



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Department de chimie industrielle

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

Rokba Youcef Seddik

Le : Dimanche 19 juin 2022

Etude de clarification d'une saumure de chlorure de sodium

Jury :

Pr.	Merzougui Abdelkrim	Pr	Université de Biskra	Président
Dr.	Guettaf Temem Elhachemi	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	Ghebghoub Fatima	MCA	Université de Biskra	Examineur

Les invites :

L'ingénieur Aboubaker sofien

Année universitaire : 2021 - 2022

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord notre créateur {Allah} pour nous avoir donné la force à accomplir ce travail.

Spécialement nos chers parents pour qui ont toujours là pour nous.

Notre encadreur : Dr. Guettaf Temem Elhachemi pour son aide et conseillée.

Tous les membres du jury : Pr.Merzougui Abdelkrim et Dr.Ghebghoub Fatima, pour l'honneur qu'ils nous font En acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur bienveillante attention.

Nous adressons nos remerciements à tous nos professeurs honorés depuis plus de 5 ans.

L'équipe du laboratoire et L'ingénieur Aboubaker sofien

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous nos proches et amis.

Qui nous ont toujours soutenues et encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

*A l'aide de dieu tout puissant, qui trace le chemin de
notre vie nous avons pu
Arriver à réaliser ce modeste travail que nous dédions
Aux êtres les plus chers à nos cœurs, nos mères et nos
pères
Qui ont toujours veillé sur nous,
A nos grands parents
A nos frères
A nos sœurs
A nos oncles
A nos tantes
A notre enseignante
A tous nos amis ainsi qu'à tous nos camarades de
"Master"*

ملخص

يعتبر ملح كلور الصوديوم اهم مصدر لاستخراج غاز الكلور، وعنصر اساسي للعديد من الصناعات الكيميائية مثل هيدروكسيد الصوديوم وحمض كلور الهيدروجين

نأتي بملح كلور الصوديوم كمادة اولية تحتوي على شوائب و عناصر كيميائية غير مرغوبة، ولغرض الحصول على أفضل طريقة لتصفية المحلول الملحي لكلور الصوديوم قمنا بتربص في مصنع ساسكو.

استطعنا من خلال انجاز هذا العمل من الوصول الى الطريقة والشروط الامثل للحصول على محلول ملحي ذو درجة نقاوة عالية بالاعتماد على دراسة تفاعلات فصل جزئيء كلور الصوديوم عن بقية الشوائب والعناصر الكيميائية المتواجدة في المادة الاولية، وايضا دراسة العوامل المأثرة على مؤشرات النقاوة (مؤشر التعكر، وتركيز عنصري الكالسيوم والمغنيزيوم ...)

Résumé

Le sel de chlorure de sodium est la source la plus importante pour extraire le chlore gazeux et un élément essentiel pour de nombreuses industries chimiques telles que l'hydroxyde de sodium et l'acide chlorhydrique...

Nous apportons du sel de chlorure de sodium comme matière première contenant des impuretés et des éléments chimiques indésirables, et dans le but d'obtenir la meilleure méthode de filtrer la solution de saumure de chlorure de sodium, nous fîmes un stage pratique dans l'usine Sasko.

Grâce à la réalisation de ce travail, nous avons pu atteindre la méthode et les conditions optimales pour obtenir une saumure de haute pureté, basée sur l'étude des réactions de séparation de la molécule de NaCl du reste des impuretés et des éléments chimiques présents dans le brut, ainsi que l'étude des facteurs influant sur les indicateurs de pureté (turbidité, la dureté totale ...)

Abstract

Sodium chloride salt is the most important source for extracting chlorine gas, and an essential element for many chemical industries such as sodium hydroxide and hydrogen chlorine acid...

We bring sodium chloride salt as a raw material that contains impurities and undesirable chemical elements, and for the purpose of obtaining the best way to filter the brine solution of sodium chloride, we have been waiting in the Sasko factory.

Through the completion of this work, we were able to reach the optimal method and conditions for obtaining a high-purity brine, based on the study of the reactions of separating the NaCl molecule from the rest of the impurities and chemical elements present in the raw material, as well as studying the factors affecting the purity indicators (turbidity, total hardness...)

Table des matières	I
Liste des figures et tableaux	II
Introduction générale	III
Chapitre I : L'état de l'art	
Introduction	3
1-Presentation de l'entrepris	4
1-1 - SARL SASKO industriel (filiale de Nuberg groupe)	4
1-2 - Nuberg groupe.....	4
1-3 - Les unités de l'industrie.....	5
2 -Purification de la saumure	6
2-1 Purification primaire.....	7
2-1-1 Précipitation.....	7
2-1-2 Filtration	7
2-2 Purification secondaire.....	7
3 Le procédé des cellules à membrane	10
Chapitre II : Méthodes et matériels	
Introduction	13
1- Les filtres de process	13
1-1. Saturateur.....	13
1-2. Le réacteur et le décanteur.....	14
1-3. Filtre à sable.....	14
1-4. Filtre à charbon.....	15
1-5 Filtre à résine.....	15
2 - Les méthodes d'étude	16
2-1 - Méthode pour déterminer la dureté totale	16

2-1-1 Matériels nécessaires.....	17
2-1-2 Mode opératoire.....	18
2-2 -Méthodes pour déterminer l'alcalinité libre et totale	19
2-2-1 Alcalinité.....	19
2-2-2 Principe et théorie.....	19
2-2-3 Titre alcalimétrique.....	20
2-2-4 Titre alcalimétrique complet.....	20
2-2-5 Matériels.....	20
2-2-6 Préparation des solution Réactifs.....	20
2-2-7 Mode opératoire.....	21
2-3-Méthode pour déterminer le pH	22
2-3-1 Appareillage.....	22
2-4 Méthode pour déterminer la turbidité	23
2-4-1 Appareillage	23
 Chapitre III : Résultat & discussion	
1-Etude de pH.....	26
2-Etude d'influence de carbonate.....	30
3-Etude d'influence de soude caustique.....	35
4-Etude d'effet de Flocculant.....	40
5-conclusion.....	43
IV Conclusion générale.....	45
V Références biographiques.....	46

LISTE DES FIGEURES ET TABLEAUX

Figure	Titre	Page
Figure I-1	Schéma de protection (SARL SASKO)	5
Figure I-2	Structure possible d'un système de purification de la saumure utilisé dans le procédé à membrane	8
Figure I-3	Vue éclatée d'un électrolyseur à membrane unipolaire	12
Figure II-1	Filtre à sable	14
Figure II-2	Filtre à résine	15
Figure II-3	Précipitation de Ca et Mg	16
Figure II-4	pH mètre	22
Figure II-5	Turbidité mètre	23
Figure III-1	Courbe de démonstrassions l'influence de pH sur la dureté totale $D-T = F$ (pH)	27
Figure III-2	Courbe de démonstrassions l'influence de pH sur la turbidité $T = F$ (pH)	28
Figure III-3	Courbe de démonstrassions l'influence de pH sur l'Excès. Excès = F (pH)	29
Figure III-4	Courbe de démonstrassions l'influence de $[Na_2CO_3]$ sur l'Excès de Carbonate de sodium. Excès = F ($[Na_2CO_3]$)	31
Figure III-5	Courbe de démonstrassions l'influence de $[Na_2CO_3]$ sur la dureté totale. $D-T = F$ ($[Na_2CO_3]$)	32
Figure III-6	Courbe de démonstrassions l'influence de $[Na_2CO_3]$ sur la turbidité $T = F$ ($[Na_2CO_3]$)	33
Figure III-7	Courbe de démonstrassions l'influence de $[NaOH]$ sur l'excès de NaOH Excès = F ($[NaOH]$)	36

Figure III-8	Courbe de démonstrassions l'influence de [NaOH] sur la dureté totale D-T = F ([NaOH])	37
Figure III-9	Courbe de démonstrassions l'influence de [NaOH] sur la Turbidite T = F ([NaOH])	38
Figure III-10	Courbe de démonstrassions l'influence de Flocculant sur l'excès Excès = F ([Flocculant])	41
Figure III-11	Courbe de démonstrassions l'influence de Flocculant sur dureté totale D-T = F ([Flocculant])	42
Figure III-12	Courbe de démonstrassions l'influence de Flocculant sur Turbidité T = F ([Flocculant])	42
Tableau I-1	À propos de l'usine Sasko	4
Tableau I-2	La composition chimique de la saumure	6
Tableau I-3	Exemple de spécifications applicables à la saumure pour le procédé des cellules à membrane fonctionnant avec une densité de courant de 4 kA/m ² max	9
Tableau II-1	Fiche technique du filtre à sable	14
Tableau III-1	Effet du changement de pH sur la clarification de la saumure	26
Tableau III-2	Effet du changement de [Na ₂ CO ₃] sur la clarification de la saumure	31
Tableau III-3	Effet du changement de [NaOH] sur la clarification de la saumure	35
Tableau III-4	Effet du changement de Flocculant sur la clarification de la saumure	40

Introduction générale

Introduction générale

Le chlorure de sodium est un composé chimique ionique de formule NaCl. On l'appelle plus communément sel de table ou sel de cuisine, ou tout simplement sel dans le langage courant. Cette roche évaporite a l'aspect d'une matière cristalline, sèche et solide, de densité 2,2, et surtout friable, très soluble dans l'eau, avec un goût âcre et une saveur salée caractéristique. Cet exhausteur de goût, plus ou moins raffiné, est utilisé depuis des temps immémoriaux pour l'assaisonnement, la préservation et la conservation des aliments.^[1]

Il s'agit du principal sel neutre dissous dans l'eau de mer ; il s'obtient :

- Dans des salins ou marais salants par évaporation de saumures dans plusieurs bassins communiquant avec une réserve remplie par l'eau de mer. C'est pourquoi, produit par cette saliculture traditionnelle ou industrielle, il s'appelle aussi sel marin.
- Dans des mines ou salines, par extraction de la roche évaporite saline nommée sel gemme ou halite. Ce sel extrait impur ou non purifié peut également être utilisé pour le salage des routes, pour favoriser le déneigement ou empêcher ou traiter le verglas.
- Plus rarement en le synthétisant, par exemple lors d'une réaction à haute température entre du dichlore (Cl_2) et du sodium métallique (Na).

Le chlorure de sodium était et reste une matière première pour la fabrication de carbonate de soude via le procédé Solvay, mais aussi de soude caustique, d'acide chlorhydrique et de gaz chlore, à partir de différents procédés électrolytiques.

Le but de cette mémoire est d'étudier la clarification d'une saumure de chlorure de sodium, pour obtenir

- meilleure pureté.
- Les filtres fonctionnent le plus longtemps possible.
- Moins cher.

Après cela, on passe par plusieurs étapes pour purifier cette solution des impuretés et des éléments chimiques indésirables comme le calcium et le magnésium... Pour enfin obtenir une saumure de chlorure de sodium avec un rapport de pureté élevé.

Pour mener à bien cette étude, on effectuera un stage chez Sasko Industrial Company, spécialisée dans la fabrication d'hypochlorite de sodium, de soude caustique et d'acide HCl, et on essaiera de dériver une bonne méthode de clarification pour une solution de chlorure de sodium afin d'obtenir la plus grande pureté possible.

Ce mémoire explique les expériences et les valeurs que nous avons obtenues pendant le stage, afin d'atteindre le résultat final à travers lequel nous concluons la méthode la plus précise pour clarifier la saumure de chlorure de sodium, Cette thèse est composée de trois chapitres :

- Première chapitre : Ce chapitre vise à donner une idée complète de l'industrie et de ses différentes unités, en partant de l'unité de préparation de la saumure jusqu'aux unités de fabrication finales, ce chapitre explique également les caractéristiques de la solution de saumure et les facteurs affectant le processus de clarification.

- Deuxième chapitre : Ce chapitre contient les différentes expériences et valeurs obtenues au cours de l'étude

Les moyens et outils utilisés dans les expériences et les calculs.

- Troisième chapitre : Ce chapitre comprend une explication et une clarification des résultats obtenus à partir du deuxième chapitre et en les comparant les uns aux autres pour parvenir à des conclusions finales qui atteignent l'objectif de cette thèse.

Chapitre I
Etude
Bibliographique

Introduction

L'industrie du chlore et de la soude est l'industrie qui produit du chlore (Cl_2) et de la soude caustique, c'est-à-dire de l'hydroxyde de sodium (NaOH), par électrolyse d'une solution saline. Les principales techniques utilisées pour la production du chlore et de la soude caustique sont l'électrolyse à mercure, l'électrolyse à diaphragme et l'électrolyse à membrane ; la solution de départ est principalement du chlorure de sodium (NaCl)

La saumure se forme naturellement sur les côtes, dans des lagunes, des rivières ou des lacs salés, ou des flaques isolées de la mer, par évaporation de l'eau sous l'action du soleil et du vent. Elle se forme aussi par lessivage de bancs de sel gemme, lors de l'infiltration d'eau douce à travers des couches perméables du sol.^[2]

Les saumures originaires des lacs salés contiennent principalement des anions chlorure Cl^- , carbonate CO_3^{2-} et sulfate SO_4^{2-} . La concentration de chacun d'entre eux fluctue selon le lieu, mais également suivant les conditions météorologiques et varie au cours du temps. Les saumures sont aussi le siège de réactions chimiques, qui modifient en permanence leur composition. Les anions sont associés, pour la majeure partie, à des cations sodium Na^+ , potassium K^+ , magnésium Mg^{2+} et calcium Ca^{2+} . On trouve aussi, l plus fréquemment à l'état de traces, des hydrocarbures, des oligo-éléments : brome Br, phosphore P, arsenic As, zinc Zn, cuivre Cu, plomb Pb, nickel Ni, argent Ag, de l'acide siliceux, des phénols, des acides humiques, des vitamines, des hormones, des stimulants biogènes, des acides aminés, des acides gras et des polysaccharides.

Le processus de purification de la saumure consiste en un système primaire pour les techniques des cellules à mercure et à diaphragme, et en un système secondaire supplémentaire pour la technique à membrane.

Cette opération est nécessaire pour éviter les composants indésirables (anions sulfates, cations de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Ba^{+2} et métaux) susceptibles d'avoir une incidence sur l'électrolyse. Ce sont la qualité de la matière première et les exigences en matière de qualité de la saumure pour chacune des trois techniques qui déterminent la complexité de l'unité de traitement de la saumure. C'est ce que vous couvrez dans le chapitre I, donnant un aperçu de l'industrie.

1- PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

1-1 - SARL SASKO industriel (filiale de Nuberg groupe) :

PROJECT	Chlor Alkali Plant – EPC / LSTK Basis
CLIENT	SARL SASKO Industries, ALGERIA
COMMISSION STATUS	Commissioned in 2015
CHLOR ALKALI PRODUCTS	<ul style="list-style-type: none"> • Liquid Caustic Soda • Hydrochloric Acid • Sodium Hypochlorite
EPC - LSTK CONTRACTOR	Nuberg Engineering Limited
CHLOR ALKALI PROCESS TECHNOLOGY	• Chlor Alkali Electrolysis Process, Membrane Cell Technology, INEOS , UK
NATURE OF PROJECT	Engineering Procurement Construction (EPC) – Lump Sump Turnkey (LSTK) Project.
HEAVY FABRICATION	Heavy fabrication for process equipment for chemical plant is done by Nuberg's state-of-the-art fabrication facility in Gujarat, India. The 115000 sqm. facility has ISO, ASME, U and U2 Stamp and IBR etc. accreditation.

Tableau I.1: À propos de l'usine Sasko [3]

1-2 - Nuberg groupe

Le groupe Nuberg est un conglomérat industriel axé sur l'ingénierie et la technologie basé en Inde. En tant que groupe, il fournit des solutions et des services technologiques, d'ingénierie et d'installations industrielles dans les industries de la chimie et des engrais, des hydrocarbures, du nucléaire et de la défense et de l'acier. Depuis sa création en 1996, Nuberg a mis en place plus de 60 usines chimiques Greenfield dans le monde et est reconnue comme l'une des principales sociétés EPC au Moyen-Orient.

Avec une configuration d'ingénierie interne de plus de 300 000 heures de travail disponibles, une fabrication de pointe, une équipe de construction avec une expérience mondiale et une installation de R&D basée en Suède, Nuberg propose des solutions avec une ingénierie de base et un savoir-faire en matière de processus provenant de son propre savoir-faire intellectuel. Propriété ou sous licence de fournisseurs de technologie.

