

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université a. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés

Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Sciences et Technologies Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie des Procédés de l'Environnement

Présenté par

BOUAZIZ Mehdi

Thème

Colmatage des filtres 5 μ m de la station de traitement des
eaux

Soutenu le 28/09/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
BELKACEMI Hayet	Professeur	Université de Bejaia	Président
KACHBI Abdelmalek	MCA	Université de Bejaia	Examinateur
SENHADJI Ounissa	Professeur	Université de Bejaia	Encadrant
DEKKOUCHE Seghir	Doctorant	Université de Bejaia	Co- Encadrant

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

En premier lieu je tiens à exprimer mes remerciements à :

Mon promoteur **Madame Senhadji** pour ses conseils
judicieux et son

soutient, et ses précieuse orientation.

Aux membres du jury qui ont accepté de juger et de valider ce
travail.

A tous les enseignants de l'université de Bejaia qui ont
contribué à mes formations tout le long de cursus.

A toutes les personnes ayant contribué ; de près ou de loin, à
la

réalisation de ce travail.

Liste des abréviations :

CTT (E-Coli) : escherichia coli

DRX : diffraction par rayons X

EDTA : acide éthylène diamine tétra-acétique

FI : Fouling Index

HPP : High pressure processing

JORA : journal officiel de la république algérienne

KI : iodure de potassium

Lot : lotissement

MES : matière en suspension

MF : micro filtration

NF : nano filtration

OI : osmose inverse

OMS : organisation mondiale de la santé.

ORP : potentiel oxydoréduction

pH : potentiel hydrogène

P-rédox : potentiel rédox

SDI : Silt Density Index

SMBS : metabisulfite de sodium

TA : titre alcalimétrique

TAC : titre alcalimétrique complet

TDS : total des solides dessous

TF : réservoir en tête

TH : titre hydrotimétrique

UF : ultra filtration

UV : ultra violet

V : volume

V_{theo} : volume théorique

Liste des figures :

Figure I.1. Schéma général d'une installation de dessalement.....	6
Figure I.2. Schémas de types de traitement de l'eau potable.....	10
Figure I.3. Les systèmes de filtration membranaire.....	12
Figure I.4. Schéma de principe de fonctionnement de l'osmose inverse.....	14
Figure II.1. Schéma descriptif de la station de déminéralisation de IN SALAH.....	19
Figure II.2. Schéma de réservoir de l'eau brute (réservoir TF).....	22
Figure II.3. Cartouche de filtration bobinée : seuil de 5 µm.....	24
Figure II.4. Schéma de l'unité d'osmose inverse.....	25
Figure II. 5. Schéma de l'équipement de mesure du SDI	30
Figure IV.1. L'évolution de la concentration du chlore résiduel total en fonction de la dose de chlore introduite.....	51
Figure IV.2. La masse du dépôt en fonction de l'excès en SMBS.....	54
Figure IV.3. La masse du dépôt en fonction du chlore actif injecté.....	56
Figure IV.4. Spectre DRX de 3 échantillons prélevés sur la cartouche filtrante.....	57
Figure IV.5. Spectre DRX de l'échantillon 2 du dépôt récupéré.....	58
Figure IV.6. Spectre DRX de l'échantillon 3 du dépôt récupéré.....	58
Figure IV.7. Spectre DRX de l'échantillon 4 du dépôt récupéré.....	59
Figure IV.8. Spectre DRX de l'échantillon du dépôt de référence récupéré.....	59

Liste des tableaux :

Tableau II.1. Données d'entrée de base de l'antitartre.....	23
Tableau II.2. Données Techniques des filtres 5 Micron pour le Système d'Alimentation d'Osмосe Inverse.....	23

Tableau II.3. Données d'entrée de base unité de préparation et de dosage de Carbonate de Sodium.....	26
Tableau II.4. Données d'entrée de base de la postchloration de l'eau traitée.....	27
Tableau III.1. Solutions étalons pour l'établissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage des sulfates.....	39
Tableau III.2. Les concentrations en carbonates et hydrogénocarbonates sont données en fonctions du TA et TAC dans le tableau suivant.....	41
Tableau III.3. Solutions étalons pour l'établissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage des nitrites.....	42
Tableau III.4. Solutions étalons pour l'établissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage des sulfates Orthophosphates.....	43
Tableau III.5. Quantités de métabisulfite de sodium injecté.....	48
Tableau III.6 Quantités de réactifs injectés dans 50 ml d'eau brute.....	49
Tableau IV.1. Paramètres organoleptiques de l'eau brute.....	46
Tableau IV.2. Paramètres physico-chimiques de l'eau brute	46
Tableau IV.3. Paramètres de pollution de l'eau brute.....	47
Tableau IV.4. Paramètres de Minéralisation Globale de l'eau brute.....	48
Tableau IV.5. Eléments Indésirables de l'eau brute.....	49
Tableau IV.6. Paramètres bactériologiques de l'eau brute.....	49
Tableau IV.7. Quantité de chlore résiduel e fonction du chlore actif injecté.....	50
Tableau IV.8. La masse du dépôt récupéré en fonction de la quantité d'SMBS en excès dans 50 ml d'eau brute.....	53
Tableau IV.9. La masse du dépôt rn fonction de quantité de chlore actif et SMBS injectée dans 50 ml d'eau brute.....	55

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I.....	3
GENERALITES SUR LES EAUX	3
I.1. L'EAU.....	4
I.1.1. EAU SOUTERRAINE.....	4
I.1.2. Eaux de surface	5
I.1.3. Eau de Mer	6
I.2. L'EAU POTABLE	7
I.3. LIGNES DIRECTRICES POUR LE TRAITEMENT DE L'EAU NATURELLE.....	7
I.4. CRITERES DE POTABILITE D'UNE EAU DESTINEE A LA CONSOMMATION.....	7
I.4.1. LES PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES.....	8
I.4.2. Les paramètres physico-chimiques	8
I.5. POURQUOI TRAITER L'EAU ?.....	9
I.6. CONCEPT DE TRAITEMENT DE L'EAU :.....	9
I.7. LA FILTRATION :	10
I.7.1. La filtration membranaire	10
I.7.2. Classification des membranes filtrantes	11
I.7.3. Les type de filtration :.....	11
I.7.3.1. La microfiltration :.....	11
I.7.3.2. L'ultrafiltration.....	12
I.7.3.3. La nanofiltration.....	13
I.7.3.4. Osmose inverse	13
I.8. CONCLUSION	15
CHAPITRE II.....	17
STATION DE TRAITEMENT DES AUX EAUX DE IN SALAH.....	17
II.1. INTRODUCTION	18
II.2. DESCRIPTION DE LA STATION DE POTABILISATION DES EAUX DE IN SALAH	18
II.3. DESCRIPTION GENERALE DU FONCTIONNEMENT DE LA STATION :.....	19
II.4. CONCEPT DE TRAITEMENT DE L'EAU PAR OSMOSE INVERSE A LA STATION D'AIN SALAH...20	
II.5. RESERVOIR DE L'EAU BRUTE (RESERVOIR TF).....	21
II.6. LA PLATE FORME DES FILTRES A SABLE	22
II.7. RESERVOIR D'EAU FILTREE :	22
II.8. UNITE DE PREPARATION ET DE DOSAGE DE METABISULFITE DE SODIUM (SMBS) :.....	22
II.9. UNITE DE DOSAGE D'ANTITARTRE (ANTISCALANT) :	23
III.10. UNITE D'OSMOSE INVERSE :.....	24

Sommaire

II.11. DESCRIPTION DU PROCEDE ET DU FONCTIONNEMENT :.....	25
II.11.1. Description fonctionnelle :	25
II.12. UNITE DE PREPARATION ET DE DOSAGE DE CARBONATE DE SODIUM.....	26
II.13. POSTCHLORATION DE L'EAU TRAITEE :	27
II.14. ÉQUIPEMENT DE MISE EN SERVICE	27
II.15. ANOMALIES ET CONTRAINTES DE FONCTIONNEMENT DE STATION DE DEMINERALISATION	28
II-16. CONSOMMATION ANNUELLE (ANNEE 2020) EN CARTOUCHES FILTRANTES ET PRODUIT CHIMIQUE.....	28
II.17. COLMATAGE DES CARTOUCHES FILTRANTES :	28
II.17.1. Différence de pression :	28
II.17.2. TEST SDI.....	29
II.17.2.1. Équipement.....	29
II.17.2.2. Procédure.....	30
CHAPITRE III	31
MATERIEL ET METHODES.....	31
III.1.1. REACTIFS :	32
III.2. METHODES :	38
III.2.1. L'analyse de l'eau brute	38
III.2.1.1. Les Sulfates : Méthode néphélométrique :	38
III.2.1.2. Les Chlorures :	39
III.2.1.3. Titre Alcalimétrique (TA) et du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :	40
III.2.1.4. Bicarbonates :	41
III.2.1.5. Détermination de la dureté de l'eau par l'EDTA :	41
III.2.1.6. Nitrites :	42
III.2.1.7. Orthophosphates :	43
III.2.1.9. La silice :	43
III.2.1.10. Ammonium	44
III.2.1.11. La salinité.....	44
III.2.1.12. Résidus secs :	45
III.2.1.13. La turbidité :	45
III.2.1.14. pH :	46
III.2.1.15. La conductivité :	46
III.2.1.19. Sodium et Potassium :	46
III.2.1.20. Nitrates :	46
III.2.2. Détermination de la demande en chlore de l'eau brute de IN SALAH	47
III.2.2.1. Préparation de la solution d'hypochlorite de calcium :	47
III.2.2.2. Détermination de la teneur en chlore actif dans la solution d'hypochlorite de calcium par la méthode iodométrique :	47

Sommaire

III.2.2.3. Dosage chlore résiduel de l'eau de IN SALAH :.....	47
III.2.3. Suivi de la réaction entre le SMBS et l'antitartre :.....	48
CHAPITRE IV	45
RESULTATS ET DISCUSSION	45
VI.1. RESULTATS DE L'ANALYSE DE L'EAU BRUTE :	46
IV.2. LE TITRE DE LA SOLUTION D'HYPOCHLORITE DE CALCIUM :	49
IV.3. DETERMINATION DE LA DEMANDE EN CHLORE DE L'EAU D'IN SALAH :.....	50
IV.4. QUANTITE OPTIMALE D'EAU DE JAVEL A INJECTER :.....	52
IV.5. NEUTRALISATION DU CHLORE :	52
IV.5.1. Quantité optimale d'SMBS à injecté :.....	52
IV.6. FORMATION D'UN DEPOT :.....	53
IV.7. RESULTATS DE LA DRX :.....	56
IV.7.1. Pour les échantillons prélevés sur la cartouche filtrante colmatée :.....	57
Spectres des différents dépôts représentés séparément :.....	58
IV.7.3. Interprétation des Diffractogrammes RX :	60
CONCLUSION GENERALE :	60
REFERENCES :.....	62

Introduction générale

Comme nous le savons tous, la planète Terre est également appelée planète bleue, ceci provient du fait que l'eau recouvre 72 % de 509 millions de kilomètre carré de la surface du globe. L'eau existe en quantité immuable depuis des millénaires, dans le monde, nous pouvons en compter 1400 millions de km³. C'est une quantité phénoménale. Même si la consommation en eau connaît un accroissement drastique, il serait impossible de la consommer entièrement [1].

Mais ce n'est pas si simple, en effet, cette quantité d'eau colossale n'est pas totalement propre à la consommation. La plus grande partie 97,5%, est de l'eau de mer et le reste 1,8% dans les banquises, 0,6% dans les nappes souterraines, 0,015% dans les lacs et rivières et le restant se répartit entre l'humidité contenue dans le sol, la vapeur d'eau dans l'atmosphère, l'eau contenue dans la matière vivante [1].

En effet seulement 10 pays se partagent à eux seuls 60 % des réserves d'eau douce alors que 29 autres (principalement en Afrique et au Moyen-Orient) sont au contraire confrontés à des pénuries d'eau douce. Dans ces pays, 650 millions de personnes souffrent du manque d'eau, dont 1,6 millions décèdent chaque année des conséquences du manque d'eau. On estime qu'en 2050, 2,5 milliards de personnes souffriront du manque d'eau à cause de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations en eau [2].

Le dessalement des eaux saumâtres procure une solution séduisante à cette problématique. C'est pourquoi le marché du dessalement est d'ores et déjà en pleine expansion avec une progression de 7% par an, d'autant que 70% de la population mondiale vit à moins de 70 km des bordures maritimes [3].

Dans le même rapport l'Algérie se trouve parmi les pays de l'Afrique du nord les plus menacés, elle vit dans une situation de pénurie hydrique et celle-ci va s'aggraver avec le dérèglement climatique.

Pour le Sahara septentrional algérien, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines. Cette région dispose de la plus grande nappe d'eau souterraine au monde (la nappe de l'Albien).

Pour subvenir aux besoins de la ville de Tamanrasset en eau douce, l'eau de cette nappe est captée à partir de 48 forages, ensuite cette eau est déminéralisée grâce à la station de déminéralisation lot6 qui se situe à 70km au nord de la ville de IN SALAH. L'eau traitée est ensuite acheminée sur 700 km vers la ville de Tamanrasset : 214 km par adduction gravitaire et les 522km restant en adduction par refoulement grâce à 6 stations de pompage, pour garantir une capacité de 90 000 m³/j à l'horizon de 2050. [4]

En plus de cette introduction, le mémoire est subdivisé en 4 chapitres :

Le premier comporte les généralités sur les eaux, ses ressources, les lignes directrices de la potabilisation d'une eau et ses critères.

Le deuxième est consacré à la description et présentation de la station de déminéralisation par Osmose Inverse de IN SALAH, le concept de traitement de l'eau, la description du procédé et du fonctionnement de la station, les consommations annuelles en cartouches filtrantes et produits chimiques et en fin aux anomalies et aux contraintes de fonctionnement de la station de déminéralisation, en expliquant le colmatage prématuré des cartouches filtrantes.

Le troisième chapitre est dédié aux méthodes et aux matériels utilisés afin d'accomplir les expériences nécessaires pour l'étude.

Le quatrième chapitre rassemble tous les résultats expérimentaux obtenus lors des expériences effectuées et leur discussion.

En fin, le manuscrit se termine par une conclusion générale.

L'objectif de ce travail est de déterminer les causes du colmatage prématuré des cartouches filtrantes et trouver des solutions pour contrer ce problème.

CHAPITRE I

Généralités sur les eaux

I.1. L'eau

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur. C'est un composé chimique simple, sa formule chimique est H_2O , c'est -à- dire que chaque molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogènes (H) par deux liaisons covalentes simples, formant un angle de $104.5^\circ C$.

L'eau se trouve sous différentes ressources, souterraine et superficielle. Les eaux souterraines peuvent se présenter sous forme de vapeur d'eau ou de glace selon qu'elles jaillissent dans les sources ou dans les glaciers dans l'atmosphère, en revanche, les eaux superficielles rassemblent toutes les eaux présentes sous forme liquide à la surface de la Terre. [5]

I.1.1. Eau souterraine

La nature géologique du sol détermine la composition chimique des eaux souterraines. L'eau est constamment en contact avec la terre sur laquelle elle stagne ou circule, ainsi l'équilibre se développe entre la composition du sol et celle de l'eau: c'est à dire une eau qui circule dans un substratum sableux ou granitique est acide et possède quelques minerais. Une eau qui circule dans les calcaires contient l'alcalinité des bicarbonates. [6]

Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en : [7]

- ❖ Nappes phréatiques ou alluviales: Peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluviales ou les écoulements d'eau en dessus.
- ❖ Nappes captives : Plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures.

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est déterminante de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car elles répondent aux normes de potabilité (auto- épuration naturelle). ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, mais elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants[7].

