

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE CHIMIE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du titre de Master 2^{ème} cycle en chimie
Option : Chimie de l'environnement

Présenté par :
Sizine Yasmina

THEME

***Contribution à l'étude de la reminéralisation
de l'eau obtenue au niveau de la station de
dessalement de Tizirt***

Soutenus le 06 /10/2012 devant le jury suivant :

M ^r M. DELLAH	MA « A »	UMMTO	Promoteur
M ^{me} M.GRARADJI	ADE	Tizirt	Co-promotrice
M ^{me} S.DELLAH	M C A	UMMTO	Présidente
M ^r H.LOUNICI	Professeur	U. Bouira	Examineur
M ^r S.KADDOUCHE	MA « A »	UMMTO	Examineur
M ^r N.YOUSSAIDANE	DTP	Azeffoune	Invité

Année universitaire : 2012-2013

Remerciements

Ce travail a été réalisé au niveau des différents laboratoires spécialisés, en l'occurrence le laboratoire de l'ADE de Tizi-Ouzou, le laboratoire de la station de dessalement de Tizirt ainsi que le laboratoire de la faculté des sciences de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Je tiens à remercier le promoteur, monsieur Dellah pour son soutien et orientations durant la préparation de ce travail. De même pour les travailleurs des différents laboratoires pour leurs aides et conseils.

Mes vifs remerciements vont aussi particulièrement aux Messieurs les membres de jury pour m'avoir fait l'honneur d'examiner et juger mon travail.

Mes reconnaissances vont également à tout le personnel de la station de dessalement de la ville de Tizirt pour leurs précieuses aides en particulier Madame Graradji .M et Mr Tallache le responsable de la station.

Je tiens aussi à remercier mes très chers parents pour leurs soutiens et leur encouragement durant mes études.

Mes meilleurs remerciements vont aux enseignants de l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou qui ont contribué à ma formation.

Je tiens à remercier vivement toutes les personnes ayant porté aide de près ou de loin ainsi que toutes les amis et collègues pour leurs encouragements.

Dédicaces

*À celle qui m'a appris que la patience est la clé du succès et de la
Victoire.*

À ma mère

*À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la science et la volonté forgent
les grands esprits*

À mon père

À ceux qui m'ont toujours soutenu et encouragé

*À mes chers frères; Samir, Saïd et Malik
Et surtout ma chère sœur Karima.*

Yasmina

Liste des figures

Figure n°1 : Schéma générale d'une installation de dessalement (Maurel, 2006).....	4
Figure n°2 : Schéma du principe de l'osmose inverse (Memotec, 2006).....	6
Figure n°3 : Vue générale de la station de dessalement de Tizirt.....	23
Figure n°4 : Tuyau de captage de l'eau de mer.....	24
Figure n°5 : Réservoir cylindrique d'eau traité.....	24
Figure n°6 : Chronologie des opérations unitaires de la station de Tizirt.....	25
Figure n°7 : Variations de températures des eaux.....	33
Figure n°8 : Variation de la turbidité des eaux.....	34
Figure n°9 : Variation du pH des eaux.....	35
Figure n°10 : Variation de la conductivité des trois types d'eau.....	37
Figure n°11 : Variation de la minéralisation du perméat durant les deux mois d'étude.....	39
Figure n°12 : Variation de la teneur en minéraux des eaux de forage destinées à la reminéralisation du perméat.....	40
Figure n°13 : Variation de la teneur en minéraux de l'eau reminéralisée et distribuée de la ville de Tizirt.....	41

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Composition moyenne de l'eau de mer (35g/l)	2
Tableau I.2 : Salinité des mers fermées ou peu ouvertes	3
Tableau I.3 : Composition chimique de l'eau de mer	4
Tableau II.1 : Oligo-éléments et leurs actions sur la santé humaine	9
Tableau II.2 : Relation entre la conductivité et la minéralisation de l'eau	12
Tableau IV.1 : Températures des eaux analysées	32
Tableau IV.2 : Résultats de mesure de la turbidité des eaux analysées	34
Tableau IV.3 : Résultats de mesure du pH des eaux analysées	35
Tableau IV.4 : Valeurs mesurées de la conductivité.....	36
Tableau IV.5 : Résultats des dosages des minéraux	38
Tableau IV.6 : Résultats de la dureté totale	43
Tableau IV.7 : Résultats du dosage de paramètres de pollution	44
Tableau IV.8 : Résultats du dosage de chlore résiduel libre.....	45
Tableau IV.9 : La balance ionique (résultats exprimés en mEq/l).....	47
Tableau V.10 : Résultats des analyses bactériologiques	47

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer	2
I.1 Introduction	2
I.2 Composition et salinité de l'eau de mer	2
I.3 Composition chimique de l'eau de mer	3
I.4 Dessalement de l'eau de mer	4
I.4.1 Définition	4
I.5 Description des différents procédés de dessalement	5
I.5.1 Le procédé membranaire	5
I.5.1.1 Le principe de l'osmose inverse	5
I.5.2 Le dessalement dans le monde	6
I.5.3 Le dessalement en Algérie	7
Chapitre II : l'eau potable et la reminéralisation	8
II.1 L'eau potable	8
II.2.1 Introduction	8
II.2.2 La composition de l'eau	8
II.2.3 Caractéristiques et propriétés d'une eau potable	10
II.1.3.1 Paramètres organoleptiques	10
II.1.3.2 Paramètres physico-chimiques	11
II.1.3.3 Caractéristiques microbiologiques	16
II.1.4 Les normes de potabilités	17
II.1.5 L'eau en Algérie	17
II.1.5.1 L'approvisionnement en eau potable en Algérie	18
II.1.5.2 Effort de l'Algérie dans la mobilisation des ressources	18
II.2 La reminéralisation	19
II.2.1 Introduction	19
II.2.2 Définition de la reminéralisation	19
II.2.3 Technologies de la reminéralisation	19
II.2.3.1 La reminéralisation chimique	19
II.2.3.2 Reminéralisation par mélange aux minerais d'une eau de source	20
II.2.3.3 Reminéralisation par dissolution des minerais naturels dans l'eau dessalée	20

Chapitre III : Matériels et méthodes	23
III.1 Introduction.....	23
III.2 Présentation de la station de dessalement de Tizirt.....	23
III.3 Captage et pompage de l'eau brute	24
III.4 Echantillonnage et choix des points de prélèvement	25
III.4.1 Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques	26
III.4.2 Echantillonnage destiné aux analyses bactériologiques.....	26
III.5 Transport et stockage des échantillons.....	26
III.6 Méthodes d'analyses	26
III.6.1.Méthodes d'analyses physico-chimiques.....	26
III.6.1.1.Méthodes d'analyses électrochimiques.....	27
III.6.1.2.Méthodes d'analyses volumétriques	27
III.6.1.3.Méthodes d'analyses spectro-photométriques	28
III.6.1.4.Méthodes d'analyses photométriques	29
III.6.2.Méthodes d'analyses bactériologiques.....	29
III.6.2.1.Dénombrement des germes totaux à 37°C et à 22°C.....	30
III.6.2.2.Recherche et dénombrement des coliformes et de E. coli	30
Chapitre IV : Résultats et discussion	32
IV.1 Evaluation de la qualité de l'eau de la station de dessalement de TIGZIRT	32
IV.2 Interprétation des résultats des analyses physico-chimiques	32
IV.2.1 La température	32
IV.2.2 La turbidité.....	34
IV.2.3 Le pH.....	35
IV.2.4 La conductivité.....	36
IV.2.5 La minéralisation globale de l'eau	38
IV.2.6 La dureté totale des eaux analysées (TH)	43
IV.2.7 Les paramètres indicateurs de pollution.....	44
IV.2.8 Le chlore résiduel libre	45
IV.3 Contrôle des résultats de l'analyse de l'eau	46
IV.4 Interprétation des résultats d'analyses bactériologiques.....	47
Conclusion	49
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction générale

Introduction

L'eau couvre la proportion la plus grande de la surface de la planète terre. Cette matière étant considérée comme une source vitale, elle est significativement incluse dans les activités quotidiennes de l'homme comme l'agriculture et la consommation. Cependant, l'eau se trouvant dans la nature n'est pas directement accessible à la consommation humaine. De plus, suite à l'évolution rapide de la population, la disponibilité de l'eau potable est devenue un problème majeur dans plusieurs pays, plus particulièrement au niveau des pays du tiers monde.

Dans le but de faire face à cette pénurie d'eau, l'homme cherche à explorer d'autres ressources. De nos jours, l'une des solutions envisagées par les pays surplombant la mer est d'adoucir l'eau de mer qui est disponible avec abondance. Actuellement, les procédés de dessalement sont considérés comme un moyen industriel fiable pour la production de l'eau. De ce fait, cette technique est largement adoptée par plusieurs pays à travers le monde.

Egalement, l'Algérie a lancé ces dernières années, un programme ambitieux d'installation de stations de dessalement pour faire face aux problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse. Dans ce cadre, la station de dessalement de l'eau de mer au niveau de la ville de Tiggirt fournit de l'eau potable pour la population de la région afin de combler le déficit.

Il existe diverses techniques de dessalement de l'eau, certaines sont plus adaptées à un environnement donné que d'autres. Parmi celles-ci, le procédé membranaire d'osmose inverse qui est considéré actuellement comme étant le plus concurrent, fournit aux populations une eau quantitativement satisfaisante et couvre le déficit en eau douce provenant des autres ressources.

Néanmoins, l'eau purifiée et déminéralisée produite par les stations de dessalement n'est pas prête à la consommation. Par contre, celle-ci nécessite un suivi de qualité afin de subir la reminéralisation adéquate au moyen de traitements chimiques et microbiologiques afin que cette eau réponde aux normes standards de potabilité.

Dans ce contexte s'inscrit ce travail, qui s'appuie sur la qualité de l'eau produite par le dessalement, sa susceptibilité de porter atteinte à la santé humaine et enfin la salubrité du milieu aquatique.

L'objectif de ce travail est basé sur l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux suivantes:

- L'eau dessalée (perméat) produite au niveau de la station de Tizirt par la technique de l'osmose inverse;
- Les eaux de forages de MTI (Makouda, Tizirt et Iflissen);
- L'eau de consommation, source d'alimentation en eau potable de la population de la ville de Tizirt, qui est un mélange du perméat avec les eaux de forages MTI.

Partie bibliographique

Chapitre I

Généralités sur le dessalement de l'eau de mer

I.1 Introduction

Devant les besoins croissants en eau douce et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles. Les pays arides se trouvent déjà dans une situation de rareté avec risque d'aggravation vers la pénurie. L'augmentation des besoins est liée à la croissance démographique, mais aussi au développement économique, et très largement dominée par le domaine agricole. Par conséquent, l'humanité est conduite à étudier et à appliquer divers procédés permettant d'obtenir de l'eau douce à partir de l'eau de mer et des eaux saumâtres dans des conditions admissibles du point de vue économique. L'une des techniques les plus prometteuses est le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

I.2 Composition et salinité de l'eau de mer

La mer est une source étendue d'eau brute qui peut être traitée pour obtenir une eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs salinités. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 à 37 g/l (Maurel, 2006). La concentration des sels dissous pour une salinité moyenne de 35 g/l est représentée dans le tableau I.1 (Desjardins, 1997).

Tableau I.1 : Composition moyenne de l'eau de mer de la méditerranée (35g/l)

Sels	Concentrations
NaCl	27,2 g/l
MgCl ₂	3,8 g/l
MgSO ₄	1,7 g/l
CaSO ₄	1,26 g/l
K ₂ SO ₄	0,86 g/l

Le tableau I.2 ci-dessous, illustre la variation de la salinité dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes. L'eau de mer est un milieu légèrement basique avec un PH moyen variant entre 7,5 et 8,4 (Maurel, 2006).

Tableau I.2 : Salinité des mers fermées ou peu ouvertes (Maurel, 2006).

Mer	Concentration (g/l)
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	~40
Mer Baltique	7
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe arabo-persique	40 à 70
Mer Noire	20

I.3 Composition chimique de l'eau de mer

Généralement, les sels présents dans l'eau se trouvent sous forme de cations et anions. Le tableau I.3 présente les principaux ions que l'on retrouve dans l'eau de mer (Desjardins, 1997).

Tableau I.3 : Composition chimique de l'eau de mer (Desjardins, 1997).

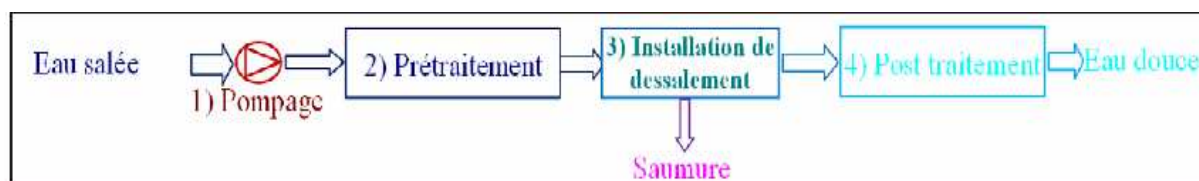
Type d'ions		Salinité (g/l)	Quantité totale de matières en solution (%)
<i>Anions</i>	Chlorures	18,98	55,04
	Sulfates	2,65	7,68
	Bicarbonates	0,140	0,41
	Bromures	0,065	0,19
	Fluorures	0,0013	0,00
	Acide borique	0,0260	0,07
<i>Cations</i>	Sodium	10,56	30,61
	Magnesium	1,27	3,69
	Calcium	0,40	1,16
	Potassium	0,38	1,10
	Strontium	0,013	0,04

I.4 Dessalement de l'eau de mer

I.4.1 Définition

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage) est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable après traitement. La technique de déminéralisation consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer l'excès des ions en solution causant une minéralisation excessive. L'élimination peut être obtenue grâce à des procédés variés de traitement des éléments constituant la solution saline, dont les plus répandus sont les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes (Morvan, 2006).

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 04 postes (Figure n°1).

**Figure n°1** : Schéma générale d'une installation de dessalement (Maurel, 2006)

I.5 Description des différents procédés de dessalement

De nos jours, c'est possible de dessaler l'eau de mer afin de la rendre consommable. De même, de nombreux systèmes ont connu des développements remarquables au sein de cette industrie.

En fait, la totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés, les procédés thermique, basant sur l'évaporation et les procédés membranaires, appliquant le principe de l'osmose inverse. Ce dernier est de plus en plus mis en œuvre, que ce soit pour des petites, moyennes ou très grandes capacités de production (> 300 000 m³/j) (Memotec, 2006).

I.5.1 Le procédé membranaire

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. De tels procédés sont à priori séduisants puisqu'ils doivent pouvoir fonctionner à la température ambiante et qu'ils n'impliquent pas un changement de phase. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés, qui sont l'électrodialyse et l'osmose inverse (Maurel, 2006).

I.5.1.1 Le principe de l'osmose inverse

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous (Binnie, 2002).

Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane. La différence de hauteur est appelée pression osmotique.

En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique, l'effet inverse se produit. Les liquides sont refoulés au travers de la membrane, laissant les solides dissous derrière.

Pour purifier l'eau à l'aide de membrane d'osmose inverse, l'effet d'osmose naturel doit être inversé, la figure n° 2 illustre ce phénomène. Afin de forcer l'eau de la solution de l'eau de mer (concentration en sel élevée) à aller dans la solution douce (concentration en sels basse), l'eau doit être pressurisée à une pression d'opération supérieure à la pression osmotique.

Ce procédé est actuellement le plus utilisé notamment en Algérie, c'est le procédé utilisé à l'unité de dessalement de l'eau de mer de la ville de Tizirt.