Le groupe Nuberg compte trois divisions vis-à-vis de Nuberg EPC, spécialisées dans les projets clés en main pour le chlore-alcali, le peroxyde d'hydrogène, l'acide sulfurique, le chlorure de calcium et d'autres produits chimiques de spécialité ; Nuberg GPD, l'un des plus grands fabricants et fournisseurs d'usines à gaz dans tous les secteurs ; et Nuberg HFD, fabricant et fournisseur d'équipements industriels. Le groupe a son siège social à Noida, en Inde.^[4]

1-3- Les unités de l'industrie

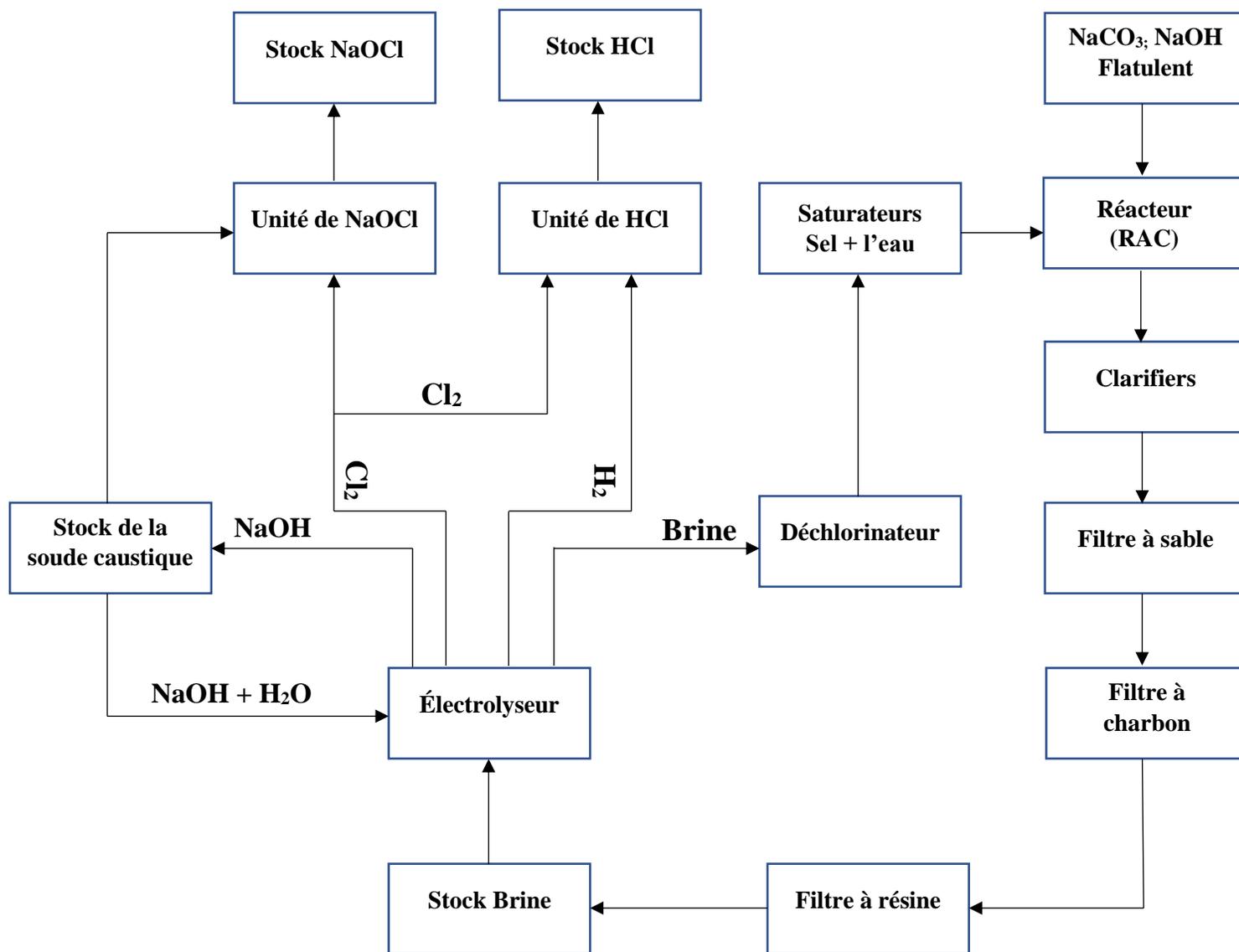


Figure 1.1 La ligne de production (SARL SASKO)

L'objectif principal de cette usine est d'obtenir du chlore et de l'hydrogène gazeux en plus des ions sodium, par électrolyse de la saumure. Afin d'assurer un haut rendement de production, il est nécessaire de filtrer la saumure de diverses impuretés, en particulier les ions calcium, magnésium et potassium (tableau I.2) pour obtenir une solution avec un pourcentage et concentration élevé de chlorure de sodium.

Cations	g/kg	mol/kg
Ion sodium (Na^+)	10,7837	0,46907
Ion magnésium (Mg^{2+})	1,2837	0,05282
Ion calcium (Ca^{2+})	0,4121	0,01028
Ion potassium (K^+)	0,3991	0,01021
Ion strontium (Sr^{2+})	0,0079	$9,02 \times 10^{-5}$
Ion lithium (Li^+)	$1,73 \times 10^{-4}$	$2,49 \times 10^{-5}$
Ion rubidium (Rb^+)	$1,20 \times 10^{-4}$	$1,404 \times 10^{-6}$
Ion baryum (Ba^{2+})	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,46 \times 10^{-7}$
Ions polyatomiques dont molybdène	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,04 \times 10^{-7}$
Ions polyatomiques dont uranium	$3,3 \times 10^{-6}$	$1,39 \times 10^{-8}$
Ions polyatomiques dont vanadium	$1,9 \times 10^{-6}$	$3,73 \times 10^{-8}$
Ion fer (Fe^{2+} ; Fe^{3+})	$1,3 \times 10^{-6}$	$2,33 \times 10^{-8}$
Ions polyatomiques dont titane	$1,0 \times 10^{-6}$	$2,09 \times 10^{-8}$
Ion aluminium (Al^{3+})	$1,0 \times 10^{-6}$	$3,71 \times 10^{-8}$

Tableau I-2 : la composition chimique de la saumure [5]

2 -Purification de la saumure

Comme on peut le voir dans la figure 1.1, le processus de purification de la saumure consiste en un système primaire, et en un système secondaire. Cette opération est nécessaire pour éviter les composants indésirables (anions sulfates, cations de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{+2} et métaux) susceptibles d'avoir une incidence sur l'électrolyse. Ce sont la qualité de la matière première et les exigences en matière de qualité de la saumure pour chacune des trois techniques qui déterminent la complexité de l'unité de traitement de la saumure. [6]

2-1 Purification primaire

2-1-1 Précipitation

L'étape initiale de la purification utilise du carbonate de sodium et de l'hydroxyde de sodium pour précipiter les ions calcium et magnésium sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) et d'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Il se peut que des métaux (fer, titane, molybdène, nickel, chrome, vanadium, tungstène) précipitent aussi pendant cette opération sous forme d'hydroxydes. La méthode classique pour éviter les métaux consiste à stipuler leur exclusion dans les conditions d'achat et de transport spécifiées pour le sel. On contrôle le sulfate de soude en ajoutant du chlorure de calcium (CaCl_2) ou des sels de baryum pour enlever les anions sulfates par précipitation du sulfate de calcium (CaSO_4) ou du sulfate de baryum (BaCO_4). La précipitation du sulfate de baryum peut avoir lieu en même temps que la précipitation du carbonate de calcium et de l'hydroxyde de magnésium, alors que la précipitation du sulfate de calcium exige un récipient distinct. [6]

2-1-2 Filtration

Les impuretés résultant de la précipitation sont éliminées par sédimentation, filtration ou une combinaison des deux. Avant d'être éliminé, le tourteau obtenu est généralement concentré jusqu'à une teneur en solides de 50 à 60 % (bien que la bibliographie fasse état d'un chiffre de 60 à 80 %) dans des filtres à vide à tambour rotatif ou des centrifugeuses [7]

La composition idéale de la saumure purifiée serait :

Ca: < 2 mg/l

Mg: < 1 mg/l

SO₄ : < 5 g/l

2-2 Purification secondaire :

Pour conserver le haut degré de performance de la membrane échangeuse d'ions, la saumure en entrée doit être purifiée à un degré plus élevé que dans les procédés traditionnels à mercure ou à diaphragme.

L'étape de la précipitation seule ne suffit pas à réduire les taux de calcium et de magnésium et il faut prévoir un adoucissement supplémentaire. La figure I.2 montre la structure possible d'un système de purification de la saumure utilisé dans le procédé des cellules à membrane. [7]

1	Sel brut			(le cas échéant)
2	Eau	5	SP1	Filtre à sable
3	Saumure épuisée		SP2	Filtre à saumure (à charbon)
4	V1 Unité de saturation de la saumure			Couche filtrante en carbone poreux
	V2 Unité de réaction de la saumure		SP3	Tours (colonnes) à résine de chélation
	V3 Unité de clarification (décantation)	6	E1	Électrolyseur
	V4 Décomposeur du chlorate		T1	Tour (colonne) de déchloration

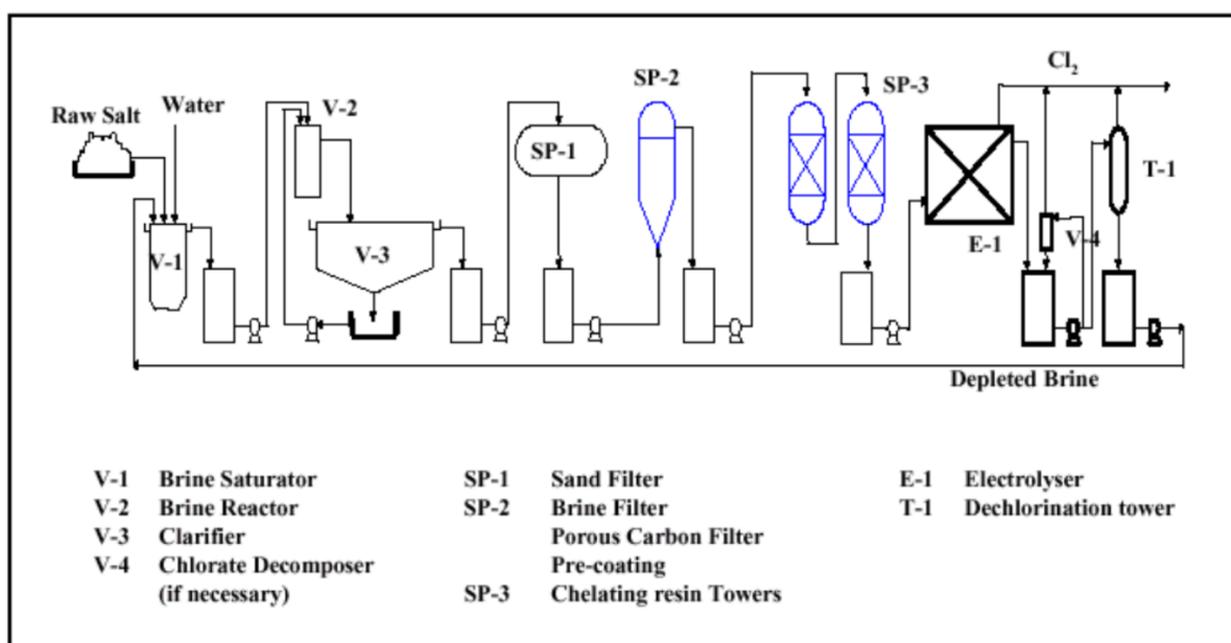


Figure I-2 : Structure possible d'un système de purification de la saumure utilisé dans le procédé à membrane (Source : Asahi Glass Co).

La purification secondaire de la saumure consiste en une étape de filtration du condensat et d'adoucissement de la saumure dans une unité échangeuse d'ions :

- La filtration secondaire consiste généralement en filtres du type à bougies, à cadres de plaques ou à lamelle sous pression (avec ou sans couche à base de cellulose) de manière à réduire suffisamment la quantité de matière en suspension et protéger la résine échangeuse d'ions contre les dommages.
- Le traitement par la résine de chélation échangeuse d'ions a pour but de ramener le taux des métaux terreux alcalins au niveau des ppb. Le tableau I.2 indique les spécifications requises pour les métaux,

le SO₄ et autres impuretés. Ces spécifications peuvent varier selon que les utilisateurs veulent travailler avec une densité de courant faible (< kA/m²) ou élevée. Les spécifications sont plus rigoureuses pour un courant de densité élevée.

- La résine est régénérée périodiquement au moyen de solutions d'acide chlorhydrique et d'hydroxyde de sodium d'une très grande pureté. Généralement, l'une des colonnes à résine échangeuse est en service pendant que l'autre subit une régénération.

Le traitement secondaire de la saumure exige une tour à résine de chélation mais dans certains cas on n'a pas besoin de filtre de traitement du condensat dans le traitement secondaire de la saumure.

Tableau général					
Impuretés	Unité	Seuil supérieur	Condition	Influence	Commentaires
Ca + Mg	Ppb	20		Ca:CE. Mg: V	
Sr	ppm	0,04	SiO ₂ = 10ppm	CE	Sr et SiO semblent être coprécipités à l'intérieur de la membrane (effet synergique) On peut facilement maintenir la teneur de Sr à 0,04 ppm dans la saumure purifiée si la tour à résine de chélation fonctionne dans des conditions normales. Si la teneur en SiO ₂ est maintenue à moins de 1 ppm, on peut dans ce cas autoriser une teneur en Sr de 0,1 ppm max.
SiO ₂	Ppm	10	—	CE	
Ba	Ppm	0,5 0,05	Iode = 0,2 Iode = 0,5	CE(V)	Ba et iode semblent être coprécipités à l'intérieur de la membrane (effet synergique) Si la teneur en SO ₄ est maintenue à 6 g/l, la teneur en Ba devrait alors être de 0,05 ppm ou moins.
Iode	Ppm	0,5 0,2	Ba = 0,05 Ba = 0,5	CE	L'iode provient du sel et de l'eau souterrains. Si l'on utilise du sel solaire et de l'eau de surface ordinaire, la teneur en iode devrait être de 0,1 ppm ou moins.
FE	Ppm	1	—	V	
Ni	Ppm	0,01	—	V	
Métaux llourds	Ppm	0,1	—	—	
Al	ppm	0,1	—	CE(V)	
SO ₄	G/l	6	—	C	Nous envisageons de porter le seuil supérieur à 8 g/l.
ClO ₃	G/l	20	—	C	

Tableau I-3 : Exemple de spécifications applicables à la saumure pour le procédé des cellules à membrane fonctionnant avec une densité de courant de 4 kA/m² max.
(Source Asahi Glass Co)

CE : l'efficacité du courant doit diminuer
V : la tension de la cellule doit diminuer

3-Le procédé des cellules à membrane

Dans les années 1970, le développement des membranes échangeuses d'ions a donné naissance à une nouvelle technique de production du chlore : le procédé de l'électrolyseur à membrane. Les premières membranes échangeuses d'ion ont été mises au point au début des années 1970 par Du Pont (Nafion), suivi par Asahi Glass (Flemion) qui a implanté la première installation utilisant le procédé des cellules à membrane à l'échelle industrielle au Japon en 1975 sous la pression de la réglementation japonaise en matière d'environnement. La pollution par le mercure autre que celle de l'industrie du chlore-alcali à Minamata a conduit les autorités à interdire tous les procédés au mercure et le Japon a été le premier pays à installer le procédé à membrane sur une grande échelle, au milieu des années 1980 [21]

3) Il existe au Japon deux installations à mercure (Toagosei Co. et Nippon Soda Co.) produisant de l'hydroxyde de potassium (capacité totale des deux, 45 000 tonnes/an) qui ont l'autorisation de fonctionner en raison de la qualité élevée du KOH produit, dont a besoin l'industrie du verre optique. Toutefois, on ne connaît pas la raison pour laquelle la technique de la membrane ne peut pas atteindre les mêmes résultats (Source : Asahu Glass Co.)

Aujourd'hui, c'est la technique la plus prometteuse et qui se développe le plus rapidement pour la production de chlore-alcali et il ne fait aucun doute que, à terme, elle remplacera les deux autres techniques. En effet, depuis 1987, la quasi-totalité des nouvelles installations de chlore-alcali dans le monde utilisent ce procédé des cellules à membrane. Le remplacement de la capacité actuelle des procédés au mercure et à diaphragme par les cellules à membrane se fait à un rythme nettement plus lent dû à la longue durée de vie des deux premiers procédés et aux investissements en équipement élevés que nécessite ce remplacement.[21]

Dans ce procédé, l'anode et la cathode sont séparées par une membrane conductrice d'ions imperméable à l'eau. La solution de saumure s'écoule par le compartiment des anodes, où les ions chlorure sont oxydés pour donner du gaz chloré. Les ions sodium migrent à travers la membrane vers le compartiment de la cathode qui contient une solution de soude caustique en circulation. L'eau déminéralisée ajoutée au circuit du catholyte est hydrolysée, et libère de l'hydrogène et des ions hydroxydes. Le sodium et les ions hydroxydes se combinent pour donner de la soude caustique qui est amenée à une concentration typique de 32 à 35 % en soumettant la solution à un nouveau cycle avant de sortir de la cellule. La membrane empêche la migration des ions chlorures de l'anode vers la cathode ; ainsi, la solution de soude ne contient

pas de sel comme dans le procédé des cellules à diaphragme. La saumure épuisée s'écoule de l'anode et est régénérée avec du sel. Le cas échéant, pour atteindre une concentration à 50 % de la soude caustique, la liqueur caustique obtenue doit être concentrée par évaporation (à l'aide de vapeur).