➤ Eau minérale naturelle

Eau minérale naturelle est une appellation qui désigne une variété d'eau vendue en bouteille. Elle est définie par un certain nombre de caractéristiques selon les réglementations. De

manière générale une eau minérale naturelle doit avoir une origine souterraine et une composition chimique stable, et ne doit subir aucun traitement de potabilisation[7].

L'exploitation et le conditionnement d'une source d'eau minérale nécessitent des autorisations administratives spécifiques.

Il existe principalement cinq catégories d'eau minérale : [7]

- ❖ Les eaux bicarbonatées plus de 600 mg/l de bicarbonate: bonnes pour traiter les affections du foie et des intestins.
- ❖ Les eaux sulfatées : bonnes pour traiter les affections des reins, de la peau (brûlures, eczémas, cicatrices) ;
- ❖ Les eaux sulfurées dans des bains de plus de 35°C : bonnes pour les muqueuses et pour les affections respiratoires ;
- ❖ Les eaux chlorurées : bonnes pour les processus de croissance ;
- ❖ Les eaux oligométalliques : bonnes pour les rhumatismes et les affections neurologiques.

I.1.2. Eaux de surface

Aussi appelées « eaux superficielles », les eaux de surface regroupent l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes en contact direct avec l'atmosphère. Ces eaux peuvent être douces, saumâtres ou encore salées selon leur emplacement. [5]

Parmi les eaux de surface, on peut citer : [5]

- Les fleuves, les rivières, les lacs, les ruisseaux, les cours d'eau,
- Les eaux de ruissellement (eaux de pluies),
- Les réservoirs,
- Les lacs de barrage,
- Les mers et les océans (eau saumâtre),
- Les eaux côtières,
- Les zones humides ou eaux de transitions, c'est-à-dire toutes les masses d'eau situées à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves (estuaires, vasières, marais côtiers, lagunes, mares, bordures de lacs...).

Ces eaux représentent toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents.

Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne et de polluants à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur.[7]

Les eaux de surface ont la particularité suivante :[7]

- Les goûts dus aux huiles, à la vase, aux algues.
- Les odeurs dus aux algues, poissons, plantes
- La couleur due à l'argile, les algues

I.1.3. Eau de Mer

Les eaux de mer contiennent, en moyenne, 35 g/L de sel. Ces eaux sont potabilisées par le processus de dessalement qui consiste à séparer les sels dissous de l'eau. La plupart des usines sont organisées selon le schéma de la figure I.1 :[7]



Figure I.1. Schéma général d'une installation de dessalement[7]

1. **Une unité de pompage** : Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière
2. **Une unité de décantation** : constituée de grandes cuves permettant le dépôt des impuretés les plus denses.
3. **Un prétraitement avec une filtration plus fine.**

Le **prétraitement** comporte généralement les étapes suivantes:[7]

- La chloration qui permet de désinfecter l'eau en arrêtant la prolifération des organismes vivants et d'éviter l'obstruction des canalisations
- La filtration pour éliminer les matières en suspension et ainsi protéger les pompes.

- L'ajout d'un produit antitartre dans le cas de la distillation qui permet d'éviter le colmatage des échangeurs de chaleur avec la précipitation de carbonate de calcium ; l'ajout éventuel d'un agent anti-mousse dans le cas de la distillation pour combattre la production de mousses lors de l'évaporation de l'eau.

4. Une unité de désalinisation qui peut fonctionner selon 3 principes physiques différents : la distillation - l'osmose inverse - l'électrodialyse.

-Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

I.2. L'eau potable

Une eau est dite potable si elle peut être consommée sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur [8].

I.3. Lignes directrices pour le traitement de l'eau naturelle

Les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux brutes varient en fonction de la nature du sol et des activités locales (agricoles, industrielles et domestiques). Pour être exploitables, les eaux brutes doivent répondre à des critères de qualité fixés par la réglementation[9].

66 % des volumes d'eau captée proviennent de ressources souterraines et 34 % d'eau d'origine superficielle (cours d'eau, lacs). Le type de traitement dépend de la qualité de l'eau brute captée :

- Le traitement des eaux sous terraines consiste en une simple désinfection, couplée à une filtration, car elles sont bien protégées par leur profondeur et la nature géologique des terrains traversés,
- Un traitement plus poussés (prétraitement, coagulation-floculation et procédés d'affinage avant désinfection) pour des eaux superficielles ou des eaux souterraines de qualité moindre.

I.4. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation

Une eau est dite "potable" si elle respecte les normes imposées par la réglementation internationale et par fois locales. Il existe deux catégories de paramètres à contrôler [9, 10]:

I.4.1. Les paramètres organoleptiques

- **Le goût** : Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation, il doit être non désagréable.
- **La couleur et l'odeur** : La couleur de l'eau est liée à la présence de substances organiques colorées (principalement des acides humiques et fulviques) et de métaux (le fer et le manganèse). L'odeur a pour principale origine la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz.
- **La turbidité** : La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau ; c'est l'inverse de la limpidité. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres microorganismes.

I.4.2. Les paramètres physico-chimiques

- **Température** : La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit situer entre 8 et 15°C. L'OMS ne recommande aucune valeur. Pratiquement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine, cependant, une température supérieure à 15 °C favorise le développement des microorganismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs. Par contre, une température inférieure à 10 °C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements d'eau [9,10].
- **La dureté** : La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na, K) et H. Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre. On l'exprime aussi en degré français (°F). [9,10].
- **pH** : Le pH exprime l'acidité ou l'alcalinité suivant qu'il se trouve dans la bande de 0 à 7 ou de 7 à 14, la valeur de 7 constitue la neutralité du milieu. Le pH est indissociable de la température, de l'oxygène dissous et de la minéralisation totale. La mesure du pH grâce à un pH-mètre ou un comparateur colorimétrique approprié est tout à fait valable pour déterminer la concentration de l'ion d'hydrogène et l'ion d'hydroxyde. [9,10].

- **La minéralisation** : La minéralisation est la concentration en ions de sels dissous (Sulfates, Chlorures, Sodium, Magnésium, Aluminium...). [9,10].
- **Substances indésirables** : Ce sont entre autres, les substances suivantes : Acrylamide, Azote Kjeldahl N, Benzène, Bore, Bromates, Chlorure de vinyle, Cuivre, Détergents anioniques, Dichloréthane, Epichlorhydrine, Fer, Fluorures, H₂S, Hydrocarbures dissous, Manganèse, Nitrites (NO₂), Nitrates (NO₃), Oxydabilité au KMnO₄, Phénols, Tétrachloroéthylène et Trichloréthylène, Trihalométhanes. [9,10].
- **Substances toxiques** : Parmi les substances toxiques, on peut citer les éléments suivants : Arsenic, Cadmium, Cyanure, Chrome total, Mercure, Nickel, Plomb, Antimoine, Sélénium, Hydrocarbures aromatiques polycycliques. [9,10].

I.5. Pourquoi traiter l'eau ?

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à la consommation. Même une eau d'apparence pure transporte, peut contenir toutes sortes de substances inertes et de bio-organismes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies. Pour une consommation sans danger, l'eau doit donc être traitée [8].

I.6. Concept de traitement de l'eau :

Le choix des procédés de traitement est guidé en premier lieu par la nature de l'eau à traiter et par le débit souhaité. C'est pourquoi la filière définitive ne peut être choisie qu'après avoir rassemblé le maximum de données analytiques sur la ressource. [11]

En générale, le traitement des eaux quelque soit la nature de cette dernière comporte les étapes suivantes :

1. Prétraitement

Il vise à extraire de l'eau, par des procédés du type dégrillage, dessablage, tamisage, etc., la plus grande partie des éléments grossiers qui pourraient occasionner une gêne pour les traitements ultérieurs.

2. Clarification :

Elle a pour but l'élimination des matières en suspension, colloïdales, et qui augmente la turbidité de l'eau. Et pour cela ils utilisent les phénomènes de : coagulation, floculation, décantation et filtration.

Notons, à propos de cette dernière, qu'elle permet d'affiner les résultats des opérations précédentes et peut être utilisée pour mettre en œuvre d'autres traitements : biologiques, chimiques, physiques (adsorption sur charbon actif).

3. Désinfection :

La désinfection permet de détruire les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies. Elle fait appel à des différents procédés comme : chimiques (chloration, ozonation), physiques (UV).

4. Autres traitement :

Les traitements mentionnés ci-dessus constituent des traitements généraux (Figure I.2). Il peut venir s'y adjoindre, selon nécessité, de nombreux traitements complémentaires dits traitements spécifiques, qui ont pour but : d'éliminer des composés particuliers : comme le fer et le manganèse, carbonates, micropolluants, etc. La minéralisation de l'eau, et l'ajustement de certains paramètres tel le pH. [1]

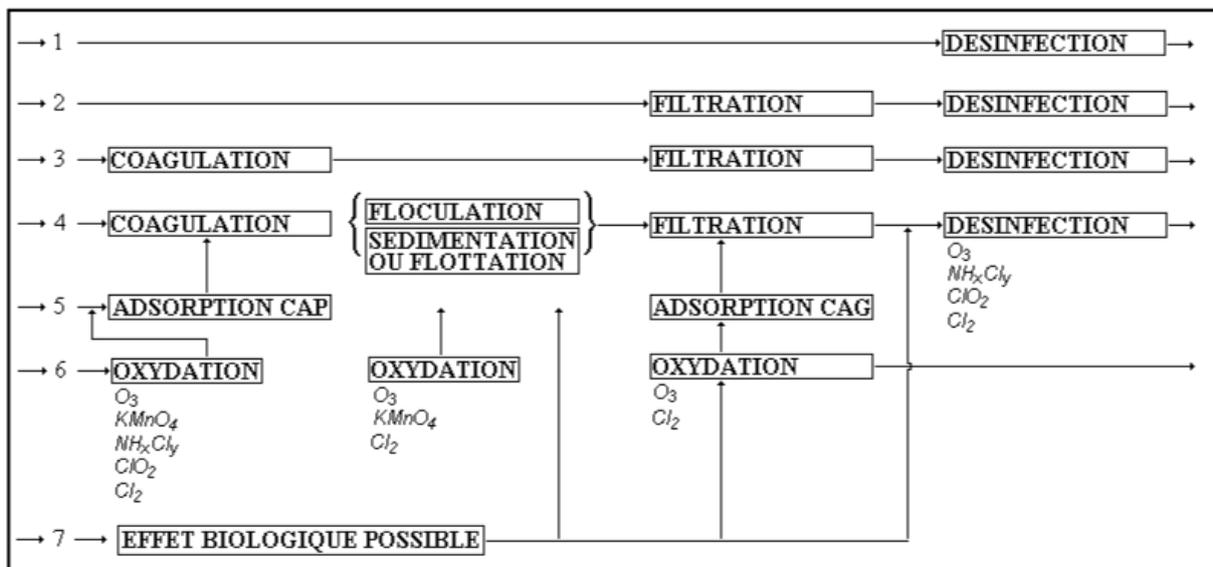


Figure I.2. Schémas de types de traitement de l'eau potable [18]

I.7. La filtration :

I.7.1. La filtration membranaire

Par définition, la membrane est une barrière permselective qui va réduire le transfert d'un soluté par rapport à un autre (le plus souvent d'un ou des solutés par rapport à l'eau). Dans le cas de la filtration membranaire, la membrane est une structure poreuse avec des pores de

l'ordre de 0,1 à quelques nm pour la nano filtration. Le seuil de coupure est défini par la masse molaire du soluté le plus petit retenu à 90 % [12].

I.7.2. Classification des membranes filtrantes

Les mécanismes de séparation dans les membranes sont complexes et encore partiellement compris. Les processus qui jouent un rôle dans la séparation membranaire sont : le tamisage, la friction sur les parois des pores des membranes, la diffusion dans le matériau membranaire ou dans les pores des membranes, les forces de surface répulsives ou attractives, notamment la répulsion électrostatique. La classification la plus répandue des membranes d'après le mécanisme de séparation est la suivante :

- ✓ Membranes poreuses (MF, UF, NF), où les effets de tamisage et de friction jouent des rôles importants mais où les forces de surface peuvent aussi jouer un rôle important comme en NF ; les pores peuvent être subdivisés en plusieurs catégories :
 - Supérieurs à 50 nm (MF, UF) ;
 - De 2 à 50 nm (UF) ;
 - Plus petits que 2 nm (NF).
- ✓ Membranes non poreuses (perméation de gaz, pervaporation, osmose inverse (OI)) ; ces membranes peuvent être considérées comme des milieux denses où la diffusion des espèces a lieu dans les volumes libres situés entre les chaînes moléculaires du matériel de la membrane ;
- ✓ Membranes échangeuses d'ions. Ces types de membranes considérées comme un type spécial de membranes non poreuses, consistant en des gels denses ayant une charge positive (échangeuses des anions) ou négative (échangeuses des cations).

Remarque : Il faut noter que toute la communauté scientifique ne s'entend pas sur cette classification. Par exemple, certains auteurs considèrent que les membranes d'OI sont des membranes poreuses. Il faut aussi noter que la plupart des membranes polymériques sont chargées même si leur charge est plus faible que celles des membranes échangeuses d'ions. [13]

I.7.3. Les type de filtration :

Les différents systèmes de filtrations membranaires sont schématisés sur la figure I.3

I.7.3.1. La microfiltration :

Le Diamètre des pores des membranes de microfiltration est compris entre 0,1 et 10 μm . Elle permet la rétention des particules en suspension, des bactéries, des levures, des fragments de

cellules biologiques et des matières colloïdales. La taille des éléments arrêtés se situe généralement, entre 0.05 μm et 2 μm , la pression transmembranaire est comprise entre 0.1 et 3 bar et le flux de perméat peut aller de 150 juqu' à 1500 l/h.m²

La microfiltration trouve des applications dans divers domaines comme :

- ✓ La purification de l'eau
- ✓ Séparation des émulsions huile/eau
- ✓ Prétraitement de l'eau pour une nano filtration ou une étape d'osmose inverse
- ✓ Séparation solide-liquide pour les industries alimentaires et pharmaceutiques

