



Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

Ref :...../U.M/F.S.T/2024

رقم : ..... / ج.م.ك.ع.ت//2024

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

### THÈME

**La déminéralisation de l'eau de procès**

Présenté par

1-BENTABIBE Mounir

Soutenu le 23 /09 / 2024 devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	S.Attouti	Grade	Université de Abd ibn Badis
<b>Examineur :</b>	N.Boubegra	Grade	Université de Abd ibn Badis
<b>Rapporteur :</b>	Nom et Prénom	Grade	Université de .....
<b>Co-Encadreur</b>	Nom et Prénom	Grade	Université de .....

Année Universitaire 2023/2024

# Remerciement

Nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre mémoire de fin de master. Cette réussite n'aurait pas été possible sans les conseils, l'assistance et les encouragements de nombreuses personnes.

Tout d'abord, nous souhaitons remercier notre directrice de mémoire, Mme ABDELLI, pour ses conseils inestimables, ses retours perspicaces et son soutien indéfectible. Son expertise et son dévouement ont été déterminants pour façonner notre recherche et mener cette thèse à bien.

Nous sommes également profondément reconnaissants envers les membres de notre comité, (Encadreur 1) et (Encadreur 2), pour le temps et les efforts consacrés à la relecture de notre travail.

Un remerciement spécial va à notre famille et à nos amis pour leurs encouragements constants et leur compréhension tout au long de cette aventure, qui sont nombreux et il nous faudrait une page entière, voire plus, pour ne citer que la moitié d'entre eux. Leur soutien indéfectible a été une source de force et de motivation.

Nous tenons à remercier la faculté et le personnel de notre département de génie des procédés pour avoir offert un environnement académique enrichissant et pour leur assistance durant nos études.

Enfin, nous sommes reconnaissants envers toute l'équipe d'Adwan Chemicals pour leur collaboration, leur gentillesse et leur expertise. Nous apprécions particulièrement l'esprit d'équipe et la convivialité qui règnent au sein de l'entreprise.

Nos remerciements particuliers vont à M. BRAHMA pour son accueil chaleureux, sa disponibilité, ses conseils inestimables, sa sagesse, sa patience exemplaire et son soutien constant tout au long de notre stage.

Merci à tous pour votre contribution à cette étape significative de notre carrière académique.

# Dédicace

Nous dédions ce travail à nos chers parents, dont le soutien indéfectible et sans limites a été la pierre angulaire de notre parcours. Vos sacrifices incessants nous ont fourni tout ce dont nous avons besoin pour devenir ce que nous sommes aujourd'hui. Que Dieu vous protège, et que le succès soit toujours à notre portée, nous permettant de remplir vos vies de bonheur.

Nous dédions également ce travail à nos frères, sœurs, et à tous ceux que nous avons rencontrés sur le chemin qui nous a menés jusqu'à ce jour, dont les encouragements et le soutien constants ont été inestimables tout au long de notre parcours. Votre foi en nous a été une source de force et d'inspiration.

## ملخص :

تتمثل عملية إزالة المعادن من المياه المعالجة في التخلص من الأملاح المعدنية الذائبة مثل أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم لمنع تكون الرواسب والتآكل في المعدات الصناعية. يتم ذلك عادةً من خلال تبادل الأيونات أو التناضح العكسي. الماء منزوع المعادن ضروري للحفاظ على كفاءة وإطالة عمر أنظمة الإنتاج. كما يضمن جودة المنتجة النهائية

**الكلمات المفتاحية :** إزالة المعادن ، معالجة المياه ، املاح ، املاح معدنية ، رواسب ، انسداد ، كالسيوم ، مغنيسيوم ، تآكل

## Summary:

Process water demineralization involves removing dissolved mineral salts, such as calcium and magnesium ions, to prevent scale formation and corrosion in industrial equipment. This is typically achieved through ion exchange or reverse osmosis. Demineralized water is essential for maintaining the efficiency and longevity of production systems. It also ensures the quality of final products.

**Keywords:** Demineralization, water, salts, mineral salts, sediment, sulphate, calcium, cesium, external

## Abstract :

La déminéralisation de l'eau de procès consiste à éliminer les sels minéraux dissous, tels que les ions de calcium et de magnésium, pour éviter la formation de dépôts et la corrosion dans les équipements industriels. Cela se fait généralement par échange d'ions ou par osmose inverse. L'eau déminéralisée est essentielle pour maintenir l'efficacité et la longévité des systèmes de production. Elle permet également d'assurer la qualité des produits finaux.