Le matériau utilisé pour les cathodes des cellules à membrane est soit l'acier inox soit le nickel. Ces cathodes sont souvent revêtues d'un catalyseur plus stable que le substrat et qui augmente la superficie de la surface et réduit la tension excessive. Ces matériaux de revêtement comprennent notamment des mélanges de Ni-S, Ni-Al et Ni-NiO, ainsi que des mélanges de métaux des groupes nickel et platine. Les anodes utilisées sont en métal.

Les membranes utilisées dans l'industrie du chlore-alcali sont couramment réalisées en polymères perfluorés. Ces membranes peuvent comporter d'une à trois couches, mais habituellement deux. L'une de ces couches est un polymère perfluoré avec des groupes carboxyliques substitués et est proche du côté cathodique. L'autre couche est un polymère perfluoré avec des groupes sulfoniques substitués et elle jouxte le côté anodique. Pour donner une force mécanique suffisante à ces membranes, elles sont généralement renforcées par des fibres de PTFE. Elles doivent rester stables pendant leur exposition au chlore d'un côté et à une solution caustique forte de l'autre côté. La durée de vie économique générale des membranes chlore-alcali est d'environ trois ans, mais elle varie entre 2 et 5 ans [Euro Chlor Report, 1997].

Les cellules à membrane présentent l'avantage de donner une solution de soude caustique extrêmement pure et de consommer moins d'électricité que les autres procédés. En outre, le procédé des cellules à membrane n'a pas recours à des matériaux hautement toxiques tels que le mercure et l'amiante. Mais il présente aussi des inconvénients, à savoir qu'il faut parfois faire évaporer la soude caustique obtenue pour en augmenter la concentration et que, pour certaines applications, il est nécessaire de traiter le gaz chloré obtenu pour en éliminer l'oxygène. En outre, la saumure qui arrive dans la membrane doit présenter un très haut niveau de pureté, qui implique quelquefois des étapes de purification supplémentaires avant l'électrolyse [22]

Les cellules à membranes peuvent être du type unipolaire ou bipolaire. Comme dans le cas du procédé des cellules à diaphragme, les cellules bipolaires présentent une perte de tension entre les cellules inférieure à celle des cellules unipolaires⁴) En revanche, le nombre de cellules connectées dans le même circuit est limité.[22]

- 1 Unité de dégagement d'oxygène
- 2 Unité de dégagement de chlore
- 3 Élément anodique
- 4 Élément cathodique
- 5 Connexion de Cooper
- 6 - 8 Joint d'étanchéité

- 7 Membrane
- 9 Tubulures de recyclage pour la soude caustique et la saumure
- 10 Saumure en entrée
- 11 Eau en entrée

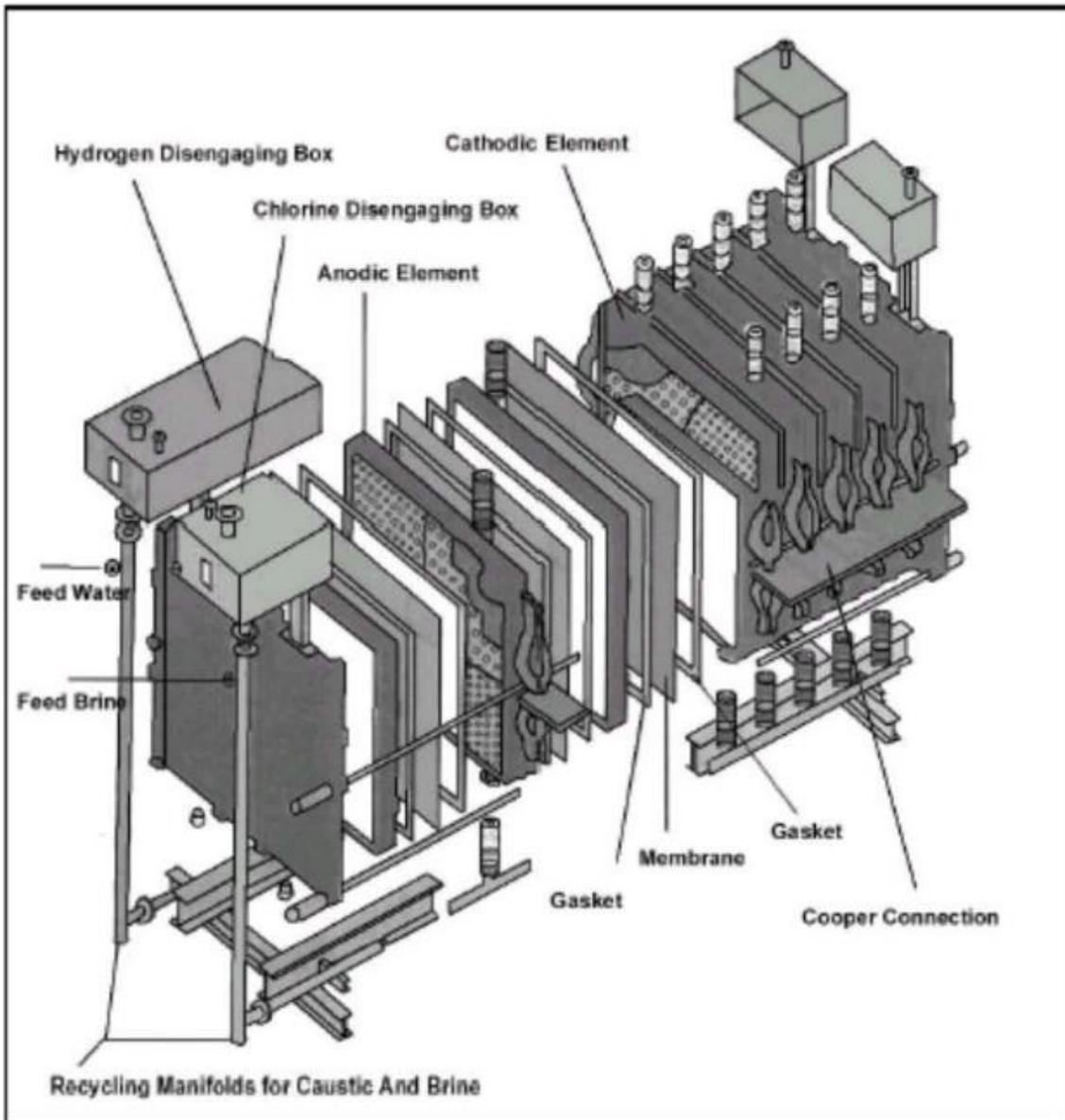


Figure I.3 : Vue éclatée d'un électrolyseur à membrane unipolaire [Source : De Nora]

Chapitre II :

Méthodes et matériels

Introduction

Le processus de clarification de la saumure NaCl est étudié sur la base de certaines méthodes et paramètres qui nous permettent de connaître la précision du processus et le degré de pureté conforme aux normes industrielle.

- Les paramètres à étudier sont :

- Etude de Ph.
- Etude de variation de carbonate.
- Etude de variation de soude.
- Etude de variation de Flocculant.

- Les méthodes :

- Méthode pour déterminer la dureté totale : méthode HNB
- Méthodes pour déterminer l'alcalinité libre et totale
- Méthode pour déterminer le pH
- Méthode pour déterminer la turbidité

L'application de ces méthodes nécessite un ensemble d'outils différents qui nous permettent d'étudier, et c'est ce que nous aborderons dans ce chapitre.

1- Les filtres de process

1-1. Saturateur :

La saumure est obtenue après une dissolution du chlorure de sodium dans l'eau jusqu'à une saturation de 300g /l avec une saumure épuisé provenant de l'électrolyseur. cette dissolution se fait dans un saturateur.

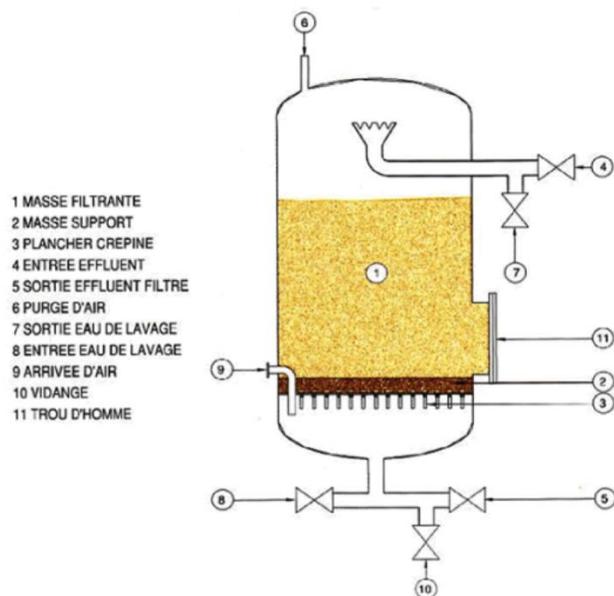
1-2. Le réacteur et le décanteur :

Cette étape a pour but d'éliminer les matières en suspension et les précipités par gravité. La décantation nécessite une injection de flocculant destiné à favoriser la floculation de matière en suspension et les précipités de calcium et de magnésium qui seront éliminés sous forme de boues. L'ajout de la soude et le carbonate de sodium consiste à diminuer la dureté de saumure.



1-3. Filtre à sable :

Le filtre à sable se compose d'une cuve remplie de sable. Figure II.1 permet de retenir toutes les particules incapables de passer à travers lui. La société Sarl Sasko dispose d'une unité de filtration de la saumure composée de deux filtres à sables (A et B) fonctionnant par alternance. La saumure sortante de décanteur entre par le haut de la cuve et passe à travers les grains de sable à l'aide d'une pompe. Le sable retient les impuretés selon le diamètre de granules, après ce filtrage on obtient une saumure claire sans turbidité qu'on la fait passer aux filtres à charbon. [8]



Diamètre moyen des particules de sable (d_p)	1 mm
Masse volumique du sable (ρ_s)	2610 kg/m ³
Facteur de forme des particules de sable (ϕ)	1
Porosité initiale du lit (ϵ)	0,4
Vitesse de filtration (U)	10 m/h
Débit de production (Q)	35 m ³ /h

Tableau II-1 Fish technique de filtre a sable

Figure II-1 filtre à sable

1-4 filtre à charbon :

Le charbon actif est une forme de charbon présentant une surface spécifique très importante, ce qui permet de retenir de nombreuses particules, d'où son rôle idéal en tant que médium de filtration.

L'adsorption par charbon actif fonctionne le mieux sur les substances apolaires. C'est pourquoi il est particulièrement adapté à l'élimination des odeurs, couleurs et goûts. Dans le secteur de l'eau potable, les filtres à charbon actif assurent l'adsorption des composés organiques nocifs.

Il est important que le liquide à traiter ne contienne (presque) plus de particules en suspension, sous risque de rapidement obstruer le filtre et de fortement réduire sa capacité d'absorption. Les filtres à charbon actif doivent être nettoyés régulièrement. [9]

1-5. Filtre à résine :

Système de filtration à base de résine ionisée qui est capable de retenir certains contaminants. La société Sarl Sasko dispose de deux filtres à résines (remplis par la Lewatit TP 208) A et B fonctionnant simultanément. [10]

- Fonctionnement A-B : A c'est la première colonne.
- Fonctionnement B-A : B c'est la première colonne.

L'utilisation de résine a pour but d'éliminer les ions Mg^{2+} et Ca^{2+}

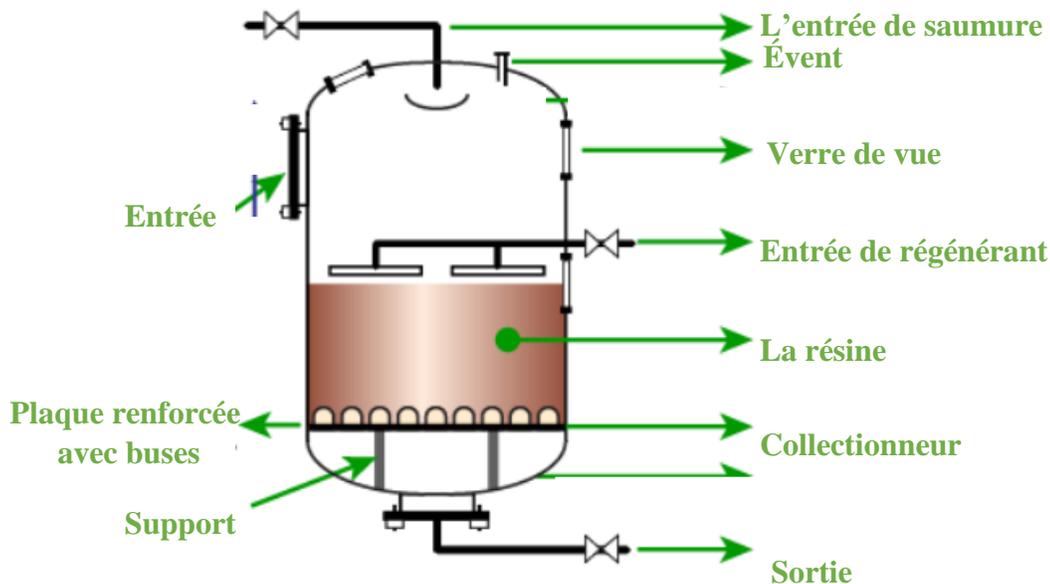


Figure II-2 filtre a résine

2 - Les méthodes d'étude

2-1 - Méthode pour déterminer la dureté totale :

Le titre hydrotimétrique (T.H. ou G.H. en allemand pour GesamtHärte), ou dureté de l'eau¹, est un indicateur de la minéralisation de l'eau en cations divalents alcalino-terreux susceptibles de précipiter sous forme d'incrustations calcaires. Elle est due uniquement aux ions calcium et magnésium.

La présence de calcium et de magnésium au niveau de l'alimentation peut réduire les performances et la durée de vie des membranes utilisées dans l'industrie chlore-alcali.

Une surveillance en ligne précise de la dureté est donc nécessaire à plusieurs étapes du processus pour maintenir une dureté totale <20 ppb (à la sortie de la deuxième colonne).^[11]



Figure II.3 Précipitation des Ca et Mg.^[12]

La présente méthode permet de nous déterminer la dureté totale en se basant sur la méthode de Hydroxyde Naphtol Blue HNB.

Principe des dosages :

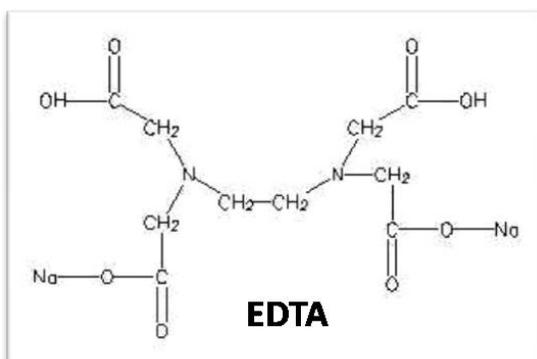


Figure II.4 La formule de EDTA ^[11]

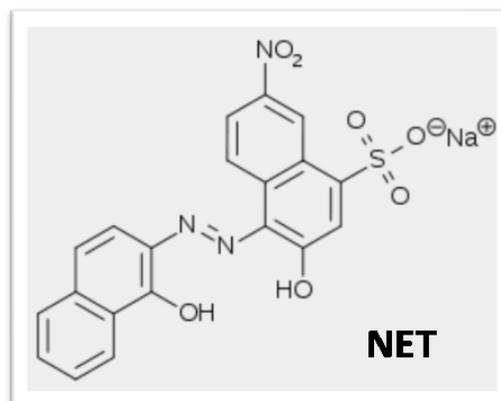


Figure II.5 La formule de NET^[11]

Pour déterminer la concentration en ions calcium et en ions magnésium dans une eau on utilise une réaction de complexation avec l'ion éthylènediaminetétraacétate EDTA un tétracide que l'on note Y^{4-} sa formule :



Le dosage s'effectue à partir du sel disodique de l'EDTA Na_2H_2Y en milieu tamponné à pH 10, le pH auquel on observe de bons résultats expérimentaux.

Les complexes de l'EDTA avec les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} ne sont pas colorés. Afin de détecter l'équivalence, on complexe les ions Ca^{2+} et Mg^{+2} contenus dans l'eau minérale par le noir d'ériochrome NET, donnant des complexes colorés mais moins stables qu'avec l'EDTA. Lors de l'ajout de la solution titrante d'EDTA, le NET est progressivement libéré jusqu'à l'équivalence où il est libre en solution.

Le NET joue le rôle d'indicateur de fin de réaction. Il est violet en présence d'ions Ca^+ et Mg^+ , et bleu dans l'eau distillée.