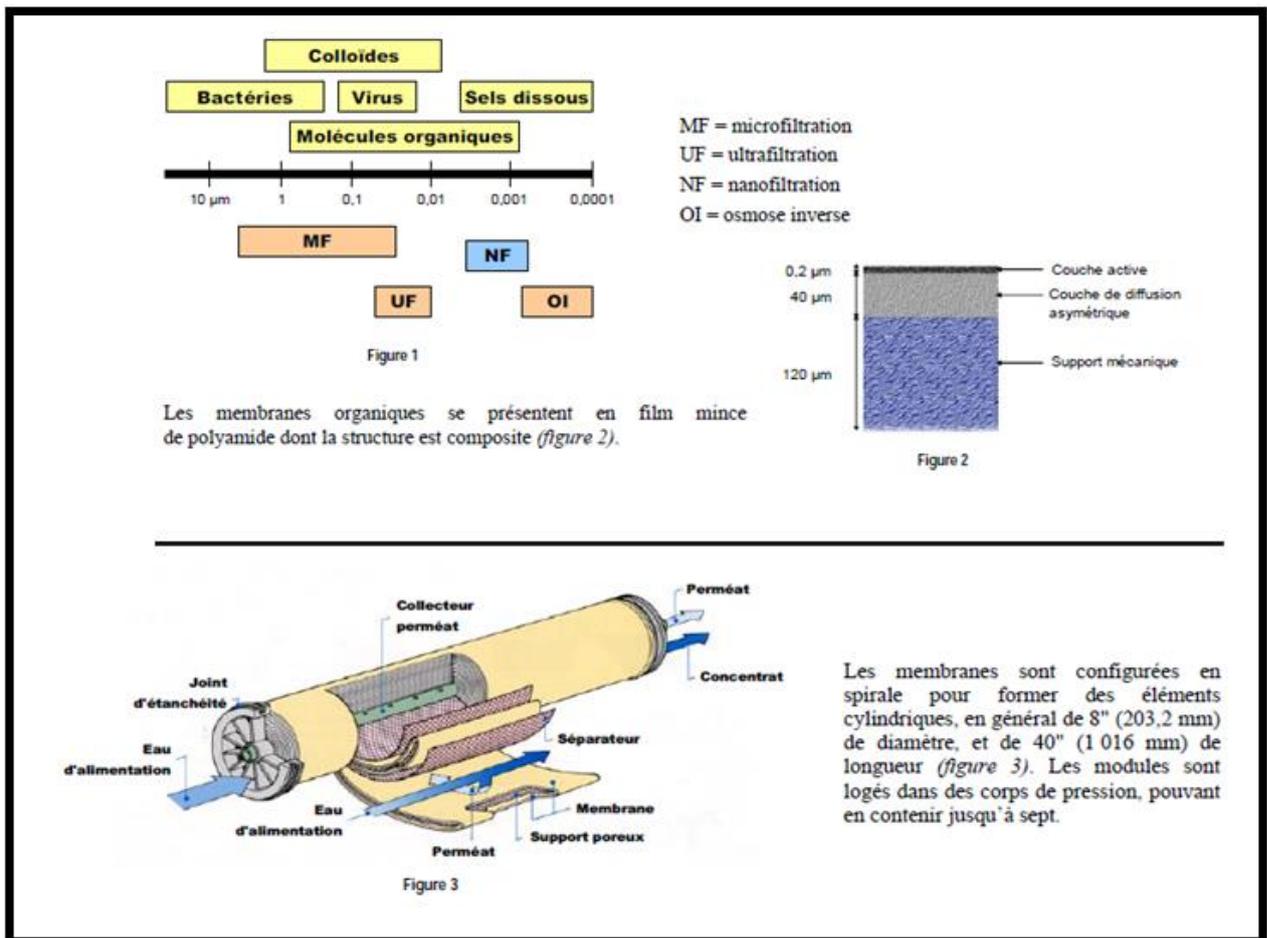


Figure I.3. Les systèmes de filtration membranaire [14]

I.7.3.2. L'ultrafiltration

Des membranes poreuses de diamètre de pores compris entre 2 à 100 nm sont utilisées dans l'ultrafiltration. Elle permet de retenir des molécules de poids moléculaires allant de 5 à 500 kDa ; comme les protéines, les macromolécules, les colloïdes, les virus. La pression

transmembranaire appliquée est dans l'intervalle : 3 – 10 bars et le flux de perméat varie entre 50 et 200 l/h.m²

L'ultrafiltration est appliquée dans divers domaines comme :

- ✓ Clarification et désinfection des eaux potables
- ✓ Industrie alimentaire et en particulier l'industrie laitière: concentration des protéines de lactosérum
- ✓ Industrie métallurgique (séparation d'émulsion huile/eau, traitement des bains de peinture)
- ✓ Industrie du textile

I.7.3.3. La nanofiltration [14]

Dans la nanofiltration sont impliquées des membranes de très faibles diamètre de pores (environ 1 nm) ce qui offre la capacité, très intéressante de séparer des composés de faible poids moléculaire. Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 300 g/mol ne sont pas retenus par ce type de membrane. Les sels ionisés multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques non ionisés de masse molaire supérieure à environ 300 g/mol sont, par contre, fortement retenus (la taille de ces éléments est comprise entre 0.4 nm et 1 nm). La pression transmembranaire appliquée est de 10 à 50 bars, le flux de perméat varie entre 50 et 100 l/h.m²

Domaines d'application :

- ✓ Déminéralisation sélective avec élimination d'ions multivalents
- ✓ Élimination des pesticides des eaux souterraines
- ✓ Adoucissement des eaux de surface ou souterraines
- ✓ Traitement des effluents dans l'industrie du papier, du bois, de la teinture.

I.7.3.4. Osmose inverse

L'osmose inverse (figure I.4) est une technique « membranaire » reposant sur la filtration sous pression (30 - 100 bars) à travers des membranes dont les pores sont si petits que même les sels sont retenus (la taille des éléments arrêtés est inférieure à 0.4 nm). Cette technique en plein essor, dont le coût énergétique moyen est relativement faible, (≈ 4 -

5kWh/m³) est actuellement un système éprouvé ayant montré sa fiabilité [17]. Il trouve sa place dans un bon nombre de domaines d'application, comme :

- Dessalement de l'eau de mer ;
- Préparation d'eau ultra-pure pour l'électronique et la pharmacie ;
- Concentration de jus de fruits, antibiotiques, acides aminés ;
- Concentration du lait pour la production de fromage dans l'industrie laitière.

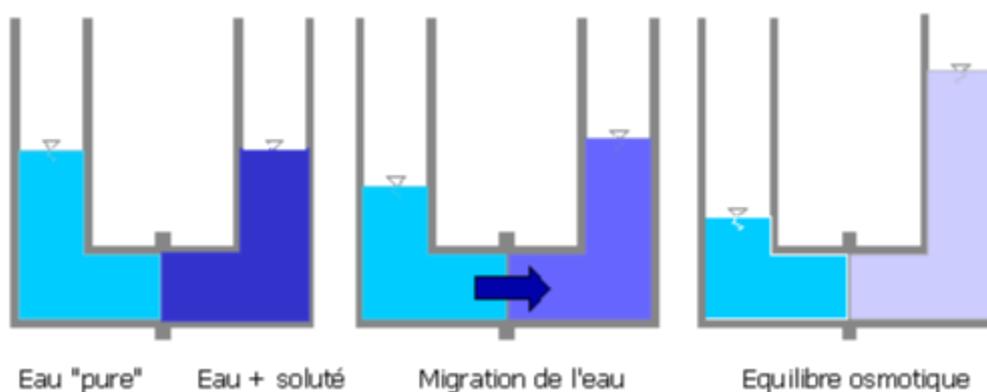


Figure I.4. Schéma de principe de fonctionnement de l'osmose inverse [15]

Description d'une installation d'osmose inverse

Une installation d'osmose inverse comporte essentiellement [14] :

- ❖ Des prétraitements physico-chimiques afin de protéger les membranes contre le colmatage par les matières en suspension et les matières biologiques, et l'entartrage par précipitation des sels de calcium ;
- ❖ Une pompe d'alimentation pour la mise sous pression de l'eau (pression d'alimentation comprise entre 5 et 10 bars) ;
- ❖ Un ensemble de corps de pression contenant les éléments, arrangés en série, et généralement disposés en trois étages afin d'obtenir des facteurs de conversion compris entre 80 et 90 %.
- ❖ Des post-traitements pour la mise à l'équilibre calco-carbonique, la reminéralisations et la désinfection du perméat ;
- ❖ Un poste de nettoyage chimique des membranes.

I.8. Conclusion

L'osmose inverse (OI) constitue bien la solution pour traiter des eaux difficiles* [14], bien qu'il existe d'autres procédés tels que le système flash utilisé au Moyen Orient, ou l'électrolyse. La technologie de dessalement par osmose inverse gagne des parts de marché et devient dominante. En 1990, l'OI représentait 40% des installations dans le monde. Aujourd'hui, ce procédé représente environ 60% des installations. En 2025, les projections donnent la répartition de 70 % pour l'OI contre 20 % pour la distillation et 10 % pour les autres techniques [17].

Difficile : Une eau brute est considérée comme difficile si elle présente plusieurs paramètres spécifiques à corriger afin de la rendre apte à la consommation humaine.

Chapitre II

Station de traitement des eaux de In Salah

II.1. Introduction

L'osmose inverse est une des nombreuses techniques dites membranaires. C'est à dire une technique qui consiste à utiliser un film de faible épaisseur semi-perméable : la membrane, à travers laquelle sous l'effet d'une différence de pression. Ces techniques permettent [15] :

- ✓ Soit d'épurer un solvant de ses polluants,
- ✓ Soit de concentrer une solution en éliminant le solvant.

II.2. Description de la station de potabilisation des eaux d'In Salah [18]

La réalisation de la station de déminéralisation Lot 6, s'inscrit dans le cadre du méga projet qui consiste en l'alimentation en eau potable de la wilaya de Tamanrasset à partir d'In Salah et qui s'étend sur une distance de 700 km avec une capacité nominale de 100 000 m³/jour pour couvrir des besoins en eau estimés à 90 000 m³/j à l'horizon de 2050. Ces besoins correspondent à une population de 340 000 habitants, avec une dotation unitaire de 265 L/j/habitant.

Pour répondre aux besoins croissants en eau potable des populations de la wilaya de Tamanrasset, la station de déminéralisation est prévue d'être construite en deux phases :

- **Première phase** : Le débit d'entrée de la phase 1 est plafonné à 45 000 m³/jour d'eau brute en régime permanent, c'est-à-dire 0,52 m³/s.

- **Deuxième phase** : Le débit de la phase 2 est de 90 000 m³/jour d'eau brute en régime permanent, c'est-à-dire 1,04 m³/s.

Les équipements à installer en phase 1 devront assurer une production journalière garantie d'une quantité d'au moins 38 000 m³ d'eau partiellement déminéralisée conforme aux normes internationales pour l'eau potable.

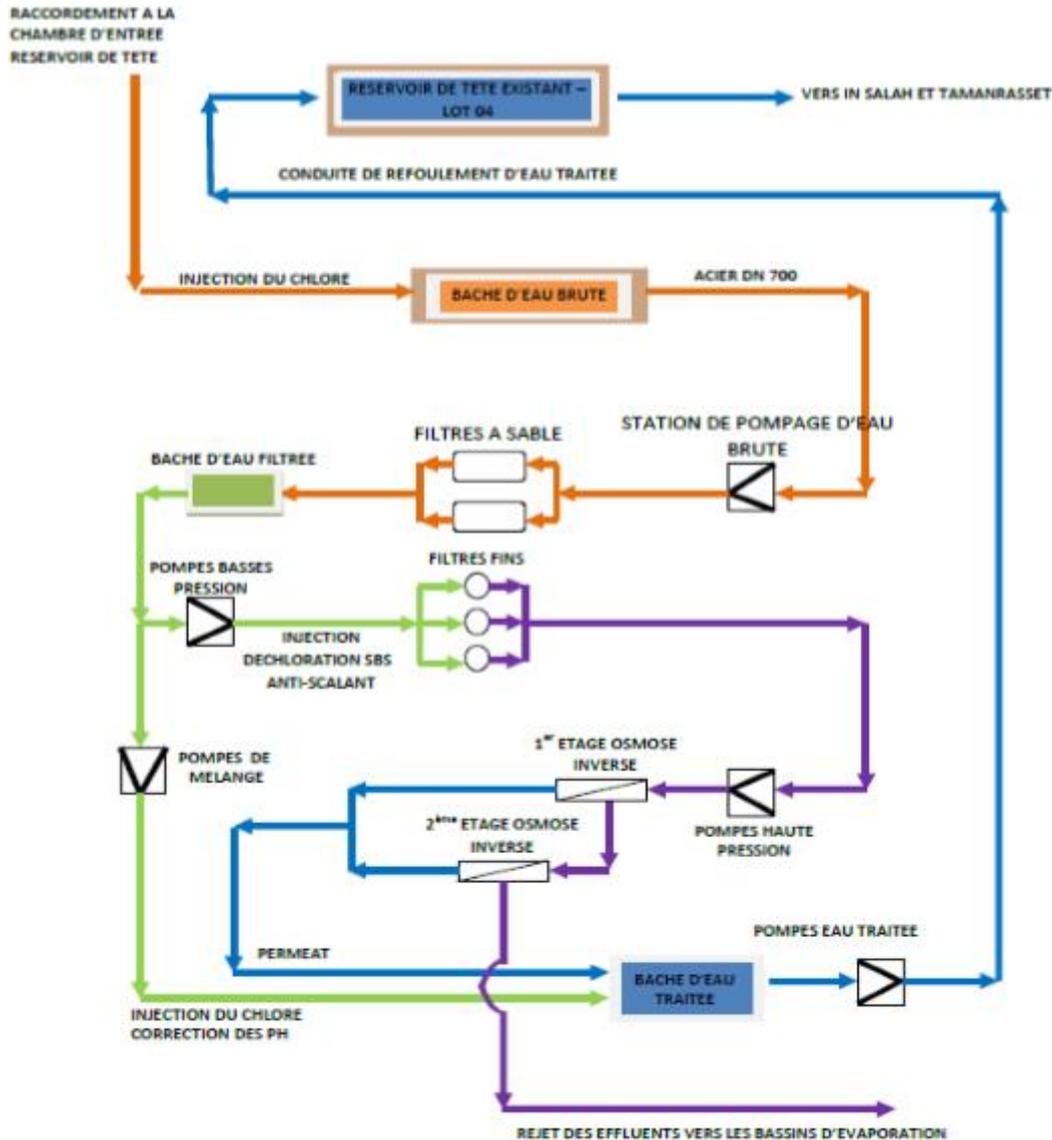


Figure II.1. Schéma descriptif de la station de déminéralisation de IN SALAH

II.3. Description générale du fonctionnement de la station :

En premier lieu, l'eau près chlorée est pompée des puits et est répartie dans le réservoir TF afin de se débarrasser des floccs qui s'entassent au fond des réservoirs. L'eau, plus claire, est pompée par la suite, dans 10 filtres à sable ou elle s'infiltre en traversant 3 couches de sables de différent calibre. Ces filtres visent à réduire la turbidité de l'eau en éliminant les matières en suspension ainsi que les particules grossières résiduelles dans l'eau.

L'eau filtrée est aspirée à travers un collecteur en acier et puis transférée vers les filtres fins à l'aide de 5 pompes de reprise, 4 en opérations et 1 en stand-by. Chaque pompe a une capacité de 336 m³/h et 4 bars. Les moteurs sont à vitesse variable par variation de fréquence. La vitesse de rotation de ces pompes est de 3.000 tours/min [18].

Avant l'entrée dans l'unité de dessalement d'osmose inverse, l'eau est déchlorée par le dosage de metabisulfite de Sodium. Un dosage d'antiscalant (Anti-séquestrant) est également prévu pour préserver toute précipitation à l'intérieur de la station d'osmose inverse. Chaque station de dosage est équipée de 2 pompes doseuses 1 en opération et 1 en stand-by. Les points de dosage sont situés dans la conduite de refoulement vers les filtres fins [18]

L'eau filtrée alimentant les unités de déminéralisation passe par des filtres fins à cartouches de 5 microns dimensionnés pour le débit nominal total. La fourniture comprend huit unités avec 39 cartouches de 40 pouces dans chaque unité. Un dispositif de mesure du Redox (ORP) est installé après les Pompes Hautes Pression (HPP) pour superviser le chlore résiduel. Le pH de l'eau et la température sont aussi mesurées et contrôlées avant les unités d'osmose inverse [18].

À la sortie des filtres fins (5 μ m), l'eau est mise à la pression osmotique requise par le procédé par des pompes haute pression. La fourniture comprend 5 pompes, une pompe haute pression pour chaque unité de déminéralisation plus une en réserve. [19]

Le procédé de déminéralisation par osmose inverse est dimensionné pour assurer le débit nominal à l'état usagé après trois ans de fonctionnement. Il y a quatre unités de déminéralisation d'une capacité de 4 X 275 m³/h d'eau traitée. Chaque unité a deux étages de 36 et 16 tubes à pressions chaque avec six membranes dans chaque tube.[19]

La fourniture comprend un système de lavage automatique commun à toutes les unités, adapté au procédé. Les conduites du système de lavage vers chaque unité de déminéralisation sont fixes, raccordées en permanence aux unités, avec vannes de sectionnement manuelles sur les unités de déminéralisation. Ainsi que des vannes de sectionnement sur tous les raccords, une cuve de préparation des produits chimiques de 10.000 litres, 3 pompes de lavages, 2 en opération et une en stand-by d'une capacité de 130 m³/h chacune. Le lavage se fait par étages séparément en automatique.