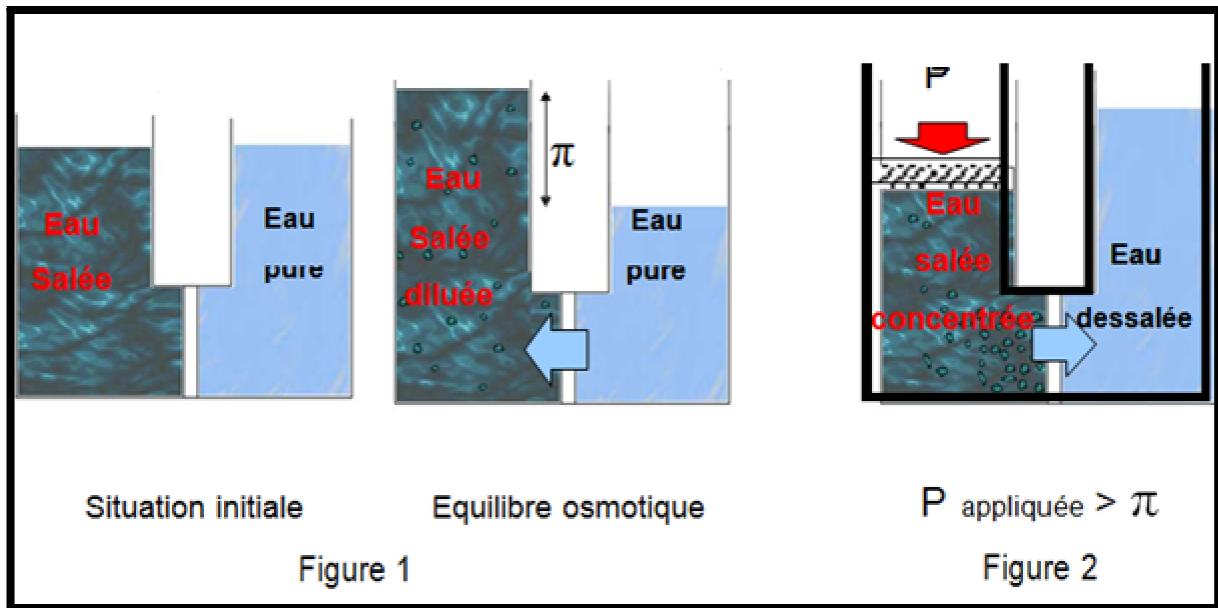


Figure n°2 : Schéma du principe de l'osmose inverse (Memotec, 2006)

I.5.2 Le dessalement dans le monde

La nécessité de recourir au dessalement de l'eau de mer est de plus en plus sollicitée dans le monde et l'adaptation de cette technique par de nombreux pays est en croissance continue. La production mondiale d'eau douce à partir d'eaux saumâtres ou salées dépasse $25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$. Les principaux pays qui ont adoptés cette technique pour la production de l'eau douce sont : l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %) en admettant une consommation moyenne de 250 L/j par habitant (Patrick, 2003).

Notamment, en Méditerranée les besoins en eau à présent et dans le futur s'amplifient d'une manière alarmante. Le dessalement est depuis longtemps une source importante d'eau dans certaines parties de la Méditerranée. Les usines de dessalement se trouvent dans les régions ayant un climat chaud, une pluviométrie relativement faible et imprévisible et où les

ressources en eau ne peuvent répondre aux demandes de pointe de la période touristique (Athènes, 2001).

I.5.3 Le dessalement en Algérie

À l'instar des autres pays méditerranéens, l'Algérie est confrontée davantage à d'énormes problèmes en matière de politique de l'eau. La surcharge du littoral, les disparités entre zones rurales et urbaines, les périodes de sécheresse et l'accroissement de la pollution sont autant de facteurs qui déstabilisent l'équilibre déjà précaire de l'alimentation en eau. L'Algérie dispose de ressources en eau très limitées particulièrement au nord où vivent les trois quarts de la population.

La crise de ressources hydriques qui a menacé ces dernières années l'alimentation en eau potable la population dans diverses régions du pays a accentué l'intérêt de l'Algérie au dessalement. Le projet de dessalement d'eau de mer fait partie d'un programme d'urgence décidé par le gouvernement pour pallier durablement au déficit en ces ressources engendré par la situation de sécheresse qu'a connue le pays pendant les années quatre-vingt dix (MRE, 2003)

Les installations de dessalement d'eau de mer entamées en 2002 font partie d'un projet d'alimentation en eau potable de la région côtière algérienne. A cet effet, la réalisation du projet va se traduire par la production du 57500 m³/j répartis comme suit:

- Wilaya d'Alger : 12 stations pour un volume journalier de 30.000m³.
- Wilaya de Boumédès : 01 station pour un volume journalier de 5000m³.
- Wilaya de Tipaza : 01 station pour un volume journalier de 5000m³.
- Wilaya de Skikda : 04 stations pour un volume journalier de 10.000m³.
- Wilaya de Tlemcen : 02 stations pour un volume journalier de 5000m³.
- Wilaya de Tizi-Ouzou : 01 station pour un volume de 2500m³.

Le marché est signé entre l'Algérienne des eaux (ADE), d'une part, et :

- 1) L'entreprise nationale Hydro-traitement le 11/05/2002.
- 2) L'entreprise allemande Linde-Kca le 11/05/2002 (Bessnasse, 2006).

Chapitre II

L'eau potable et la reminéralisation

II.1 L'eau potable

II.2.1 Introduction

Dans la vie quotidienne, notre existence est strictement liée à l'eau sous toutes ses formes lesquelles sont diverses. Nous citerons les eaux des lacs et rivières, les eaux de sources, les eaux souterraines et les eaux de mer...etc. Toutes ces eaux diffèrent les unes des autres de par leurs compositions physico-chimiques et biologiques. Dans ses activités diverses, l'homme utilise le plus souvent l'eau pour :

- La consommation : L'eau potable
- L'agriculture : les eaux d'irrigation
- L'industrie : les eaux industrielles

L'eau destinée à la consommation humaine, en plus de la régularité de sa provision, doit répondre aux normes standards de point de vu qualité physico-chimique et biologique (Les cahiers techniques du stage T 22, ADE).

La qualité d'une eau de consommation repose sur l'étude des éléments minéraux dissous (qualité physico-chimiques), et le dénombrement de la charge bactérienne se développant dans l'eau (qualité microbiologique).

II.2.2 La composition de l'eau

Généralement, l'eau n'est pas pure chimiquement quelle que soit sa source et son origine ; que ce soit de l'eau de mer, l'eau de rivière, l'eau minérale ou l'eau de robinet. En effet, l'eau est un solvant, et au cours de son cycle naturel (ruissellement, infiltration ...) elle dissout de nombreuses substances. Essentiellement ces substances qu'on désigne souvent sous le nom des sels minéraux.

Tous les organismes vivants ont besoin des sels minéraux, qui sont nécessaires au maintien de la vie et de la santé, ces principaux minéraux se présentent en quantités infimes (quelques mg/l), qui sont : Calcium, phosphore, magnésium, sodium, potassium, le chlore et le soufre.

Parmi ces substances il ya des oligo-éléments qui sont infiniment utiles et que l'on trouve en très petites quantités: fer, cuivre, iode, cobalt, zinc, fluor, aluminium, bore,

molybdène, sélénium, cadmium...etc. Le fer et le fluor sont sans doute les plus connus respectivement pour leurs actions contre l'anémie et les caries (Aroua, 1981). Le tableau II.1 illustre quelques oligo-éléments et leur action sur la santé humaine.

Tableau II.1 : Oligo-éléments et leurs actions sur la santé humaine

Oligo-éléments	Actions
Fluor	Action contre les caries.
Bore	Action sur la structure osseuse.
Chrome	Participe à la gestion des glucides et des lipides.
Cobalt	Composant de la vitamine B12.
Cuivre	Intervient dans le fonctionnement des enzymes, la synthèse de protéines et la formation de globules rouges.
Fer	L'un des éléments essentiels de l'hémoglobine (sang).
Iode	Composante des hormones de la glande thyroïde.
Lithium	Influence l'équilibre nerveux.
Manganèse	Indispensable pour l'action de certains enzymes, il améliore la glycémie.
Molybdène	Constituant de certains enzymes.
Sélénium	Protection des radicaux libres, neutralise l'oxydation cellulaire.
Silicium	Agit sur la structure osseuse.
Strontium	Intervient dans la formation osseuse.
Vanadium	Activateur de la croissance.
Zinc	Présent dans de nombreux enzymes, il intervient dans la synthèse des protéines.

II.2.3 Caractéristiques et propriétés d'une eau potable

Une eau destinée à la consommation humaine est considérée comme potable si elle répond à des exigences de qualité bien définies à l'égard de ses caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques qui ne doivent pas porter atteinte à la santé du consommateur. On distingue les paramètres suivants qui caractérisent une eau potable :

II.1.3.1 Paramètres organoleptiques

Une eau de consommation doit être limpide, fraîche, exempte de couleur ainsi que d'odeur et de saveur désagréables (Dupont, 1986).

a) La couleur

La couleur de l'eau est due aux différents éléments qui s'y trouvent à l'état dissous ou colloïdal. Une eau colorée n'est pas agréable pour l'usage domestique et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur la potabilité.

b) Le goût et la saveur

C'est un critère d'appréciation gustative de la qualité de l'eau. Une eau potable de bonne qualité a un bon goût et ne présente pas l'odeur. La saveur dépend essentiellement de la qualité et la nature des corps dissous. Toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition.

A l'état naturel, une concentration de la minéralisation, introduit un goût plus ou moins accentué dans l'eau, si par exemple l'eau renferme une grande quantité de chlore, elle aura une saveur saumâtre, si elle contient de forte quantité de sels de magnésium l'eau aura un goût amer, les mauvais goûts de l'eau ne sont pas graves du point de vue de l'hygiène, mais ils sont désagréables pour l'emploi de cette eau comme boisson.

c) L'odeur

Les odeurs résultent de la présence des substances volatiles dans l'eau qui peuvent être minérales ou organiques en solution telle que (NH_3 , H_2S) (Rejsek, 2002). L'odeur de l'eau signifie généralement un indice de fermentation microbienne et un signe de pollution (Rodier *et al*, 2005).

d) Turbidité

C'est la réduction de la transparence d'un liquide. Elle est due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée dans les eaux, par la présence de matières en suspension fines comme les argiles, les limons, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (Rejsek, 2002).

Pour la sécurité de l'eau de boisson, il faut une turbidité inférieure à 5 NTU (Unité néphélométrique de turbidité). Elle est mesurée par un turbidimètre (Rodier, 1996).

II.1.3.2 Paramètres physico-chimiques**a) Température**

Pour une eau de boisson, le facteur le plus apprécié est la température. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du PH. Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes (Rodier, 1996).

b) Le PH

Le PH est un paramètre d'appréciation de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau donc il est très important dans la détermination de l'équilibre calco-carbonique. Le PH dépend de l'origine des eaux et de la nature géologique des terrains traversés. Il n'a pas signification hygiénique, mais il présente une notion très importante pour la détermination de l'agressivité de l'eau (Kettab, 1992).

c) La conductivité

La conductivité est un indice de l'abondance des ions dans l'eau. La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous. Elle constitue un critère d'appréciation de la minéralisation globale d'une eau (tableau II.2), elle dépend de la température de l'eau, de la concentration et la nature des ions mobiles dissous dans cette eau (Rejsek, 2002).

Tableau II.2 : Relation entre la conductivité et la minéralisation de l'eau (Rejesck, 2002).

Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Appréciation de la minéralisation
Conductivité < 100	Minéralisation très faible
100 < conductivité < 2 00	Minéralisation faible
200 < conductivité < 333	Minéralisation moyenne accentuée
333 < conductivité < 666	Minéralisation moyenne
666 < conductivité < 1000	Minéralisation importante
Conductivité > 1000	Minéralisation excessive

d) La salinité

La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorures de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.) au travers la conductivité électrique de cette eau. Selon Maurela (2006), La salinité d'une eau correspond à la teneur globale en cations et en anions, il s'exprime en mg/l. Les eaux de mer sont caractérisées par une salinité très importante.

e) La minéralisation globale

Elle donne des renseignements sur la concentration des éléments minéraux présents dans l'eau :

1- Le calcium Ca^{2+}

C'est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches sous forme de carbonates, c'est un composant majeur de la dureté, il existe surtout à l'état de bicarbonates(HCO_3).

2- Le magnésium Mg^{2+}

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté d'une eau. A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, donne un gout

désagréable à l'eau. Comme le calcium, c'est un élément indispensable pour la croissance. Il joue le rôle d'élément plastique dans l'os et dynamique dans les systèmes enzymatiques et hormonaux. Il est présent dans l'eau souvent à de forte concentration (Rodier, 1996).

3- La dureté

La dureté d'une eau ou le titre hydrotimétrique est une mesure globale de la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium en excès, elle provient essentiellement du lessivage des roches sédimentaires et des sols.

La dureté entraîne l'entartrage; des difficultés à cuisson et une consommation excessive du savon (Desjardins, 1990).

4- L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonate et hydroxydes.

- le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et carbonates alcalins caustique.
- Le titre alcalimétrique complet ou TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates (Rodier, 1996).

5- le potassium

La teneur en potassium dans l'eau naturelle est relativement constante et ne dépasse pas habituellement les 10 à 15 mg/l (Rodier et al, 2005).

Cependant, certains rejets industriels, en particulier des mines de potasse et d'usine d'engrais peuvent entraîner dans l'eau des quantités de potassium relativement importantes.

6- Les chlorures

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables, leur présence en quantité excessive dans l'eau la rend corrosive pour les réseaux de distributions et nocive pour les êtres humains et les plantes (Rodier et al, 2005).

f) Les éléments indésirables

Les principaux éléments indésirables affectant la qualité de l'eau potable sont les suivants :

1- Aluminium (Al^{3+})

L'aluminium est très répandu sur la terre, il vient par ordre d'importance après l'oxygène et le silicium. Il ne présente aucun inconvénient pour l'organisme mais des concentrations importantes dans l'eau la rendent désagréable à la consommation. (Rodier et al, 2005).

A des concentrations supérieures à 30 $\mu g/l$ en aluminium, l'eau peut être considérée comme dangereuse lorsqu'elle est utilisée pour la dialyse rénale (Vilagines, 2003).

2- Fer (Fe)

Le fer contenu dans les eaux superficielles peut avoir une origine tellurique, mais, le plus souvent, il provient de lessivage de terrain et de pollutions minières ou métallurgiques. Indépendamment d'une saveur désagréable pouvant être perçue à partir de 0,05 mg/l, le fer développe dans l'eau une turbidité rougeâtre peu engageante pour le consommateur (Rodier et al, 2005).

3- Manganèse (Mn^{2+})

On peut le trouver à des concentrations de l'ordre de 1 mg/l dans les eaux souterraines et à moins de 0,05 mg/l dans les eaux de surfaces. Il est responsable de la formation de couche noirâtre sur les canalisations lesquelles, lorsqu'elles se détachent donnent une couleur douteuse à l'eau (Rodier, 1996).

4- Zinc (Zn^{2+})

D'une façon générale, les eaux à pH faible ont des teneurs en zinc plus importantes. La présence de zinc dans les eaux de surface doit être rattachée à des activités industrielles. Par contre, le zinc retrouvé dans les eaux de distribution à des teneurs pouvant dépasser 1mg/l provient généralement des canalisations de laiton ou de fer galvanisé, attaquées par les eaux agressives ou riches en chlorures et sulfates (Rodier et al, 2005).

g) Éléments indicateurs de pollution

Pour le milieu aquatique la pollution désigne toute modification de son équilibre. La pollution est à l'origine des perturbations des écosystèmes aquatiques et, de la détérioration de la qualité de l'eau qui devient impropre à certains usages, comme l'alimentation humaine.

Pour détecter la pollution de l'eau potable certains éléments sont recherchés :

1- Les nitrates NO_3^-

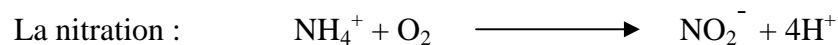
Constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, il se trouve fréquemment dans les eaux naturelles. Ils ont pour origine une nitrification de l'azote, mais peuvent également être en liaison avec la teneur en nitrates des terrains traversés.