2-1-1 Matériels nécessaires

Le matériel nécessaire à cette analyse est le suivant :

- Fiole jaugée 50ml.
- Solution tampon alcaline 3.0N.
- Solvant de dilution pour HNB (NET)
- EDTA. (Ethylenediaminetetraacetic acid)
- Deux Cellules en verre 10ml.
- Deux pipettes pasteur.
- Papier nettoyant.
- Spectrophotomètre UV-VIS.

Courbe de calibration de Spectrophotomètre UV-VIS :

- Préparer une solution S à partir une solution mère K de concentration 1000 mg/l (10 ml K/100ml d'eau distillé).
- Préparer des solutions étalons à partir d'une solution standard S de concentration 100 mg/l :
 - ✓ Solution 1 de Ca : 0 ml de S + 100 ml de brine : dureté = 0 mg/l.
 - ✓ Solution 2 de Ca : 2 ml de S et compléter avec brine jusqu'à 100 ml : dureté = 2 mg/l.
 - ✓ Solution 3 de Ca : 4 ml de S et compléter avec brine jusqu'à 100 ml : dureté = 4 mg/l.
 - ✓ Solution 4 de Ca : 8 ml de S et compléter avec brine jusqu'à 100 ml : dureté = 8 mg/l.
- Préparer quatre nouvelles solutions à partir des quatre solutions précédentes par la dilution de 1 ml de chacune de ces solutions avec 100 ml d'eau distillé.
- Tracer la courbe d'étalonnage (**Abs Vs dureté totale en mg/l**) : en mesurant les différentes absorbances à 620 nm avec HNB méthode.

Analyse la dureté d'échantillon de brine:

- Diluer 1 ml d'échantillon de brine à analyser dans 100 ml d'eau distillé soit R la solution.
- Mesurer l'absorbance de R à 620 nm avec HNB méthode.
- En utilisant la courbe d'étalonnage, déterminer la concentration de R en mg/l.

2-1-2 Mode opératoire

Le mode opératoire de la détermination de la dureté du Brine est décrit comme suit :

- Prélever à l'aide d'une fiole jaugée 50ml l'échantillon à mesurer.
- Ajouter à l'aide d'une pipette pasteur 0.5ml de la Solution tampon alcaline 3.0N et agiter.
- Ajouter à l'aide d'une pipette pasteur 0.5ml du Solvant de dilution pour HNB.
- Agiter et laisser agir pendant 3 minutes.
- Remplir les cellules A et B de 10ml préincubée avec la même solution.
- Ajouter 2 à 3 gouttes EDTA à la cellule A.
- Agiter et laisser agir pendant 3 minutes.

- Nettoyer les cellules à l'aide d'un papier absorbant.
- Sélectionner dans le menu programmes utilisateurs le programme « HNB Brine ».
- Régler le zéro à l'aide de la cellule B.
- Mesurer la dureté à l'aide de la cellule A.
- Prélever la valeur directement du spectrophotomètre en ppb.

NB : Un échantillon laissé pour une durée supérieure à 3 minutes peut fausser les résultats.

2-2 -Méthodes pour déterminer l'alcalinité libre et totale

2-2-1 Alcalinité :

L'alcalinité se définit comme la somme des charges des acides inactifs (conjugués des bases fortes) tels que Na^+ , Ca^{2+} , diminuée de la charge des bases inactives (conjuguées des acides forts) telles que Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}

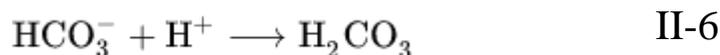
Par suite de la neutralité électrique de la solution, c'est aussi la somme des charges des bases faibles (carbonate, hydrogénocarbonate, borate, silicate, phosphate, etc.).

L'alcalinité résulte de l'altération des minéraux de sel {NaCl pas pure}. Ainsi l'altération des feldspaths des granites libère les cations inactifs Na^+ , K^+ , Ca^{2+} alors que les anions (alumine et silicate) sont des bases faibles et surtout sont incorporés dans des minéraux argileux. De même, les pyroxènes des basaltes libèrent le cation Mg^{2+} et l'anion silicate. La dissolution de la calcite des calcaires fournit l'ion Ca^{2+} inactif et l'ion carbonate CO_3^{2-} base faible ; elle augmente donc l'alcalinité. Par contre, la dissolution du gypse (sulfate de calcium hydraté), produisant les ions Ca^{2+} et SO_4^{2-} tous deux inactifs et de charges opposées, ne la modifie pas. [13]

L'alcalinité est mesurée par titrages avec un acide fort (HCl , HNO_3).

2-2-2 Principe et théorie

L'alcalinité d'un échantillon est déterminée par un titrage avec une solution d'acide nitrique.



Au fur et à mesure du titrage, le pH diminue légèrement. Lorsque l'échantillon contient des carbonates, un premier point d'équivalence peut être observé aux environs de $\text{pH}=8,3$. Ce point correspond à la transformation des ions carbonate en bicarbonate. Cependant, l'alcalinité est mesurée au deuxième point d'équivalence, soit celui correspondant à la transformation du bicarbonate en acide carbonique. Ce point d'équivalence se trouve aux environs de $\text{pH}=4,3$ [14]

2-2-3 Titre alcalimétrique :

Le titre alcalimétrique (TA) est le volume d'acide exprimé en ml à 0,02 mol/l en ions H_3O^+ nécessaire pour doser 100 ml d'eau. Cette analyse se fait en présence de phénolphtaléine qui vire de l'incolore au rose-fuchsia à $\text{pH}=8,2$. Le TA s'exprime en degrés français ($^{\circ}\text{f}$) : $1^{\circ}\text{f} = 3,4 \text{ mg/l}$ d'ion hydroxyde HO^- ou $6,0 \text{ mg/l}$ d'ion carbonate CO_3^{2-} [15]

2-2-4 Titre alcalimétrique complet :

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond au volume d'acide nécessaire pour neutraliser les ions bicarbonate HCO_3^- en complément des ions carbonate CO_3^{2-} contenus dans 100 ml d'échantillon [16]:

$$\text{TAC} = [\text{HO}^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]. \quad \text{II-7}$$

2-2-5 Matériels :

- Erlenmeyer de 500 ml.
- Pipette de 25 ml.
- Bécher de 250 ml.

2-2-6 Préparation des solution Réactifs :

- Solution standard de HCl 0,1M.
- Indicateur de méthyle orange.
- Indicateur de phénolphtaléine

Préparation d'une solution de 0,1M de HCl.

Prendre 10 ml d'une solution standard de HCl 1M et faire une dilution 10 fois dans une fiole de 100ml avec de l'eau distillée.

Vérifier la solution avec une solution standard de carbonate de sodium Na_2CO_3 .

Préparation de méthylorange :

- Dans une fiole jaugée de 1000 ml, ajouter 600 ml d'eau.
- Ajouter 10 g de Méthylorange, puis agiter jusqu'à la dissolution totale.
- Compléter avec l'éthanol absolue jusqu'au trait de jauge.
- Agiter bien le mélange avec l'agitateur magnétique.

Préparation de phénolphtaléine :

- Dans une fiole jaugée de 1000 ml, ajouter 600 ml d'éthanol absolue.
- Ajouter 5 g de phénolphtaléine, puis agiter jusqu'à la dissolution totale.
- Compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- Agiter bien le mélange avec l'agitateur magnétique

2-2-7 Mode opératoire :

- Prendre un volume 100 ml d'un échantillon de brine.
- Ajouter 100 ml d'eau déminéralisée pour faire la dilution.
- Ajouter 2 gouttes de phénolphtaléine, une coloration rose va apparaître.
- Titrer avec HCl 0,1 M jusqu'à la disparition complète de la coloration rose.
- Soit V_1 le volume du premier point de dosage.
- Ajouter 2 gouttes de méthyl orange, une coloration brune apparaisse.
- Compléter le dosage avec HCl 0,1M.
- Arrêter le dosage lorsque la coloration rose apparaisse.
- Noter le deuxième volume. Soit V_2 .

Calcul:

$$[\text{NaOH}]_{(g/l)} = (2V_1 - V_2) * 0,1 * 40 / 100 \quad \text{II-8}$$

$$[\text{Na}_2\text{CO}_3]_{(g/l)} = (V_2 - V_1) * 0,1 * 106 / 100 \quad \text{II-9}$$

2-3-Méthode pour déterminer le pH :

$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ ou $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$. Le pH n'a pas d'unité. La valeur du pH peut se déterminer avec un indicateur coloré, du papier pH ou mesuré avec un pH-mètre.

2-3-1 APPAREILLAGE

Présentation du pH-mètre :

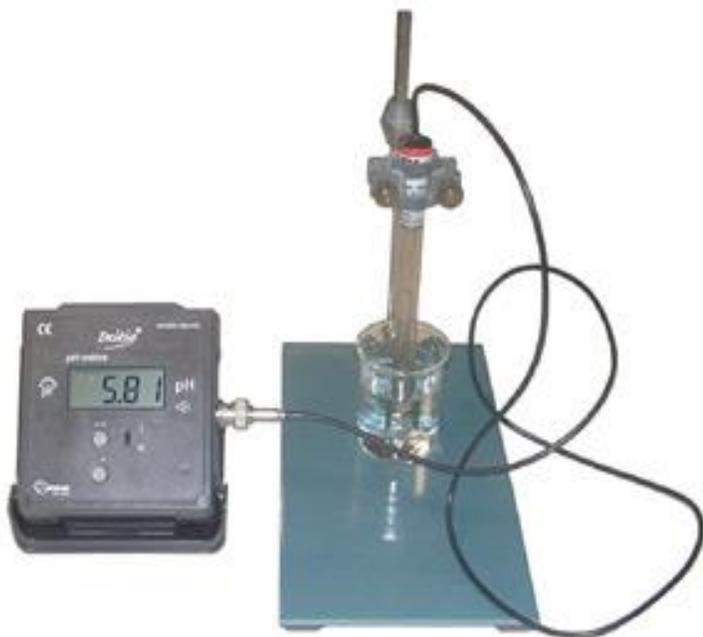


Figure II-4 pH mètre

Le pH-mètre est constitué :

- D'une sonde pH-métrique,
- D'un boîtier. Ce boîtier dispose d'une zone de lecture, d'un bouton de réglage de la température et d'un bouton d'étalonnage

Note :

- Entre deux mesures la sonde doit toujours être longée dans une solution d'eau distillé.
- Lorsque le pH-mètre est inutilisé pendant longtemps, la sonde doit être plongée dans une solution de chlorure de potassium saturée.^[17]

Étalonnage du pH-mètre :

- Sortir la sonde de l'eau distillée et l'essuyer délicatement avec du papier.
- Plonger la sonde dans une solution tampon de $\text{pH} = 7$. Régler le bouton de température pour que le pH-mètre affiche la valeur 7.
- Sortir la sonde de la solution tampon, la rincer avec de l'eau distillée et l'essuyer délicatement avec du papier.
- Plonger la sonde dans une solution tampon de $\text{pH} = 4$ (ou 11 pour faire des mesures en milieu basique). Régler le bouton d'étalonnage pour que le pH-mètre affiche 4.

- Sortir la sonde de la solution tampon, la rincer avec de l'eau distillée et l'essuyer délicatement avec du papier.
- Eventuellement, répéter ces deux opérations pour un étalonnage plus précis.
- Plonger la sonde dans l'eau distillée en attendant de faire les mesures. [18]

Pour faire une mesure :

- Sortir la sonde de l'eau distillée.
- La rincer (avec de l'eau distillée, ou mieux, avec la solution dont on veut mesurer le pH) et l'essuyer délicatement.
- Plonger la sonde dans la solution dont on veut mesurer le pH. Attendre la stabilité (quelques secondes). Lire la valeur du pH.
- Sortir la sonde de la solution, la rincer et la plonger dans l'eau distillée en attendant la prochaine mesure.

2-4 Méthode pour déterminer la turbidité :

La **turbidité** est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'un turbidimètre. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident.[19]

2-4-1 APPAREILLAGE :

- Turbidimètre de marque Hach, modèle 2100.



Figure II-5 Turbidité mètre

- Cuvettes de travail d'environ 30 ml
- Ensemble d'étalons de turbidité de la compagnie Hach (formazine) pour l'étalonnage :

[0,1 UTN, 20 UTN, 200 UTN et 1 000 UTN, 4 000 UTN, 7 500 UTN]

Note – Chaque étalon est contenu dans une ampoule de verre scellée

- Huile de silicone

DOSAGE :

Pour démarrer l'appareil :

- Fermer le capot.
- Mettre appareil sous tension.
- Laisser préchauffer l'appareil environ 60 minutes, choisir le mode ratio.
- Procéder à l'étalonnage, si nécessaire, en suivant les instructions de l'annexe 1 ou celles décrites dans le manuel d'opération. L'étalonnage doit être fait une fois par mois.
- Vérifier l'étalonnage avant chaque série de mesures avec des étalons de formazine de 20 et de 200 UTN de la compagnie Hach et noter le résultat sur la feuille de travail.MA.
- 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 gras. Au besoin, déposer une petite trace d'huile de silicone (4-3) du col vers le bas de la cuvette et l'étendre uniformément avec le tissu.
- Placer la cuvette dans le puit de mesure et fermer le capot.
- Lire lorsque le signal est stable et noter le résultat.

Étalonnage de turbidimètre :

- Presser la touche CAL ZERO (le voyant cal s'allume et le chiffre 00 s'affiche, puis la valeur antérieure obtenue avec de l'eau déminéralisée, ED);

- Placer la cuvette de 30 ml d'eau déminéralisée (ED) dans le puits de mesure ;
- Presser ENTER et attendre 60 secondes ;
- Après le décompte, le résultat est mémorisé pour faire le calcul de correction ;
- La valeur 20,00 UTN s'affiche ainsi que #01 pour le premier étalon commercial ;
- Placer l'étalon de 20,00 UTN, presser sur la touche ENTER et attendre 60 secondes pour que l'appareil puisse en enregistrer la valeur ;
- Retirer cet étalon et procéder ensuite de la même manière avec tous les étalons commerciaux correspondant à la valeur indiquée par l'appareil. N'oublier pas de presser sur la touche ENTER entre chaque étalon (un délai d'une minute s'applique à chaque mesure);
- Après le dernier standard (1 000 UTN), l'appareil revient à 00 et la valeur de l'eau déminéralisée (E.D.) s'affiche ;
- Si nécessaire, procéder à une calibration complète avec l'ensemble des solutions étalons Hach. Étalonner de 0,1 UTN à 4500 UTN ou 7500 UTN.
- Presser la touche CAL ZERO. [20]

Chapitre III

Résultat & discussion

Pour cette étude, nous avons réalisé quatre expériences afin d'optimiser les valeurs d'alimentation (les concentration et les débits de NaOH, Na_2CO_3 , Flocculant) pour d'obtenir des meilleurs résultats de dureté totale, turbidité, excès et décantation.