II.4. Concept de traitement de l'eau par osmose inverse à la station d'Ain Salah

Le processus envisagé pour la manutention et le traitement de l'eau comprend les étapes suivantes [14] :

- Prélèvement de l'eau de puits des conduites d'approvisionnement existantes et son transfert à la station de pompage d'eau de puits.
- Pompage de l'eau de puits vers les filtres sous pression.

- Filtration en profondeur au sein des filtres bicouches afin d'enlever le sable, les grosses particules et les particules en suspension.
- Désinfection périodique de l'eau de puits entrante afin d'éviter toute contamination microbologique au sein des milieux filtrants.
- Rétention de l'eau filtrée (filtrat) dans un bassin intermédiaire afin d'assurer des conditions de processus stables et constantes pour tous les groupes de pompes raccordés : pompes de lavage à contre-courant, pompes d'alimentation d'osmose inverse à basse pression et pompes de flux de mélange.
- Pompage du filtrat dans la ligne de dérivation d'osmose inverse en vue du mélange de l'eau.
- Pompage du filtrat vers l'osmoseur.
- Traitement chimique de l'eau filtrée en amont de l'étape d'osmose inverse.
- Dosage d'hypochlorite de calcium, $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, en vue de la désinfection de l'eau de puits et de l'eau traitée (pré- et post-chloration)
- Injection de l'antitartre afin d'empêcher des dépôts de carbonate et de sulfate au sein des membranes de l'osmoseur.
- Dosage de métabisulfite de sodium, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (SMBS), pour éliminer le chlore résiduel.
- Dosage du carbonate de sodium, Na_2CO_3 , pour stabiliser l'eau traitée (mélangée)
- Microfiltration de l'eau de puits, degré de filtration de conception 5 μm
- Etape d'osmose inverse – déminéralisation (dessalement) de l'eau d'alimentation prétraitée sous pression par le biais des membranes semi-perméables.
- Mélange du perméat d'osmose inverse produit à un flux latéral d'eau de puits filtrée.
- Ajustement et stabilisation du pH du flux d'eau mélangée au moyen du carbonate de sodium, Na_2CO_3 , afin de neutraliser les capacités corrosives de l'eau.

II.5. Réservoir de l'eau brute (réservoir TF)

Le réservoir TF représenté sur la figure II.1, est le premier réservoir de la station de déminéralisation de IN SALAH, il comporte 3 compartiments, les 2 premiers sont d'une capacité de 450 m³ chacun et permettent de se débarrasser des floccs qui s'entassent au fond des réservoirs. L'eau la plus claire finit par déborder dans le 3ème réservoir qui est d'une capacité de 500 m³ pour finalement être pomper dans les filtres à sable.

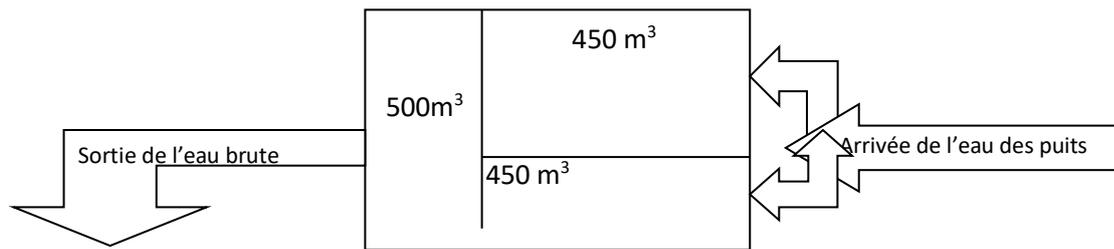


Figure II.2. Schéma de réservoir de l'eau brute (réservoir TF)

II.6. La plate forme des filtres à sable [20]

La plate forme de filtre a sable contient 10 réservoirs d'un volume de 51860 L chacun, et résiste à une pression de 6 bar. Chaque réservoir comporte 3 couches de sable :

1. **La Première couche (couche de support, Gravier) :** c'est une couche d'Aquagrain, Gravier d'un calibre allant de 2 à 3 mm et d'une épaisseur de 150 cm.
2. **La Deuxième couche (couche filtrante inférieure, sable Quartzeux) :** c'est une couche d'Aquagran, Sable de calibre allant de 0,4 à 0,8 mm et d'une épaisseur de 400 cm.
3. **La Troisième couche (couche filtrante supérieure, Anthracite) :** c'est une couche d'Aquazit, Anthracite d'un calibre allant de 0,8 à 1,6 mm et d'une épaisseur de 500 cm.

II.7. Réservoir d'eau filtrée :

C'est un réservoir d'une capacité de 1180 m³, il sert à contenir toute l'eau filtrée dont une partie est dirigée pour la suite de l'opération de traitement et l'autre servira pour le lavage des filtres à sable.

II.8. Unité de Préparation et de Dosage de Métabisulfite de Sodium (SMBS) :

Objectifs :

Le méta bisulfite de sodium, Na₂S₂O₅ (en bref SMBS), sert à éliminer tout le chlore résiduel qui pourrait être présent dans le flux de filtrat pompé vers le système d'osmose inverse. Comme produit chimique fortement oxydant, le chlore est préjudiciable aux membrane d'osmose inverse, alors que le SMBS dispose d'un léger effet désinfectant qui n'est pas nuisible aux éléments d'osmose inverse., La masse de SMBS à ajouter à l'eau afin de générer 5,5 m³ de solution d'une concentration pondérée de 250 g/l (~20% en poids) s'élève à 1447

kg. Du SMBS sec doit être ajouté progressivement en versements (portions) proportionnels aux volumes d'eau rejetée dans le réservoir [12].

II.9. Unité de Dosage d'Antitartre (antiscalant) :

Objectifs : L'antitartre sert d'empêcher les dépôts de carbonate et de sulfate au sein des éléments d'osmose Inverse (Tableau I.1). [5].

Tableau II.1. Données d'entrée de base de l'antitartre [18]

Flux (cible) injecté	Filtrat à basse pression pompé au système d'osmose inverse
Débit de conception de flux cible	1342 m ³ /h
Produit chimique consommé	Antitartre
Forme disponible du produit chimique	~ 1 g/cm ³
Dose d'antitartre	3-5 g/m ³
Produit chimique consommable	Inhibiteur d'entartrage prêt à l'emploi
Forme injectée du produit chimique	Non diluée
Débit de dosage moyen	3,7 l/h
Débit de dosage max	6,1 l/h

L'eau filtrée alimentant les unités de déminéralisation passe par des filtres fins à cartouches de 5 microns dimensionnés (Figure II.3) pour le débit nominal total. La fourniture comprend huit unités avec 39 cartouches de 40 pouces dans chaque unité (Tableau II.2) [19].

Tableau II.2. Données Techniques des filtres 5 Micron pour le Système d'Alimentation d'Osmose Inverse [19]

Nombre d'unités de filtration	8
Configuration	Unité monté sur pieds consistant en 8 boîtiers de filtre avec chacun 39 cartouches standardisées d'une longueur de 40''.
Type de filtration	filtration en profondeur

Degré de filtration (finesse)	5 μm
Débit de l'eau d'alimentation d'OI (selon conception d'OI)	Par ligne de filtration: 336 m ³ /h Total: 1344 m ³ /h



Figure II.3. Cartouche de filtration bobinée : seuil de 5 μm [15]

III.10. Unité d'osmose inverse :

Le schéma de l'unité d'osmose inverse est représenté sur la figure II.3. L'eau d'alimentation prétraitée et pressurisée à la pression de service requise est introduite dans le système par la pompe haute pression. L'eau d'alimentation pénètre par la suite, dans les membranes et l'ensemble peut être désigné comme installation à réservoir sous pression unique ou à plusieurs réservoirs sous pression en parallèle. Ceux-ci peuvent être disposés comme modules multiples dans une configuration à plusieurs étages, chaque étage contenant de moins en moins de modules (configuration de type « Christmas tree » en anglais).

Si, par exemple, le système est conçu pour une récupération à 75 %, cela veut dire que 75 % de l'eau d'alimentation est obtenue sous forme de perméat peu salin. Les 25 % restants sont déviés vers les effluents sous forme de concentrât.[19]

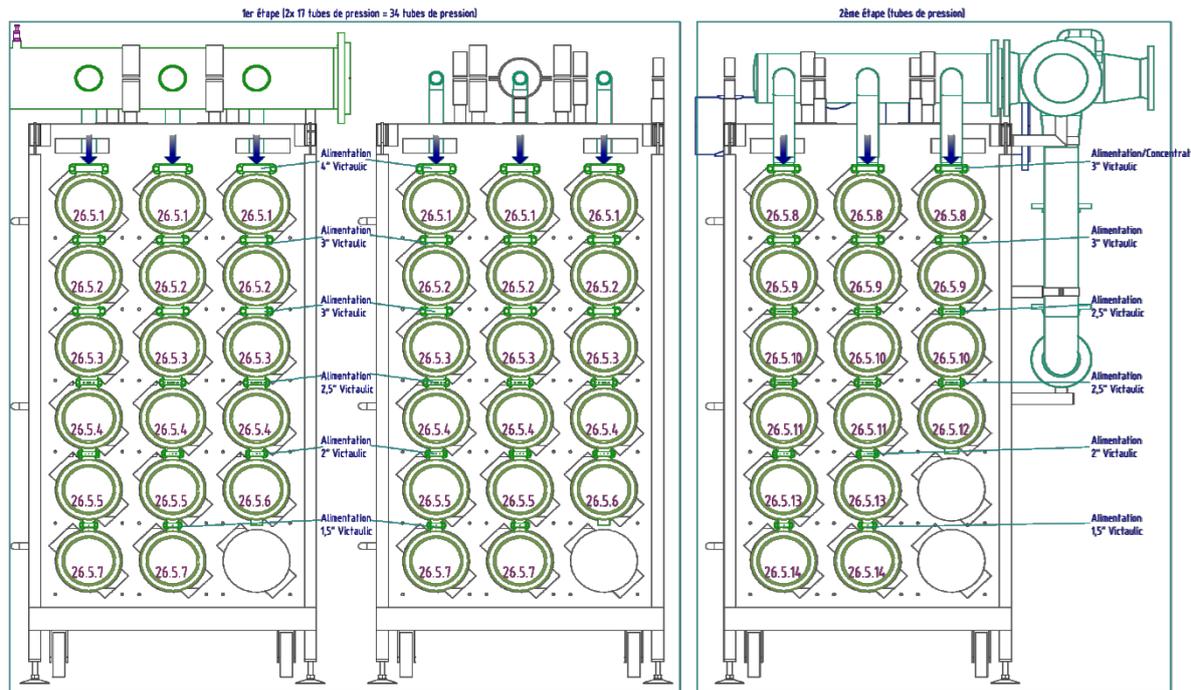


Figure II.4. Schéma de l'unité d'osmose inverse [16]

II.11. Description du procédé et du fonctionnement :

Dans la station CHRIWA à OI, les pompes haute pression pompent dans les modules à membrane la quantité nécessaire d'eau d'alimentation à la pression requise. Afin d'éviter l'encrassement et la formation de dépôts dans les membranes, on va doser de l'acide sulfurique/chlorhydrique ou de l'anticalcaire. L'eau dessalée (le perméat) s'écoule à travers la sortie des réservoirs sous pression vers le réservoir de perméat. Le concentrât s'écoule vers les égouts. Il est impossible de l'utiliser car la concentration des sels est beaucoup plus élevée que dans l'eau d'alimentation. Toutes les pressions des pompes et autres pressions de service sont mesurées par des manomètres. La conductivité du perméat peut être lue au niveau du dispositif de conductivité.[19]

II.11.1. Description fonctionnelle :

Le perméat d'une station de NF/OI a une valeur de pH plus faible que l'alimentation entrante à cause de la destruction de l'équilibre alcalinité/CO₂. L'eau du perméat est donc légèrement agressive (riche en CO₂). Dans des cas particuliers, la régulation du pH peut se faire par une étape de dégazage. Dans les usines de sodas qui utilisent des matériaux anticorrosion au contact de l'eau, le CO₂ ne dérange pas. Si une ligne de mélange est mise en place, l'eau dessalée peut être mélangée avec un flux de dérivation d'eau brute prétraitée (eau filtrée) afin

d'ajuster la salinité résiduelle requise. L'eau mélangée est maintenant introduite dans un réservoir de stockage d'eau traitée.[19]

Un système de nettoyage de membrane est mis en place car il pourrait y avoir de la formation de dépôts sur les membranes ou de l'encrassement. Dans des conditions normales en fonction de la qualité de l'eau à traiter, la procédure de nettoyage s'effectue deux fois par an.[19]

II.12. Unité de Préparation et de Dosage de Carbonate de Sodium

Objectifs : L'objectif principal du dosage de carbonate de sodium, (Na_2CO_3), consiste à augmenter la valeur pH et l'alcalinité de l'eau traitée afin d'assurer sa stabilité, c'est-à-dire une qualité constante. En outre, l'équilibre chimique de « chaux-acide carbonique » obtenu à la valeur pH cible, réduit considérablement le pouvoir corrosif de l'eau traitée [12].

Tableau II.3. Données d'entrée de base unité de préparation et de dosage de Carbonate de Sodium

Flux (cible) injecté	eau traitée
Débit de conception de flux cible	1584 m ³ /h (38016 m ³ /j)
Produit chimique consommé	Carbonate de sodium (Na_2CO_3)
Forme disponible du produit chimique	Solide, anhydre (sec)
Densité	2,53 g/cm ³
Forme injectée du produit chimique	Solution aqueuse
Concentration de la solution de dosage	200 g/l (~17% m/m)
Densité de la solution de dosage	~1,20 kg/l
Valeur pH cible, phase initiale	7,8...7,9
Dose spécifique de carbonate de sodium	25...30 g/m ³
Débit résultant de solution de dosage	~165...200 l/h
Point d'injection du produit chimique	conduite d'eau de mélange, juste en amont de l'arrivée au compartiment de la bêche d'eau traitée

La valeur pH cible de 7,8-7,9 à obtenir pour stabiliser l'eau traitée est la recommandation initiale reposant sur les dernières analyses disponibles de l'eau de puits ainsi que sur les caractéristiques projetées du perméat d'osmose inverse. [12].

II.13. Postchloration de l'eau traitée :

La postchloration s'effectue au niveau de la bache d'eau traitée (mélangée) (Tableau II.4)

Tableau II.4. Données d'entrée de base de la postchloration de l'eau traitée [12]

Mode de dosage du produit chimique	En continu, 24 h/j
Flux (cible) injecté	Eau traitée
Débit de conception de flux cible	1584 m ³ /h
Dose spécifique du chlore effectif	Moyenne: 1,0 g/m ³ Max: 2,0 g/m ³
Débit résultant de solution d'hypochlorite	à une dose moyenne : 10,5 l/h à une dose MAX : 21,1 l/h

II.14. Équipement de mise en service [19]

La mise en service initiale du système est typiquement réalisée juste après le chargement des éléments. Pour la mise en service, il est recommandé de s'équiper :

- Des lunettes de protection lorsqu'on travaille avec des produits chimiques
- Un thermomètre
- Un pH-mètre
- Conductimètre (plage : de la conductivité du perméat à celle de la saumure)
- 3 bouteilles 1 l, en plastique, propres (parfaitement transparentes avec bouchons) pour des échantillons d'alimentation perméat, concentrât
- Matériel d'analyse pour :
 - Dureté totale
 - Calcium
 - Alcalinité
 - Chlorure
 - Sulfate
 - Fer (tous les fers et l'ion de fer)
 - Silice
 - Chlore libre
 - Potentiel redox

II.15. Anomalies et contraintes de fonctionnement de la station de déminéralisation

Il a été constaté un colmatage rapide des filtres à cartouche, ce qui a conduit à une fréquence de changement de 2 fois par mois, or il est stipulé dans le contrat une fréquence de changement chaque six mois (problème majeure qui influe directement sur le fonctionnement de la station est augmenté considérablement le prix de revient du m³ traité) [11]. La fréquence moyenne de changement des filtres à cartouche est donc alarmante.