2- Les nitrites NO_2^-

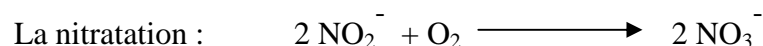
Selon RODIER *et al* (2005), les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Leur présence est due, soit à l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal sous l'action des bactéries nitreuses de types nitrosomonas, soit à la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes.

3- L'azote ammoniacal

Selon CARDOT (1999), le terme ammoniac désigne à la fois la forme non ionisé NH_3 et le cation ammonium (NH_4^+). Les eaux naturelles contiennent de l'azote ammoniacal, produit normal de la biodégradation incomplète de la matière organique, cependant sa teneur devrait être relativement faible, puisque l'ammonium est oxydé graduellement en nitrites (NO_2^-) puis en nitrates (NO_3^-) suivant les réactions :



Nitrosomonas



L'ammoniac favorise le développement des bactéries dans les réseaux de distribution d'eau potable, sa présence est un signe de pollution par les eaux usées et d'autres rejets.

4- Les sulfates

Les eaux naturelles contiennent toujours des sulfates à des concentrations variables. Leur présence a diverses origines; elle peut résulter de la dissolution des sulfates de calcium (gypse) ou de la matière organique d'origine animale. A des concentrations élevées les sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux.

5- Les phosphates PO_4^{-3}

Leur présence dans les eaux naturelles peut provenir, en plus de la dégradation de la matière organique, de la nature des terrains traversés.

h) Les éléments toxiques

Les principaux éléments toxiques affectant la qualité de l'eau potable sont, le plomb (Pb) et le mercure (Hg); vu leur effets néfastes pour l'organisme humain, ces éléments ne doivent pas être présent dans l'eau destinée a la consommation.

1- Le plomb

Il est présent dans les eaux naturelles à des concentrations faibles, mais sa teneur augmente lorsque les eaux d'alimentations agressives séjournent dans des canalisations en plomb (Vilagines, 2003).

2- Le mercure

Il s'agit de la couleur, de l'odeur et de la turbidité. Ils n'ont pas de signification sanitaire, mais leur dégradation peut indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distributions (FCE, 2003).

En générale, l'eau d'alimentation et l'eau de mer ont des teneurs inférieure à 0,1 $\mu\text{g/l}$ de mercure total, cependant ces eaux sont plus exposées aux rejets d'effluents industriels contenant du mercure (industrie des matières plastiques avec catalyseur en mercure).

II.1.3.3 Caractéristiques microbiologiques

Une eau d'alimentation ne doit renfermer aucun germe pathogène. On ne peut déclarer une eau comme potable que lorsque les tests microbiologiques sont négatifs, c'est-à-dire qu'il ya aucun danger sur la santé humaine. Un ensemble de micro-

organismes peuvent se développer dans l'eau, ils sont d'origine diverses, la présence de germes fécaux dans l'eau peut suspecter la présence de germes pathogènes d'où le risque sur la santé humaine. Les germes test à rechercher sont les suivant :

- Coliformes et *Escherichia Coli* ;
- Entérocoques fécaux, Streptocoques fécaux ;
- Colstridium et Sulféto- réducteurs.

II.1.4 Les normes de potabilités

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé des consommateurs.

Les valeurs des différentes paramètres de qualité des eaux sont, à titre de recommandation, sous forme de valeurs guides ou niveau guides (NG) qui correspond à la concentration à la quelle l'eau ne présente pas de risque sensible pour la santé du consommateur et conserve ses qualités organoleptiques.

Ces recommandations concernent un grand nombre de paramètres mais n'ont pas de caractères contraignants; ainsi chaque pays pourra se servir de ces recommandations pour mettre en place sa propre législation tel que le cas de l'Algérie (Annexe II) (Rejsek, 2002).

L'Organisation Mondiale de la Santé ou OMS, a instauré quelques lignes directrices concernant la qualité requise pour que l'eau soit dite potable (Annexe III). Ces lignes directrices sont les références internationales qui garantissent une eau saine et donc potable.

II.1.5 L'eau en Algérie

Ces dernières années, comme tous les pays hydro-sensibles, l'Algérie a confronté un stress hydrique chronique sans précédent notamment en (2002-2003). Les aléas climatiques persistants, ainsi qu'une forte croissance de la population dans les grands centres urbains ont largement contribué à l'actuelle carence de ressources mobilisables pour les besoins élémentaires du pays. Les politiques publiques de ces dernières années ne cessent de rattraper

les déficits, qu'ils s'agissent des retards enregistrés dans les programmes de construction des infrastructures de mobilisation des réseaux de distributions ou des canalisations d'assainissements et de stations d'épuration (Saidi, 1997 ; MRE, 2005).

II.1.5.1 L'approvisionnement en eau potable en Algérie

L'Algérie est un pays semi-aride dont la pluviométrie moyenne annuelle varie de 200 à 400mm, les ressources en eau sont faibles, irrégulières et principalement localisées dans le nord du pays. L'apport total des précipitations serait de l'ordre de 100 milliards de m³ d'eau par année, dont 12 milliards de m³ en écoulement superficiels, seuls 6 milliards de m³ sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (Kettab, 2001).

II.1.5.2 Effort de l'Algérie dans la mobilisation des ressources

Afin de faire face au problème de la pénurie d'eau, le gouvernement Algérien a mis en place un programme d'urgence basé sur une nouvelle stratégie favorable à la diversification des ressources en eau potable pour améliorer la couverture des besoins en ressources hydriques que ce soit pour l'usage domestique ainsi qu'industriel et surmonter les conditions climatiques défavorables (MRE, 2003).

Parmi les principaux projets réalisés et en cours de réalisation sont :

- Renforcement des infrastructures hydriques (constructions de nouveaux barrages et stations de traitements)
- Renouvellement et extension des réseaux de distribution d'eau d'une région à l'autre
- Réutilisation des eaux usées épurées
- Dessalement de l'eau de mer
- Déminéralisation des eaux saumâtres (souterraines et superficielles) et leur reminéralisation augmentent d'une façon considérable les ressources en eau potable.

II.2 La reminéralisation

II.2.1 Introduction

L'eau produite par les usines de dessalement appelée perméat est caractérisée par une teneur faible en minéraux, dureté, alcalinité, et pH. Par conséquent, l'eau dessalée doit être conditionnée et reminéralisée avant sa distribution pour l'usage. Les principaux objectifs types de reminéralisation sont : (1) assurer la protection du système de distribution de l'eau contre la Corrosion; (2) ajouter les minerais essentiels requis pour satisfaire les besoins diététiques humains et pour faciliter d'autres utilisations potentielles de l'eau dessalée telles que l'irrigation.

II.2.2 Définition de la reminéralisation

Des produits chimiques contenant le calcium, tels que la chaux, la calcite, l'hypochlorite de calcium ou le calcium et le magnésium tels que la dolomite sont typiquement ajoutés à l'eau dessalée dans un dosage de 60 à 120 mg/l (comme CaCO₃) pour la commande et le contrôle de corrosion du système de distribution de l'eau ainsi que la protection de la santé publique.

Ces produits chimiques produisent le carbonate de calcium ou une combinaison de carbonate de calcium et de magnésium dans l'eau dessalée qui, se précipitent en quantités proportionnées sur la surface intérieure de pipe de distribution pour former le film protecteur qui sert de barrière physique empêchant la corrosion (Nikolay, 2011).

II.2.3 Technologies de la reminéralisation

La reminéralisation de l'eau dessalée est typiquement accomplie par trois groupes principaux de technologies, qui sont : reminéralisation chimique, mélange de l'eau dessalée au une eau de source riche en minerais, et par dissolution des minerais naturels.

II.2.3.1 La reminéralisation chimique

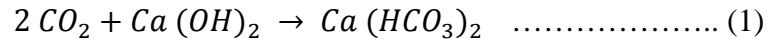
Processus qui sont basés sur l'addition directe des produits chimiques contenant du calcium ou du magnésium.

a) Addition du calcium

On ajoute seulement le calcium à la plupart des eaux de mer et saumâtres dans les stations de dessalement sous forme de chaux car cette dernière est aisément disponible comme

produit commercial et moins chère à l'emploi pour réaliser le même niveau cible de la dureté totale de l'eau par rapport à celle employé avec des sels de magnésium. La reminéralisation en calcium est nécessaire parce que le magnésium seul ne peut pas assurer la protection proportionnée vis-à-vis de la corrosion.

La reminéralisation en utilisant la chaux et l'anhydride carbonique est donnée par la réaction chimique présentée ci-dessous :



b) Addition de Magnésium

Tandis qu'il est acceptable que la dureté totale soit ajoutée seulement comme dureté de calcium afin de protéger le système de distribution de l'eau contre la corrosion. Néanmoins, une telle eau assure peu la protection sanitaire humaine, et peu de valeur agricole. Par conséquent, l'ajout de magnésium à l'eau dessalée permet d'améliorer la qualité de l'eau obtenue. Par conséquent, quelques pays, tels que l'Israël, est actuellement pratique et projette pour l'addition de magnésium à l'eau dessalée. Actuellement, aux usines de dessalement, le magnésium est supplémentaire comme produit disponible dans le commerce de catégorie comestible le sulfate de magnésium ou chlorure de magnésium.

II.2.3.2 Reminéralisation par mélange aux minerais d'une eau de source

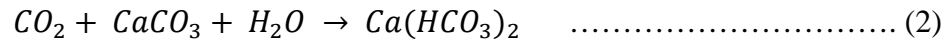
Cette technique de reminéralisation est réalisée par le mélange de l'eau dessalée à une partie de l'eau de source utilisée pour le dessalement, ou avec d'autres sources d'eau douce. Cette pratique est fréquemment employée dans les usines de dessalement des eaux saumâtres par l'osmose inverse et les usines thermiques de dessalement; ainsi le mélange de l'eau saumâtre de bas-salinité à de l'eau dessalée est une pratique courante. De plus, cette méthode est acceptable seulement quand l'eau de source est de haute qualité et elle est traitée préalablement convenablement pour des soucis microbiens et chimiques et quand le mélange répond à toutes les normes applicables de qualité de l'eau.

II.2.3.3 Reminéralisation par dissolution des minerais naturels dans l'eau dessalée

a) Addition de calcium

La pierre à chaux (calcite) est un minerais naturel composée essentiellement de carbonate de calcium (CaCO_3). Le traitement de l'eau par ajout de calcite laisse dissoudre

cette source de calcium. La réaction à de l'anhydride carbonique permet d'ajuster la dureté de calcium et l'alcalinité de bicarbonate à l'eau dessalée. La reminéralisation en utilisant la calcite et l'anhydride carbonique est donnée par la réaction chimique suivante:



La comparaison des équations précédentes (1) et (2) indique que la reminéralisation employant la calcite exige deux fois moins d'anhydride carbonique, le coût de chaux est habituellement plus de deux fois plus élevé que celui de la calcite. Par conséquent, l'utilisation de la calcite est habituellement plus rentable par rapport à l'application de la chaux pour la reminéralisation.

b) Addition de dolomite

La dolomite [$CaMg(CO_3)_2$] est un minerai naturel qui contient le carbonate de calcium et de magnésium. La circulation de l'eau dessalée à travers un conjoncteur de dolomite permet d'ajouter les deux minerais en question, le calcium et le magnésium à l'eau obtenue. Dans la nature, le minerai de roche de dolomite est souvent non-homogène et il est intercalé avec de la pierre à chaux. Par conséquent, il est plus difficile de prévoir la qualité exacte de l'eau produite.

La solubilité de la dolomite pour enrichir l'eau dessalée avec des quantités proportionnées de calcium et de magnésium nécessite la réduction du pH de cette eau au moins de 4.5 par l'addition d'acide sulfurique ou d'anhydride carbonique. Du moment que, le magnésium ne se dissout pas bien dans l'eau avec pH supérieur à 5.5 l'ajustement du pH au niveau cible de 8 à 8.5 nécessaire pour la protection de corrosion a souvent comme conséquence un niveau relativement bas de l'alcalinité de carbonate et du magnésium dans l'eau par rapport à la dureté de calcium.

La reminéralisation de l'eau avec la dolomite est moins faisable par rapport à l'utilisation de la pierre à chaux pour plusieurs raisons:

- Habituellement la dolomite est plus coûteuse et moins disponible que la pierre à chaux.
- La solubilité de la dolomite est plus de trois fois plus lente que la dissolution de la pierre à chaux. Ceci nécessite l'installation de conjoncteurs de dolomite de taille sensiblement plus grande et par conséquent plus coûteux.

- La dolomite est naturellement non-homogène par rapport à la pierre à chaux.

En raison des contraintes de processus énumérées ci-dessus et de la disponibilité limitée de la dolomite de catégorie alimentaire. L'application de ce minerai pour la reminéralisation de l'eau dessalée n'est pas mise en œuvre (Nikolay, 2011).

Partie expérimentale

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1 Introduction

L'Algérie est classifiée dans la catégorie des pays sous le seuil de pénurie d'eau adopté par la banque mondiale. Par conséquent, l'instauration d'un programme permettant de mobiliser les différentes ressources disponibles est nécessaire afin de sécuriser l'alimentation en eau potable. De ce fait, le dessalement des eaux de mer est l'une des solutions adéquates pour cette problématique.

L'objectif de ce travail est basé d'une part, sur l'analyse des eaux obtenues après dessalement au niveau de la station de la ville de Tizirt, et d'autre part sur l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de trois types d'eau :

- L'eau dessalée (perméat) produite au niveau de la station de Tizirt par la technique de l'osmose inverse;
- Les eaux de forages MTI (Makouda, Tizirt et Iflissen);
- L'eau de consommation, source d'alimentation en eau potable de la population de la ville de Tizirt qui est un mélange du perméat avec les eaux de forages MTI.

Utilisant les méthodes d'analyse au niveau des différents laboratoires spécialisés, en l'occurrence le laboratoire de l'ADE de Tizi-Ouzou, le laboratoire de la station de dessalement de Tizirt ainsi que le laboratoire de la faculté des sciences de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

III.2 Présentation de la station de dessalement de Tizirt

L'unité de dessalement de l'eau de mer de la ville de Tizirt située à l'entrée de la ville à quelques mètres de la mer près d'une plage dite TASSALAST (Figure n°3). Elle a été réalisée par l'entreprise Hydrotraitement et a été inaugurée en Aout 2004. La station alimente en eau potable la population de la ville de Tizirt et ses environs estimée à 17000 habitants avec une capacité de 2500 m³/jour.



Figure n°3 : Vue générale de la station de dessalement de Tizirt

III.3 Captage et pompage de l'eau brute

L'eau est acheminée à partir de la mer via une conduite munie d'une crépine émergée à une profondeur de 8 mètres comme illustré dans la figure n°4. L'eau brute aspiré par la pompe et refoulée dans une conduite menant vers le système de décantation. Ce dernier est composé de différents compartiments. Des pompes sont installées au fond du bassin de décantation pour l'acheminement de l'eau décantée vers l'installation de traitement; cette dernière consiste de deux systèmes de filtration, filtres à sable et micro-filtres à cartouche.

Les filtres à sable consistent d'une couche de charbon actif ainsi que d'une couche de sable fin. Le charbon sert à éliminer la matière organique et l'odeur, par contre le sable fin retient les particules en suspension. En aval des filtres à sable sont installés des micro-filtres pour l'élimination des impuretés et certaines matières en suspension ainsi que des éléments microscopiques.

Des pompes à haute pression sont installées à la sortie des micro-filtres pour assurer une pression d'exercice supérieure à la pression osmotique. Le procédé d'osmose inverse consiste à éliminer les sels contenus dans l'eau.

L'eau produite par la technique de l'osmose inverse, appelée perméat, présente un pH acide, ce paramètre doit être ajusté à une valeur comprise entre 6,5 et 8,5 propre aux eaux potable et afin d'éviter la corrosion dans les tuyauteries d'alimentation. Pour la correction de pH on ajoute généralement la soude caustique (NaOH). Ensuite on ajoute de l'hypochlorite de sodium (NaOCL) pour assurer la désinfection de l'eau.