Ces expériences sont :

1-Etude de pH :

Dans le but d'étudier l'influence de pH sur le traitement de saumure nous avons testé trois milieux différents : saturateur acide, saturateur neutre et saturateur basique

On contrôle la valeur de pH à partir de l'injection de l'acide chloro-hydrique dans le saturateur

Le tableau suivant regroupe toutes les analyses après injection de carbonate, de soude et de flocculant :

- $[\text{Na}_2\text{CO}_3] = 20 \text{ g/l}$ avec un débit de 400 L/h.
- $[\text{NaOH}] = 15 \text{ g/l}$ avec un débit de 150 L/h.
- $[\text{Flocculant}] = 0,3 \text{ g/l}$ avec un débit de 200 L/h.
- Volume des tanks des additifs = 2500L.
- Dureté totale initiale = 200 g/l (as CaCO_3).
- pH saturateur variable avec un débit de 15 m³/h

T-K 103 : un réservoir après le réacteur et la décanteur, **T-K 104** un réservoir après le filtre à sable

T-K 201 un réservoir après le filtre résine

pH	Milieu 1 (pH = 1,4)	Milieu 2 (pH = 7)	Milieu 3 (pH = 12)
Flocculation	Conforme	Conforme	Non conforme
Dureté totale TK -103	5 mg/l	7 mg/l	13 mg/l
Dureté totale TK- 201	0,005 mg/l	0,015 mg/l	0,018 mg/l
Turbidité TK-103	4 NTU	5,6 NTU	20 NTU
Turbidité TK- 104	0,1 NTU	2 NTU	5 NTU
Excès de soude	0,2 g/l	0,2 g/l	0,5 g/l
Excès de carbonate	0,16 g/l	0,3 g/l	0,4 g/l

Tableau III-1 : Effet du changement de pH sur la clarification de la saumure

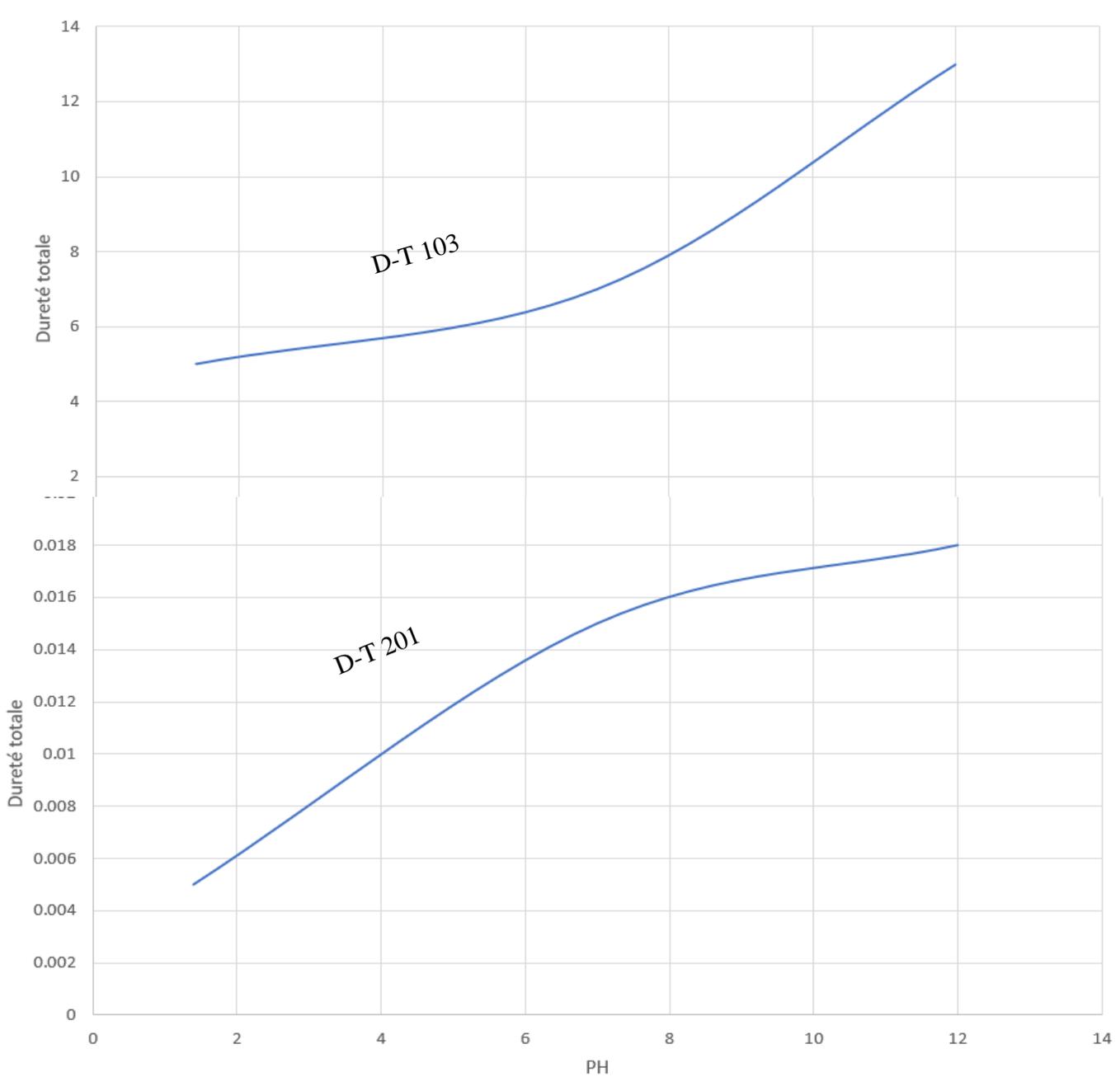


Figure III.1 Courbe de démonstrations l'influence de pH sur la dureté totale $D-T = F(\text{pH})$

- **Observation**

- La figure III-1 montre bien l'augmentation de la dureté totale à mesure que le pH augmente, dans les réservoirs 201 et 103, ce qui indique que le milieu acide est plus efficace en termes d'élimination du calcium et du magnésium

- **Conclusion**

L'augmentation de pH correspond à une augmentation de OH^- , qui forme une liaison avec le calcium pour obtenir de l'hydroxyde de calcium (chaux), qui ne descend pas et reste dans la saumure, provoquant une augmentation de dureté totale dans la saumure

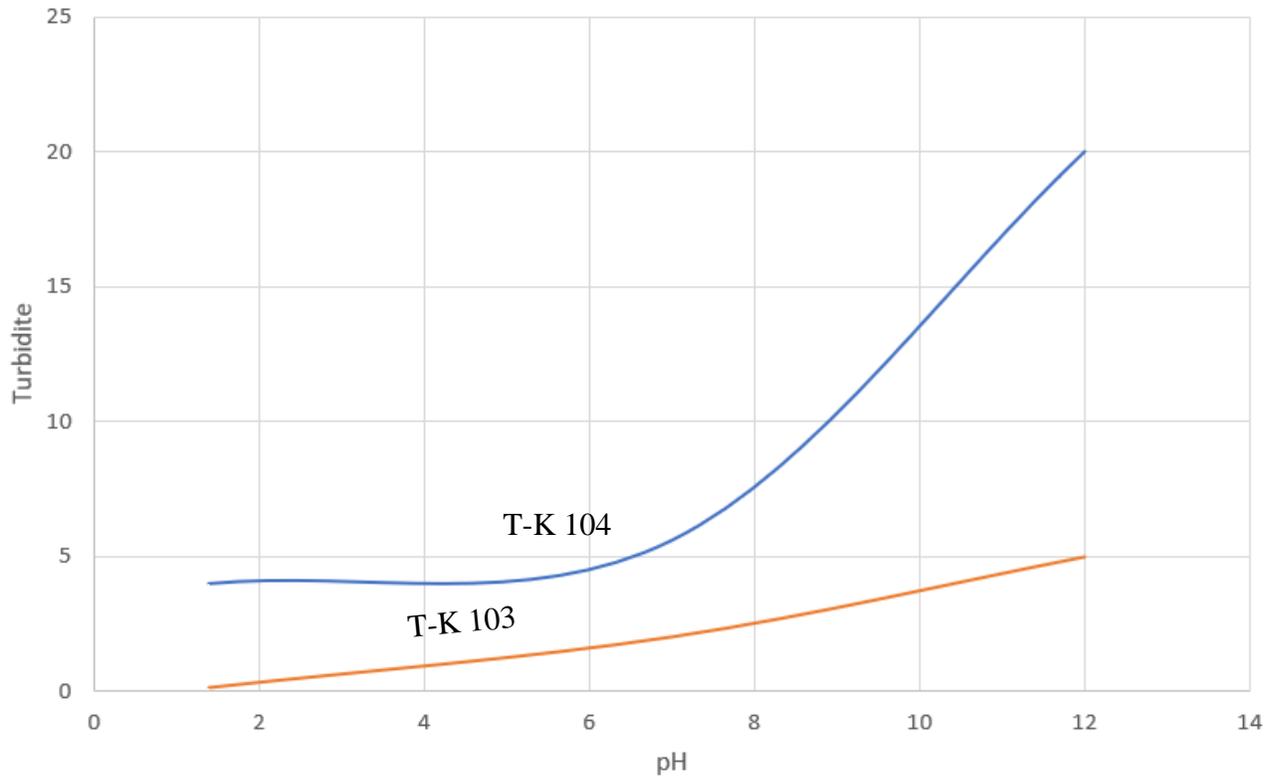


Figure III.2 Courbe de démonstrations l'influence de pH sur la turbidité $T = F(\text{pH})$

- **Observation**

- La figure III-2 montre la turbidité dans le réservoir 103, elle prend des valeurs proches et faibles dans un milieu acide jusqu'à modéré ($\text{pH} = 1.4$ à 7), puis la valeur de turbidité augmente à chaque fois que l'acidité diminue ($\text{pH} > 7$), ce qui indique que le milieu acide et modéré sont plus adaptés pour obtenir une saumure pure

- Quant à la valeur de turbidité dans le réservoir 104, la figure III-2 nous montre que le milieu acide est le plus adapté pour obtenir une saumur plus pure.

Plus la valeur d'acidité est élevée, plus la turbidité de la saumur est élevée

- **Conclusion**

L'augmentation de pH correspond à une augmentation de OH^- , qui forme une liaison avec le calcium pour obtenir de l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (chaux), qui ne descend pas et reste dans la saumure, Et cela rend la solution trouble et nous n'obtenons pas une saumure claire.

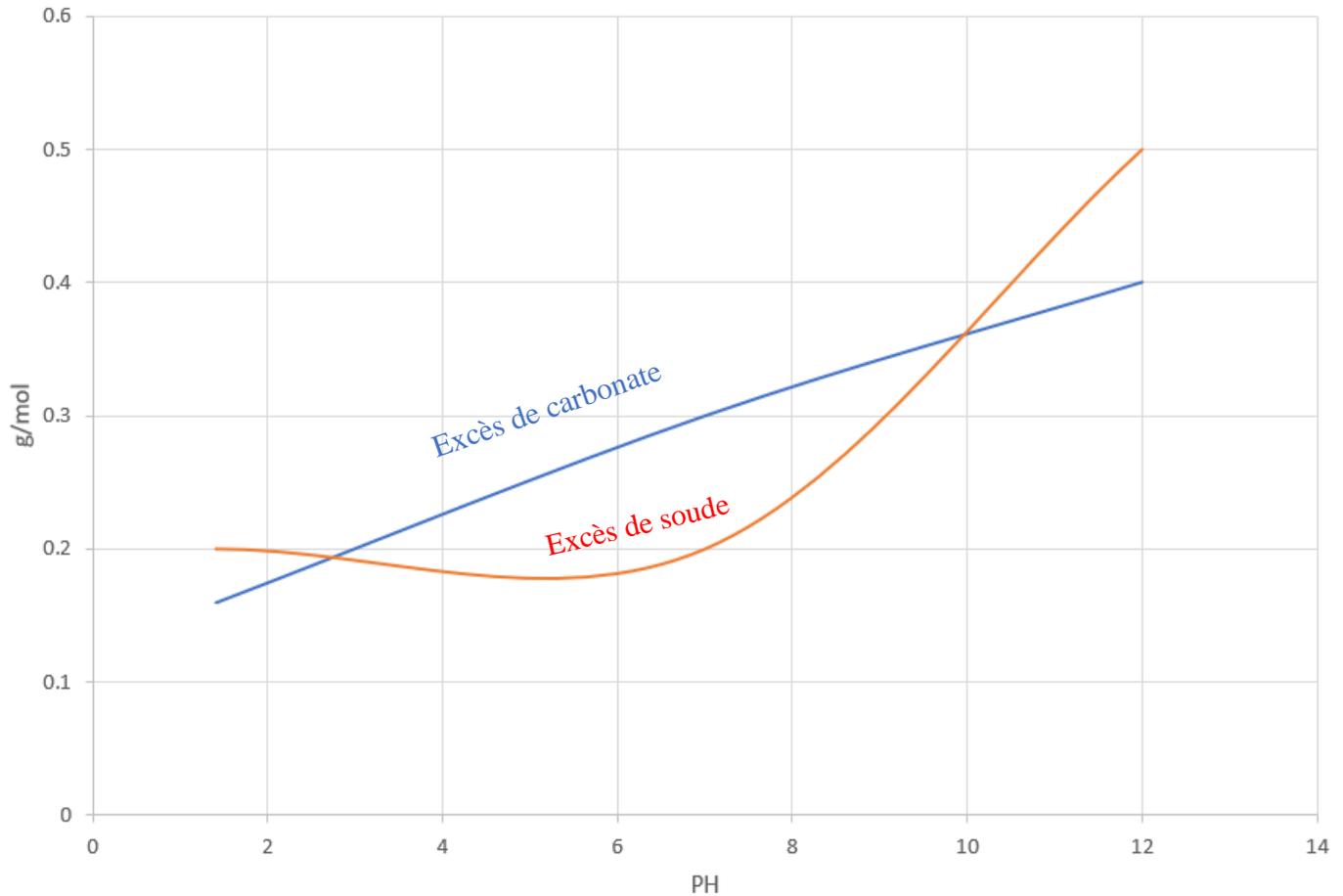


Figure III.3 Courbe de démonstrations l'influence de pH sur l'Excès. Excès = F (pH)

- La figure III-3 nous a montré la quantité de matière restant après le réacteur, pour les éléments carbonate et sodium.

Nous remarquons sur la courbe que la concentration de carbonate et de sodium augmente lorsque le taux d'acidité diminue.

Cela indique que plus l'acidité est élevée, plus la consommation de carbonate de sodium et d'hydroxyde de sodium est élevée.

- **Résultat générale de l'étude de pH**

D'après les analyses illustrées dans le tableau III-1, nous avons remarqué que tous les paramètres montrent que le travail avec un saturateur est le meilleur.

Du point de vue floculation, on peut travailler avec un milieu acide et un milieu neutre.

D'après le tableau III-1, on ne peut pas travailler avec un milieu basique car la dureté au niveau TK -103 est élevée par conséquent les périodes de régénérations des filtres à résines diminuent donc une perte de quantité d'acide et de quantité de soude.

De même, les turbidités au niveau TK-103 montre que le meilleur milieu pour travailler c'est le milieu acide car avec des turbidités élevées les périodes de back wash des filtres à sables diminues et lorsque on fait le back wash, on fait un arrêt de production donc perte de production.

2-Etude d'influence de carbonate :

L'étude de l'influence de carbonate de sodium sur la saumure de chlorure de sodium s'effectue à travers la variation de la concentration de solution de carbonate de sodium.

Les résultats sont déterminés après la réaction entre soude, carbonate et flocculant avec la saumure acide :

- $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ = concentration variable avec un débit de 400 L/h.
- $[\text{NaOH}] = 32 \text{ g/l}$ avec un débit de 150 L/h.
- $[\text{Flocculant}] = 0,2 \text{ g/l}$ avec un débit de 200 L/h.
- Volume des tanks des additifs = 2500L.
- pH saturateur = 1,4 avec un débit de 15 m³/h.
- Dureté totale initiale = 200 g/l (as CaCO₃)

Le tableau suivant montre l'étude de la variation de la concentration de carbonate C

$[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ (g/l)	C = 10 g/l	C = 15 g/l	C = 20 g/l	C = 30 g/l	C = 40 g/l
Excès de carbonate	0 mg/l	20 mg/l	50 mg/l	110 mg/l	200 mg/l
Décantation	bonne	bonne	bonne	bonne	mauvaise
Dureté totale (as CaCO_3)	50 mg/l	25 mg/l	10 mg/l	5 mg/l	15 mg/l
Turbidité (Filtre à sable)	0,5 NTU	0,5 NTU	0,3 NTU	0,1 NTU	2 NTU
Turbidité (TK-103)	5 NTU	6 NTU	3 NTU	2 NTU	20 NTU

Tableau III-2 : Effet du changement de $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ sur la clarification de la saumure

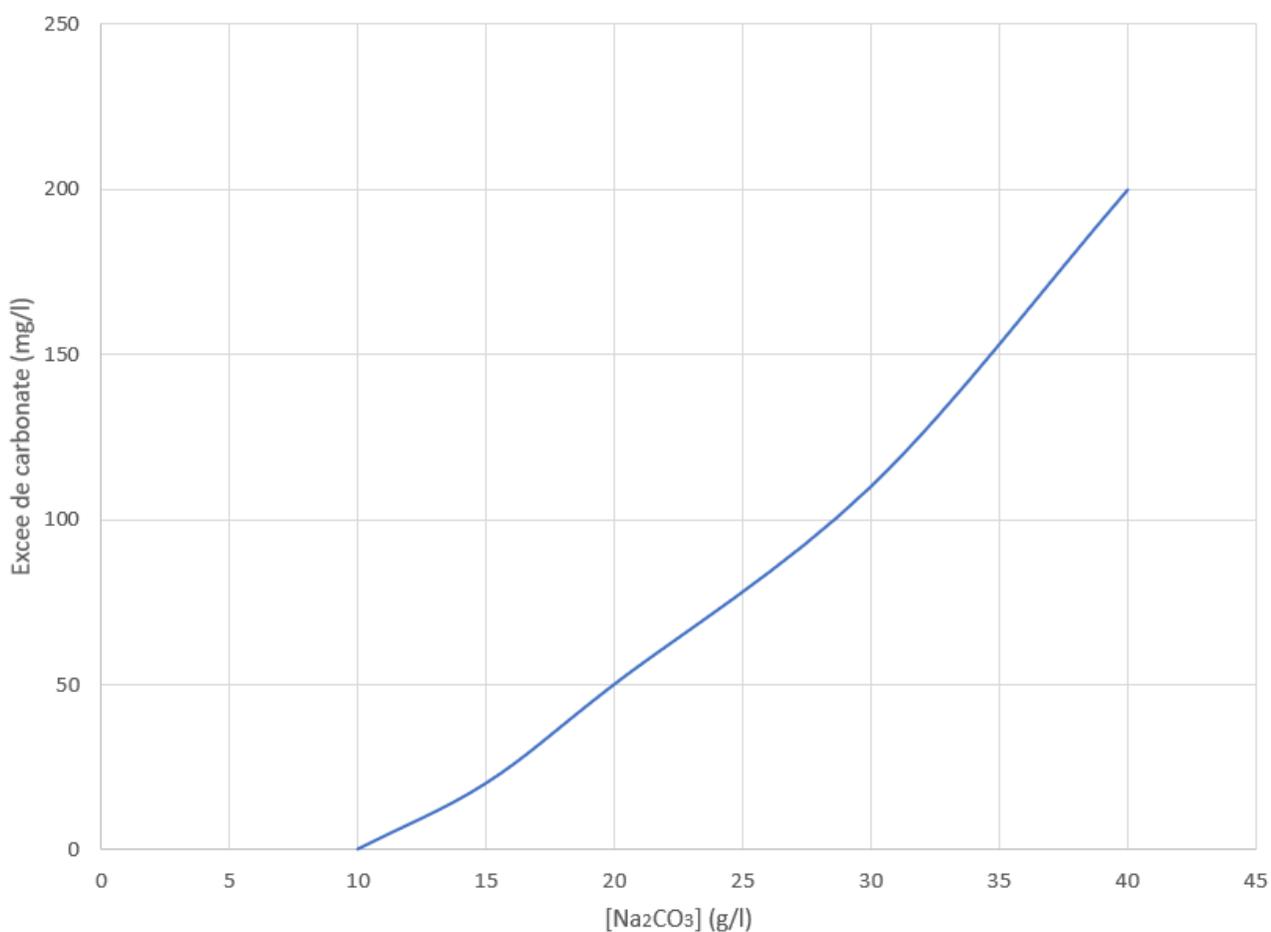


Figure III.4 Courbe de démonstrations l'influence de $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ sur l'Excès de Carbonate de sodium. Excès = F ($[\text{Na}_2\text{CO}_3]$)

- La figure III-4 montre l'effet de la concentration en carbonate sur la quantité de carbonate restant après le réacteur.