**Mots-clés :** Élimination des minéraux, eau, sels, sels minéraux, sédiments, corrosion, calcium, calcium, externe

# Sommaire

Introduction .....	1
Chapitre I Etude bibliographie.....	3
1. Capacité de production dans unité de chlore et ses dérivés.....	3
2. Application.....	4
3. Système de contrôle YOGOKAWA.....	5
Chapitre II Matériel ET méthodologies.....	7
1. Material ET methodologies.....	7
1.1. Besoin d'eau pure.....	7
1.2. Applications.....	7
1.3. Méthodes de déminéralisation .....	8
1.4. Choix de la méthode appropriée .....	8
1.4.1. Prévention de l'entartrage .....	9
1.4.2. Amélioration de l'efficacité des processus industriels.....	9
1.4.3. Qualité de l'eau pour les laboratoires et les hôpitaux .....	9
1.4.4. Réduction des coûts énergétiques .....	10
1.4.5. Amélioration de la performance des produits de nettoyage.....	10
1.4.6. Préservation des équipements électroniques et optiques.....	10
1.4.7. Production de boissons et d'aliments de meilleure qualité.....	11
1.4.8. Considérations environnementales et économiques.....	11
1.5. Les applications de l'eau déminéralisée : .....	14
1.5.1. Industries électriques.....	14
1.5.2. Pétrochimie.....	14
1.5.3. Industrie des boissons.....	14
1.5.4. Pharmaceutique .....	14
1.5.5. Automobile ; Batteries de voiture. ....	15
1.5.6. Les autres applications sont : .....	15
1.5.7. Eau déminéralisée et santé .....	15
1.6. Les considérations pour la mise en place Dun système de déminéralisation .....	16
1.6.1. Définition des besoins en eau déminéralisée.....	16
1.6.2. Analyse de l'eau d'alimentation.....	17
1.6.3. Choix de la technologie de déminéralisation .....	17
1.6.4. Dimensionnement du système.....	17
1.6.5. Prétraitement de l'eau d'alimentation .....	17

1.6.6.	Régénération des résines échangeuses d'ions.....	18
1.6.7.	Instrumentation et contrôle.....	18
1.6.8.	Aspects économiques et environnementaux .....	18
1.7.	Lit mélangé.....	18
1.7.1.	Fonctionnement.....	19
1.7.2.	Avantage.....	19
1.7.3.	Inconvénients .....	19
1.7.4.	Applications .....	20
1.7.5.	Informations générales sur l'échange d'ions :.....	20
1.7.6.	Description du processus de base :.....	21
1.7.7.	Échange de cations .....	21
1.7.8.	Échange d'anions .....	22
1.7.9.	Principes de fonctionnement .....	22
1.7.10.	Séquence de contrôle du système désionisé à lit mélangé .....	23
1.8.	Problématique.....	26
Chapitre III: .....		6
Résultats et discussion.....		6
1.	La régénération .....	27
1.1.	Performance d'un lit mélangé de finition .....	27
1.2.	Dimensionnement d'un lit mélangé.....	27
1.3.	Régénération d'un lit mélangé.....	28
2.	Les problèmes liés à la régénération d'un lit mélange dans l'industrie .....	32
3.	La solution proposée .....	34
Conclusion.....		43
References .....		44

## Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> Adwan Chemicals Algeria .....	4
<b>Figure I.2:</b> Salle de contrôle.....	5
<b>Figure I.3:</b> présentation graphique des zones par domaine d'entrepris ADWAN .....	6
<b>Figure II.1:</b> l'unité OI à ADWAN .....	8
<b>Figure II.2:</b> L'eau déminéralisée Epochem .....	14
<b>Figure II.3:</b> Représentation schématique de l'échange d'ions .....	22
<b>Figure II.4:</b> Mixed bed column.....	21
<b>Figure II.5:</b> Fonctionnement de régénération .....	26
<b>Figure III.1:</b> La separation.....	28
<b>Figure III.2:</b> Rincage lent.....	29
<b>Figure III.3:</b> Drinage.....	29
<b>Figure III.4:</b> Malaxage.....	30
<b>Figure III.5:</b> Mauvaise séparation.....	31
<b>Figure III.7:</b> Mauvaise drainage.....	31
<b>Figure III.6:</b> Mauvaise rincage lent.....	32

## Liste des tableaux

<b>Table III.1:</b> Les paramètres d'injection des regeneration.....	29
--	----

# **Introduction générale**

## INTRODUCTION GENERALE

---

L'industrie chimique est le secteur le quel l'activité consiste à fabriquer des produits chimiques de base, des produits chimiques intermédiaires et produits finis par synthèse chimique contrôlée dont l'industrie du chlore fait partie [1].