Figure n°4 : Tuyau de captage de l'eau de mer



Figure n°5: Réservoir cylindrique d'eau traité

L'eau traitée est stockée dans un réservoir cylindrique vertical de 1000 litres de capacités utile. La distribution de l'eau traitée est menée par l'assemblage d'un groupe de pompes qui refoule à travers une conduite de 1227 mètres de longueur vers deux réservoirs de 800 m³ chacun où s'effectue un mélange avec l'eau de forage.

Le schéma ci-dessous illustre les différentes étapes de traitement de l'eau de mer au niveau de la station de Tizirt.

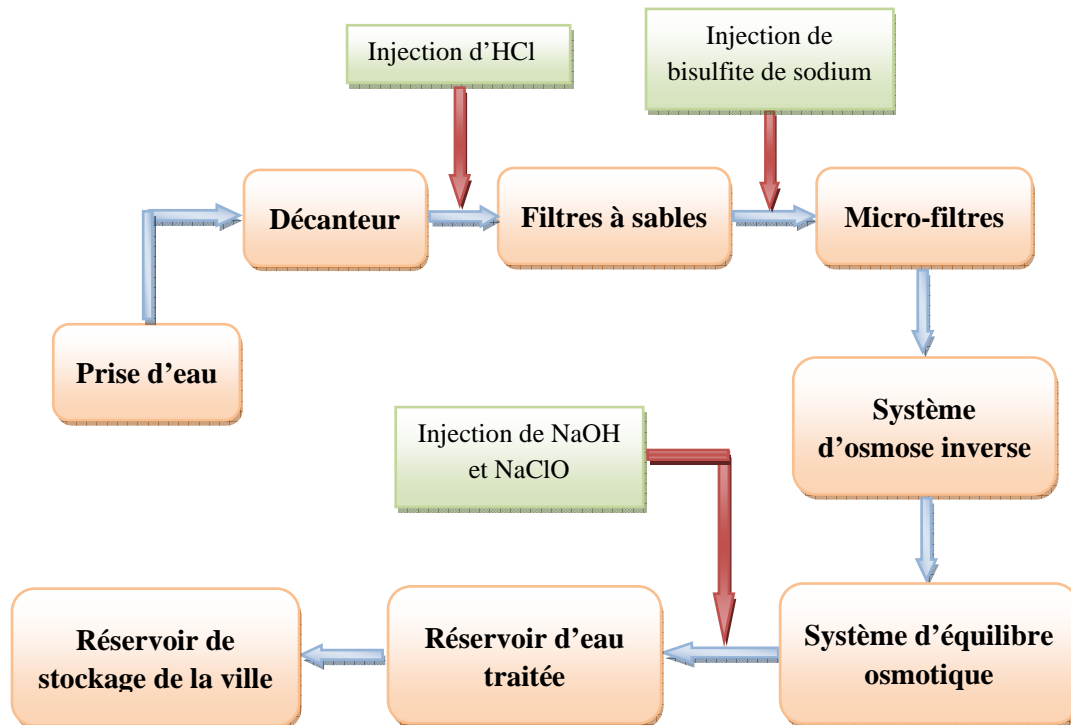


Figure n°6 : Chronologie des opérations unitaires de la station de Tizirt

III.4 Echantillonnage et choix des points de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Rodier (1984) a recommandé que l'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimique et bactériologique de l'eau.

Trois points de prélèvement ont été sélectionnés pour vérifier la qualité de l'eau traitée produite et distribuée à la consommation :

- Un prélèvement de l'eau produite au niveau de la station de dessalement, effectué à partir du réservoir de stockage de l'eau traitée.

- Un prélèvement de l'eau de forage à partir de la conduite qui refoule cette eau vers le réservoir de stockage de la ville de Tizirt.
- Et finalement, un prélèvement de l'eau de mélange destinée à la consommation, réalisé à partir du réservoir de stockage de la ville.

A chaque prélèvement deux échantillons ont été prélevés simultanément, l'un en vue de l'analyse physico-chimique et l'autre en vue de l'analyse bactériologique.

III.4.1 Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques

Les échantillons d'eau destinés aux analyses physico-chimiques sont recueillis dans des grands flacons en verre de 1000 ml chacun, rincés une fois avec de l'eau distillée et trois fois avec l'eau à analyser au moment de prélèvement. Puis, ils sont remplis jusqu'aux bords pour éviter toute pénétration de l'air.

III.4.2 Echantillonnage destiné aux analyses bactériologiques

Les échantillons d'eau destinés aux analyses bactériologiques sont recueillis dans des flacons en verre stérilisés. Le prélèvement est effectué après avoir rincé les flacons avec l'eau distillée ensuite avec de l'éthanol et enfin placés dans l'étuve à une température de 120°C pendant 2 heures de temps.

Les flacons sont ensuite remplis au trois quarts (3/4) de leur volume pour ne pas affecter les germes aérobies et bien agiter et mélanger l'échantillon avant l'analyse.

III.5 Transport et stockage des échantillons

Les échantillons sont transportés dans une glacière afin d'assurer leur conservation pendant les deux heures de déplacement depuis la ville de Tizirt jusqu'au laboratoire de l'ADE de Tizi-Ouzou où les analyses sont effectuées.

III.6 Méthodes d'analyses

III.6.1 Méthodes d'analyses physico-chimiques

Les techniques analytiques utilisées pour la détermination des paramètres physico-chimiques sont les suivantes :

III.6.1.1. Méthodes d'analyses électrochimiques

La mesure est directe pour les paramètres suivants: la turbidité, la conductivité, le pH et la température.

➤ Mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité permet la détection des matières non dissoutes qui sont présentes dans l'eau par transmission de rayon lumineux.

➤ Détermination de la conductivité

La mesure est réalisée à l'aide d'un conductimètre et permet la détection des sels présents dans l'eau au passage du courant électrique.

➤ Le pH

On mesure la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant de l'eau à analyser.

III.6.1.2. Méthodes d'analyses volumétriques

Ces analyses sont effectuées pour les dosages des chlorures, du magnésium, du calcium bicarbonates ainsi que la dureté totale.

➤ Dosage de bicarbonates

Pour une eau dont le pH est inférieur à 8,5 ce qui est le cas pour les échantillons analysés, les teneurs en bicarbonates (CO_3^{2-}) et ions hydroxydes sont négligeable.

Donc, $\text{TA} = 0$ et $\text{TAC} = \text{HCO}_3^-$ (Rodier, 2005). Par conséquent, le dosage de bicarbonate est réalisé par la détermination du titre alcalimétrique complet.

❖ Détermination du titre alcalimétrique complet

La méthode utilisée pour la détermination du titre alcalimétrique est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré (Rodier, 2005).

➤ Dosage de calcium Ca^{2+}

Principe : titrage des ions calcium avec une solution aqueuse d'EDTA à pH compris entre 12 et 13. Le HSN qui forme un complexe rouge avec le calcium est utilisé comme indicateur. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage. Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libre, puis avec les

ions combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair (ISO, 1984).

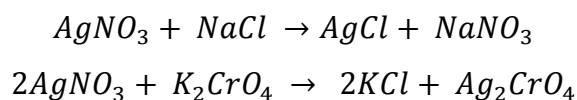
➤ **Dosage de la dureté totale (TH)**

Principe: titrage par complexométrie du calcium et de magnésium avec une solution aqueuse d'EDTA à pH de 10. Le mordant noir 11, qui donne une couleur violette en présence des ions calcium et de magnésium, est utilisé comme indicateur.

Lors du titrage, l'EDTA réagit d'abord avec les ions calcium et magnésium libres en solution puis, au point d'équivalence, avec les ions calcium et magnésium combinés avec l'indicateur et provoque un changement de couleur de violet à bleu. Les résultats sont exprimés en unités de concentration de quantité de matière (ISO, 1984).

➤ **Dosage des chlorures**

Principe: on fait agir en milieu neutre, pH= 6,7 ou 7, une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium. La réaction se fait en présence de chromate de potassium (ISO, 1984).



III.6.1.3. Méthodes d'analyses spectro-photométriques

Cette technique est utilisée pour la détermination du dosage de fer, d'ammonium, de nitrite, de nitrate et des sulfates.

➤ **Dosage de l'ammonium NH_4^+**

Principe : effectuer une mesure spectrométrique pour le composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylates et hypochlorites en présence de nitrosopentacyanoferrate (III) de sodium (ISO, 1984).

➤ **Dosage des ions nitrates NO_3^-**

Principe : réaction des nitrates avec le diméthyle - 2,6 phénol en présence des acides sulfuriques et phosphoriques, avec production de nitro - 4 2, diméthyle -2,6 phénol (ISO, 1986).

➤ **Dosage des ions nitrites NO_2^-**

Principe : les ions nitrates réagissent en milieu acide (pH=1,9) avec la sulfamide en formant le sel de diozonium (diazotation) qui se forme avec le N- (1-naphtyle) - éthylène diamine - dichlorohydraté un colorant azoïque rouge (ISO, 1986).

➤ **Dosage des phosphates PO_4^{3-}**

Principe : formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu (ISO, 1988).

➤ **Dosage des sulfates**

Principe : les ions sulfate sont précipité et pesés à l'état de sulfates de baryum.

➤ **Dosage de fer total (ISO, 1988)**

Principe : les ions de fer(III) sont réduits en Fer (II) par le chlorhydrate d'hydroxylamine et forment un complexe en présence de phénanthroline -1,10 qui est stable à un intervalle de pH de 2,5 à 9 par addition de tampon.

III.6.1.4. Méthodes d'analyses photométriques

Les mesures sont réalisées par un photomètre à flamme de potassium et de sodium.

➤ **Dosage de sodium Na^+ et de potassium K^+**

Principe : après l'excitation des atomes par la flamme, celles-ci émettent des radiations de longueur d'onde bien déterminées et mesurées à l'aide d'un spectrophotomètre. La concentration initiale du cation à doser est déduite de la valeur absolue de l'intensité de l'émission spectrale mesurée (ISO, 1993).

Les modes opératoires des différents paramètres physico-chimiques analysés sont détaillés dans l'annexe I.

III.6.2. Méthodes d'analyses bactériologiques

L'analyse bactériologique a pour but d'inspecter la présence de bactéries. Ces dernières peuvent altérer les caractéristiques de l'eau et la rendre non adéquate à l'usage et plus particulièrement à la consommation. Selon Roux (1987) cette méthode consiste en la recherche et le dénombrement de la flore totale de l'eau. Cette flore est composée de la flore banale et de la flore pathogène. Cette dernière est d'origine fécale dont le dénombrement est facilité par l'utilisation de germes indicateurs de pollution.

Cette analyse est importante car la qualité bactériologique d'une eau n'est pas un paramètre stable, car elle est exposée à des fluctuations causées par la pollution accidentelle nécessitant des contrôles permanents et représentant la cause la plus fréquente de non potabilité de l'eau (Rodier, 2005).

Une bonne évaluation de la qualité d'une eau potable repose sur le choix d'un type d'analyse adéquat. L'analyse réalisée est basée sur les étapes suivantes:

- Recherche et dénombrement des germes totaux à 37°C et à 22°C.
- Recherche et dénombrement des coliformes totaux avec identification d'*E. coli*.
- Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.

III.6.2.1. Dénombrement des germes totaux à 37°C et à 22°C

Principe : consiste à estimer le nombre total des germes dans l'eau. L'ensemencement se fait par incorporation dans un milieu gélosé non sélectif (T.G.E.A) et la lecture est réalisée après incubation à 22°C pour les germes saprophytes et à 37°C pour les germes pathogènes pendant 24 à 48 heures (ISO, 1988).

III.6.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes et de *E. coli*

Selon Rodier (1984), on distingue deux méthodes de dénombrement:

➤ **Dénombrement par filtration sur membrane**

Milieu de culture : gélose lactosée, spécifique aux coliformes.

➤ **Dénombrement par inoculation en milieu liquide**

La technique consiste à ensemencer l'eau à analyser dans des séries de tubes contenant du bouillon lactosé, muni d'une cloche de Durham permettant de mettre en évidence la fermentation de lactose avec production de gaz. Dans un deuxième temps, on effectue un repiquage à partir des tubes positifs sur milieu Schubert muni d'une cloche de Durham pour mettre en évidence la production de gaz à 44°C par *Escherichia Coli* présumés.

Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

La méthode utilisée pour le dénombrement des streptocoques fécaux est celles de filtration sur membrane.

Principe: le dénombrement des streptocoques fécaux est basé sur la filtration d'un volume donné d'échantillon d'eau à travers une membrane filtrante de porosité (0,45 µm) suffisante pour retenir les bactéries.

La membrane est placée sur un milieu sélectif contenant de l'azoture de sodium destiné à inhiber la croissance des bactéries gram-négatif et de chlorure de triphényl - 2, 3, 5

tétrazolium comme étant un indicateur incolore, celui-ci réduit en rouge par les streptocoques fécaux. Après incubation, toutes les colonies développées qui développent une couleur rouge, marron ou rose, que ce soit en leur centre ou à leur périphérie, sont dénombrées comme streptocoques fécaux.

Chapitre IV
Résultats et discussions

IV.1 Evaluation de la qualité de l'eau de la station de dessalement de TIGZIRT

Après le processus de dessalement, la reminéralisation de l'eau obtenue est indispensable afin de la rendre potable. Cette dernière n'est pas effectuée au niveau de la station de dessalement. L'eau dessalée obtenue est pompée vers le réservoir de stockage dans lequel l'eau refoulée de la station sera mélangée avec les eaux de forages (MTI) chargées en sels minéraux. Cette technique est actuellement utilisée dans le but de reminéraliser l'eau dessalée dans cette station.

Afin de pouvoir évaluer la qualité de l'eau distribuée par la station de Tizirt, j'ai effectué une étude de variation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des trois différentes eaux, l'eau traitée, l'eau de forage ainsi que l'eau de mélange.

IV.2 Interprétation des résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats de l'analyse physico-chimiques sont énumérés ci-dessous :

IV.2.1 La température

Le tableau ci-dessous récapitule les températures obtenues pour les différents échantillons d'eau analysés durant les mois de Mai et Juillet.

Tableau IV.1 : Températures des eaux analysées

Paramètre	Types d'eau						Normes	
	Eau traitée		Eau de forage		Eau de mélange		N.A	OMS
Température (°C)	Mai	Juillet	Mai	Juillet	Mai	Juillet	-	25
	18,7	23	15,8	20,3	22	24		

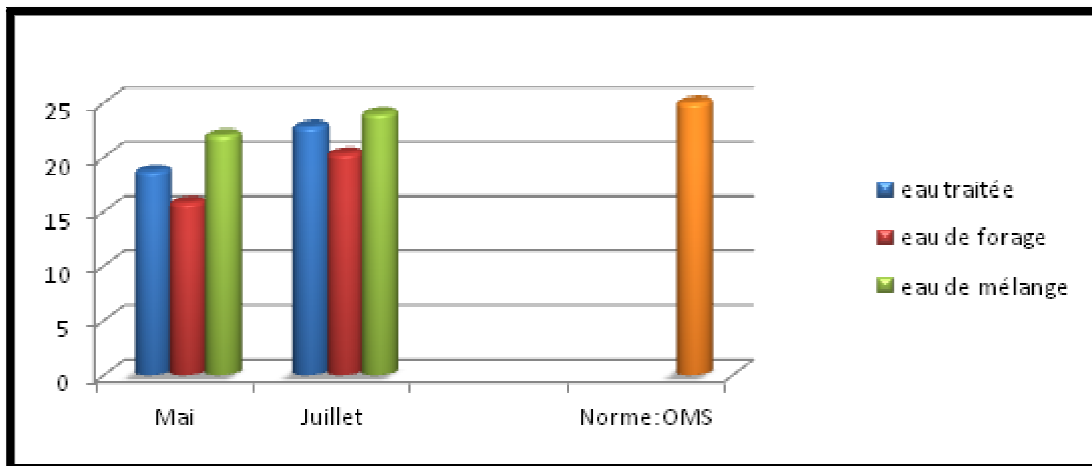


Figure n°7 : Variations de températures des eaux

Interprétation des résultats

Les résultats des températures obtenues représentées par le tableau IV.1 ainsi que la Figure n°7, montrent que les températures varient selon la saison. Les températures des eaux traitées et des eaux de forages sont déterminées sur place après le prélèvement. Par contre, la température de l'eau de mélange a été prise au niveau du laboratoire ce qui explique les valeurs élevées enregistrées pour les eaux de mélange notamment en mois de juillet. La température est un paramètre instable qui doit être déterminé sur site immédiatement après le prélèvement.