II-16. Consommation annuelle (année 2020) en cartouches filtrantes et produit chimique

-Nombres boitiers : 08

-Chaque boitier contient : 39 filtres à cartouches

-Total filtres à cartouches : 312 micros filtres

La consommation des cartouches filtrante pour l'année 2020 est de 5426 cartouches avec une consommation moyenne de 452 cartouches filtrante par mois. [21]

La consommation actuelle des produits chimique pour l'année 2020est la suivante : [21]

-Carbonate de sodium (kg) : 46 875.

-Mita bisulfite de sodium (kg) : 22350.

-Hypochlorite de calcium (kg) : 5400.

-Anti scalant (l) : 36800.

-Soude caustique (kg) :64.

-Acide citrique (kg) : 0.

-Volume d'eau brute utilisé : 12 888 171m³

-Volume d'eau traité produise : 11 163 896 m³

II.17. Colmatage des cartouches filtrantes :**II.17.1. Différence de pression :**

Le colmatage des cartouches filtrantes est constaté par l'observation d'une augmentation de la différence de pression d'eau entre l'entrée des boités à filtre et leurs sortie.

Le remplacement des filtres est obligatoire dès que la différence de pression égale ou dépasse les 1.5 bar pour éviter le risque de l'éclatement des filtres. [21]

II.17.2. Test SDI :[18]

L'encrassement colloïdal des éléments membranaires peut nuire gravement à la performance en diminuant la productivité et, parfois, le rejet de sels. Un signe précoce d'encrassement colloïdal est souvent une pression différentielle augmentée à travers le système. La source de vase ou de colloïdes dans l'eau d'alimentation de l'osmose inverse est variable, incluant souvent des bactéries, de l'argile, du dioxyde de silicium colloïdal et des produits de corrosion du fer.

La meilleure technologie disponible pour déterminer le potentiel d'encrassement colloïdal de l'eau d'alimentation de l'osmose inverse est la mesure du SDI (*Silt Density Index* - équivalent de l'indice de colmatage), parfois appelé *Fouling Index* (FI). C'est important de faire cette mesure avant de concevoir un système de prétraitement de membrane, et régulièrement pendant l'exploitation de la membrane (la fréquence recommandée pour les eaux de surface est de trois fois par jour). [10]

II.17.2.1. Équipement :[10]

Le schéma de la figure II. 3 représente les différentes parties de l'équipement de mesure du SDI.

- Support de filtre à membrane diamètre 47 mm
- Filtres à membrane diamètre 47 mm (0,45 µm taille de pore)
- Manomètre 1 à 5 bar.
- Vanne à pointeau pour la régulation de la pression

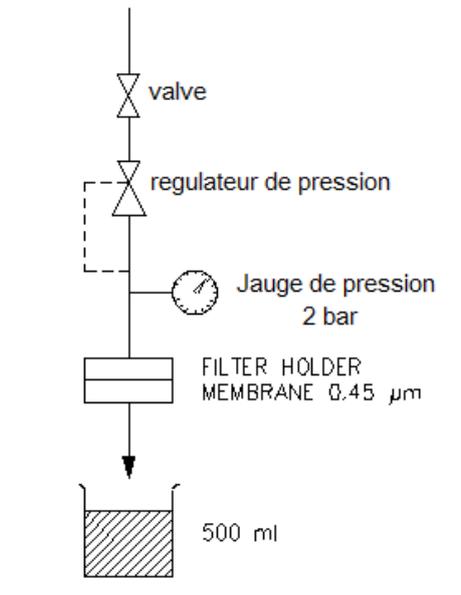


Figure II.5. Schéma de l'équipement de mesure du SDI [18]

II.17.2.2. Procédure : [22]

- a. Placer le filtre à membrane sur son support, augmenter doucement la pression de l'eau, serrer le joint torique et fixer le support verticalement.
- b. Régler la pression d'alimentation à 2,1 bar et mesurer le temps initial, t_0 , nécessaire pour filtrer 500ml d'eau d'échantillonnage (la pression d'alimentation doit être maintenue constante par régulation continue).
- c. Faire fonctionner le filtre pendant 15 minutes à une pression d'alimentation de 2,1 bars.
- d. Après 15 minutes mesurer à nouveau le temps, t_1 , nécessaire pour filtrer 500 ml. Le filtre à membrane doit être gardé pour analyse supplémentaire.
- e. Le calcul :

$$SDI = \left[1 - \frac{t_0}{t_1} \right] \times \frac{100}{15}$$

Lorsque t_1 est quatre fois plus grand que t_0 , le SDI résultant est de 5. Un échantillon d'eau qui bouche complètement le filtre à membrane a une valeur de SDI de 6,7.

Si le $SDI > 3$, on doit sérieusement envisager un prétraitement adapté.

Il est recommandé de maintenir le SDI à moins de 3. Un certain nombre de techniques de prétraitement se sont avérées efficaces dans la réduction du SDI, y compris la filtration sur milieu filtrant (tel que sable/anthracite), l'ultrafiltration, la microfiltration à flux croisés.

Chapitre III

Matériel et Méthodes

III.1.1. Réactifs :

- $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ Hypochlorite de calcium (en grain).
- Solution d'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 150 mg/l.
- Solution d'hypochlorite de calcium de 100 mg/l.
- Solution de thiosulfate de sodium à 0.01 M.
- Solution amidon 5g/l.
- Solution d'hypochlorite de calcium.
- Acide acétique glacial.
- Iodure de potassium KI en cristaux.
- Méta bisulfite de sodium en poudre ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$).
- Solution de Méta bisulfite de sodium à 250 mg/l.
- Solution d'acide chlorhydrique au 1/10.
- Solution de polyvinyl-pyrrolidone ou de Tween 20 à 25 %.
- Solution de chlorure de baryum stabilisée :
chlorure de baryum (BaCl_2 , 2 H_2O) 10 g
Solution de polyvinyl-pyrrolidone 20 mL
- Solution étalon de sulfate de sodium à 150 mg/L de SO_4^{2-} :
Sulfate de sodium anhydre 0,221 g
- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N.
- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5 %.
- Solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle :

Vert de bromocrésol.

Rouge de méthyle.

Éthanol à 90 %.

-Eau déionisée exempte d'anhydride carbonique libre (par ébullition de 15 min).

- Solution de noir ériochrome T à 0,5 % :

Sel de sodium de l'acide.

[(hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4] .

Triéthanolamine.

-Solution tampon pH 10 :

Chlorure d'ammonium (NH_4Cl).

Ammoniaque ($d = 0,925$).

Sel disodique de magnésium de l'EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2\text{Mg}$).

- Solution d'EDTA :

Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique .

Eau déionisée.

-Acide chlorhydrique dilué à 10 % (en volume).

- Solution de sulfanilamide :

Sulfanilamide.

Acide chlorhydrique à 10 %

- Solution de dichlorhydrate N (1-naphtyl)-éthylènediamine à 0,1 % .

- Eau de mer artificielle :

Chlorure de sodium.

chlorure de magnésium (MgCl_2 , 6 H_2O)

Sulfate de sodium (Na_2SO_4 , 10 H_2O)

- Solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$) à 15 % environ en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L.

Molybdate d'ammonium tétrahydraté 20 g

Eau déionisée 500 ml

Filtrer si nécessaire, à conserver en flacon de polyéthylène à 4 °C.

- Solution d'acide ascorbique à 20 g/L :

Acide ascorbique 2 g

Eau déionisée 100 mL

À préparer chaque jour.

- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/L :

Tartrate double d'antimoine et de potassium 0,28 g

Eau déionisée 100 ml

- Réactif combiné :

Solution d'acide sulfurique 50 ml

Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium 5 ml

Solution de molybdate d'ammonium 15 ml

Eau déionisée 100 ml

Conserver le réactif au réfrigérateur à 4 °C.

- Solution mère étalon à 50 mg/L de phosphore.

- Solution mère étalon d'azote nitreux à 100 mg/L :

Nitrite de sodium.

Eau déionisée .

Dessécher le nitrite de sodium 1 heure à l'étuve à 105 °C.

-Solution fille étalon d'azote nitreux à 1 mg/L :

Diluer au 1/100 la solution précédente avec de l'eau déionisée. À préparer chaque jour.

-Solution fille étalon d'azote nitreux à 0,1 mg/L :

Diluer au 1/10 la solution à 1 mg/L avec de l'eau de mer artificielle.

Dihydrogénophosphate de potassium desséché au préalable à l'étuve à 100 °C

Eau déionisée

Acidifier la solution par 1 ml d'acide sulfurique à 15 % avant d'ajuster le volume.

- Solution fille étalon à 1 mg/L de phosphore.

Diluer au 1/50 la solution précédente avec de l'eau déionisée au moment de l'emploi.

- Solution chlorée :

Hydroxyde de sodium en pastilles

Citrate trisodique ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)

Acide dichlorocyanurique ($\text{C}_3\text{HCl}_2\text{N}_3\text{O}_3$)

-Solution de nitroprussiate de sodium et de phénol :

Phénol

Nitroprussiate de sodium ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)

Eau déionisée

Transvaser cette solution dans un flacon en verre brun et la conserver au réfrigérateur.

- Solution mère étalon à 100 mg/L d'ions ammonium :

Chlorure d'ammonium.

Eau déionisée.

- Solution fille étalon à 1 mg/L d'ions ammonium.

Diluer la solution mère au 1/100. Préparer cette solution au moment de l'emploi.

- Acide sulfurique ($d = 1,84$).

- Solution d'acide sulfurique à 4 mol/L :

Acide sulfurique ($d = 1,84$) 220 ml.

Eau déionisée 1 L

Verser l'acide sulfurique dans de l'eau. Après refroidissement, compléter le volume à 1 L.

-Solution de sulfate d'argent à 10 g/L dans l'acide sulfurique :

Sulfate d'argent cristallisé (Ag_2SO_4) 10 g

Acide sulfurique ($d = 1,84$) 1 L

Dissoudre le sulfate d'argent dans 40 ml d'eau déionisée, ajouter 960 ml d'acide sulfurique avec précaution. Des solutions prêtes à l'emploi sont disponibles dans le commerce.

– Solution de sulfate de fer et d'ammonium à 0,12 mol/L :

Sulfate de fer (II) et d'ammonium $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, 6\text{H}_2\text{O}$ 47g

Acide sulfurique ($d = 1,84$) 20 ml

– Solution de ferroïne :

1,10-phénanthroline 1,5 g

Sulfate de fer (II) $\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$ 0,7 g

Eau déionisée 100 ml

-Solution étalon de dichromate de potassium à 0,04 mol/L, contenant du sulfate de mercure (II) :

Sulfate de mercure (II) 80 g

Acide sulfurique ($d = 1,83$) 100 ml

Dichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 11,767 g

Eau déionisée 1000 ml

-Eau brute (eau de forrage).

-Solution tampon de phosphate :

Dihydrogénophosphate de potassium (KH_2PO_4) 8,50 g

Hydrogénophosphate de dipotassium (K_2HPO_4) 21,75 g

Monohydrogénophosphate de sodium dihydraté ($\text{Na}_2\text{HPO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) 33,40 g

Chlorure d'ammonium (NH_4Cl) 1,70 g

Eau déionisée 1000 ml

-Solution saline :

Chlorure de fer (III) hexahydraté ($\text{FeCl}_3, 6 \text{H}_2\text{O}$) 0,25 g

Sulfate de magnésium heptahydraté ($\text{MgSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$) 22,5 g

Chlorure de calcium (CaCl_2) 27,5 g

Eau déionisée 1000 ml

-Solution de controle glucose :

D-glucose anhydre ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 150 mg \pm 1 mg

Acide glutamique ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$) 150 mg \pm 1 mg

Eau déionisée 1000 ml.

-Solution thio-urée à 1 g/L :

Allyl thio-urée ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{S}$) 500 mg

Eau déionisée 500 ml.

– Acide nitrique.

-Solution étalon de sodium ou de potassium à 1 g/L :

Chlorure de sodium pur déshydraté 2,542 g

Eau déionisée 1000 ml

– Solution étalon de potassium à 1 g/L :

Chlorure de potassium déshydraté 1,907 g

Eau déionisée 1000 ml

III.1.2. Matériel :

- Balance analytique.
- Centrifugeuse.
- Pompe de filtration sous vide.
- Plaque d'agitation magnétique
- Micropipette de 100 μ l et 1000 μ l.
- Verreries de laboratoire
- Filtres Wattman
- pH-mètre
- Turbidimètre
- Conductimètre
- Thermomètre
- Spectromètre
- Bain-marie
- Oxymètre.

III.2. Méthodes :

III.2.1. L'analyse de l'eau brute

III.2.1.1. Les Sulfates : par la méthode néphélométrique :

La courbe d'étalonnage est établie selon la procédure suivante: dans une série de tubes numérotés, introduire successivement les solutions indiquées dans le Tableau III.1

Tableau III.1: Solutions étalons pour l'établissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage des sulfates

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV	V	VI
Solution étalon de SO_4^{2-} (ml) 150 mg/L de SO_4^{2-}	0	1	3	5	7	9	10
Eau déionisée (ml)	50	49	47	45	43	41	40
Acide chlorhydrique au 1/10 (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Solution de chlorure de baryum stabilisée (ml)	5	5	5	5	5	5	5
Correspondance en mg/L de SO_4^{2-}	0	3	9	15	21	27	30

Mode opératoire :

Dans un tube, introduire successivement :

- Eau à analyser 50 ml
- Acide chlorhydrique au 1/10 1 mL
- Solution de chlorure de baryum + Tween 20

Préparer dans les mêmes conditions un tube témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau déionisée.

Agiter énergiquement et laisser reposer 15 minutes. Agiter de nouveau et faire les lectures au spectromètre visible à la longueur d'onde de 650 nm. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

III.2.1.2. Les Chlorures :

Méthode de Mohr

Introduire 100 ml d'eau à analyser (préalablement filtrée si nécessaire). Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes. Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

$V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

III.2.1. 3. Titre Alcalimétrique (TA) et Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

Méthode de dosage :

Mode opératoire

a-Détermination du TA

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul ($\text{pH} < 8,3$). Verser ensuite doucement l'acide (0,02 N) dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH} 8,3$).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

b-Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de vert de bromocrésol et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose ($\text{pH} 4,5$). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO_2 qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage.

Soit V' le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage.

Expression des résultats

a-TA

- $V/5$ exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.
- V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1°F correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 meq/l).

b-TAC :

- $V'/5$ exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

–V' exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français (°F).

III.2.1.4. Bicarbonates :

En fonction du titre alcalimétrique (TA)

Le titre alcalimétrique s'écrit en fonction de la concentration en bicarbonates selon la relation suivante :

$$TA = 1/2[CO_3^{2-}] + [OH^-]$$

En fonction du titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC s'écrit en fonction de la concentration en bicarbonates et correspond à la somme :

$$TAC = [HCO_3^-] + [CO_3] + [OH^-]$$

Tableau III.2. Les concentrations en carbonates et hydrogénocarbonates sont données en fonctions du TA et TAC dans le tableau suivant :

Espèces carbonatées	Valeurs respectives des titres TA et TAC		
	Si TA = 0	Si TA < TAC/2	Si TA = TAC/2
CO ₃ ²⁻	0	2 TA	TAC
HCO ₃ ⁻	TAC	TAC – 2TA	0

III.2.1.5. Détermination de la dureté de l'eau par l'EDTA :

Mode opératoire :

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4 ml de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression :

$$TH \text{ (meq/l)} = 1\ 000 \times \frac{C \times V_1}{V_2}$$

C : Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V1 : Volume en mL de la solution d'EDTA.