Il nous apparaît clairement à la lecture graphique de la figure III-4 que l'augmentation de la concentration en carbonate correspond à une augmentation de l'excès de carbonate après le réacteur.

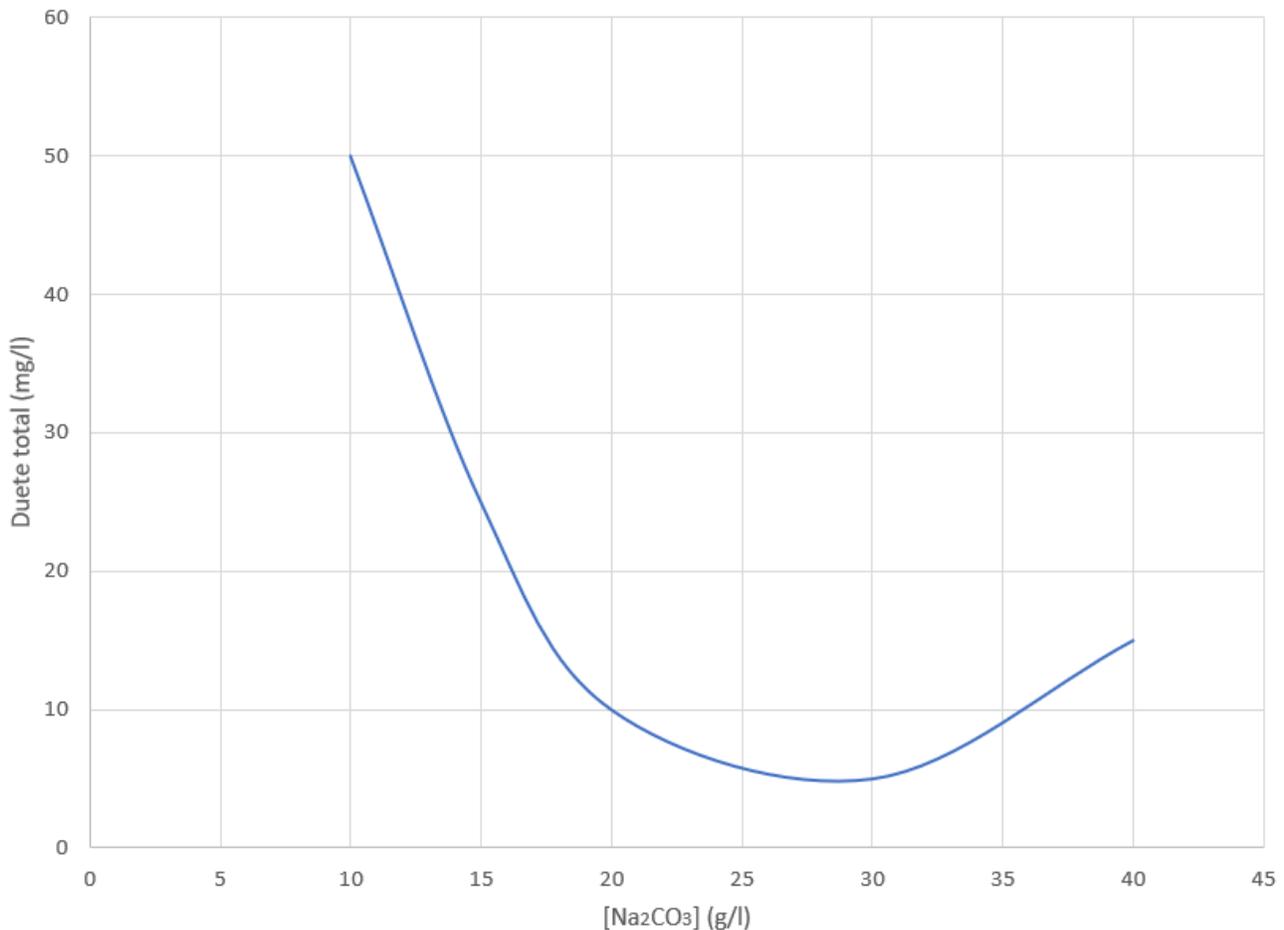
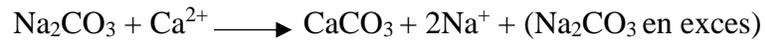


Figure III.5 Courbe de démonstrations l'influence de $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ sur la dureté totale. $D-T = F([\text{Na}_2\text{CO}_3])$

- **Observation**

La figure II-5 montre l'effet de la concentration de carbonate $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ sur la dureté totale de la saumure du T-K 201.

Il nous ressort clairement du graphique que l'augmentation de la concentration en carbonate correspond à une diminution de la valeur de D-T (50mg/l jusqu'à 5mg/l), mais l'augmentation de la concentration en carbonate de plus de 30g/l correspond à une augmentation de la valeur de D-T

• Conclusion

La diminution de la dureté est due à l'interaction de tous les ions calcium avec le carbonate de sodium, ce qui a entraîné la séparation du calcium de la solution selon l'équation suivante :



La raison de l'augmentation de la valeur de dureté est due à l'augmentation de l'excès de carbonate de sodium (concentration d'alimentation est 50%), de sorte qu'il ne soluble dans l'eau.

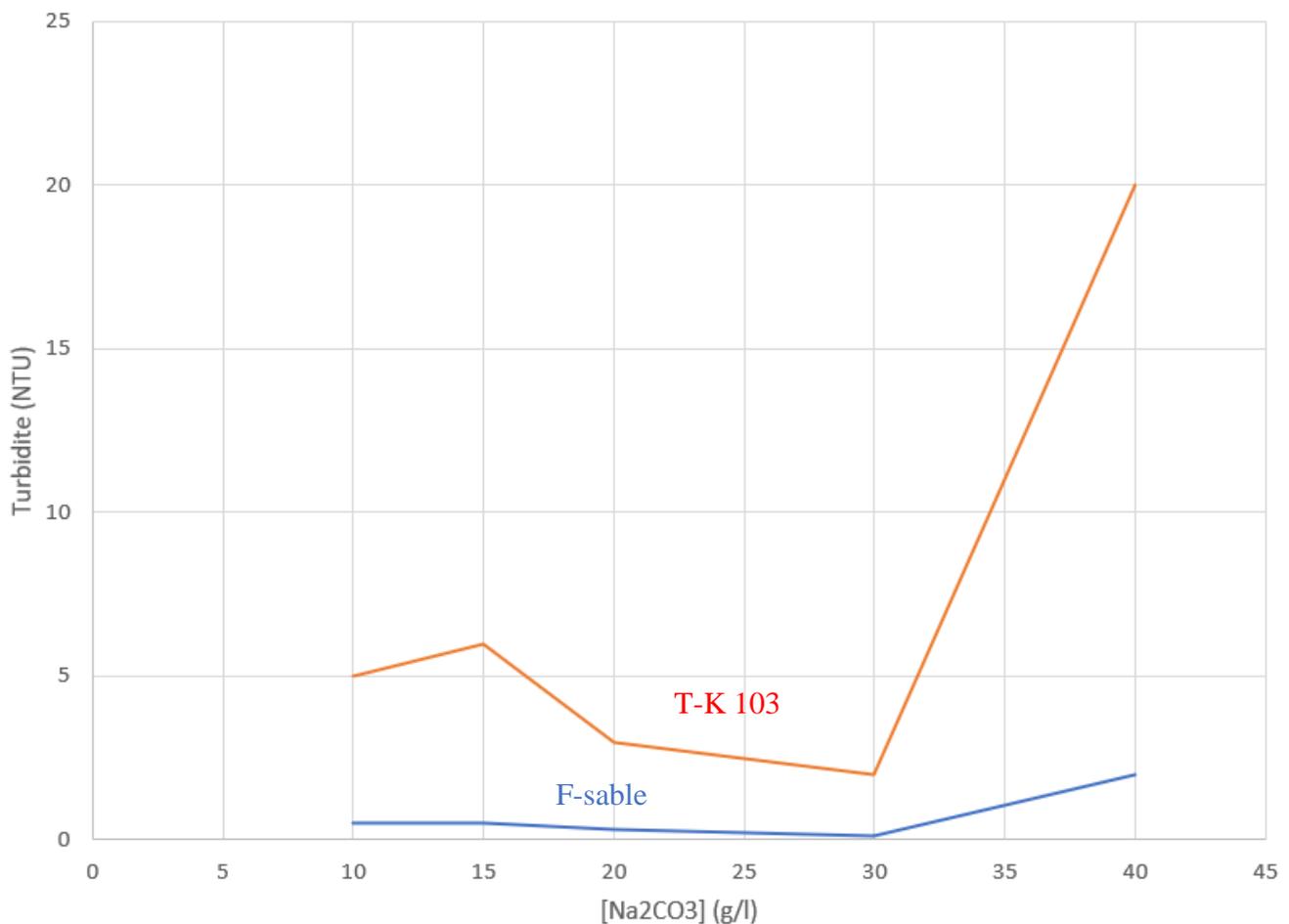


Figure III.6 Courbe de démonstrations l'influence de [Na₂CO₃] sur la turbidité
T = F ([Na₂CO₃])

- **Observation**

La figure III-6 montre l'effet de la concentration de carbonate $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ sur la turbidité de la saumure dans le T-K 103 et filtre à sable.

Il nous apparaît clairement à la lecture graphique de la courbe que la valeur de turbidité diminue avec l'augmentation de la concentration de carbonate $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$, les deux courbes atteignant leur valeur la plus basse à la concentration $[\text{Na}_2\text{CO}_3] = 30\text{g/l}$.

Une augmentation de $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ de plus de 30g/l correspond à une augmentation de la turbidité de la saumure

- **Conclusion**

La diminution de la turbidité est due à l'interaction de tous les ions calcium avec le carbonate de sodium, ce qui a entraîné la séparation du calcium de la solution selon l'équation suivante :



La raison de l'augmentation de la valeur de turbidité est due à l'augmentation de l'excès de carbonate de sodium (concentration d'alimentation est $>30\%$), de sorte qu'il ne soluble dans l'eau. Et cela rend la solution trouble et nous n'obtenons pas une saumure claire.

- **Résultat générale de l'étude d'influence de carbonate**

D'après le tableau III-2 suivant, nous avons remarqué que la variation de la solution de carbonate de sodium à une grande influence sur la qualité de la saumure au niveau TK-103.

Nous avons remarqué qu'une grande dose de carbonate influe négativement sur la décantation et l'excès est très important, de même la valeur de pH est trop élevée.

Nous avons remarqué, qu'avec une concentration $C = 30\text{ g/l}$ les caractéristiques sont satisfaisantes.

Avec une dureté totale de 5 mg/l (as CaCO_3) à la sortie des filtres à sable, les filtres à résine travaillent plus de temps sans aucune régénération, dans ce cas on gagne :

- ✓ Le temps, car si on fait une régénération on arrête la production.
- ✓ Des quantités d'acide chlorhydrique, car la régénération nécessite le HCL.
- ✓ Des quantités d'hydroxyde de sodium, car la régénération nécessite le NaOH.

La turbidité au niveau TK-103 est acceptable pour les concentrations inférieures à 40 g/l et elle est très bonne avec une concentration de 30 g/l.

Avec une turbidité de 2 NTU, on peut travailler une longue durée sans avoir effectué un Back Wash et dans ce cas, on gagne plus de temps pour travailler sans rupture de production.

3 - Etude d'influence de soude caustique :

L'étude de l'influence de soude caustique sur la saumure de chlorure de sodium s'effectue à travers la variation de la concentration de solution de soude caustique.

Les résultats sont déterminés après la réaction entre soude, carbonate et flocculant avec la saumure acide :

- $[\text{Na}_2\text{CO}_3] = 30 \text{ g/l}$ avec un débit de 400 L/h.
- $[\text{NaOH}] =$ concentration variable avec un débit de 150 L/h.
- $[\text{Flocculant}] = 0,2 \text{ g/l}$ avec un débit de 200 L/h.
- Volume des tanks des additifs = 2500L.
- pH saturateur = 1,4 avec un débit de 15 m³/h.
- Dureté totale initiale = 200 g/l (as CaCO₃)

Le tableau suivant montre l'étude de la variation de la concentration de soude caustique C

[NaOH]	C = 10 g/l	C = 15 g/l	C = 25 g/l	C = 30 g/l	C = 35 g/l
Excès de soude caustique	0 mg/l	5 mg/l	8 mg/l	15 mg/l	16 mg/l
Excès de carbonate	110 mg/l	110 mg/l	110 mg/l	110 mg/l	110mg/l
Décantation	Pas bonne	Bonne	bonne	mauvaise	mauvaise
Dureté totale (as CaCO ₃)	10 mg/l	6 mg/l	3 mg/l	15 mg/l	20 mg/l
Turbidité (Filtre à sable)	3 NTU	0,5 NTU	0,3 NTU	1,7 NTU	2 NTU
Turbidité (TK-103)	10 NTU	4 NTU	2 NTU	8 NTU	13 NTU

Tableau III-3 : Effet du changement de [NaOH] sur la clarification de la saumure

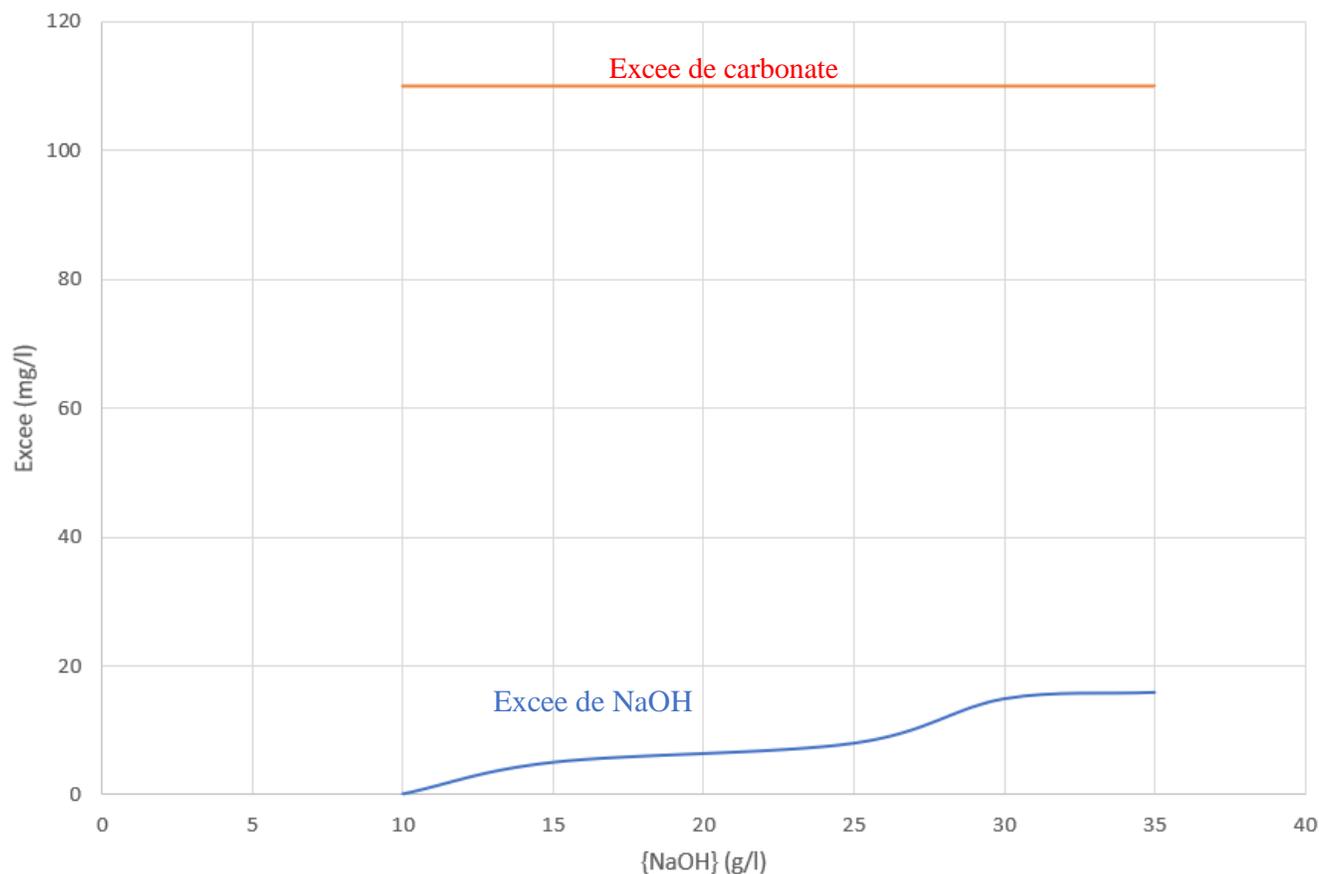


Figure III.7 Courbe de démonstrations l'influence de $[\text{NaOH}]$ sur l'excès de NaOH
 Excès = F ($[\text{NaOH}]$)

- **Observation et conclusion**

La figure III.7 montre l'effet de la concentration $[\text{NaOH}]$ sur la quantité de Na_2CO_3 et de NaOH restant après le réacteur.