Selon Rodier (1996), la température des eaux est influencée par la température de l'air et plus particulièrement pour les eaux dont la source est peu profonde.

La température n'a pas d'incidence directe sur la santé de l'homme. Cependant, son élévation au delà de 15°C favorise la prolifération bactérienne et intensifie l'odeur et la saveur de l'eau dans les canalisations (Guiraud, 1998).

Les valeurs de températures enregistrées répondent aux normes requises par l'OMS pour les eaux de consommation.

IV.2.2 La turbidité

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de la turbidité des eaux analysées.

Tableau IV.2 : Résultats de mesure de la turbidité des eaux analysées

Paramètre	Types d'eau						Normes	
	Eau traitée		Eau de forage		Eau de mélange		N.A	OMS
Turbidité (NTU)	Mai	juillet	Mai	juillet	Mai	juillet	-	05
	0,40	0,62	0,38	0,29	0,45	0,48		

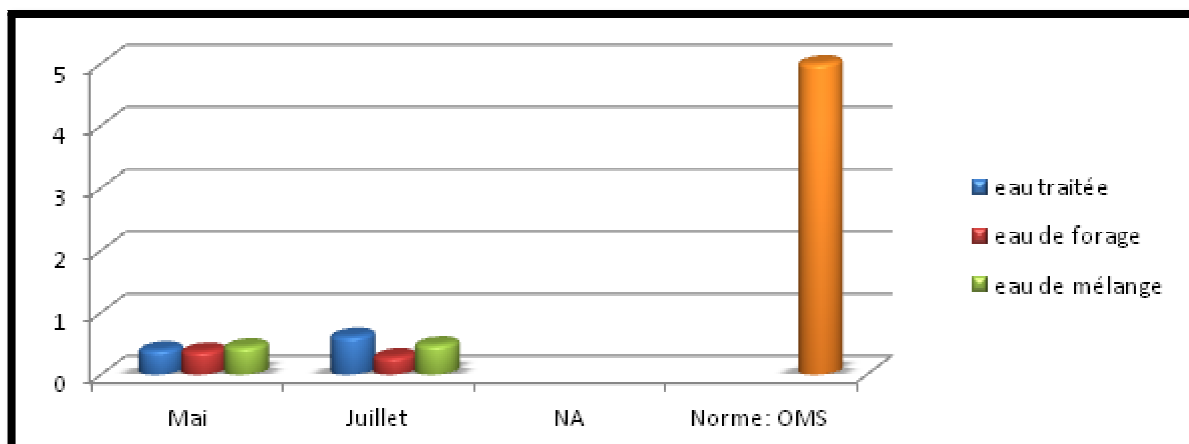


Figure n°8 : Variation de la turbidité des eaux

Interprétation des résultats

La turbidité de l'eau est un paramètre important qui reflète sa couleur et permet d'apprécier sa transparence. Les résultats des analyses réalisées représentés dans le tableau IV.2 ainsi que dans l'histogramme ci-dessus indiquent que les eaux traitées présentent une faible turbidité par rapport aux normes de l'OMS. De plus, la variation de la turbidité est faible durant la période de l'analyse.

Selon Desjardins (1997), les eaux souterraines ont une faible turbidité car elles subissent une filtration naturelle dans le sol. Ce qui est conforme avec les résultats obtenus. D'autre part, selon Rodier (2005), l'eau de turbidité inférieure à 5 NTU est une eau claire et cela nous permet de classer toutes les eaux analysées dans cette catégorie.

IV.2.3 Le pH

Le tableau ci-dessous présente les résultats du pH obtenus.

Tableau IV.3 : Résultats de mesure du pH des eaux analysées

Paramètre	Types d'eau						Normes	
	Eau traitée		Eau de forage		Eau de mélange		N.A	OMS
pH	Mai	Juillet	Mai	Juillet	Mai	Juillet	6,5-8,5	6,5-8,5
	7,9	7,5	7,25	6,99	7,53	8,80		

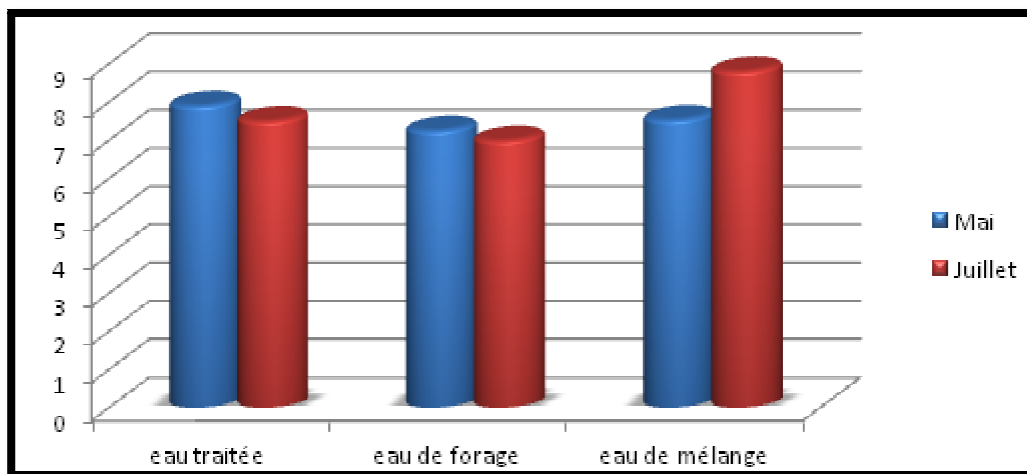


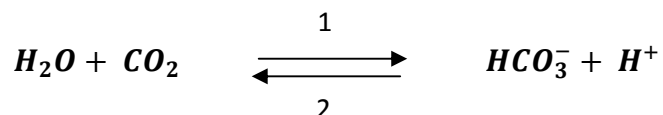
Figure n°9 : Variation du pH des eaux

Interprétation des résultats

Les eaux naturelles sont caractérisées par un pH assez stable de 6,5 à 8,5. Cette stabilité est due à la présence de gaz carbonique dans l'eau qui donne à cette eau des propriétés analogues à celles des solutions tampons (Degremont, 2005).

Les échantillons d'eaux analysées (Tableau IV.3) ne révèlent pas de variations remarquables du pH durant les deux mois d'études. Toutes les eaux analysées présentent des valeurs de pH proches de la neutralité et se situent dans les limites requises pour les eaux destinées à la consommation. Par ailleurs, l'élévation du pH durant le mois de juillet pour l'eau de mélange serait probablement causée par l'augmentation de la température qui est de l'ordre de 24°C.

Selon Rodier (2005), les pH supérieurs à 8,5 s'observent dans les eaux stagnantes où la réaction ionique est influencée par la nature chimique des fonds. L'augmentation de la température entraîne une diminution de la teneur en CO₂ dans l'eau par conséquent une augmentation du pH suite au déplacement de l'équilibre dans le sens 2 selon la réaction suivante :



IV.2.4 La conductivité

Le tableau ci-dessous illustre les résultats obtenus pour la conductivité

Tableau IV.4 : Valeurs mesurées de la conductivité

Paramètre	Types d'eau								Normes	
	Eau brute		Eau traitée		Eau de forage		Eau de mélange		N.A	OMS
Conductivité (µs/cm)	Mai	Juillet	Mai	Juillet	Mai	Juillet	Mai	Juillet	2800	1250
	54200	54300	886	1341	877	805	862	1284		

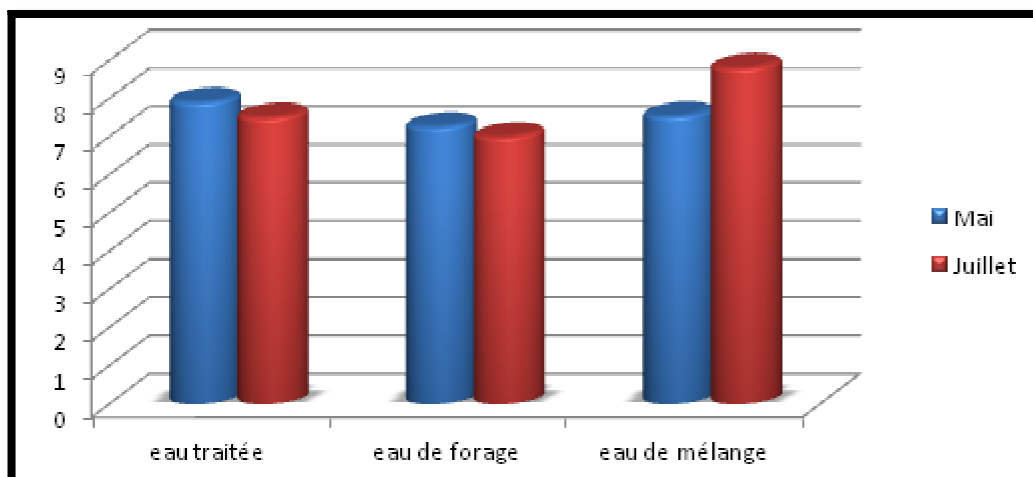


Figure n°10 : Variation de la conductivité des trois types d'eau

Interprétation des résultats

Vu que la conductivité est directement proportionnelle à la quantité des sels dissous dans l'eau, celle-ci permet une bonne appréciation de la minéralisation globale de l'eau. Les valeurs de conductivité élevées enregistrées pour l'eau de mer (Tableau IV.4) reflètent la richesse de cette eau en sels dissous. La variation de la conductivité est dépendante de cette richesse.

Par ailleurs, Les légères augmentations de la conductivité peuvent être également dues à la variation de la température d'analyse. Selon Rodier (1996), la conductivité augmente avec la température. Ce phénomène s'explique par le fait que la mobilité des ions augmente à cause de la diminution de la viscosité.

En tenant compte des valeurs enregistrées et présentées dans le tableau IV.4 ainsi que dans l'histogramme ci-dessus, l'eau traitée ainsi que l'eau de mélange du mois de Juillet sont des eaux avec une minéralisation plus au moins élevée. Par contre, durant le mois de Mai, ces eaux sont d'une minéralisation moyenne.

Cependant, en se référant aux normes Algériennes, les valeurs enregistrées pour les eaux de consommations restent inférieures aux valeurs maximales admissibles pour la potabilité des eaux, cela signifie que les volumes de l'eau de forage utilisés ou ajoutés sont insuffisants pour la reminéralisation de l'eau traitée.

IV.2.5 La minéralisation globale de l'eau

Les résultats de dosage des différents minéraux présents dans les eaux sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Résultats des dosages des minéraux

Paramètres (mg/l)	Types d'eau						Normes	
	Eau traitée		Eau de forage		Eau de mélange			
	Mai	Juillet	Mai	Juillet	Mai	Juillet	N.A	OMS
Ca^{2+}	8,01	4,008	110,62	100,2	62,52	44,08	CMA: 200 NG : 75	CMA: 200
Mg^{2+}	7,29	5,83	36,95	32,57	27,71	10,69	CMA:150	NG : 30
Na^+	220	160	50	40	150	90	CMA:200	CMA: 200
K^+	9	5	5	5	8	5	CMA:20	CMA: 12
Cl^-	387,24	193,63	65,08	41,41	309,81	142	CMA:500 NG : 200	CMA: 200
SO_4^{2-}	25,9	5,65	62	83,32	68	46,78	CMA:400 NG : 200	CMA: 250
Fe^{2+}	0,080	0,04	0,032	0,048	0,082	0,04	0,3	0,1
HCO_3^-	32,6	21,48	451,4	375,66	50,02	170,8	-	-

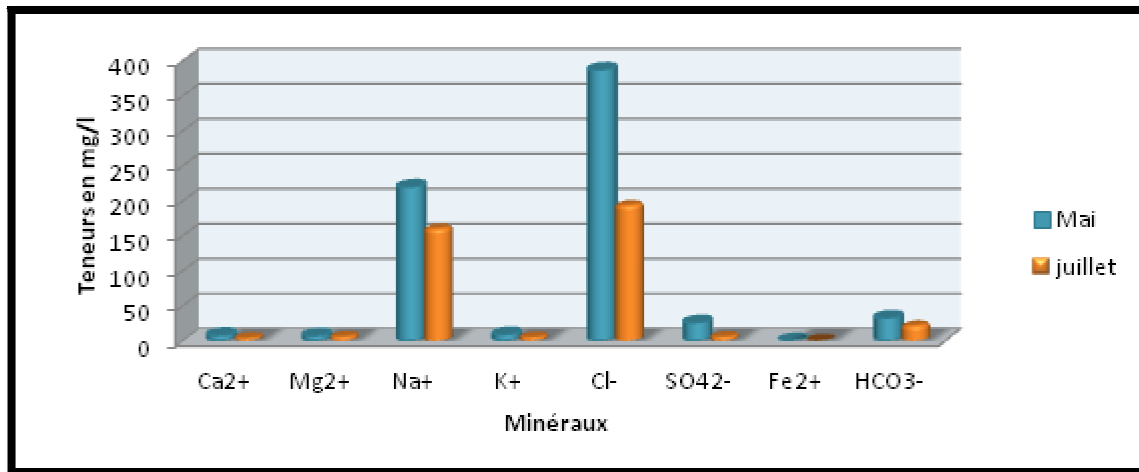


Figure n°11 : Variation de la minéralisation du perméat durant les deux mois d'étude

Interprétation des résultats

a) Eau traitée

D'après les résultats présentés ci-dessus, le sodium et les chlorures représentent plus de 80% de la minéralisation générale du perméat. Ce qui attribue à l'eau un goût fade. Selon Rodier (2005), la forte teneur en ions Cl⁻ accompagnée d'ions Na⁺ affecte le goût de l'eau.

La teneur élevée enregistrée en Cl⁻ et Na⁺ dans le perméat est due particulièrement à leur présence avec des quantités excessives dans l'eau de mer. Elle Pourrait s'expliquer aussi par l'ajout de l'hypochlorite de sodium (NaClO) pour la désinfection de l'eau et l'ajout de la soude caustique (NaOH) pour la correction du pH. Ces teneurs dépendent du temps de contact de l'eau avec ces composés au moment du prélèvement.

Suite à l'analyse effectuée, la teneur en chlorure enregistrée pour le perméat est conforme aux normes Algériennes ; toutefois, celles-ci dépassent les normes de l'OMS. Cependant, l'eau traitée présente des teneurs très faibles en calcium et en magnésium par rapport aux valeurs guides. Selon Rodier (2005), l'eau potable de bonne qualité contient entre 100 et 140 mg/l de calcium. Par conséquent, il est indispensable de mélanger l'eau traitée avec une eau chargée en sels minéraux comme l'eau de forage.

Les différents échantillons d'eaux analysés se caractérisent par une teneur constante en potassium durant toute la période des analyses, celles-ci sont conformes aux normes algérienne ainsi que celles de l'OMS. De même, pour la teneur en sulfate car celle-ci ne dépasse pas les normes établies.

La teneur en fer est plus ou moins faible et ne dépasse pas les normes que ce soit Algérienne ou de l’OMS. Selon Rejsek (2002), du point de vue physiologique, le fer dans l’eau ne présente aucun inconvénient. Par contre, il affecte la qualité organoleptique de l’eau en la rendant rouge.

b) Eau de forage

La figure n°12 ci-dessous illustre les résultats d’analyse des eaux de forage.