V2 : Volume d'échantillon.

III.2.1.6. Nitrites :

L'analyse des nitrites est effectuée par la méthode spectrométrique. Une courbe d'étalonnage est établie avec les données montrées sur le tableau ci-dessous.

Après mélange, laisser au repos 10 minutes. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 543 nm.

Établissement de la courbe d'étalonnage

Tableau III.3: Solutions étalons pour l'établissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage des nitrites.

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV
Solution fille étalon à 0,1 mg/L (ml)	0	1	2	5	10
Eau de mer artificielle (ml)	50	49	48	45	40
Correspondance en microgrammes par litre d'azote nitreux	0	2	4	10	20
Solution de sulfanilamide (ml)	1	1	1	1	1
Agiter vigoureusement					
Solution de N-(1-naphtyl)-éthylènediamine (ml)	1	1	1	1	1

Mode opératoire

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée puis poursuivre le dosage comme pour les es la courbe d'étalonnage. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitreux, exprimée en microgrammes par litre d'eau.

III.2.1.7. Orthophosphates :

L'analyse des Orthophosphates est effectuée par la méthode spectrométrique. Une courbe d'étalonnage est établie avec les données montrées sur le tableau ci-dessous.

Établissement de la courbe d'étalonnage

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :

Tableau III.4: Solutions étalons pour l'établissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage des sulfates Orthophosphates.

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de phosphore à 1 mg/L (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau déionisée (ml)	20	19	15	10	5	0
Correspondance en milligrammes de phosphore	0	0,001	0,005	0,010	0,015	0,020

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire. Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml, ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

La courbe donne la teneur en phosphore, exprimée en milligrammes pour la prise d'essai.

III.2.1.9. La silice :**Méthode gravimétrique**

La silice est insolubilisée à l'état partiellement déshydraté en présence d'acide chlorhydrique. Une minéralisation complète la déshydratation. Par action de l'acide fluorhydrique, la silice

est volatilisée sous forme d'acide fluosilicique. Après une nouvelle minéralisation, la perte de masse correspond à la quantité de silice pure contenue dans l'eau.

III.2.1.10. Ammonium

Méthode au bleu d'indophénol

L'analyse de l'ammonium est effectuée par la méthode spectrométrique. Une courbe d'étalonnage est établie avec les données montrées sur le tableau ci-dessous.[10]

Établissement de la courbe d'étalonnage

Préparer, à partir de dilutions de la solution fille, des étalons dans la gamme de concentrations souhaitées.

Dans une série de fioles coniques de 100 ml numérotées, introduire 20 ml de chacune des dilutions ci-dessus, ajouter rapidement dans chaque tube :

1 ml de solution de nitro-prussiate de sodium et de phénol,

1 ml de solution chlorée.

Agiter et placer les fioles à l'obscurité pendant 6 heures au moins. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 630 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Introduire dans une fiole conique de 100 ml, 20 ml d'eau à analyser puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 20 ml d'eau déionisée. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 630 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 20 ml, la courbe donne directement la teneur en ions ammonium, exprimée en milligrammes par litre

III.2.1.11. La salinité

Compte tenu de la difficulté de la mesure directe de la salinité ainsi exprimée, Knudsen a proposé un calcul de la salinité à partir de la chlorinité : [10]

$$S \% = 0,030 + 1,8050 Cl \%$$

Cl % étant la masse d'halogénures, exprimée en chlorures.

La masse d'halogénures est déterminé à partir de la méthode classique de dosage des ions chlorure par la méthode de Mohr.

III.2.1.12. Résidus secs :

Une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

Mode opératoire

Évaporer progressivement au bain-marie dans une capsule tarée 500 ml d'eau filtrée, la capsule n'étant remplie qu'à mi-hauteur. Laver la fiole qui a servi à mesurer le volume d'eau avec de l'eau permutée. Les eaux de lavage seront ajoutées en cours d'évaporation. Une fois toute l'eau évaporée, porter la capsule à l'étuve à 105 °C pendant 4 heures et laisser refroidir 1/4 d'heure au dessiccateur. Peser immédiatement et rapidement, le résidu étant en général hygroscopique.

Expression des résultats

La masse du résidu sec multipliée par 2 donne la masse du résidu sec de 1 litre d'eau.

III.2.1.13. La turbidité :

La turbidité est mesurée par utilisation d'un turbidimètre. Pour démarrer l'appareil:

- Fermer le capot.
- Mettre l'appareil sous tension.
- Laisser préchauffer l'appareil environ 60 minutes, choisir le mode ratio.
- Procéder à l'étalonnage, si nécessaire. L'étalonnage doit être fait une fois par mois.
- Vérifier l'étalonnage avant chaque série de mesures.
- Agiter l'échantillon et remplir dans une cuvette jusqu'au trait (environ 30 ml) en prenant soin de manipuler la cuvette par la partie supérieure. Boucher la cuvette. Procéder de la même manière avec les échantillons de contrôle
- Tenir la cuvette par le bouchon et essuyer la surface extérieure au moyen d'un tissu doux afin de ne pas laisser de film graisseux.
- Placer la cuvette dans le puits de mesure et fermer le capot.
- Lire lorsque le signal est stable et noter le résultat.

Expression des résultats

La valeur de la turbidité se lit directement sur l'écran du turbidimètre en NTU.

III.2.1.14. pH :

La mesure sur l'échantillon se réalise de façon classique avec un pH-mètre permettant la lecture au 1/100 d'unité.

III.2.1.15. La conductivité :

- Amener l'échantillon à analyser à 20°C par immersion dans un bain d'eau.
- Contrôler la température à 0,1 °C près.
- Rincer deux fois la cellule de mesure du conductimètre avec la solution à examiner.
- Mesurer la conductivité exprimée en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

III.2.1.19. Sodium et Potassium :**Méthode par spectrométrie d'émission de flamme [10]****Établissement de la gamme d'étalonnage**

Préparer à partir de chacune des solutions étalons quatre dilutions couvrant la gamme des concentrations souhaitées.

Mode opératoire

Nébuliser l'échantillon dans une flamme air-acétylène en intercalant de l'eau permutée entre chaque solution. Effectuer les lectures au spectromètre de flamme à la longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et 766,5 nm pour le potassium. Régler le zéro de l'appareil avec de l'eau déionisée. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

III.2.1.20. Nitrates :**Méthode par réduction au cadmium****Préparation de la colonne**

Insérer un morceau de laine de verre au fond de la colonne et la remplir d'eau permutée. Verser le cadmium traité de façon à avoir une colonne d'environ 19 cm. Maintenir constant le niveau d'eau permutée pour éviter le contact du cadmium avec l'air. Laver la colonne avec 200 ml de chlorure d'ammonium EDTA. Activer la colonne par une solution de nitrate composée de 25 ml de nitrate à 1 mg/L d'azote nitrique et de 75 ml de chlorure d'ammonium

EDTA. Régler le débit par la pince de Mohr de façon à avoir un écoulement d'environ 10 ml/min.

Établissement de la courbe d'étalonnage

À partir de la solution étalon d'azote nitrique, préparer des dilutions de 0 à 1 mg/L. Traiter ces solutions selon le procédé décrit dans le mode opératoire.

Mode opératoire

Faire passer 100 mL d'un mélange composé de 25 ml d'échantillon et de 75 ml de solution de chlorure d'ammonium EDTA à travers la colonne. Écarter les 30 premiers millilitres et réaliser la détermination des nitrites sur 50 ml de la fraction restante par la méthode de dosage des nitrites.

III.2.2. Détermination de la demande en chlore de l'eau brute de IN SALAH

III.2.2.1. Préparation de la solution d'hypochlorite de calcium :

Dissoudre 150 mg de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ dans 1 L d'eau distillée pour obtenir une eau à 88.65 mg/l en chlore actif Cl_2 , vérifié par la méthode iodométrique.

III.2.2.2. Détermination de la teneur en chlore actif dans la solution d'hypochlorite de calcium par la méthode iodométrique :

- Prélever 10ml d'une solution d'hypochlorite de calcium 150mg/l dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter 5 ml d'acide acétique glacial.
- Ajouter 0.2 g de KI.
- Agiter à la main pendant 1 min.
- Observer la coloration brunâtre de l'iode formé. Ajouter à ce moment 1ml de solution d'amidon et on remarque la formation d'une coloration bleue, laisser reposer 5 min.
- Titrer avec la solution de thiosulfate de sodium 0.01 M versée préalablement dans une burette graduée jusqu'à décoloration.

III.2.2.3. Dosage chlore résiduel de l'eau de IN SALAH :

Afin d'examiner l'influence du taux de chloration sur les échantillons d'eau brute de la nappe de In Salah vis-à-vis du chlore, on a ajouté des doses croissantes d'hypochlorite de calcium correspondant à une concentration variant de 0 à 7,5 mg/l de Cl_2 actif.

- Après agitation et un temps de contact de 45 min nous avons pris 10 ml de chaque échantillon.

- Dosage du chlore résiduel par la méthode iodométrique.

Les résultats regroupés nous donnent le **graphique du Break Point**.

III.2.3. Suivi de la réaction entre le SMBS et l'antitartre :

III.2.3.1. Première série d'essais - en absence de chlore

A partir d'une solution de SMBS de 250 mg/l, on injecte les quantités indiquées dans le tableau donné ci-dessous, dans 50 ml d'eau. On ajoute par la suite 2 ml d'anti-tartre.

Tableau III.5. Quantités de métabisulfite de sodium injecté. Les calculs sont faits par rapport aux concentrations et aux doses utilisés dans la station.

concentration du SMBS (mg/l)	0,461	0,644	0,774	0,817	0,840	0,862	0,862	0,892	0,939
------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

III.2.3.2. Deuxième série d'essais (en présence de chlore) :

- Préparation d'une solution d'hypochlorite de calcium de 100 mg/l soit 59,1 mg/l en Cl₂ actif.

- Préparation de 200 ml de solution avec une dissolution de 20 mg de Ca(ClO)₂ solide dans l'eau distillée.

La quantité de SMBS injectée est calculée par rapport à un apport journalier de production moyenne d'une quantité de 33874 m³ d'eau brute à traiter dans laquelle on injecte 250 l/j d'une solution à 127.27 g de SMBS/L.

Les quantités de Cl₂ actif à injecter d'une solution de 100 mg/l de Ca(ClO)₂ dans 50 ml d'eau sont indiquées dans le tableau donné ci-dessous.

Tableau III.6 Quantités de réactifs injectés dans 50 ml d'eau brute

[Cl ₂] actif (mg/l)	0.0775	0.0870	0.1040	0.1400	0.2100	0.2800	0.3400	0.5030
Quantité de SMBS injecté (mg/l)	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939
V d'anti tartre injecté (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2

On remarque après l'injection du dernier réactif, la formation d'un voile blanc de particules colloïdales en suspension. Après centrifugation, on constate que les particules en suspension se déposent au fond des flacons.

On a laissé les échantillons reposer durant une nuit pour faire décanter le maximum de particules en suspension.

Nous avons procédé par la suite par filtration sous vide sur des micros-filtres pesés et séchés préalablement, pour récupérer le dépôt.

Après une nuit de séchage dans une étuve à 100°C, on a procédé à la pesée des filtres pour évaluer la masse du dépôt formé.

Chapitre IV

Résultats et discussion

VI.1. Résultats de l'analyse de l'eau brute :

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant

Tableau IV.1. Paramètres organoleptiques de l'eau brute [21]

Paramètre	Résultats	Unités	Normes NA
Couleur	00	Unité p/c	25
Odeur	00	S/p à 25°C	04

Tableau IV.2. Paramètres physico-chimiques de l'eau brute [21]

Paramètre	Résultat	Unité	Norme NA
pH	7,25	/	6,5-9
Conductivité	3230	µs/cm	2800
Température	24	°C	/
Turbidité	0,19	NTU	05
Salinité	1,8	%	/
Résidu sec à 105 °C	2008	mg/l	2000

- Les résultats montrent que les eaux ont une valeur de pH=7.25.

Selon les normes algériennes de l'eau potable, le pH est fixé entre 6,5 et 9,00, la valeur des eaux de forages ne dépassent pas cette norme [24].

- La valeur de la conductivité pour les eaux de forage est de 3.23 ms/cm et dépassent la norme algérienne de potabilité fixée à 2.8 ms/cm [24]. Cela veut dire que cette eau est fortement minéralisée et ça est du à la forte minéralisation de ces eaux.
- Les eaux sont claires ; la valeur de la turbidité est inférieure à 5 NTU [23,24].

Tableau IV.3. Paramètres de pollution de l'eau brute [21]

Paramètre	Résultat	Unités	Norme
Ammonium	0,029	mg/l	0,5
Nitrite	00	mg/l	0,1
Nitrate	15,41	mg/l	50
Ortho-phosphate	00	mg/l	0,5
Matières Oxydables	5.2	mg O ₂ /l	5

- Une faible teneur en ammonium : 0.029 mg/l.
Selon la norme de potabilité fixée à 0.5 mg/l [23,24].
- Une absence totale de nitrite et une faible teneur en nitrate 15.41mg/l par rapport à la norme fixée 50 mg/l [23,24].
- Une absence d'ortho-phosphate.
- Un léger excès dans la teneur en matière oxydable 5.2 mg/l O₂ par rapport à la norme [23,24].

Tableau IV.4. Paramètres de Minéralisation Globale de l'eau brute [21]

Paramètre	Résultat	Unités	Norme NA
Calcium	220	mg/l	200
Magnésium	105	mg/l	150
Sodium	400	mg/l	200
Potassium	30	mg/l	20
Chlorures	610	mg/l	500
Sulfate	650	mg/l	400
Bicarbonates	122	mg/l	/
Carbonate	00	mg/l	/
Dureté totale	74	mgCaCO ₃ /l	500
Titre alcalin	00	mgCaCO ₃ /l	/
Titre alcalin complet	10	mgCaCO ₃ /l	/

- Une forte teneur en Calcium 220 mg/l et dépasse la norme fixée pour 200 mg/l [23,24]. C'est une eau incrustante
- La teneur en magnésium 105mg/l est inférieure à la valeur limite fixée qui est de 150 mg/l [23,24].
- Une forte teneur en sodium 400 mg/l qui dépasse la norme fixée pour les eaux potables 200 mg/l [23,24].
- Une forte teneur en Potassium 30 mg/l par rapport à la norme qui est de 20 mg/l [23,24].
- Une forte teneur en chlorure 610 mg/l et la norme 500 mg/l [23,24].
- La teneur en sulfate 650 mg/l dépasse la norme fixée qui est de 400 mg/l [23,24].
- Notre eau est dure car elle dépasse la limite fixée qui est de 50 °F [23,24].

Tableau IV.5. Eléments Indésirables de l'eau brute [21]

Elément	Résultat	Unité	Norme
Fer Fe ²⁺	0,01	mg/l	0,3
Manganèse	00	mg/l	0,5
Silice	8,72	mg/l	12 mg/l

- Une faible teneur en Fe²⁺ contenu dans l'eau et une absence totale de manganèse ce qui explique la faible consommation du chlore lors de la désinfection.

Tableau IV.6. Paramètres bactériologiques de l'eau brute [21]

Paramètres bactériologiques		Résultat	Unité	Norme
Micro-organismes revivifiables	à 22°C	14	UFC/ml	100
	à 37 °C	00	UFC/ml	10
Coliformes totaux		00 /100 ml		00
CTT (E-Coli)		00 /100 ml		00
Streptocoques fécaux		00 /100 ml		00
Test de chlore		0.2	mg/l	0,2 à 0,6

- Une faible présence de microorganisme dans notre eau 14 mg/l par rapport à la norme fixée qui est de 100 mg/l [23,24].

