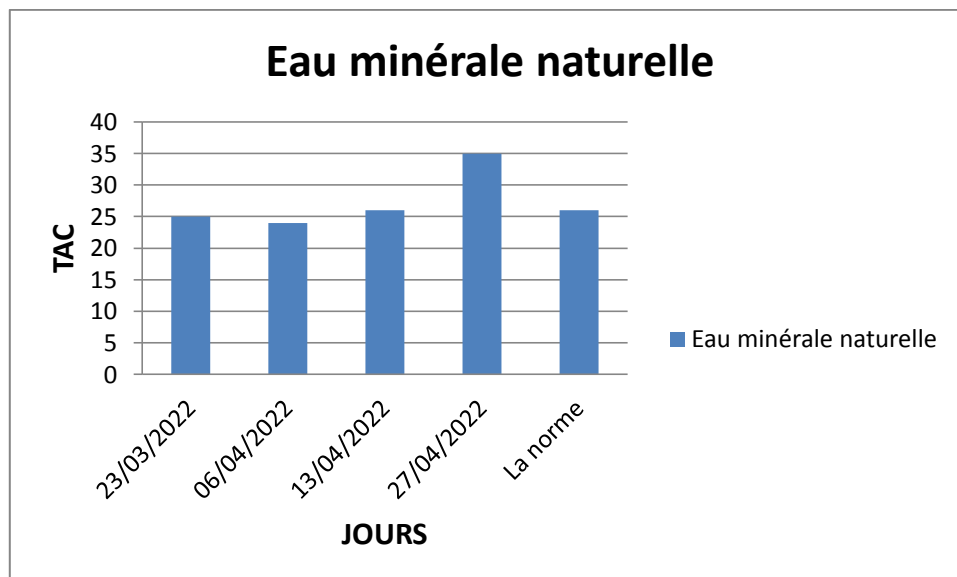


Figure IV.16. Variation des teneurs en TAC dans l'eau minérale naturelle IFRI.

D'après la **figure IV.16**, Les résultats de TAC pour l'eau minérale naturelle IFRI sont compris entre [24 et 35 °F]. D'après la littérature, pour une eau dont le pH est inférieur à 8,3, la valeur du TAC correspond à la concentration des ions bicarbonates.

Conclusion

L'eau est une ressource naturelle et elle est indispensable à toute vie. Il est difficile de lui attribuer une valeur monétaire tant cette ressource est précieuse. L'eau est multidimensionnelle et multiusage, de grandes quantités d'eau sont utilisées chaque jour, elle est exploitée dans des fins domestiques, dans l'agriculture et dans l'industrie.

De ce fait, dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés à suivre les paramètres physico-chimiques de l'eau de process et de l'eau minérale naturelle de SARL IFRI.

En comparant les résultats obtenus aux normes cédées par le fournisseur de l'entreprise IFRI. on peut constater que:

➤ Pour les eaux de process :

Les analyses physico-chimiques sont conformes aux normes de l'entreprise excepté quelques points où il ya de petits écarts par rapport aux normes et cela peut être lié à des erreurs de manipulation .

➤ Pour l'eau minérale naturelle:

D'après les résultats obtenus et du point de vu physico-chimiques tels que le pH, la conductivité, TAC, TH, TA, calcium, chlorures, magnésium, fer, cuivre, nitrates, nitrites, les bicarbonates et les sulfates, que la composition de l'eau minérale naturelle embouteillée IFRI est conforme aux normes Algériennes en vigueur.

A partir de ces résultats, on considère que l'eau minérale naturelle embouteille d'IFRI est une eau de minéralisation importante, elle est calcique et magnésienne, de très faible teneurs en nitrate et nitrite.

L'eau est un élément essentiel de nos quotidiens, il est de notre devoir de la préserver et de la protéger.