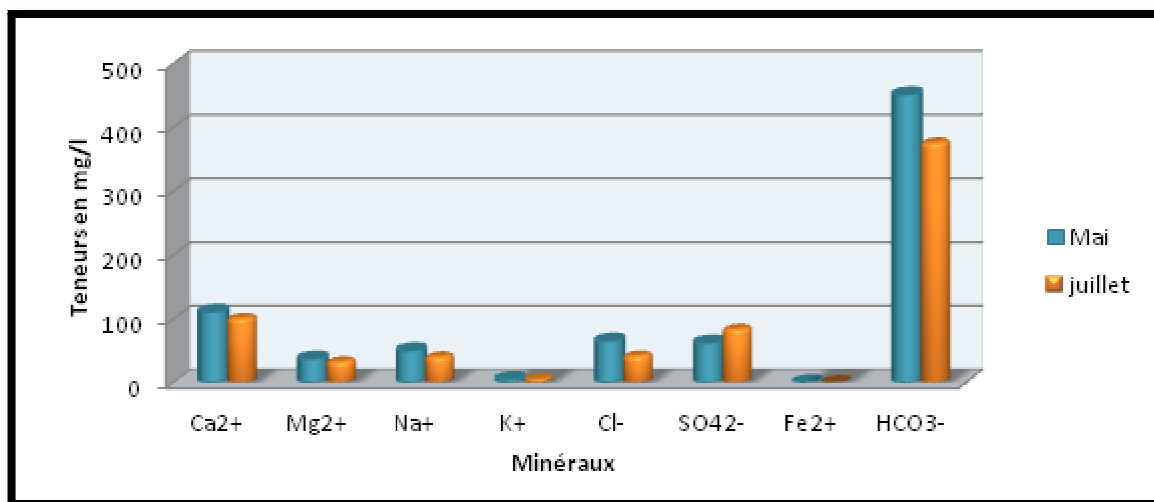


Figure n°12 : Variation de la teneur en minéraux des eaux de forage destinées à la reminéralisation du perméat

Les analyses des eaux de forage effectuées au niveau du laboratoire de l’ADE montrent une teneur importante en calcium. Cette dernière a été stable durant les deux mois d’études. La concentration des eaux de forage en minéraux dépend de la lithologie des terrains traversés. Selon Yakoub (1996), la nappe alluviale de Sebaou est alimentée par les eaux provenant en grande partie des chaînes calcaires de Djurdjura.

La réalimentation de la nappe de Sebaou est affectée entre le mois d’Avril et Octobre suite à des conditions climatiques défavorables caractérisées par le manque remarquable de pluviométrie. Cette situation ne favorise pas une forte dissolution du carbonate de calcium.

Les eaux des forages (MTI) contiennent des teneurs considérables en magnésium, ce dernier provenant des terrains traversés par les eaux. Selon Yakoub (1996), le moyen Sebaou constitue l’affleurement le plus métamorphique qui peut être la source du magnésium. Toutefois, les eaux de forage présentent des teneurs faibles en chlorures et en sodium par rapport à la valeur du niveau guide (200 mg/l).

Les eaux de forages analysées sont riches en bicarbonates principalement dû aux terrains traversés ainsi qu'au pH qui est continuellement au voisinage de 7 (Tableau V.3), ce qui favorise la formation du bicarbonate.

La concentration en potassium est stable et dans les normes. Cette stabilité est spécifique au K^+ . Selon Rodier (2005), dans le cas d'une mauvaise protection de la source cela pourrait entraîner une variation de la concentration en K^+ .

Les eaux de forages présentent des teneurs importantes en sulfates avec une moyenne de 72 mg/l et qui répond toujours aux normes. Les sulfates sont des composants d'origine hydrogéologique dont la teneur est très variable. Cette dernière dépend des terrains traversés par les eaux ainsi que les matières organiques des rejets urbains (Rodier, 2005). Par contre, la teneur en fer est faible. Celle-ci peut être liée à la nature géologique des terrains traversés.

c) Eau de consommation

La figure ci-dessous illustre les résultats des analyses obtenues pour l'eau de consommation

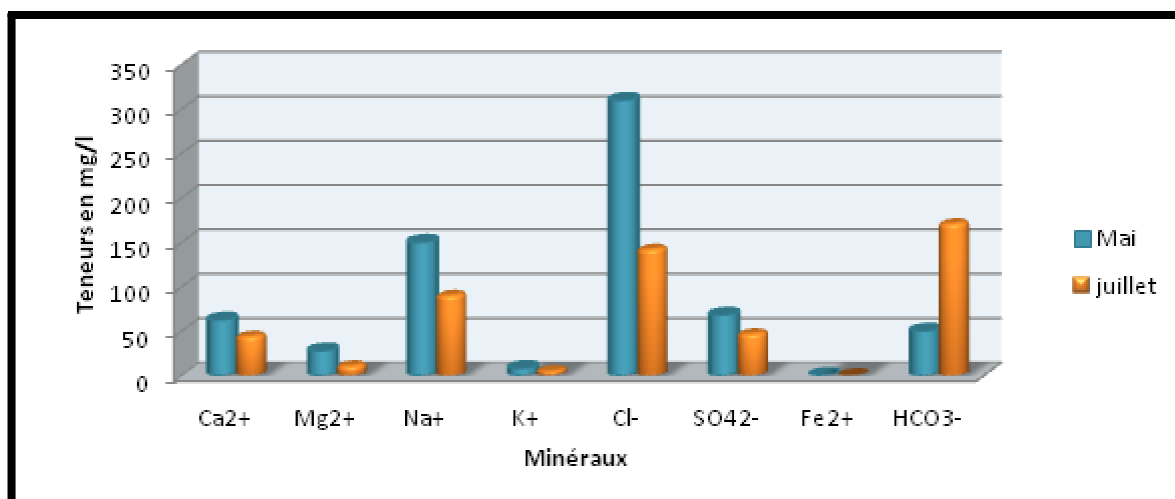


Figure n°13 : Variation de la teneur en minéraux de l'eau reminéralisée et distribuée de la ville de Tizirt

Afin de rendre l'eau dessalée prête à la consommation, elle doit subir une reminéralisation. A présent, la technique utilisée est le mélange de cette eau avec les eaux de forages riches en minéraux.

La figure n°13 montre la teneur élevée en Ca^{2+} et Mg^{2+} dans les eaux distribuées par rapport aux valeurs enregistrées pour le perméat. Celle-ci est due au fait que ce dernier est mélangé avec les eaux de forages (MTI).

Durant le mois de juillet les teneurs en calcium et en magnésium enregistrées sont inférieures à celles du mois de Mai, ceci est peut-être dû à l'insuffisance des volumes des eaux de forages mélangées avec le perméat durant cette période. D'après l'ADE le volume ajouté est généralement inférieure à 25%. Rodier (2005) a mentionné que les eaux potables de bonne qualité contiennent entre 100 et 140 mg/l de Ca^{2+} et Mg^{2+} . Par conséquent, on constate que les eaux distribuées à la ville de Tigzirt sont des eaux faiblement minéralisées en sels de calcium et de magnésium.

Les eaux de consommation possèdent des teneurs élevées en chlorures et en sodium, notamment en mois de Mai dont celles de Cl^- dépassent les normes de l'OMS (tableau IV.5). D'après Rodier (2005), l'inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils associent à l'eau de 250 mg/l, particulièrement lorsqu'elles sont accompagnées de sodium, ce qui les rend corrosives pour les réseaux de distribution et nocives pour les plantes.

La teneur en potassium des eaux de consommation est relativement stable avec une légère augmentation en mois de Mai, toutefois cette valeur reste faible et répond aux normes.

La teneur en bicarbonates dans l'eau potable dépend de plusieurs facteurs dont le pH, la température et le CO_2 . Ce qui explique les fluctuations des valeurs enregistrées durant les deux mois d'études. Selon Vilagines (2003), les bicarbonates dans l'eau n'ont aucun effet sur la santé, ce qui pourrait être à l'origine de l'absence des normes indiquant les teneurs limites des bicarbonates dans l'eau potable.

Les valeurs de fer enregistrées pour l'eau de consommation sont très faibles et répondent aux normes établies par l'OMS et l'Algérie (Tableau IV.5). La diminution de la teneur en fer dans l'eau distribuée par rapport à celle enregistrée pour l'eau traitée pourrait être due à son oxydation par l'air. Rejsek (2002) a indiqué que la diminution de la teneur en fer dans l'eau potable est due à son oxydation par l'air ou à l'aide d'un oxydant plus puissant comme le chlore.

IV.2.6 La dureté totale des eaux analysées (TH)

Tableau IV.6 : Résultats de la dureté totale

Paramètre	Types d'eau						Normes	
	Eau traitée		Eau de forage		Eau de mélange			
Dureté totale mg/l CaCO ₃	Mai	Juillet	Mai	Juillet	Mai	Juillet	NA	OMS
	50	32	428	384	270	154	VG : 200 CMA: 500	350
Degrés français (°F)	07	3,8	42,8	38,4	27	15,4	-	-

Interprétation

La dureté est essentiellement affectée par les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . D'après Degremont (1989), une eau représentant une dureté totale inférieure à 10 °F est considérée comme une eau douce ce qui est le cas du perméat produit à la station. La diminution de la dureté totale pour l'eau traitée durant le mois de Juillet s'explique par la faible teneur de cette eau en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

L'augmentation de la dureté enregistrée pour l'eau distribuée est due au mélange de cette dernière avec des eaux de forages. Une eau dont la dureté est comprise entre 10 et 20 °F est dite douce, comme c'est le cas pour l'eau distribuée en mois de Juillet. La diminution de la dureté de l'eau distribuée en mois de Juillet s'explique par sa faible teneur en minéraux à cause de l'insuffisance du volume de l'eau de forage ajoutée durant la reminéralisation.

Selon Rodier (1996), la faible dureté dans le cas des eaux de distribution peut engendrer des problèmes de corrosion. D'autre part, la dureté élevée provoque la formation des dépôts de calcaires dans les canalisations.

Les eaux de forage sont très dures car la dureté est supérieure à 30°F. Cela peut être expliqué essentiellement par le lessivage des terrains traversés. Selon Rodier (2005), la décomposition de la matière organique peut conduire à la libération de grandes quantités de CO_2 . Celui-ci est entraîné dans les eaux souterraines par infiltration des eaux de pluie et qui peut dissoudre le Calcium du sol et contribuer à la variation de la dureté. Par conséquent, la

diminution des eaux de forage en mois de Juillet est due aux faibles précipitations enregistrées durant cette période.

IV.2.7 Les paramètres indicateurs de pollution

Tableau IV.7: Résultats du dosage de paramètres de pollution

Paramètres (mg/l)	Types d'eaux						Normes	
	Eau traitée		Eau de forage		Eau de consommation			
	Mai	Juillet	Mai	Juillet	Mai	Juillet	NA	OMS
NH_4^+	00	00	0,009	0,002	00	0,001	NG: 0,5	NG : 0,05 CMA : 0,5
NO_3^-	<0,5	4,20	14,07	11,59	00	0,75	CMA : 50	NG : 10 CMA : 50
NO_2^-	00	00	00	00	00	00	CMA : 0,1	NG : 0,01
PO_4^{3-}	00	00	00	00	00	00	CMA:0,02	CMA:0,02

Interprétation des résultats:

Toutes les eaux analysées sont exemptes de nitrites, cette absence peut être due à l'oxydation des nitrites en nitrates par l'air à l'aide du Chlore (désinfection). L'eau traitée et l'eau de consommation du mois de Mai sont exemptes de nitrates et également sont exemptes de nitrite aussi.

D'après Rejsek (2002), une eau contenant des nitrites est considérée comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique, ce qui n'est pas le cas pour les eaux analysées.

On constate une fluctuation saisonnière concernant les concentrations en nitrates dans toutes les eaux analysées. Selon Rodier (1996), les nitrates varient selon les saisons ainsi que l'origine des eaux non polluées.

Les teneurs élevées enregistrées dans les eaux de forage particulièrement en mois de Mai sont dues aux lessivages des terrains traversés, ou encore à l'infiltration des eaux usées

accompagnées de l'eau de pluie. D'après Yakoub (1996), la pollution des eaux s'étale le long des Oueds de la nappe alluviale de Sebaou, ceci explique la légère diminution de cette valeur durant la période sèche (Juillet) dont les précipitations sont peu ou pas observées.

Tous les résultats de nos analyses montrent une absence totale de phosphate, vu que les phosphates représentent un paramètre de pollution. Cette absence nous indique sur l'absence de pollution organique significative.

L'eau traitée est exempte d'ammoniac tandis que de très faibles valeurs sont détectées dans les eaux de forage et dans les eaux distribuées en mois de Juillet. Ceci peut être dû à la transformation de l'ammoniac en nitrates et à leur élimination par le chlore.

Rejsek (2002) a indiqué que le chlore forme des chloramines avec les ions ammonium mais, un excès de chlore est à l'origine de la destruction de ces dernières, ce qui est à la base peut être de leur absence totale dans l'eau traitée durant la période d'étude, dont la concentration en chlore maintenue est élevée (0,6 mg/l de chlore résiduel libre).

Les valeurs enregistrées pour toutes les eaux analysées répondent aux normes de potabilité des eaux.

IV.2.8 Le chlore résiduel libre

Tableau IV.8 : Résultats du dosage de chlore résiduel libre

Paramètre	Types d'eau					
	Eau traitée		Eau de forage		Eau de consommation	
RCL	Mai	Juillet	Mai	Juillet	Mai	Juillet
(mg/l)	0,6	0,6	–	–	0,5	0,5

Le dosage du chlore résiduel est un moyen efficace pour le contrôle de la qualité de l'eau potable. Le chlore résiduel libre, désigne l'ensemble des formes, acide hypochloreux (HClO) ou ion hypochlorite (ClO⁻), demeurant dans l'eau à la fin d'une période de contact déterminée et, qui peut réagir chimiquement et biologiquement. L'acide HClO est le véritable agent désinfectant (Desjardins, 1990; Rejsek, 2002).

D'après les résultats analytiques obtenus, on constate que les valeurs du chlore résiduel libre sont maintenues dans toutes les eaux analysées et ceci durant toute la période d'études.

La diminution du taux de chlore résiduel libre dans les eaux de consommation par rapport aux eaux traitées est due à sa consommation dans le réservoir de stockage (réaction d'oxydation).

Le traitement de l'eau d'alimentation par le chlore soulève assez souvent chez le consommateur un problème organoleptique ou de plus de 0,5 mg/l. Pour une désinfection effective, la teneur en chlore résiduel libre doit être inférieure ou égale à 0,5 mg/l après au moins 30 mn de contact à un pH inférieur à 8 (Rodier, 2005).

IV.3 Contrôle des résultats de l'analyse de l'eau

La méthode la plus satisfaisante pour la vérification des résultats analytiques est celle de l'établissement de la balance ionique.

➤ La méthode de la balance ionique

Le contrôle des résultats d'analyse d'une eau naturelle peut être effectué par l'intermédiaire de la balance ionique, c'est-à-dire, par la vérification de l'échelle des anions et des cations. En théorie, et pour un pH voisin de 7, la somme des anions exprimés en milliéquivalent doit correspondre exactement à la somme des cations exprimés de la même manière.

D'une façon générale, on utilise pour le contrôle quatre (04) anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) et quatre (04) cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), la validité de l'analyse chimique est conditionnée par la relation suivante :

$$r = \frac{|\sum \text{cations} - \sum \text{anions}|}{|\sum \text{cations} + \sum \text{anions}|} \times 100$$

L'écart ne doit pas dépasser 5% pour une eau faiblement minéralisée. Il devrait même être inférieur à 2% pour une eau fortement minéralisée.