Eau est d'une bonne qualité Bactériologique.

IV.2. Le titre de la solution d'hypochlorite de calcium :

Après le titrage avec la solution de thiosulfate de sodium 0.01 M versée préalablement dans une burette graduée jusqu'à décoloration, on obtient la teneur en chlore actif de la solution 88.65 mg/l exprimée en mg/L de chlore est donnée par l'expression :

$$[\text{Cl}_2] \text{ mg/L} = \frac{M \cdot V_{\text{th}}}{V_{\text{éch}}} * 35450$$

Après calcul on a

$$[\text{Cl}_2] \text{ actif} = 88.65 \text{ mg/l.}$$

IV.3. Détermination de la demande en chlore de l'eau d'IN SALAH :

Après le dosé le chlore résiduel par la méthode iodométrique, les résultats regroupés dans le tableau suivant nous donnent le graphique du Break Point

Tableau IV.7. Quantité de chlore résiduel e fonction du chlore actif injecté

[Cl₂] actif injecté (mg /l)	0,5	1	1,25	1,5	2	3	4	5	7.5
[Cl₂] résiduel resté (mg/l)	0	0,7	1	1,3	1,77	0,7	0,5	3,2	5.3

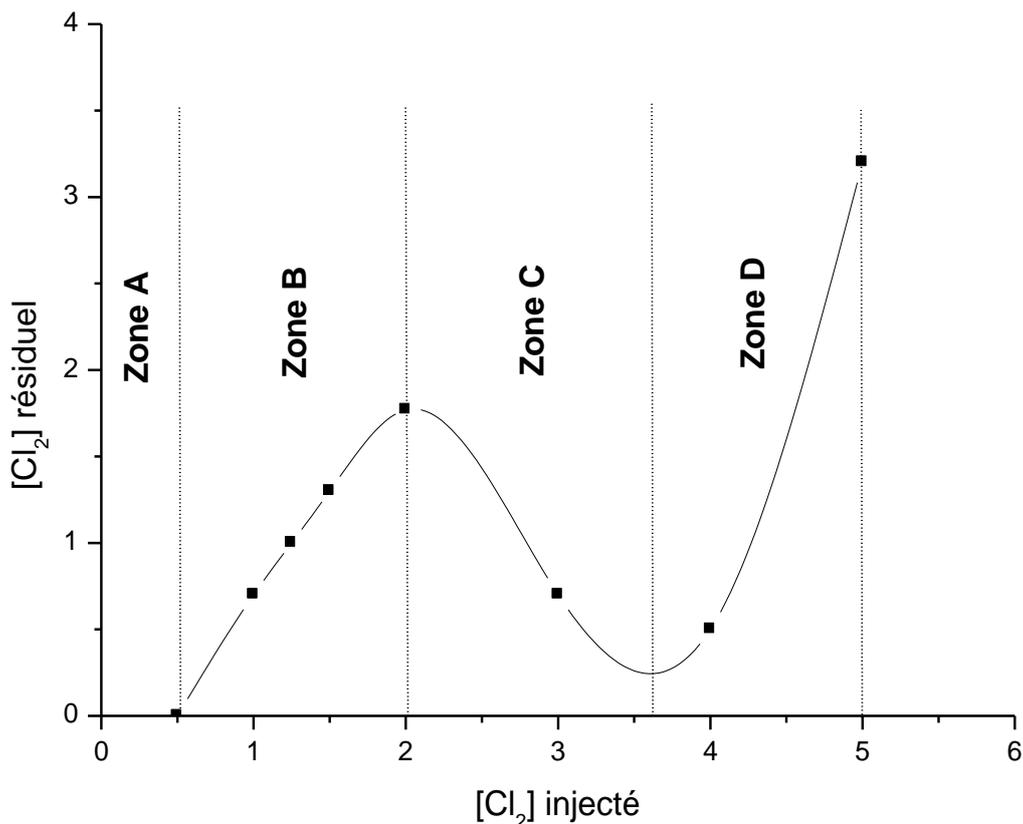


Figure IV.1. L'évolution de la concentration du chlore résiduel total en fonction de la dose de chlore introduite

Zone A : Destruction du chlore par les composés minéraux (fer, manganèse...) [10].

Zone B : Formation de composés chlorés organiques et de chloramines, réduction des monochloramines et des dichloramines, formation des trichloramines [10].

Zone C : Destruction des chloramines par ajout de chlore supplémentaire; Point de rupture (break-point) : les mono-, di et trichloramines ont pratiquement disparu [10].

Zone D : Production de chlore actif. Tout le chlore ajouté sera sous forme d'acide hypochloreux (HClO), mais il reste du chlore combiné (trichloramines et autres sous-produits de désinfection). Les trichloramines ont un très léger effet désinfectant, mais il donnent un goût de chlore à l'eau [10].

Donc, à partir de la courbe de détermination de la demande en chlore, on a pu constater que la demande en chlore de notre eau est de 0.2 mg/l et que la break point est à 3.6 mg/l.

IV.4. Quantité optimale d'eau de Javel à injecter :

La quantité de solution d'hypochlorite de calcium d'une concentration de 150g/l et d'une teneur de 88.65 g/l en chlore actif à injecter pour une concentration de 3.6 mg/l de chlore actif pour avoir 0.2mg/l de chlore résiduel dans notre eau, calculé pour une quantité de 33873m³ d'eau brute à traiter est de 1370 l/j.

IV.5. Neutralisation Du Chlore :

Le métabisulfite de sodium (Na₂S₂O₅) est le plus utilisé dans la déchloration d'une eau. Les réactions chimiques sont les suivantes :

La dissolution du métabisulfite de sodium dans l'eau pour produire du sulfite de sodium :



La réduction de l'acide hypochloreux par le sulfite de sodium :



La somme des deux réactions indique qu'une mole de Na₂S₂O₅ (190 g) réagit avec 2 moles de HOCl, soit 2 moles de Cl₂ (71 g). Ainsi en théorie, le ratio massique est de 190/(71×2)= 1,34. Selon la stœchiométrie de la réaction, 1,34 mg de méta bisulfite de sodium est nécessaire pour 1 mg de chlore libre. En réalité, la quantité de méta bisulfite nécessaire est plus élevée.

Soit 2 mgou3 mg pour 1 mg de chlore libre. [25]

IV.5.1. Quantité optimale de SMBS à injecter:

La dose nécessaire pour neutraliser 0.2 mg/l de chlore résiduel pour de 33874 m³ d'eau brute à traiter, si on suppose que pour neutralisé 1 mg de chlore il nous faut 2 mg de métabisulfite

de sodium, alors pour notre cas on aura besoins de 55 l/j de solution de métabisulfite de sodium.

IV.5.2. Remarque :

Le dosage de l'hypochlorite de sodium est trop faible par rapport à la dose de SMBS injecté dans l'eau, ce qui provoque un surplus de métabisulfite de sodium, l'excès induit à la fin à une réaction entre ce dernier et l'antitartre injecté en aval du point d'injection de SMBS.

IV.6. Formation d'un dépôt :

Premier essai : sans injection de chlore

Tableau IV.8. La masse du dépôt récupéré en fonction de la quantité de SMBS en excès dans 50 ml d'eau brute.

	Réf	1	2	3	4	5	6	7	8
Excès de SMBS (mg/l)	0.939	0.862	0.84	0.817	0.774	0.862	0.892	0.644	0.461
V d'anti tartre injecté (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Masse du dépôt (mg)	107.5	110.1	111.5	118.7	134.6	110.1	112.1	126.7	130

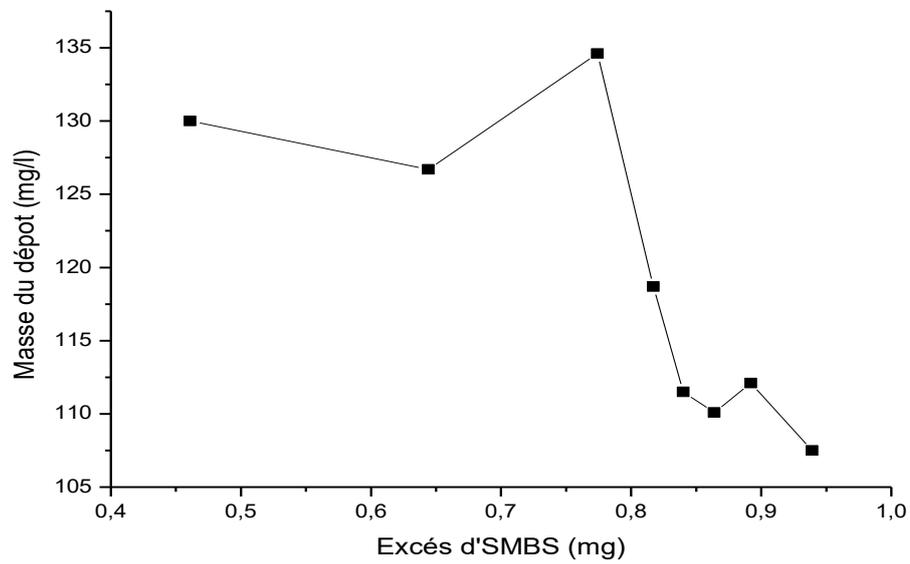


Figure IV.2. La masse du dépôt en fonction de l'excès en SMBS

D'après le graphe on constate une diminution de la quantité du dépôt avec l'augmentation de la quantité du métabisulfite de sodium

Deuxième essai : avec injection de chlore

Tableau IV.9. La masse du dépôt en fonction de quantité de chlore actif et SMBS injectée dans 50 ml d'eau brute.

[Cl ₂] actif (mg/l)	0.0775	0.087	0.104	0.14	0.21	0.28	0.34	0.503
Quantité de SMBS injecté (mg/l)	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939
V d'anti tartre injecté (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2
Masse du dépôt (mg)	57.2	68.25	80.2	85.95	91.8	92.24	88.85	111.4

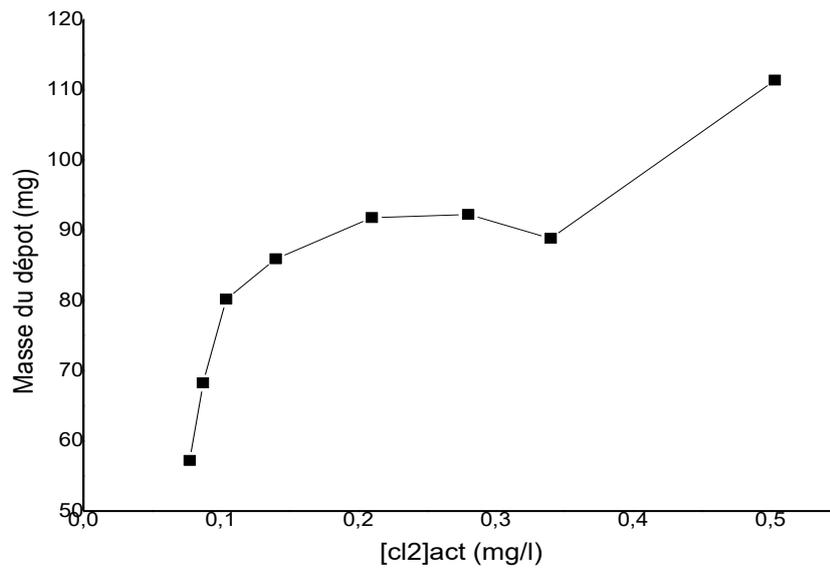
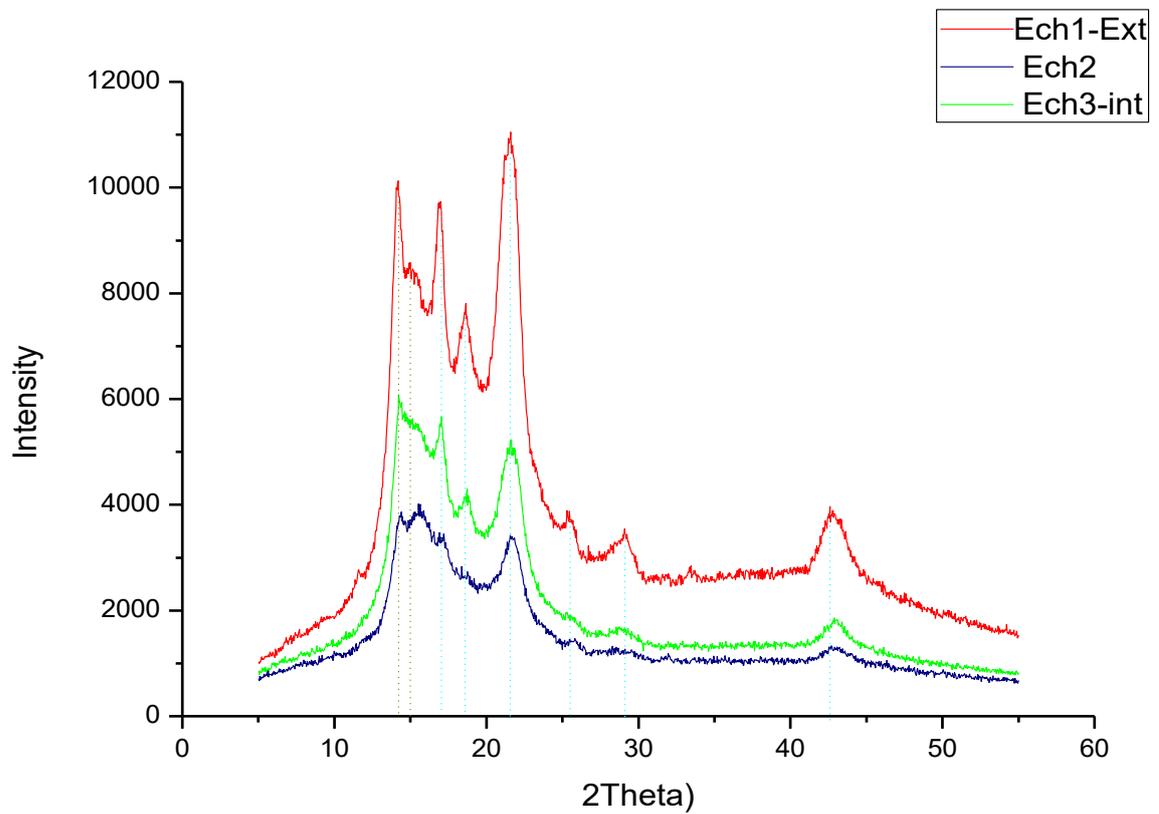


Figure IV.3. La masse du dépôt en fonction du chlore actif injecté

On remarque une augmentation de la quantité du dépôt récupéré avec l'augmentation de quantité du chlore actif injecté

IV.7. Caractérisation par DRX :**IV.7.1. Echantillons prélevés sur la cartouche filtrante colmatée :****Figure IV.4. Diffractogramme RX de 3 échantillons prélevés sur la cartouche filtrante**

Spectres des différents dépôts représentés séparément :

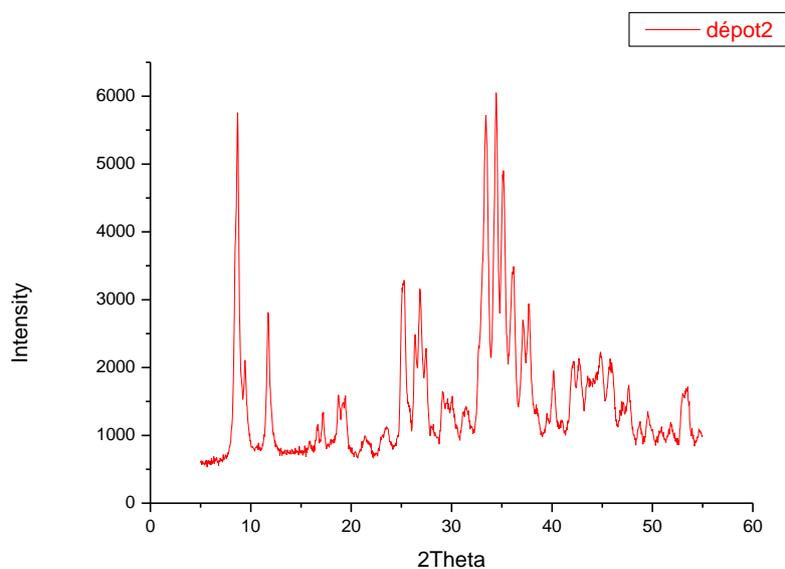


Figure IV.5. Spectre DRX de l'échantillon 2 du dépôt 2 récupéré ([SMBS]=0.84 mg/l)