*Références
bibliographiques*

- [1]. R. Vilagines, "Eau, environnement et santé publique", Edition Tee et Doc., Lavoisier, pp: 5-164, (2000)
- [2]. **H .Lelerc et al**, "Microbiologie appliquée", Edition Doin. pp: 94-96. **1977**
- [3]. **L. Lukonga, ichel Bongo Liz**, L'eau et la santé. document d'un site web.
- [4].**L. Sigg, P. Behra, W. Stumm**, Chimie des milieux aquatiques ,5ème édition DUNOD,**1970**.
- [5]. **Coulibaly, Kassim**. "Etude de la qualité physico-chimique et bacterologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de bomako". Thèse . Bamako, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie , 20 avril **2005**.
- [6]. **Alia Soumia, Athamnia Wahida, Derdach Soumia**. Évaluation de la qualité bactériologique et physicochimique des eaux de sources d'Ain Djemel et d'Ain Souda (Wilaya Guelma) mémoire . Galma , **2018**.
- [7]. A. **KOUADIO**, Ingénieur en Chimie industrielle,"Traitement des eaux". OmniChimie et Services Industriels de Côte d'Ivoire SARL. **2012**.
- [8]. **Dr. Rachid SALGHI**, Professeur à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir. "Chimie des eaux".cours. **2017**.
- [9]. **D. Myrand, Diane**. "Captage d'eau souterraine ". **2008**.
- [10]. **J. Rodier** . "L'analyse de l'eau". Edition dunod, **2009**.
- [11].**Medjkoune Lydia, Al Allou Souhyela**,"Analyse physico-chimique et microbiologique de l'eau minérale naturelle embouteillée (IFRI) et sa comparaison avec l'eau de robinet alimenté par le barrage TICHIAFF". mémoire. Bejaia, Génie des Procédés , **2019**.
- [12]. **SA, Degrémont**, "Momento Technique de l'Eau". Edition Degrémont, **1951**.
- [13]. **SA, Degrémont**, " Mémento Technique de l'Eau". 10 ème édition, **2005**.
- [14]. **Grosclaude, Gérard, Dir**. l'Eau. livre,**1999**.
- [15]. **J.Rodier**, "l'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires,eau mer)". Paris: Dunod, **1984**.
- [16].**T.Houmel**, "Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes Tizi Rached et Ait Toudert". mémoire. Tizi Ouzou, **2017**.

[17]. **Travailler ensemble Pour la santé**. "Rapport sur la santé dans le monde". Suisse, **2006**.

[18]. **fichier rédigée par l'équipe de réféa. techniques d'analyses physico-chimiques; fichier.**

[19]. **Said-Metahri Mohamed**. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées ,par des procédés mixtes. Thèse de Doctorat. Tizi ousou , **01 .07. 2012**.

[20]. **D. Marcel**, "Chimie des Oxydants et Traitement des Eaux". **1989**.

[21]. **Rodier, Jean**, l'analyse de l'eau ,9ème édition,paris.**2009**.

[22]. **H, Benmoussa**. "Chimie des eaux" . Cours . Oran, **2018**.

[23].**A. Boudenne** "Etude des parametres physico-chimiques des eaux usées urbaines de la ville de Jijel". mémoire . **2012**.

[24]. **www.yamit-f**. "Manuel d'utilisation et de maintenance. *système de filtration à sable*".**18 Mai 2021**.

[25]. L'agence française de sécurité sanitaire des aliments,"Procédé de déferrisation et démantanisation de l'eau". Principes de Déferrisation et Démanganisation de l'eau. Document.**2004**.

[26]. **T.V. Arden, F. De dardeL**. " Opérations Chimiques Unitaires" , Echanges d'ions. *TI*. **1970**.

[27]. **Ouali Mohand-Said**, "Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux" **2001**.

[28].FicheinfosBSFHumatemOsmoseur.*osmoseur*2013.<http://www.biologiesansfrontieres.org/>

[29]. **J-M.ROVEL**. Osmose Inverse.Fiche. 2012.

[30].**TAIBI Sarah**, "Les facteurs influençant le vieillissement des membranes d'osmose inverse". Mémoire, Blida, **2016**.

[31]. "Adoucisseurs de l'eau". Document Technique. **2018**.

[32]. **N.Memontoc** "Les procédés d'adoucissement en traitement de l'eau potable". **2006**.

[33]. **Ouali Mohand-Said**. "Cours de procedes unitaires biologiques et traitement des eaux".**2001**.

[34]. **KOUADIO Adolphe**, "Cours de traitement des eaux". Ingénieur en Chimie industrielle. **2012**.

[35]. **A. Zarouali**, "L'impact physico – chimique de la qualité d'eau sur la chaudière à tube de fumée". Mémoire. Faculté des sciences et de la technologie , Biskra, Septembre **2020**.

[36]. "Guide explicatif sur l'entretien des tours de refroidissement à l'eau". Document.**2013**.