D'après GLS – OIE (2005), la conversion des concentrations des différents ions en mEq/l peut être réalisée par l'utilisation de la formule suivante :

$$C \text{ (mEq/l)} = C \text{ (mg/l)} \cdot (n/M)$$

C : la concentration de l'ion

n : La valence ionique de l'ion

M : masse molaire de l'ion

Tableau IV.9 : La balance ionique (résultats exprimés en mEq/l)

		Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	∑cations	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	∑anions	r %
Eau de forage	Mai	3,04	5,52	2,17	0,12	10,85	1,29	1,83	7,40	0,22	20,74	0,50
	Juillet	2,62	5,00	1,74	0,12	9,54	1,73	1,16	6,15	0,18	9,22	1,70
Eau distribuée	Mai	2,28	3,12	6,53	0,20	12,13	1,41	8,73	0,82	00	10,96	5,06
	Juillet	0,87	2,20	3,91	0,12	7,10	0,97	4,00	2,80	0,01	7,78	4,56

Les résultats obtenus montrent que l'écart est inférieur à 2% pour l'eau de forage par conséquent l'eau est fortement minéralisée. Par contre il est supérieur à 2% pour l'eau de distribuée donc cette eau est faiblement minéralisée.

IV.4 Interprétation des résultats d'analyses bactériologiques

Tableau V.10 : Résultats des analyses bactériologiques

Germes	Eau traitée		Eau de consommation		Norme	
	Mai	Juillet	Mai	Juillet	NA	OMS
Germes totaux à 37°C (c/ml)	00	00	00	00	10	02
Germes totaux à 22°C (c/ml)	00	00	00	00	100	20
Germes totaux (c/100ml)	absence	absence	absence	absence	absence	absence
<i>E. coli</i> (c/100ml)	absence	absence	absence	absence	absence	absence
Streptocoques fécaux (c/100ml)	absence	absence	absence	absence	absence	absence

Interprétation des résultats

Sachant que l'eau souterraine coule à travers un aquifère, elle est naturellement filtrée. Cette filtration combinée à une longue période de séjour souterrain signifie que l'eau souterraine est souvent d'une grande pureté bactériologique (Degremont, 1989).

Selon Haslay et Leclerc (1993), lorsqu'il s'agit de nappe phréatique soumise aux fluctuations saisonnières, une période de pluie pourra, dans un premier temps, drainer les micro-organismes du sol et provoquer une augmentation spectaculaire de la teneur en bactéries. La persistance des pluies conduira, au contraire, à une baisse notable de la teneur en bactéries.

On a constaté une absence totale de tous germes indicateurs de contamination fécale durant le mois de Mai. Cela serait dû à une forte dilution suite aux importantes précipitations ainsi qu'aux basses températures enregistrées.

L'alimentation naturelle des nappes souterraines survient en grande partie au printemps avec la fonte des neiges ou l'apport des cours d'eaux des régions montagneuses. Ce qui entraîne la dilution de ces nappes ainsi que la baisse du nombre de bactéries.

Selon Rejsek (2002), la recherche et le dénombrement des coliformes totaux est intéressant pour juger l'efficacité de la désinfection d'une eau, par contre il est d'un intérêt moindre pour déceler une contamination d'origine fécale, du fait que certains de ces coliformes peuvent faire partie de la flore naturelle des eaux et des sols non pollués.

Durant ces mois d'étude, les eaux traitées et les eaux de distributions sont exemptes de tous germes pour tous les prélèvements effectués, ceci confirme l'efficacité de la désinfection effectuée ainsi que le maintien d'un taux de chlore résiduel libre à la distribution.

Conclusion générale

Conclusion

Le processus de dessalement de l'eau de mer demeure une solution adéquate devant la demande croissante en eau potable et les faibles ressources hydriques en Algérie. Ce procédé est mis en place comme étant un processus complémentaire aux techniques classiques existantes de production de l'eau potable afin de diversifier les ressources en eau et d'instaurer un programme de gestion optimal des ressources hydriques qui permet d'augmenter le potentiel de production ainsi que de sécuriser l'alimentation en eau dans le cas des conditions climatiques défavorables.

A l'issue de cette étude, on constate que le procédé de dessalement par la technique d'osmose inverse se révèle comme étant une technique appropriée pour la déminéralisation de l'eau de mer. Cette dernière peut être considérée comme étant une eau douce susceptible de devenir une eau potable après avoir subi une reminéralisation conforme aux normes.

Les résultats des paramètres analysés montrent que la qualité physico-chimique du perméat est caractérisée par une faible teneur en sels de calcium et de magnésium. En effet, la distribution d'une eau potable de bonne qualité physico-chimique dans la ville de Tizirt dépend sur la disponibilité de l'eau de forage utilisée pour la reminéralisation du perméat. Vu que, les eaux de forage n'arrivent pas continuellement à la ville, à cause des fuites fréquentes sur le réseau hydraulique qui les achemine à partir de la source qui est la nappe de Bouaid/DBK jusqu'à la ville de Tizirt; la reminéralisation de l'eau dessalée est par conséquent affectée négativement. En conséquence, l'eau distribuée pour la consommation parfois n'est pas conforme aux normes standards de potabilité. En outre, la consommation d'une eau faiblement minéralisée n'est pas recommandée du point de vue nutritionnel, voir organoleptique.

D'autre part, les résultats des analyses effectuées indiquent que le perméat ainsi que l'eau distribuée sont de bonne qualité bactériologique. Toutefois, en absence d'analyses toxicologiques considérées indispensables dans certains pays, il est difficile de juger avec certitude la qualité de l'eau distribuée. A cet effet, une étude toxicologique complémentaire est souhaitable.

La station de dessalement de Tizirt représente un pas positif vers l'exploitation sans limite de l'eau de mer. Malheureusement, la production de l'eau de consommation dépend de la disponibilité des eaux de forage. A cet effet, il est recommandé d'investir dans les

techniques de reminéralisation indépendantes des eaux de forage, afin d'assurer l'approvisionnement en quantités désirées tout en assurant une qualité d'eau répondant aux normes standard de potabilité.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- **Aroua A. (1981).** Problèmes de santé liés à l'hyper minéralisation de certaines eaux en Algérie. *Séminaire sur la technologie appropriée à la déminéralisation de l'eau potable.*
- **Athenes. (2001).** Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens, évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure. *Programme des nations unies pour l'environnement.*
- **Bassnasse M. (2006).** Dessalement d'eau de mer : Etude de trois stations du littoral algérien. Université SAAD Dahleb (Blida). *14th International Soil Conservation Organization Conference.*
- **Binnie E.A. (2002).** <http://www.lenntech.fr/bibliotheque/osmose-inverse/osmose-inverse-definition>.
- **Cardot C. (1999).** Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques. Cours et problèmes résolus, Ed. Ellipse.
- **Degremont. (1989).** Mémento technique de l'eau. Tome I, Ed. Lavoisier - Tec et Doc, 3^{ème} éd.
- **Degremont. (2005).** Mémento technique de l'eau. Ed. SUEZ, 10^{ème} éd., Lavoisier, Paris.
- **Desjardins R. (1997).** Le traitement des eaux. Deuxième édition revue et enrichie.
- **Desjardins R. (1990).** Le traitement de l'eau 2^{ème} Ed. Ecole polytechnique de Montréal.
- **Dupont A. (1986).** Hydraulique Urbaine : Hydrologie de traitement de l'eau. Tome I. 6^{ème} Ed. E. Eyrolles.
- **FCE. Formation Continue en Entreprise (ADE) (2003) :** Les cahiers techniques de stage : Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation.
- **Guiraud J. P. (1998).** Microbiologie alimentaire. Edition Dunod, Paris.

- **GLS – OIE. (2005).** Programme bilatéral de coopération Algéro-Française. Diagnostic et formation dans le cadre des unités de dessalement d'eau de mer de l'algérienne des eaux : Manuel de formation des exploitants d'usine de dessalement par le procédé d'osmose inverse. Ed. Discour 2-doc.
- **Haslay C. et Leclerr (1993).** Microbiologie des eaux d'alimentation. Ed. Paris
- **Kettab A. (1992).** Traitement des eaux : les eaux potables. Ed. Office des publications universitaires.
- **Les cahiers techniques du stage T 22.** Normes de qualité des eaux de consommation et responsabilité du distributeur. E.P. ADE, Zone de Tizi-Ouzou.
- **Maurel A. (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Ed. Tec et Doc, 2^{ème} éd, Lavoisier, Paris.
- **MEMOTEC n° 37, (2006).** Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse.
<http://www.extpdf.com/memotec-n-37-pdf.html#a1>
- **Morvan G. (2006).** Les techniques de potabilisation de l'eau, *dessalination, dessalement, traitement de l'eau saumâtre.*
- **Patrick D. (2003).** Dessalement de l'eau de mer. Revue *Techniques de l'ingénieur*
- **Ministère des Ressources en Eau (Algérie) (2005).** « Traitement des eaux de surface » centre de formation aux métiers de l'eau. ADE unité de Tizi-Ouzou.
- **Nikolay Voutchkov, PE, BCEE. (2011).** Remineralization of desalinated water.
- **Rejsek M. (2002).** Analyse des eaux, aspect réglementaire et technique, série science et technique de l'environnement, Paris.
- **Rodier J. (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} éd. Ed. Dunod, Paris.
- **Rodier J. et al. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème} éd, Ed Dunod, paris.
- **Roux M. (1987).** Analyse biologique de l'eau, Ed. Lavoisier - Tec et Doc.
- **Saidi F. (1997).** La crise de l'eau en Algérie. Ecole polytechnique de Paris, Ed. l'Harmattan INC, Montréal, Canada.

- **Vilagiènes R. (2003).** Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. Ed. Tec et Doc, 2^{ème} éd, Lavoisier, Paris.
- **Yakoub B. (1996).** Le problème de l'eau en grande Kabylie, le bassin versant du Sebaou et la wilaya de Tizi-Ouzou. Edité par l'université de Tizi-Ouzou, conception photocomposition et réalisation de l'ouvrage (Top-Copy).

Annexes

1. Analyses électrochimiques

1.1 La turbidité

1.1.1- Mode opératoire

Remplir la cuvette de verre du turbidimètre avec l'échantillon d'eau, en évitant la formation des bulles d'air, puis effectuer la mesure en laissant l'appareil se stabiliser. La mesure est donnée directement en NTU.

1.2 La conductivité

1.2.1. Mode opératoire

Rincer le bécher et l'électrode avec de l'eau distillée puis avec de l'eau à examiner, la mesure se fait en plongeant l'électrode dans le bécher rempli d'eau à examiner et le résultat est donné directement en $\mu\text{s/cm}$ à une température $T^{\circ}\text{C}$.

1.3 Mesure de PH

1.3.1. Matériels utilisés

- électrode de verre ;
- électrode de référence au calomel chlorure de potassium (KCL) saturé ;
- pH-mètre ;
- deux solutions étalons.

1.3.2. Mode opératoire

❖ Etalonnage de l'appareil

Introduire successivement dans deux solutions étalons l'ensemble constitué par l'électrode de verre et l'électrode au calomel, les valeurs correspondantes en millivolt lues sur l'appareil permettent de déterminer la droite liant le pH et la différence de potentiel.

Mesurer l'eau à analyser en contact avec l'électrode de verre, ensuite attendre la stabilité de l'appareil puis lire la valeur.

2. Dosages volumétriques

2.1 Dosage de bicarbonates

2.1.1. Réactifs

- Solution alcoolique de phénophtaléine à 0,5 % :
 - Phénophtaléine 5 g
 - Alcool éthylique 500 ml
 - Eau distillée 500 ml
- Solution de méthylorange à 0,50 % :
 - Méthylorange 0,5 g
 - Eau distillée 100 ml.

2.1-2. Détermination TAC (dosage de bicarbonates)

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec le

même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH 4,3). Tout en s'assurant qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orangé (pH 4). Soit V' représente le nombre de millilitres d'acide N/50 versé depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume une quantité d'acide de 0,5 ml nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate.

2.1.3. Expression des résultats

- $V' - 0,5/5$ exprime le titre alcalimétrique complet en milliéquivalent par litre.
- $V' - 0,5$ exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

1°F = 10 mg de CaCO_3

2.2 Dosage de calcium Ca^{2+} (ISO, 1984)

2.2.1. Réactifs

- Hydroxyde de Sodium, solution de 2 mol/l.
- NaOH 8g
- Eau distillée 100ml
- EDTA, solution titrée, C (Na_2 EDTA) = 10 mmol /l.
- Indicateur HSN.

2.2.2. Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml de l'échantillon préparé dans une fiole conique de 250 ml. Ajouter 2 ml de la solution de NaOH et environ 0,2 g de l'indicateur HSN. Mélanger et doser immédiatement en versant lentement la solution d'EDTA avec agitation continue. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

2.2.3. Expression des résultats

La teneur en calcium, exprimée en milli-mole par litre est donnée par l'équation :

$$C_{ca} = C_1 \times V_3/V_0$$

Où :

C_1 est la concentration en EDTA exprimée en mmole/l

V_0 est le volume en ml de la prise d'essai

V_3 est le volume en ml de la solution de l'EDTA utilisé pour le dosage

Si l'on désire exprimer la teneur en calcium en mg/l, celle-ci est donnée, par l'équation:

$$C_{ca} = C_1 \times V_3 \times A/V_0$$

Où A est la masse atomique relative du calcium (40,08)

Si une dilution de l'échantillon a été utilisée, on tient compte de cette dilution en utilisant le facteur de dilution F.

2.3 Dosage de la dureté totale (TH) (ISO, 1984)

2.3.1. Réactifs

- Solution tampon ammoniacal de pH =10
- EDTA, solution titrée, C (Na₂ EDTA) = 10 mmol/l.
- Mordant noir 11, indicateur.

2.3.2. Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml de l'échantillon préparé dans une fiole conique de 250 ml. Ajouter 4 ml de la solution tampon et 3 gouttes de l'indicateur au mordant noir 11. La solution doit se colorer en violet et son pH doit être de 10. Mélanger et doser immédiatement. Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter. Verser lentement, puis en goutte à goutte dès que la couleur de la solution commence à virer du violet au bleu. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

2.3.3. Expression des résultats

La teneur globale en calcium et en magnésium, C_{Ca+Mg} est exprimée en milli-mole par litre est donnée par l'équation:

$$C_{Ca+Mg} = C_1 \times V_3/V_0$$

Où :

C_1 est la concentration en EDTA exprimée en mmole /l

V_0 est le volume en ml de la prise d'essai

V_3 est le volume en ml de la solution de l'EDTA utilisée pour le dosage

Si l'on désire exprimer la teneur en mg/l de carbonate de calcium, celle-ci est donnée par l'échelle de dureté en degré de dureté français :

1 degré de dureté français est la dureté correspondant à une teneur en carbonate de calcium de 10 mg/l, ou en concentration de quantité de matière 0,1 m-mol/l.

2.4 Dosage de dureté magnésienne (teneur en Mg²⁺)

C'est la différence entre la dureté totale et la dureté calcique.

$$C_{Mg^{2+}} = (TH - C_{Ca^{2+}}) \times A$$

(mg/l) (mmol/l)

A : masse molaire de magnésium (24,31)

2.5 Dosage des chlorures (ISO, 1984)

2.5.1. Réactifs

- Solution de nitrate d'argent à 0,01N.
- Solution de chlorures à 71 mg/l.
- Indicateur coloré K₂C_rO₄ à 10%

2.5.2. Mode opératoire

- Prendre 5 ml d'eau à analyser;
- Ajouter 2 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre);
- Titrer avec $AgNO_3$ à 0,01N jusqu'à coloration brunâtre.

2.5.3. Expression des résultats

$$F.G: \frac{V(AgNO_3) \times N(AgNO_3) \times M(Cl^-)}{PE} = \frac{V(AgNO_3) \times 0,01 \times 35,5 \times F \times 1000}{5}$$

$$F.S: mg/l Cl^- = V(AgNO_3) \times 71 \times F$$

$V(AgNO_3)$: Volume d' $AgNO_3$ nécessaire pour le dosage de l'échantillon;

$N AgNO_3$: Normalité de $AgNO_3$;

$M Cl^-$: Masse des chlorures ;

F : Facteur de correction du titre de $AgNO_3$;

PE : Prise d'essai.