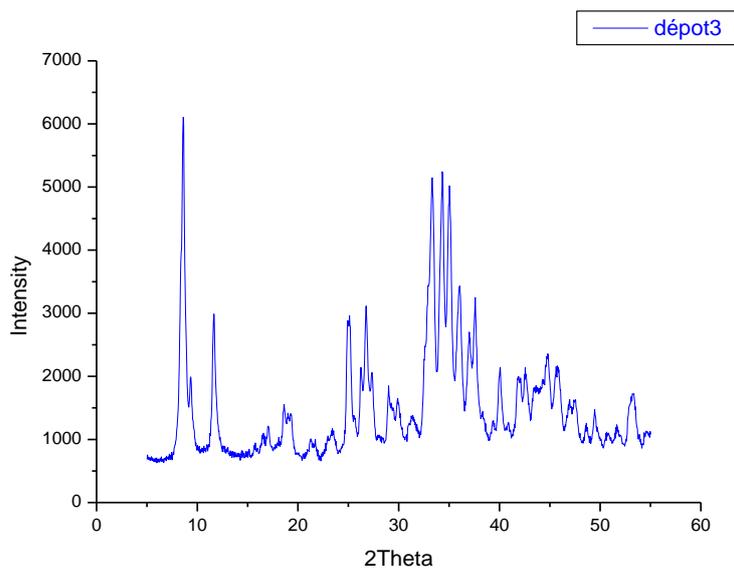


Figure IV.6. Spectre DRX de l'échantillon 3 du dépôt 3 récupéré([SMBS]=0.817 mg/l)

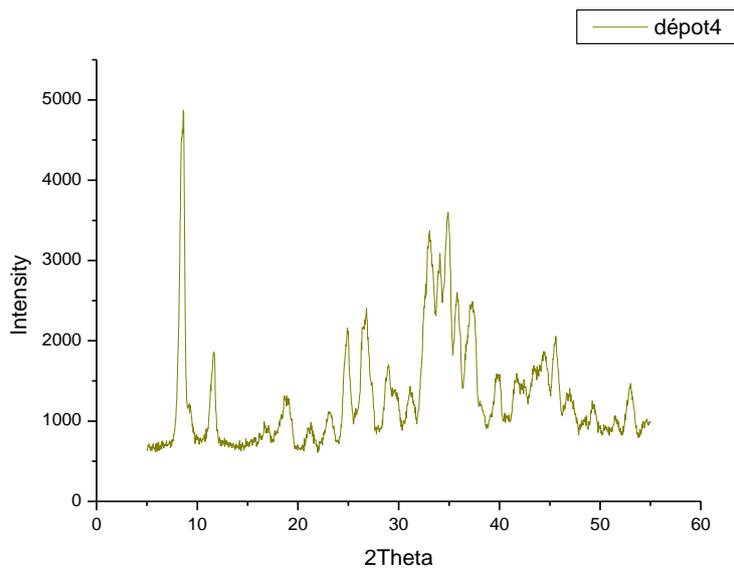


Figure IV.7. Spectre DRX de l'échantillon 4 du dépôt 4 récupéré ([SMBS]=0.774 mg/l)

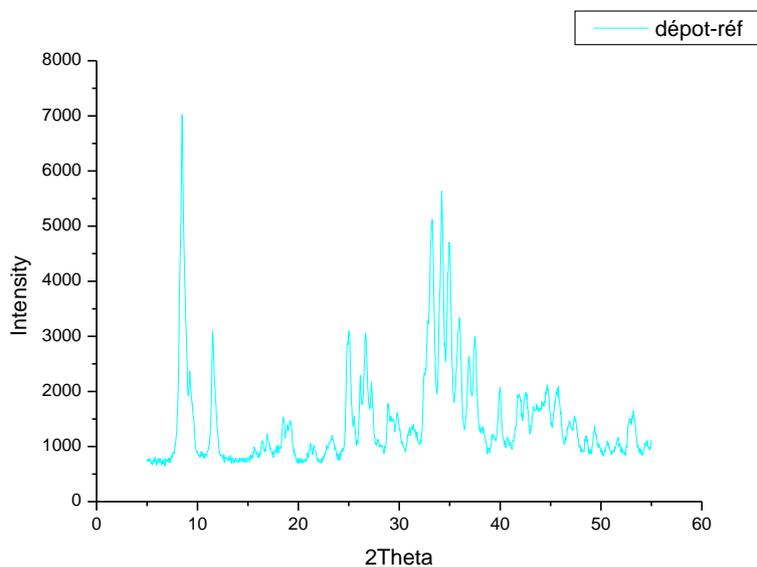


Figure IV.8. Spectre DRX de l'échantillon du dépôt de référence récupéré ([SMBS]=0.939 mg/l)

IV.7.3. Interprétation des Diffractogrammes X :

En comparant les spectres DRX des 3 échantillons prélevés d'une cartouche filtrante utilisée avec ceux des 4 dépôts récupérés après filtration des solutions à la fin des expériences de traitement de l'eau, on constate la présence de pics communs entre ces spectres à des angles de diffraction de 17° (mirabilite; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), $18,5^\circ$ (Therandite ; Na_2SO_4), $21,5^\circ$ et $25,5^\circ$ (Anhydrite ; CaSO_4), 29° et 43° (Calcite ; CaCO_3) et $33,5^\circ$ (MgCO_3) [26,27].

Par ailleurs, on note aussi un décalage des pics se trouvant à $14,11^\circ$ et $14,94^\circ$ sur les spectres DRX correspondant aux échantillons du filtre par rapport aux pics distingués à $8,64^\circ$ et $11,6^\circ$ dans les spectres DRX correspondant aux dépôts résultant des expériences qui sont relatifs aux cristaux de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

On note aussi la présence de pics des angles de diffraction de $8,48^\circ$, $34,24^\circ$ (Aragonite ; CaCO_3 + traces Pb, Sr et Zn), $35,9^\circ$ (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et 40° (Quartz) sur les spectres des dépôts et leur absence sur ceux des échantillons du filtre.

Ce constat confirme que le colmatage des filtres à cartouche utilisée à la station d'IN SALAH est causé par le dépôt d'un gâteau contenant de à la fois de la matière issue de la réaction entre les produits de traitement utilisés et des cristaux fréquemment formés dans les eaux dures tels que le CaCO_3 MgCO_3 (dolomie).

Conclusion générale :

Dans ce travail nous nous sommes intéressés au suivi de la station de traitement des eaux souterraines de la nappe profonde située dans le Sahara Algérien. Les eaux sont pompées au niveau de la localité d'IN SALAH, traitées et acheminées pour alimenter la ville de Tamnrasset.

L'objectif de notre étude était de déterminer les causes du colmatage prématuré des micro-filtres (cartouches filtrantes) utilisés dans le prétraitement des eaux dans la station de déminéralisation d'IN SALAH ensuite arrivé à des solutions pour parvenir à éviter ce problème.

La station de traitement des eaux d'IN SALAH est conçue pour la potabilisation d'eaux souterraines à minéralisation élevée. Cette station composée d'un ensemble d'opérations du type physico-chimiques et l'osmose inverse (OI) représente le cœur de ce traitement.

Le suivi des paramètres organoleptiques et physico-chimiques, ainsi que les paramètres de pollution, la minéralisation Globale et les éléments indésirables de l'eau brute extraite du champ de captage PK65 (22 Forages) de In-Salah, a révélé que ces eaux sont fortement minéralisées et comportent une faible teneur en éléments qui peuvent être considérés comme réducteurs de chlore tel que le fer, l'ammonium, les nitrites, les nitrates...

La détermination de la demande en chlore de l'eau prélevée du forage d'IN SALAH, a été réalisée par la méthode de la break-point. L'optimum a été localisé à la valeur de 3.6 mg/l.

Nous avons par la suite procédé au suivi de la réaction entre le métabisulfite de sodium (SMBS) et l'antitartre et la réaction entre le chlore, l'SMBS et l'antitartre injectés dans l'eau. La quantité de dépôt formé suite à ces réactions est fonction des quantités de chlore injecté et de métabisulfite de sodium résiduelle. Ces dépôts ont été analysés par Diffraction des rayons X (DRX).

Nous avons aussi extrait 3 échantillons d'un filtre colmaté pour effectuer des analyses par la DRX et pouvoir les comparer avec les diffractogrammes obtenus des 4 échantillons de dépôts formés dans l'opération indiquée ci-dessus.

On a relevé sur les diffractogrammes RX des pics dans les spectres correspondants aux différents échantillons que se soient ceux du filtre ou du dépôt, on a distingué une similitude dans les pics correspondant au angle de diffraction (2θ) 17.07° (Mirabilite ; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 18.5° (Therandite ; Na_2SO_4), 21.5° (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 28.9° (Clinoptitollite) et 42.5° (Quartz)

On a remarqué aussi sur le Diffractogramme RX des échantillons du filtre la présence de deux pics décalés par rapport à ceux obtenues avec des dépôts. Ces pics correspondent aux angles de diffraction respectivement $14,11^\circ$ (Kaolinite+Chlorite) et $14,94^\circ$ pour les échantillons du filtre et $8,64^\circ$ et $11,6^\circ$ (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) pour les dépôts.

Conclusion générale

Enfin on a remarqué la présence de pics correspondant aux angles de diffraction 8.48° , 33.45° (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 34.24° (Aragonite ; CaCO_3 + traces Pb, Sr et Zn), 35.9° (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et 40° (Quartz) sur les spectres des dépôts et leur absence sur ceux des échantillons du filtre.

Cette étude a révélé que c'est l'usage abusif du SMBS et de l'antitartre et la quantité insuffisante de chlore injecté qui est responsable du colmatage drastique des filtres utilisés en prétraitement. Le remplacement de cette opération par une autre comme l'adsorption sur charbon actif va sûrement permettre d'éviter une grande partie de ce colmatage. Cela aura une incidence financière certaine sur le fonctionnement de la station.

Références :

- [1] KOUADIO ADOLPHE, COURS DE TRAITEMENT DES EAUX, OMNICHIMIE ET SERVICES INDUSTRIELS DE COTE D'IVOIRE SARL, 2015.
- [2] Déssalement de l'eau de mer, Le déssalement, 2008.
- [3] BAKHTA, C., Impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement cas de la station de MAINIS. WILAYA DE CHLEF. Université de CHLEF, 2010.
- [4] Ministère des ressources en eau, Algérienne des eaux, Alimentation en eau potable de la ville de Tamanrasset, 2010.
- [5] Les eaux de surface : des ressources protégées, contrôlées et de bonne qualité, Le Centre D'information sur l'eau, 2018.
- [6] Water Treatment Handbook, Dégrément, 1991.
- [7] T-21, Optimisation de la consommation des produits de traitements, 2015.
- [8] GORGE, A, Traitement et distribution de l'eau en France.
- [9] Pr Belkasm Hayet, Production d'eau potable, cours Master 1 GPE.
- [10] RODIER, L'analyse de l'eau, ed. 9, 2009.
- [11] Bernard LEGUBE, Pierre MOUCHET, Eaux de distribution - Filières de traitement, 2010
- [12] Chriwa Wasseraufbereitungstechnik, Etudes de conception et de détail, fournitures, montage et mise en service des équipements, Essais de la station de déminéralisation d'eau par Osmose inverse à IN SALAH, 2016.
- [13] Dr M. Hammachi, cours de Première année Master Génie des Procédés de l'Environnement, Procédés d'Adsorption et Séparation Membranaire.
- [14] Macé, M., Quels traitements sophistiqués pour rendre l'eau potable, le centre d'information sur l'eau, 2017.
- [15] Mohammed Blinda, Energie, dessalement et changement climatique en Méditerranée, Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée, 2010.
- [16] Filmtec TM, Reverse Osmosis Technical Manual, 2016.
- [17] GLS, Nanofiltration, Memotec1, 2006.

-
- [18] CHRIWA deutschland water treatment technology, Manuel d'exploitation et mise en service 2016.
- [19] CHRIWA deutschland water treatment technology, Osmose inverse, 2016.
- [20] Dossier technique pour approbation (milieux filtrants), EUROQUARZ GmbH, 2014
- [21] Unité de production et grand transferte IN SALAH- TAMANRASSET, Données de la station de déminéralisation de Unité de production In-salah, 2017.
- [22] Wei, Chun-Hai Laborie, Stephanie Ben Aim, Roger Amy, Gary;.Full utilization of silt density index (SDI) measurements for seawater pre-treatment. Journal of Membrane Science, 2012, 405-406: p 212-218.
- [23] Organisation mondiale de la santé, 2006.
- [24] Journal officiel de la république Algérienne, 2014.
- [25] Jane Kucera, Reverse Osmosis, Industrial Application, Serivener Publishing Collections Editors,2010.
- [26] Al-Jaroudi, S.S., et al., Use of X-ray powder diffraction for quantitative analysis of carbonate rock reservoir samples. Powder Technology, 2007, 175(3): pp. 115-121.
- [27] Choi, S.B, et al., Growth mechanism of cubic MgO granule via common ion effect. J Nanosci Nanotechnol, 2013, 13(11): pp. 7577-80.

Résumé

Ce travail a pour objectif d'étudier et de cerner le problème de colmatage des cartouches filtrante 5 micro de la station de déminéralisation de IN SALAH, et trouver les facteurs responsable de ce problème et essaiera de trouver des solutions.

En premier lieu on a déterminé la demande en chlore de l'eau de captage de la station de IN SALAH en déterminant la break point de cette eau on a conclu que notre eau a une demande en chlore de 3.6 mg/l et on a calculé la quantité de métabisulfites de sodium nécessaire pour neutraliser 0.2 mg/l de chlore résiduel restant dans l'eau et on a trouvé 55 l/j, en suite on a suivi les réactions résultantes entre les différents produits utilisés lors du traitement de cette eau qui sont l'hypochlorite de calcium utilisé pour la désinfection, le métabisulfite de sodium utilisé pour la neutralisation du chlore résiduel, et en fin l'anti scalant (anti tarte) à des différentes concentrations, on a remarqué la formation d'un dépôt lors des réactions entre les différents produits et on a remarqué aussi une variation de la masse du dépôt avec la variation de la quantité de chlore injecté et la quantité de métabisulfite de sodium résiduel après neutralisation du chlore résiduel restant dans l'eau.

Après la récupération du dépôt, on a effectué des analyses à la DRX, les résultats obtenus sont :

- 17.07° (Mirabilite ; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$),
- 18.5° (Therandite ; Na_2SO_4),
- 21.5° (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),
- 28.9° (Clinoptitollite) et
- 42.5° (Quartz)
- 8.64° et 11.6° (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 8.48°, 33.45° (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),
- 34.24° (Aragonite ; CaCO_3 + traces Pb, Sr et Zn), 35.9° (Gypse ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e
- 40° (Quartz)

Cette étude a révélé que c'est l'usage abusif du SMBS et de l'antitartre et la quantité insuffisante de chlore injecté qui est responsable du colmatage drastique des filtres utilisés en prétraitement. Le remplacement de cette opération par une autre comme l'adsorption sur charbon actif va sûrement permettre d'éviter une grande partie de ce colmatage