- [37]. **F.Berné et J. Cordonnier**. "Traitement des eaux épuration des eaux de raffinage et conditionnement des eaux de réfrigération".Paris . **1991**.
- [38]. **C.Gomella et H. Guerree**, "les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales". Paris : Eyrolles, **1978**.
- [39]. **I. Rouane**," les eaux de refroidissement industriel cas E.N.I.C.A.B biskra. mémoire"pp:7-10, Juin **2016**.
- [40]. Fiche technique ,Présentation Bureau Veritas _ Date . fiche, **1828**.
- [41]. **H.Haddad, H.Ghoualem** " Caracterisation physico-chimique des eaux du bassin hydrographique cotier Algerois" . Larhyss Journal, **2014**
- [42].**Gnagnarella,agnés,vandewiel marianne**, "Analyse de la qualité de l'eau" ,Science Infuse, Document. **2010**.
- [43]. **Diab, Walaa**, "Etude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière litani", thèse liban. hal open science .pp:22,30 Juin **2016**.
- [44]. **O. Semmame**," la spectrophotométrie." cours. pp:4.
- [45]. **Coulibaly, Kassim**. "Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de puits dr certains quartiers du district de Bamako". *thèse*. Bamako, Faculté de médecine,de pharmacie et d'odontostomatologie , Mali, Avril **2005**.
- [46].Laboratoire départemental d'analyses."Analyses physico-chimiques des eaux". Rapport.**2013**.
- [47]. **Hach** ," Manuel des procédures" , DR/ 6000 Spectrophotomètre. Fiche.
- [48]. **J. Rodier. B.Legube. N. Merlet, et Coll.**" L'analyse de l'eau" . 9ème Ed, DUNOD(**2009**) 1526.
- [49]. "Le livre blanc du traitement d'eau". ex eau. document ,pp:3.
- [50]. **J.Rodier, C.Bazin, J.P. Broutin., P .Chambon, H. Champsaur, L. Rodier:** "L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer", 8e édition. Dunod, Paris, France (**1996**)

ANNEXES

Annexe 1 :

Préparation des solutions

N.E.T :

- 01g N.E.T.
- 100g NaCl.

K₁₀ :

- 570ml d'ammoniac.
- 67.5g de chlorure d'ammonium.
- 3.05g de sel disodique EDTA.
- 1.95g de sulfate magnésium.
- Ajuster avec l'eau distillée jusqu'à 1L.

Phénolphtaléine :

- 10g de phénolphtaléine.
- 1L d'éthanol.

E.D.T.A :

- 3.725g de E.D.T.A dans un litre d'eau distillée.

Rouge de méthyle :

- 0.015g dans 100ml d'éthanol.

HCl (0.1mol /l) :

- 13.03g HCl dans 1L d'eau distillée.

H.S.N :

- 0.2g de calcon.
- 100g de chlorure de sodium (NaCl).

K₂ CrO₇ (10%) :

- 10g dans 100ml d'eau distillée.

NaOH(0.1N) :

- 4g de NaOH dans 1L de l'eau distillée.

Nitrates d'argent :

- 3.3974g d'AgNO₃ dans 1L d'eau distillée.

Annexe 02

Méthodes des analyses spectrophotométrique.

Elément	Méthodes d'analyses
Nitrate	Méthode cadium réduction
Nitrite	Méthode diazotation
Cuivre	Méthode Cui Ver
Fer	Méthode Ferro Ver
Sulfates	Méthode au Sulfa Ver 4

Annexe03

Journal officiel de la république algérienne N°03 du 27 janvier 2015, pour l'eau minérale naturelle et l'eau de source.

Groupes de paramètres	Paramètres	Norme
Paramètres chimiques	pH	6,5-8,5
	Conductivités ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Max 2800
	Dureté totale ($^{\circ}\text{F}$)	10-50
	Calcium (mg/l)	Max 200
	Magnésium (mg/l)	Max 150
	Chlorure (mg/l)	Max 500
	Bicarbonates (mg/l)	/
	TA ($^{\circ}\text{F}$)	/
	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	/
	Potassium (mg/l)	Max 20
	Sulfates (mg/l)	Max 400
	Nitrate (mg/l)	Max 50
	Nitrite (mg/l)	Max 0,1
	Cuivre (mg/l)	Max 1
	Manganèse (mg/l)	Max 0,5
	Fer (mg/l)	Max 0,3

Résumé

Ce travail porte sur le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau minérale embouteille IFRI et l'eau du process produites par l'unité Ibrahim et fils d'ighzer Amokrane à ouzellaguen.

Les différents paramètres physico-chimiques analyses sont conformes aux normes algériennes, ont permis de constater que l'eau minérale naturelle embouteille IFRI de bonne qualité pour la santé de consommateur, l'eau de process conforme à la norme de l'entreprise.

Abstract

This work concerns the follow-up of the physico-chemical parameters of the mineral water bottled IFRI and the water of the process produced by the unit Ibrahim and son of ighzer Amokrane in ouzellaguen.

The various physico-chemical parameters analyses are in accordance with the Algerian standards, have allowed to note that the natural mineral water bottled IFRI of good quality for the health of consumer, the water of process in accordance with the standard of the company.