Pour le facteur F :

- Prendre 5 ml de la solution mère à 71 mg/l;
- Ajouter deux gouttes de l'indicateur coloré ;
- Doser par $AgNO_3$ à 0,01N jusqu'au virage (couleur brunâtre).

$$F = \frac{1}{V(AgNO_3)}$$

3. Dosage photométrique (Spectrophotométrie d'émission de flamme)**3.1 Dosage du sodium Na^+ (ISO, 1993)****3.1.1. Réactifs**

- Peser 2.54 g de chlorure de sodium, ayant séché pendant une heure, dans une étuve à 105°C.
- Dissoudre cette même quantité dans de l'eau distillée et compléter à 1L. Cette solution a une concentration de 1 000 mg/l de sodium.
- Conserver cette solution dans une bouteille en plastique.
- Par dilution, préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l en prélevant 1 ml de la solution précédente dans 100 ml d'eau distillée.

3.1.2. Mode opératoire

- Faire passer trois fois au photomètre à flamme la solution d'étalonnage de 10 mg/l;
- Faire passer les échantillons. Procéder à la dilution de l'échantillon si la concentration en Na^+ est supérieure à 10 mg/l;
- Les concentrations correspondent aux extinctions x Facteur de dilution.

3.2 Dosage du potassium K^+ (ISO, 1993)

3.2.1. Réactifs

Dissoudre 1.907 g de KCl, ayant été séché à 105°C pendant une heure de temps, dans un litre d'eau distillée. Cette solution sera ainsi, une concentration égale à 1000 mg/l de potassium (K^+).

Soit $C_1 = 1000$ mg/l, la solution doit être stockée dans une bouteille en plastique. A partir de C_1 préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l, en prélevant 1 ml q.s.p. 100ml.

3.2.2. Mode opératoire

- Faire passer la solution de 10 mg/l trois fois, et ça doit afficher «10 ».
- Faire passer ensuite les échantillons. Si la concentration en potassium dépasse 10 mg/l, procéder à la dilution de l'échantillon.
- Les concentrations correspondent aux extinctions x Facteur de dilution.

4. Dosage spectrophotométrique

4.1 Dosage de l'ammonium NH_4^+

4.1.1. Réactifs

➤ Réactif coloré (R1)

Salysilate de sodium	13g
Citrate trisadique dihydraté	13g
Sodium nitropentcyanoferrite (III) dihydraté	0,097 g
Eau distillée	100ml

➤ Dichloroisocyanurate de sodium (R2)

Hydroxide de sodium	3,2g
Eau distillée	50ml
Dichloroisocyanurate dihydraté	0,2 g
Eau distillée	100ml

4.1.2. Mode opératoire

Verser 40 ml de l'échantillon dans une fiole jaugée de 50 ml, ajouter 4 ml de la solution de salicylate et mélanger. Ajouter 4 ml de la solution de réactif (R2), et compléter la fiole jusqu'à la jauge. Garder la fiole dans un bain-marie à 25°C pendant 1 heure.

Le résultat est directement donné par le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 655 nm. Il est exprimé en mg/l.

4.2 Dosage des ions nitrates (NO_3^-) (ISO, 1986)

4.2.1. Réactifs

➤ Mélange acide (R1)

Acide sulfurique (H_2SO_4)	500ml
Acide orthophosphorique (H_3PO_4)	500ml

Acide amidosulfonique	0,040 g
➤ Dimetyl – 2,6 phénol (R2) : solution à 1,2g/l	
Dimetyl – 2,6 phénol ((CH ₃) ₂ C ₂ H ₃ OH)	1,2g
Acide acétique (CH ₃ COOH)	1000ml

4.2.2. Mode opératoire

Introduire 35 ml du mélange acide (R1) dans une fiole sèche de 100ml, ajouter 5 ml de l'eau à analyser, puis ajouter 5ml de la solution de (R2). Mélanger soigneusement le contenu de la fiole par agitation circulaire et laisser reposer pendant 10 à 60 mn.

4.2.3. Expression des résultats

La concentration en azote nitrate (N-NO₃) est la valeur donner par le spectrophotomètre et la longueur d'onde est de 324 nm. Quant à la concentration en nitrate est égale à N-NO₃ x 4,427.

4.3 Dosage des nitrites (NO₂) (ISO, 1986)

4.3.1. Réactifs

Solution du réactif

Sulfamide (C ₆ H ₈ N ₂ O ₂ S)	20g
Acide phosphorique	50ml
N-(1-naphtyl) éthylénediami-dichlorohydraté (C ₁₂ H ₁₆ Cl ₂ N ₂)	1g
Eau distillée	250 ml

Compléter avec de l'eau distillée dans une fiole jaugée à un volume de 500ml

4.3.2. Mode opératoire

Introduire 40 ml de l'échantillon dans une fiole jaugée de 50 ml. Ensuite ajouter 1ml de la solution du réactif et bien mélanger, et finalement ajuster à 50 ml et laisser la préparation pendant 20mn.

Le résultat est exprimé en mg/l et la mesure se fait avec un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 540 nm.

4.4 Dosage des phosphates PO₄³⁻ (ISO, 1988)

4.4.1. Réactifs

➤ Réactif- mélange :

A- 13 g d'heptamolybdate d'ammonium	100 ml H ₂ O distillée.
B- 0.35 g de tartrate d'antimoine	100 ml H ₂ O distillée.
C- 150 ml d'acide sulfurique concentré	300 ml H ₂ O distillée.

Mélanger (A + C) + B = 500 ml (Stable pendant deux mois).

➤ Acide ascorbique :

10 g Acide ascorbique..... 100 ml H₂O distillée.

4.4.2. Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser

- 1 ml d'acide ascorbique
- Ajouter 2 ml du réactif-mélange
- Incubation Pendant 10 mn.

L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO_4^{3-} . Le résultat est donné en mg/l et la concentration est mesurée avec un spectrophotomètre.

4.5 Dosage des sulfates

4.5.1. Réactifs

- Solution-mère de sulfates à 120 mg/l.
- Acide chlorhydrique à 10%.
- Chlorure de baryum stabilisé: 10 g de chlorure de baryum + 20 ml de Tween 20 ensuite compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

4.5.2. Mode opératoire

- Dans les fioles, introduire 39 ml de l'échantillon à analyser;
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique à 10 %
- Ajouter 5 ml de la solution de chlorure de baryum stabilisé
- Agiter et laisser reposer pendant 15 mn
- Agiter à nouveau et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde: $\lambda = 680 \text{ nm}$.

4.6 Dosage de fer total (ISO, 1988)

4.6.1. Réactifs

- **Tampon d'acétate (R1)**

Acétate d'ammonium ($\text{CH}_3 \text{COO NH}_4$)	40g
Acide acétique cristallisable ($\text{CH}_3 \text{COOH}$)	50ml
Eau distillée	100 ml
- **Chlorhydrate d'hydroxylamine (R2)**

Chlorhydrate d'hydroxylamine ($\text{NH}_2 \text{OH-HO}$)	10g
Eau distillée	100ml
- **Solution de phénanthroline-1,10 (R3)**

Phénanthroline -1,10 monohydrate ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\text{H}_2\text{O}$)	0,42g
Eau distillée	100ml
Acide chloridrique	2 gouttes

4.6.2. Mode opératoire

Avec une pipete prendre 40 ml de l'eau à analyser dans une fiole de 50ml, ajouter 1 ml de la solution chlorhydrate d'hydroxylamine (R2) et mélanger soigneusement, puis ajouter 2 ml de la solution (R1) et ajouter en fin 2 ml de la solution (R3) et compléter à 50 ml avec de l'eau distillée puis conserver la fiole à l'obscurité pendant 15 mn. La teneur en mg/l est déterminée par le spectrophotomètre.

Tableau1 : concentrations bactériologiques maximales admissibles des eaux différentes

Paramètres		Bactéries	Unités	NG	CMA	Observations
Eau transportée sous canalisation	Eau traitée et prélevée à l'entrée du réseau	Coliformes fécaux	Nbr/100ml	-	0	Turbidité < 1 NTU pour la désinfection au chlore, il est préférable que le pH<6
		Coliformes	Nbr/100ml	-	0	Chlore libre résiduel 0,2 à 0,5mg /l après 30 min minimum de contact
	Eau non traitée à l'entrée du réseau	Coliformes fécaux	Nbr/100ml	-	0	dans 98% des échantillons examinés au cours de l'année dans le cas de gros débit et des échantillons prélevés en nombre suffisant
		Coliformes	Nbr/100ml	-	0	prélèvements occasionnels et non consécutifs
		Coliformes	Nbr/100ml	-	<10	
	Eau prélevée dans le réseau	Coliformes fécaux	Nbr/100ml	-	0	
		Coliformes	Nbr/100ml	-	0	Dans 98% des échantillons examinés au cours de l'année dans le cas de gros débit et des échantillons prélevés en nombre suffisant
		Coliformes	Nbr/100ml	-	<10	prélèvements occasionnels et non consécutifs
	Eau de boisson en bouteille		Coliformes	Nbr/100ml	-	0
Eau potable de source	Coliformes	Nbr/100ml	-	0	Avertir la population de javelliser ou faire bouillir l'eau, au cas où l'on n'arrive pas à respecter les valeurs indicatives	
	Germe totaux à 37°C 24h à 22°C 24h	Nbr/1ml Nbr/1ml	10 100	- -	Dans une eau traitée, le dénombrement des germes totaux effectué pour le réseau de distribution ne doit pas excéder 20 fois le taux obtenu au début de réseau. 90% des échantillons analysés au cours de l'année.	
	Streptocoques fécaux	Nbr/100ml Nbr/10ml	- -	0 0		

Tableau 2 : facteurs physico-chimiques

Paramètres	Unités	NG	CMA	Observations
pH				
Conductivité	µs/cm à 23°C	-	2800	En correspondance avec la minéralisation des eaux.
Résidu sec	mg/l après Séchage à 105°C	-	2000	
Dureté totale	mg/l Ca CO ₃	200	500	
Calcium	mg/l	75	200	La teneur en magnésium est calculée à partir de la différence entre la teneur en calcium + magnésium et la teneur en calcium.
Magnésium	mg/l	-	150	
Sodium	mg/l	-	200	
Potassium	mg/l	-	20	
Sulfate	mg/l	200	400	
Chlorures	mg/l	200	500	
Nitrates	mg/l	-	50	
Nitrites	mg/l	-	0,1	
Ammonium	mg/l	0,05	0,5	
Phosphate	mg/l	-	0,5	
Oxydabilité au <i>KmnO</i>₄	mg/l	-		La mesure est faite à chaud et en milieu solide.
Oxygène dissous	mg/l	-		
Aluminium	mg/l	-	0,2	

Tableau 3 : Facteurs indésirables ou toxiques

Paramètres	Unités	NG	CMA	Observations
Argent	ml/g	-	0,05	
Arsenic	ml/g	-	0,05	
Barium	ml/g	-	01	
Cadmium	ml/g	-	0,01	
Cyanures	ml/g	-	0,05	
Chrome	ml/g	-	0,05	
Cuivre	ml/g		1,5	
Fer	ml/g	-	0,3	
Fluor	ml/g		02	
Manganèse	ml/g	-	0,5	
Mercure	ml/g	-	0,001	
Plomb		-	0,05	
Hydrogène sulfuré	µg/l	-	0,02	Non décelable organoleptiquement
Sélénium	µg/l	-	0,61	
Zinc	µg/l	-	05	
Hydrocarbures Polycyclique Aromatiques(HAF)	µg/l	-	0,2	Substance de référence fluoranthène Benzo 3,4 fluoranthène Benzo 11,12 fluoranthène Benzo 3,4 pyrène Benzo 1,12 pyrène Indo (1,2,3) pyrène HAP Totaux 4µg/l à titre indicatif
Pesticide et produit apparentés				On entend par pesticides et produits apparentés :
• Au total	µg/l	-	0,5	<ul style="list-style-type: none"> • Les insecticides <ul style="list-style-type: none"> - Organochlorés persistants - Organophosphorés - Carbamates • Les herbicides • Les fongicides • Les POB et POT
• Par substances Individualisée	µg/l	-	0,1	
Détergents	µg/l	-	0,2	
Phénols	µg/l	-	02 20	S'il y a chloration à l'exclusion des phénols naturels qui ne réagissent pas au chlore. S'il n'y a pas de chloration.
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés huiles minérales	µg/l	-	10	

Tableau 1 : Normes des facteurs physico-chimiques des eaux potables (OMS, 1986)

Paramètres	Unités	VG	Valeur UE	Valeur limite Admissible
Résidu sec	mg/l	-	1500	1000
Température	mg/l	12	-	25
PH		-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Calcium Ca^{2+}	mg/l	100	-	200
Biarbonates	mg/l	-	-	-
Chlorures Cl^{-}	mg/l	25	25	200
Dureté totale °dH	°F mg/l	35 350	10	-
Potassium (K^{+})	mg/l	10		12
Conductivité ($\mu s/cm$)	$\mu s/cm$	400	400 (20°C)	1250
Magnésium (Mg^{2+})	mg/l	<30 ($SO_4^{2-} > 250$) <125 ($SO_4^{2-} < 250$)	30	60
Sodium (Na^{2+})	mg/l	20	-	200
Dureté non carbonatée	°F	-	-	10
Ammonium (NH_4^{+})	mg/l	0,05	0,05 - 0,5	0,5
Nitrate (NO_3^{-})	mg/l	10	25	50
Nitrite (NO_2^{-})	mg/l	0,01	0,1	0,1
Phosphate(PO_4^{3-})		-	0,02	0,02
Fluor (F^{-})		0,8 - 1,3	1,5 (8 - 12°C) 0,7 (25 - 30°C)	1,5
Sulfate	mg/l	25	-	250
Fer	mg/l	50	-	200
Arsenic (As)	mg/l	-	-	50
Chrome	mg/l	-	-	50
Cadmium (Cd^{2+})	mg/l	-	0,005	5
Nickel (Ni)	mg/l	-	-	0,5
Cyanure	mg/l	-	-	50
Cuivre	mg/l	-	-	50
Mercure	mg/l	-	-	-
Plomb	mg/l	-	-	-
Sélénium	mg/l	-	-	-
Phénols	mg/l	0,01	0,000	0,5
Détergents	mg/l	-	-	100

Tableau 2 : Normes bactériologiques des eaux potables (OMS, 1986)

Paramètres	Eau non au captage	Eau traitée à la distribution
Germes totaux à 37°C	5/ml	2/ml
Germes totaux à 22°C	100/ml	20/ml
Coliformes	3/ml	0/100ml
(<i>E. coli</i>)	0/100ml	0/100ml
Streptocoques fécaux	0/100ml	0/100ml
Clostridium sulfito-réducteur	2/20ml	0/20ml
Salmonelles	0/ml	0/5ml
Colibacilles	0/ml	0/ml

Résumé :

La crise de l'eau qui sévit depuis des années dans le monde n'a pas épargné l'Algérie où l'écart entre les ressources et la demande atteint un seuil critique. En effet, le recours au dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres est l'une des solutions envisagées pour surmonter cette problématique afin de sécuriser l'alimentation en eau potable.

Ce travail est basé sur l'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux obtenues après dessalement, ainsi que les eaux de forage et les eaux de consommation. L'eau dessalée est mélangée aux eaux de forage pour reminéralisation. Cette dernière est jugée nécessaire pour assurer une eau de consommation qui répond aux normes standards de potabilité.

Cependant, l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux produites par la station de dessalement de la ville de Tizirt, a mis en évidence que l'eau distribuée pour la consommation est faiblement minéralisée, ce qui confirme l'importance d'améliorer le processus de reminéralisation.

Summary

The water crisis prevailing for years in the world has not spared Algeria, where the gap between resources and demand reaches a critical threshold. Indeed, the use of desalination of seawater and brackish water is one of the solutions to overcome this problem in order to secure the water supply.

The work is based on the physic-chemical and bacteriological analysis of the obtained water after desalination, as well as drilled wells waters and drinking waters. The desalinated water is mixed with well water for reminéralisation. The later is considered necessary to ensure a drinking water that meets the standards of potable water.

However, the study of the physicochemical and bacteriological quality of the water produced by the desalination plant of Tizirt showed that the distributed water for consumption is weakly mineralized, that confirms the importance of improving the remineralization process.