Il ressort clairement de la lecture graphique de la figure III-7 que la modification de $[\text{NaOH}]$ n'affecte pas la quantité de Na_2CO_3 restant après le réacteur Parce que la réaction de l'hydroxyde de sodium avec le magnésium est distincte de la réaction du carbonate de sodium avec le calcium, en revanche la quantité de NaOH restant après la réaction augmente à mesure que la concentration de NaOH augmente.

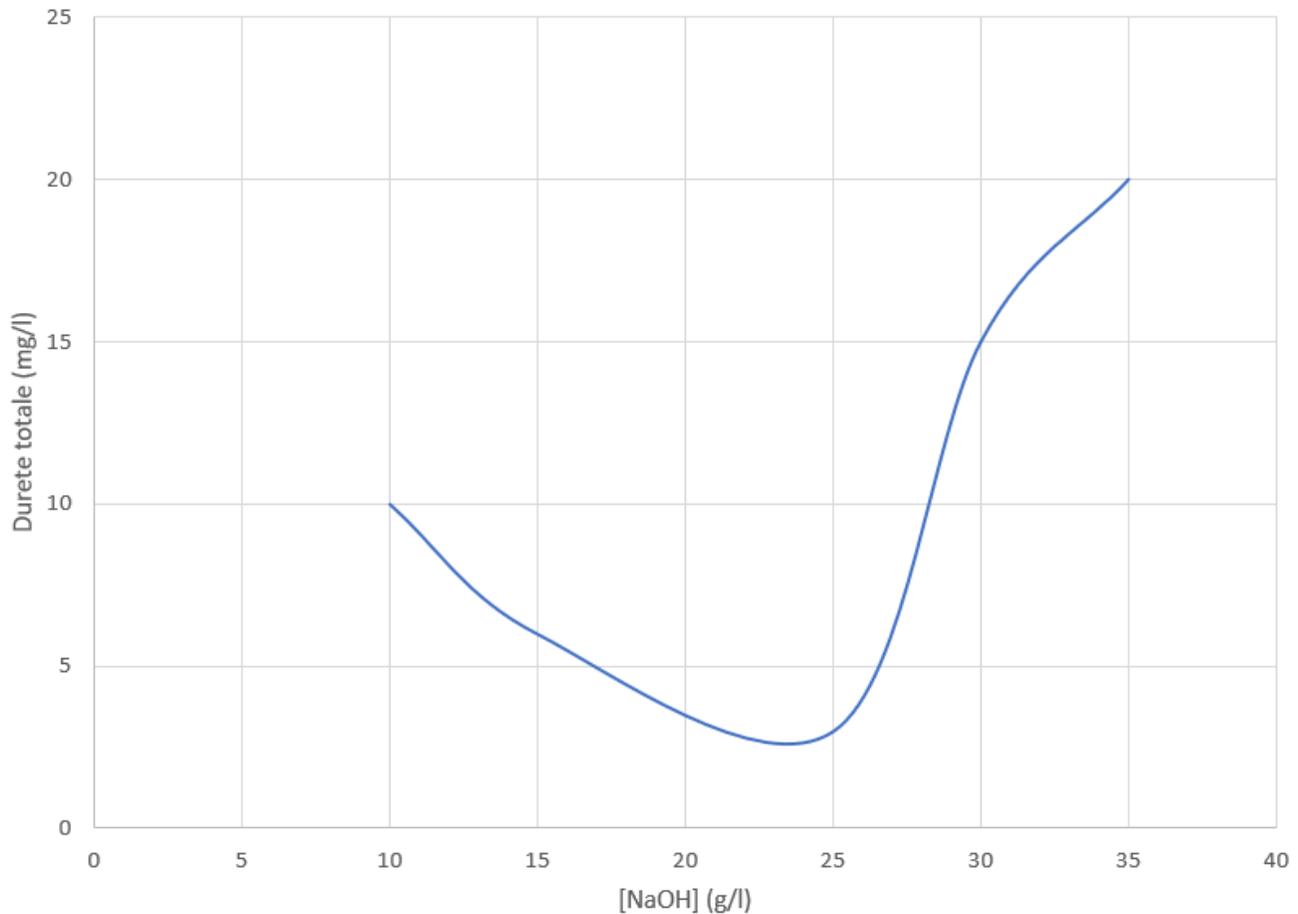


Figure III.8 Courbe de démonstrations l'influence de [NaOH] sur la dureté totale
D-T = F ([NaOH])

- **Observation**

La figure III-8 montre l'effet de [NaOH] sur la dureté totale de la saumure du T-K 201.

Il nous ressort clairement de la lecture graphique que l'augmentation de [NaOH] correspond à une diminution de la valeur de D-T (10mg/l jusqu'à 3mg/l), mais l'augmentation de [NaOH] supérieure à 25 g/l correspond à une augmentation de la valeur de D-T

- **Conclusion**

La diminution de la dureté est due à l'interaction de tous les ions Magnésium avec l'Hydroxyde de sodium, ce qui a entraîné la séparation du magnésium de la solution selon l'équation suivante :



La raison de l'augmentation de la valeur de dureté est due à l'augmentation de l'excès d'Hydroxyde de sodium (concentration d'alimentation est >25%), de sorte qu'il ne soluble dans l'eau

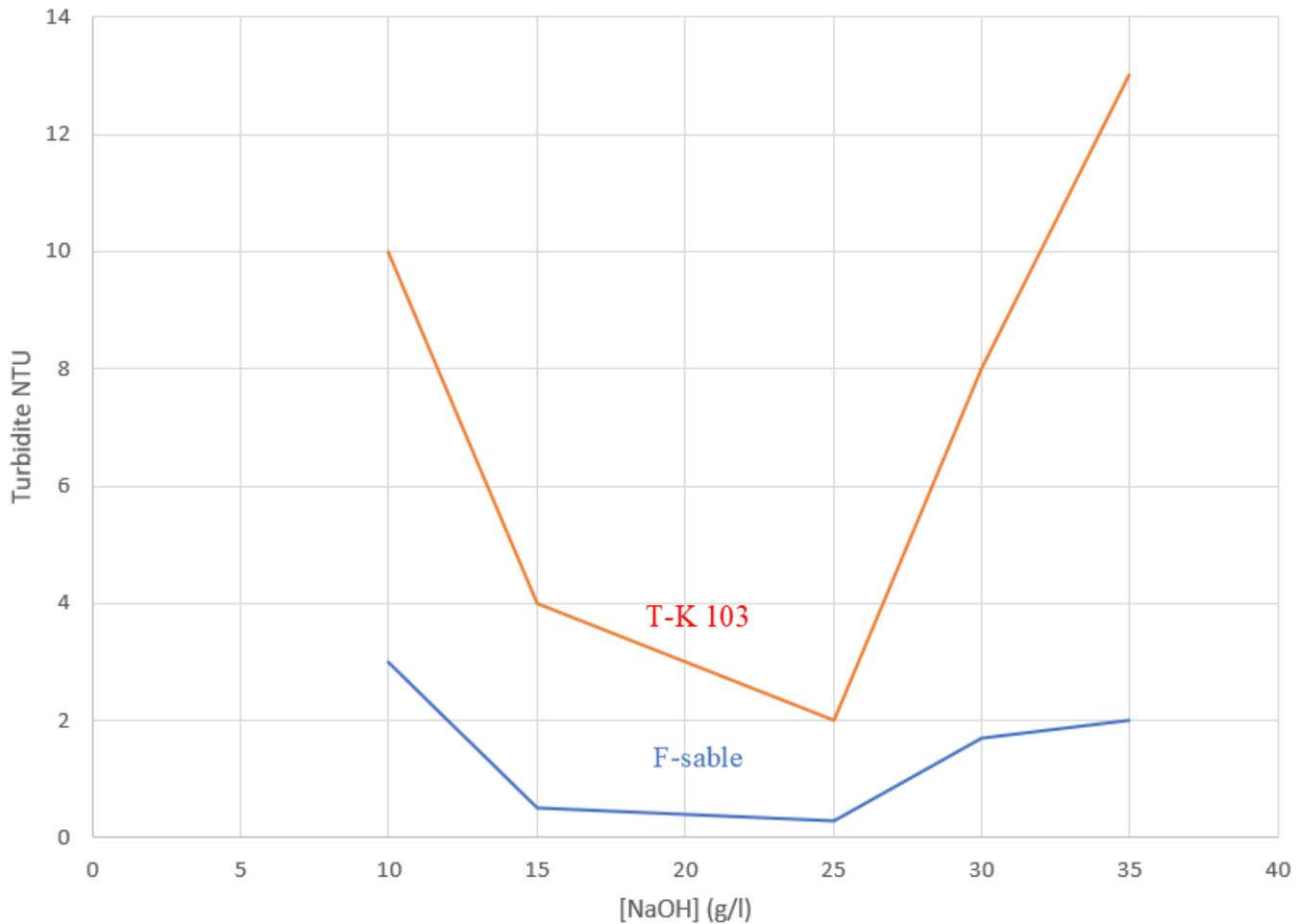


Figure III.9 Courbe de démonstrations l'influence de [NaOH] sur la Turbidite T = F ([NaOH])

- **Observation**

La figure III-9 montre l'effet de [NaOH] sur la turbidité de la saumure dans le T-K 103 et filtre à sable.

Il nous ressort de la lecture graphique de la figure III-9 que la valeur de turbidité diminue avec l'augmentation de [NaOH] (10g/l jusqu'à 25g/l), les deux courbes atteignant leur valeur la plus basse à [NaOH] = 25g/l.

Une augmentation de [NaOH] de plus de 25g/l correspond à une augmentation de la turbidité de la saumure

- **Conclusion**

La diminution de la dureté est due à l'interaction de tous les ions Magnésium avec l'Hydroxyde de sodium, ce qui a entraîné la séparation du magnésium de la solution selon l'équation suivante :



La raison de l'augmentation de la valeur de dureté est due à l'augmentation de l'excès d'Hydroxyde de sodium (concentration d'alimentation est >25%), de sorte qu'il ne soluble dans l'eau. Et cela rend la solution trouble et nous n'obtenons pas une saumure claire.

• **Résultat générale de l'étude d'influence de [NaOH]**

D'après le tableau III-3 suivant, nous avons remarqué que la variation de la solution de soude caustique a une grande influence sur la qualité de la saumure au niveau TK-103.

Nous avons remarqué qu'une grande dose de soude caustique (cas de $C > 30$ mg/l) influe négativement sur la décantation et l'excès est très important.

La mauvaise qualité de décantation en cas ou $C > 30$ mg/l, est expliqué par la formation de complexe avec les ions OH- qui provoque une floculation médiocre.

Nous avons remarqué, qu'avec une concentration de $C = 15$ g/l de même avec $C = 25$ g/l les caractéristiques sont satisfaisantes :

- ✓ Une bonne décantation.
- ✓ La dureté totale au niveau TK-103 est acceptable.
- ✓ La turbidité au niveau TK-103 est très bonne.
- ✓ La turbidité au niveau Filtre à sable est satisfaisante.

I 'optimisation de l'effet de soude caustique, permet de remarque que les concentrations inférieures à 30 g/l sont acceptables en cas d'opération et de traitement de saumure acide.

Avec une dureté totale de 6 et de 3 mg/l (as CaCO_3) et avec des turbidités de 0,5 et 0,3 NTU à la sortie des filtres à sable, les filtres à résine travaillent plus de temps sans aucune régénération, dans ce cas on gagne :

- ✓ Une décantation très bonne au cours du temps.
- ✓ Le temps, car si on fait une régénération on arrête la production.
- ✓ Des quantités d'acide chlorhydrique, car la régénération nécessite le HCL.
- ✓ Des quantités d'hydroxyde de sodium, car la régénération nécessite le NaOH.
- ✓ Le temps, car si on fait des Back Wash on arrête la production.

Avec une turbidité de 4 et de 2 NTU, on peut travailler une langue durée sans avoir effectué un Back Wash et dans ce cas, on gagne plus de temps pour travailler sans rupture de production.

4 -Etude d'effet de Flocculant :

L'étude de l'influence de Flocculant sur la saumure de chlorure de sodium s'effectue à travers la variation de la concentration de solution de Flocculant C.

Les résultats sont déterminés après la réaction entre soude, carbonate et flocculant avec la saumure acide :

- $[\text{Na}_2\text{CO}_3] = 30 \text{ g/l}$ avec un débit de 400 L/h.
- $[\text{NaOH}] = 25 \text{ g/l}$ avec un débit de 150 L/h.
- $[\text{Flocculant}] = \text{Variable}$ selon la concentration avec un débit de 200 L/h.
- Volume des tanks des additifs = 2500L.
- pH saturateur = 1,4 avec un débit de 15 m³/h.
- Dureté totale initiale = 200 g/l (as CaCO₃)

Flocculant	C = 0,08 g/l	C = 0,2 g/l	C = 0,28 g/l	C = 0,4 g/l	C = 1 g/l
Excès de soude caustique	8 mg/l	8 mg/l	8 mg/l	8 mg/l	8 mg/l
Excès de carbonate	110 mg/l	110 mg/l	110 mg/l	110 mg/l	110mg/l
Décantation	Mediocre	Bonne	bonne	bonne	mauvaise
Dureté totale (as CaCO ₃)	3 mg/l	3 mg/l	3 mg/l	3 mg/l	3 mg/l
Turbidité (Filtre à sable)	10 NTU	0,2 NTU	0,3 NTU	1,7 NTU	5 NTU
Turbidité (TK-103)	20 NTU	3 NTU	2 NTU	6 NTU	15 NTU

Tableau III-4 : Effet du changement de Flocculant sur la clarification de la saumure

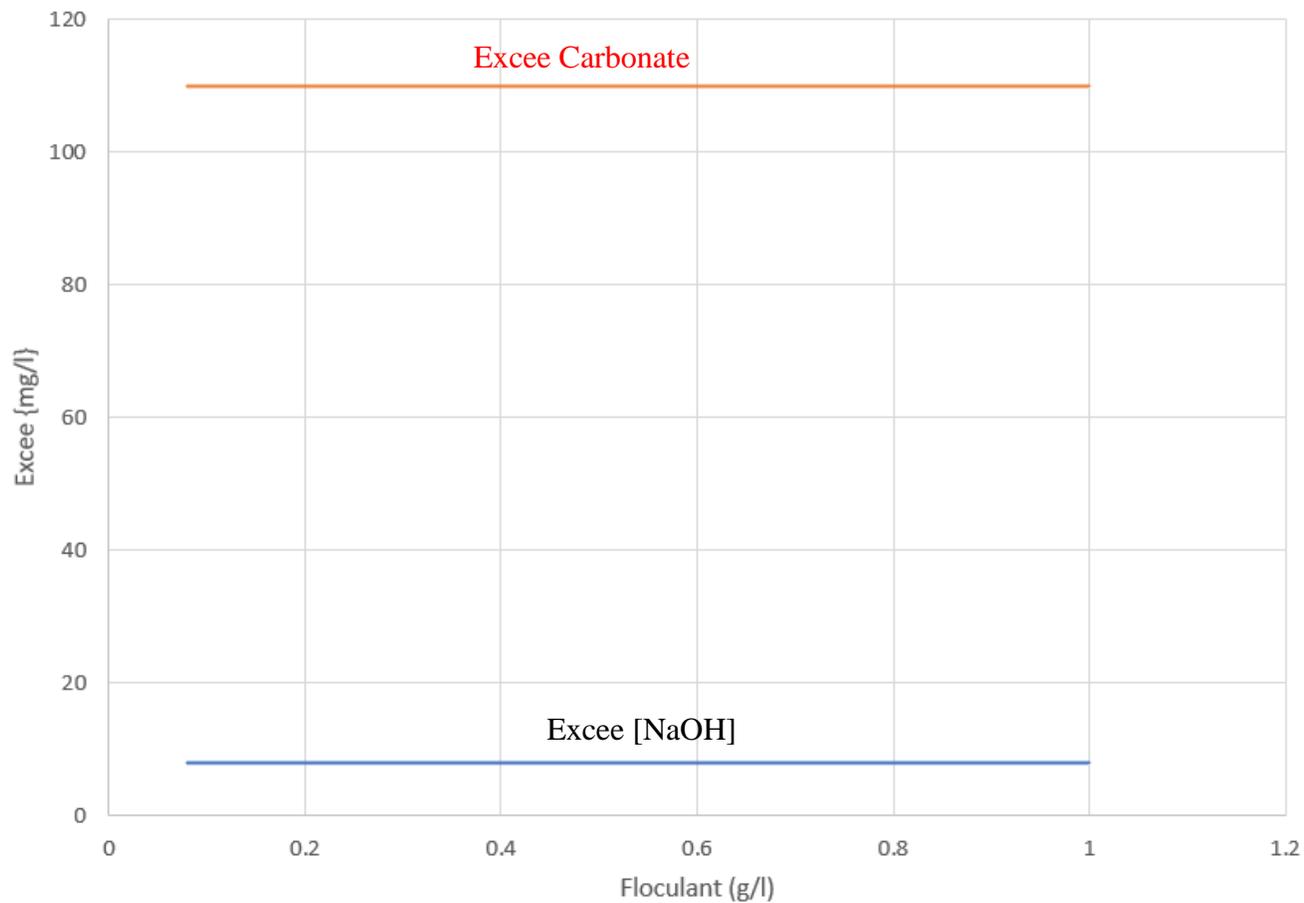


Figure III.10 Courbe de démonstrations l'influence de Flocculant sur l'excès
Excès = F ([Flocculant])

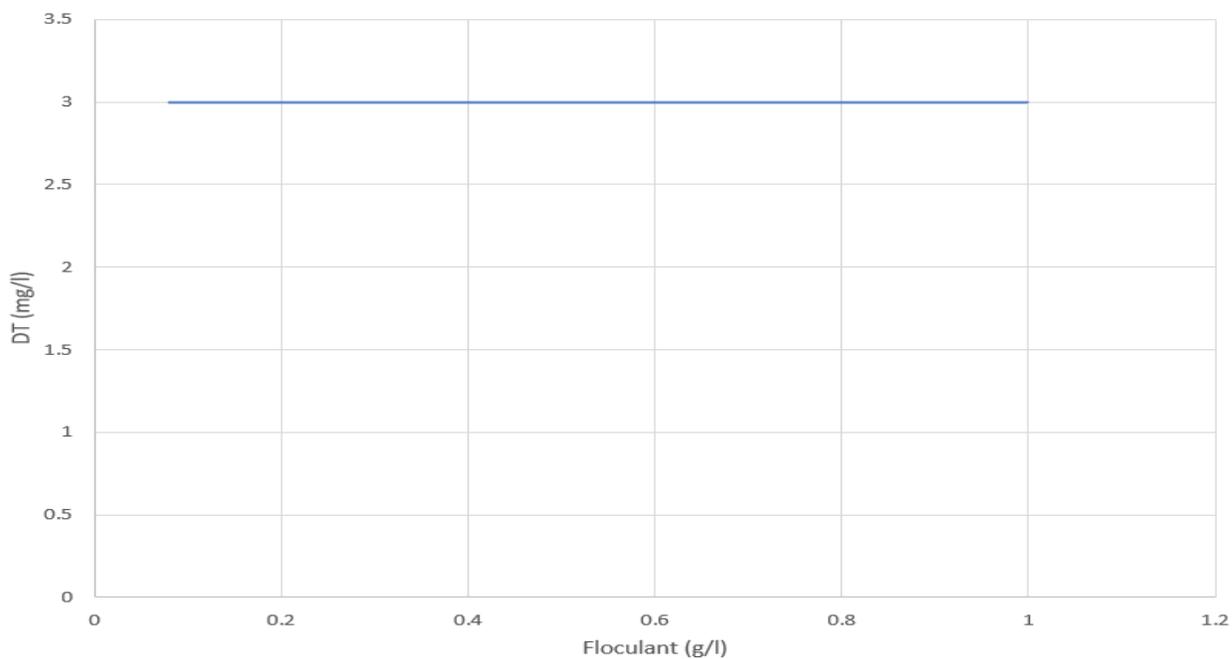


Figure III.11 Courbe de démonstrations l'influence de Flocculant sur dureté totale
D-T = F ([Flocculant])

- **Observation et conclusion**

Les deux figures III-10 et III-11 montrent l'effet de la concentration de flocculant sur l'excès et D-T de la saumure.

Il ressort de la lecture graphique des deux figures III-10 et III-11 que la concentration du flocculant n'affecte pas l'excès et D-T de la saumure. Car le rôle du flocculant est la décantation des éléments lourds et volumineux

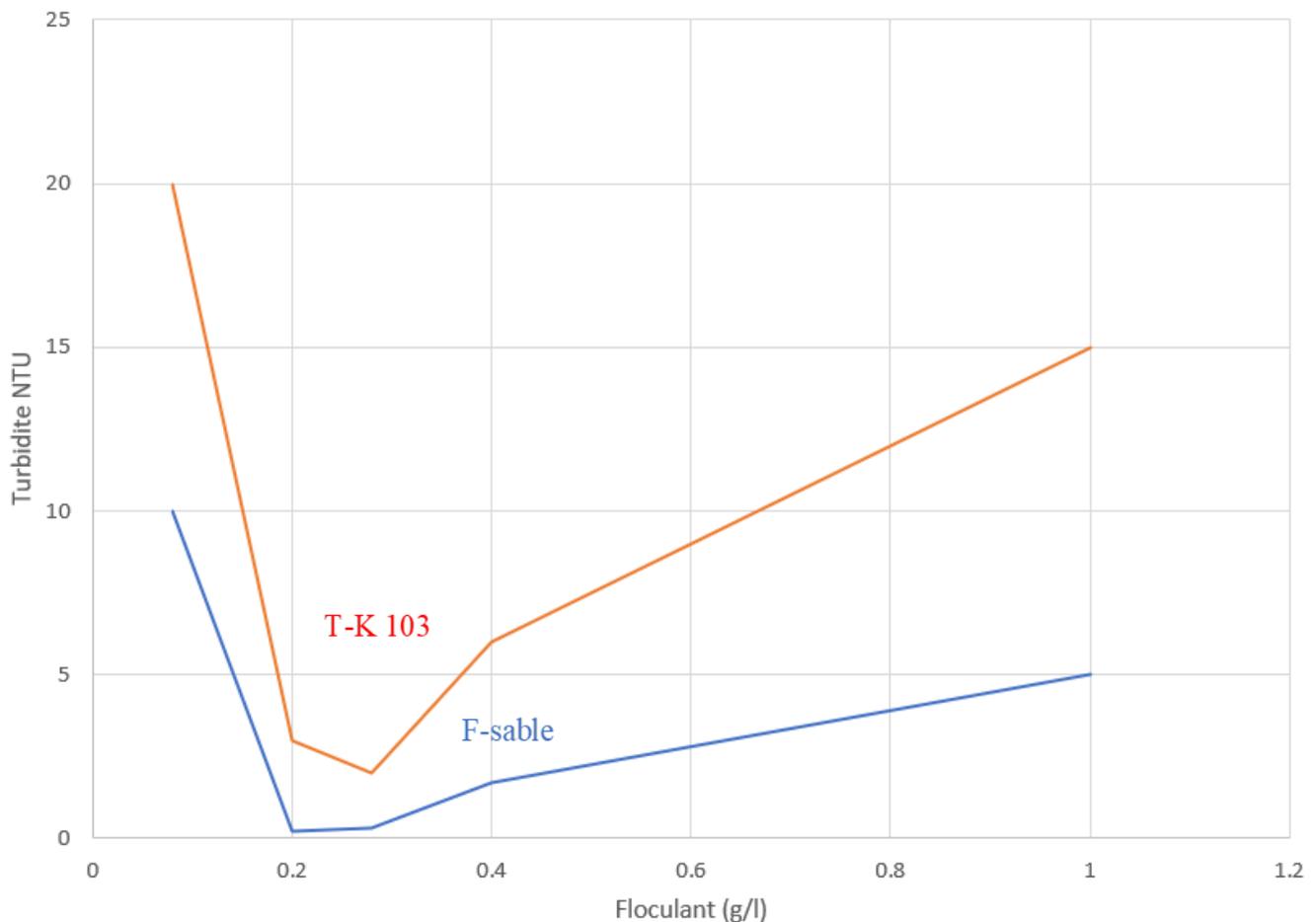


Figure III.12 Courbe de démonstrations l'influence de Flocculant sur Turbidité
 $T = F ([\text{Flocculant}])$

- **Observation et conclusion**

La figure III-12 montre l'effet de la concentration de flocculant sur la turbidité de la saumure dans le T-K 103 et filtre à sable.

Il ressort de la lecture graphique de la figure III-12 que la valeur de la turbidité diminue avec l'augmentation de la concentration en flocculant.

- (0,08 g/l à 0,2g/l) dans le T-K 103.
- (0,08g/l à 0,28g/l) Filtre sable,

Les deux courbes atteignent leurs valeurs les plus basses à 0,2 g/l de concentration pour la T-K 103 (turbidité = 2 NTU) et 0,28 g/l pour le filtre à sable (Turbidité = 0,2 NTU)

L'augmentation de la concentration de flocculant de plus de 0,2g/l dans 103 et 0,28 g/l dans le filtre à sable correspond à l'augmentation de la valeur de turbidité de la saumure. Parce que l'augmentation de la concentration de flocculant se traduit par un excès qui ne décante pas et reste mélangé à la saumure, Et cela rend la solution trouble et nous n'obtenons pas une saumure claire.

• **Résultat générale de l'étude d'influence de flocculant**

A partir des résultats suivants on a :

- Avec une concentration $C = 0,08$ g/l, la décantation est médiocre ceci est expliqué par une insuffisance de la quantité de Flocculant ajouté (la quantité n'est pas suffisante).
- Les valeurs entre $C = 0,2$ g/l et $0,4$ g/l, nous donne des résultats très bonne au niveau décantation.
- Si on augmente la quantité de Flocculant ajouté, on n'obtient pas une bonne décantation mais plutôt une Flottation car la charge totale devient négative donc pas d'attraction.
- Avec des concentrations moyennes, on assure une bonne décantation et par conséquent on obtient des valeurs de turbidités très bonne au niveau TK-103 et par la suite au niveau Filtre à sable.

5– conclusion

Après les expériences menées en étudiant l'effet de (pH, concentration de flocculant, carbonate $[\text{Na}_2\text{CO}_3]$ et $[\text{NaOH}]$) sur la clarification de la saumure NaCl, nous avons pu obtenir des données, à partir desquelles nous avons déduit les meilleures valeurs qui nous permettent d'obtenir la meilleure clarification de la saumure :

- $[\text{Na}_2\text{CO}_3] = 30$ g/l avec un débit de 400 L/h.
- $[\text{NaOH}] = 25$ g/l avec un débit de 150 L/h.

- [Floculant] = 0,2 g/l avec un débit de 200 L/h.
- pH saturateur = 1,4 avec un débit de 15 m³/h.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le premier chapitre, nous avons fait connaissance avec l'industrie, sa chaîne de fabrication et ses produits (NaOH, HCl, NaOCl) dont la qualité dépend en grande partie de la clarification de la saumure utilisée.

Dans le deuxième chapitre, nous avons identifié les outils, les moyens et les analyses dont nous avons besoin pour étudier l'effet de (pH, [NaOH], [Na₂CO₃], [floculant], la turbidité, la dureté totale, la décantation et l'excès de [NaOH] et [Na₂CO₃]) sur la clarification de la saumure NaCl, ce qui nous permet d'obtenir des valeurs expérimentales précises qui nous aident à obtenir des conclusions correctes.

Dans le troisième chapitre, nous avons réalisé de nombreuses expériences sur la saumure NaCl, de sorte que nous prouvons trois paramètres et quatrième paramètre comme variable (pH, [Na₂CO₃], [NaOH], [Floculant]).

Nous avons pu obtenir des résultats dans chaque expérience, puis résumer les données dans des graphiques pour pouvoir bien les étudier.

Après de nombreuses expériences, nous avons pu obtenir les meilleurs résultats pour obtenir la meilleure clarification de la saumure NaCl :

- [Na₂CO₃] = 30 g/l avec un débit de 400 L/h
 - [NaOH] = 25 g/l avec un débit de 150 L/h.
 - [Floculant] = 0,2 g/l avec un débit de 200 L/h.
 - pH saturateur = 1,4 avec un débit de 15 m³/h.
- Un back wash chaque deux semaines pour le filtre à sable
- Une régénération chaque deux mois pour le filtre à résine
- Un back wash chaque mois pour le filtre a charbon

Références biographiques

Références biographiques

- [1]: David R. Lide, Handbook of Chemistry and Physics, p. 9-50.
- [2] : E. Jakob, R. Amrein, H. Winkler, « Influence de la saumure sur la qualité du fromage », dans ALP forum, n° 24, 2005, p. 1 à 16.
- [3] :[<https://www.slideshare.net/Nuberg/chlor-alkali-chemical-plant-in-algeria-set-up-by-epc-contractor-nuberg-epc>].
- [4] : [<https://www.linkedin.com/company/nuberg-engineering-limited/about/>]
- [5] : UNESCO, Tables océanographiques internationales, citées par Andrew W.Dickson et Catherine Goyet (éds.), Handbooks of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water, US Department of Energy, version 2, septembre 1994, ORNL/CDIAC-74, chap. 5, partie 6.1 « The major ion composition of seawater », p.10 [lire en ligne [archive]]
- [6] : Industrie du chlore et de la soude. La Commission européenne Décembre 2001. Page 55 de 224
- [7] : Industrie du chlore et de la soude. La Commission européenne Décembre 2001. Page 56-57 de 224
- [8] :<https://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/sites/default/files/users/orobin/filtre%20%C3%A0%20sable.png>. [11 :25. 20/05/2022]
- [9] : <https://pcawater.com/fr/technologies/filtration/filtre-a-charbon-actif>
- [10] : http://dardel.info/IX/processes/ProcessPicts/CFR_vessel_m.png
- [11] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_de_l%27eau
- [12] :<https://images.squarespacecdn.com/content/v1/583ca2f2d482e9bbef7dad9/1495130463417-UR0GBQT6ZHHFSRUV5EZ5/duret%C3%A9?format=500w> [11 :00 19/05/2022]
- [13] :« Techniques L'alcalinité d'une eau, paramètre à suivre de près (1 de 2) » [archive], sur mediaterre.org (consulté le 6 décembre 2017).
- [14] : (en) American Public Health Association, APHA Method 2320: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992 (lire en ligne [archive]).

- [15]: Randy Holmes-Farley, « Chemistry and the Aquarium: What is Alkalinity? », Advanced Aquarist, 2002.
- [16]: « L'analyse d'eau en détail » [archive], sur dardel.info
- [17] : http://www.ostralo.net/materieldelabo/images/photos/ph_metre.jpg
- [18] : http://www.ostralo.net/materieldelabo/pages/ph_metre.htm#:~:text=Sortir%20la%20sonde%20de%20l,d%C3%A9licatement%20avec%20du%20papier%20Joseph.&text=Plonger%20la%20sonde%20dans%20une,m%C3%A8tre%20affiche%20la%20valeur%207. [11 :00 19/05/2022]
- [19] : https://www.humeau.com/media/catalog/product/cache/1/image/730x/b6c53eefddb148171814c2f11aa0d200/0/3/03610210000_20220505195556/.jpg
- [20] : HACH, Turbidimètre de laboratoire, Modèle 2100AN, Mode d'emploi pour utilisation avec le logiciel 1, 1993
- [21] : Industrie du chlore et de la soude. La Commission européenne Décembre 2001. Page 50 de 224
- [22] : Industrie du chlore et de la soude. La Commission européenne Décembre 2001. Page 51 de 224