En effet, Adwan Chemical Company est une entreprise associée à l'industrie chimique de premier plan en Algérie spécialisée dans la production de chlore et d'autres produits chimiques de base utilisés dans diverses industries [2].

Le chlore est l'agent oxydant et bactéricide le plus universel [3], est connu depuis l'Antiquité, mais découvert il y a à peine deux siècles, le chlore est un élément essentiel de notre vie quotidienne. Sous forme de sel NaCl en grande quantité dans l'océan, il est facilement électrolysable ce qui permet d'en obtenir une forme très pure : le dichlore gazeux. De nombreux composés chlorés aux multiples applications sont alors synthétisables : désinfectants, gaz de combat, anesthésiants, agents pour la chimiothérapie etc. Ces utilisations plus ou moins récentes, exploitent les propriétés physico-chimiques du chlore, qu'il partage avec les autres halogènes. Sa place particulière dans le tableau périodique et sa grande disponibilité fait toute fois du chlore un élément qui se démarque et indispensable au chimiste [4].

Le chlore est de loin le plus abondant dans la nature et aussi le plus facile à produire et à utiliser, cela explique son rôle prédominant et irremplaçable dans l'industrie chimique, dans tous les secteurs industriels et dans notre vie quotidienne [5]. Cependant, les accidents liés au chlore ont fait beaucoup de victimes humaines au cours des dernières décennies. De plus, le taux de chlore était élevé chez les victimes 30,9 % après le monoxyde de carbone, qui était de 41,7 % chez les victimes. Ainsi, faire des conceptions ou des modifications intrinsèquement plus sûres pour les industries de traitement du chlore est d'un grand intérêt [6, 7].

Quarante millions de tonnes de chlore ont été produites dans le monde en 1995, plus de 85% de tous les produits pharmaceutiques et plus de la moitié des produits commercialisés par l'industrie chimique sont des dérivés de la chimie du chlore. 1500 de ces produits ont été répertoriés : ils sont utilisés dans tous les secteurs industriels et économiques tels que la santé, l'agroalimentaire, le bâtiment, les textiles, les transports, les loisirs, les cosmétiques, etc., comme l'une des matières premières les plus abondantes et les plus faciles à collecter et à

## INTRODUCTION GENERALE

---

traiter sur terre, le chlorure de sodium est l'un des plus importants sur les plans technique et socioéconomique [8].

Le chlore liquéfié est un gaz toxique et corrosif qui peut causer des brûlures chimiques graves s'il entre en contact avec la peau, les yeux ou les voies respiratoires. Il peut également réagir violemment avec d'autres produits chimiques, tels que les hydrocarbures, les solvants et les métaux, ce qui peut entraîner des incendies, des explosions ou des émanations de gaz toxiques.

En raison de sa dangerosité, le chlore liquéfié doit être manipulé avec une grande prudence et stocké dans des conteneurs spéciaux conçus pour résister à la pression et à la corrosion [9].

# **CHAPITRE I**

## Etude Bibliographie

## Introduction

**ADWAN Chemicals Algeria** a été créée le 19 mai 2004 dans le cadre de l'extension de l'activité de la société mère, située en Arabie saoudite, une société à capitaux saoudiens de droit algériens. Elle est basée à l'Ouest de l'Algérie dans la commune de Fornaka, Wilaya de Mostaganem

**Activité :** Production et commercialisation de produits chimiques inorganiques

**Superficie :** 70 000 m<sup>2</sup>

**Capital :** 3,7 milliards de dinars

**Postes directs :** 280

**Certificats ISO :**

Système de gestion de la qualité ISO 9001 : 2015

Système de management environnemental ISO 14001:2015

Système de gestion de la santé et de la sécurité au travail ISO 45001:2018

**Unités de production**

Usine de production de sable traité et ses dérivés

Usine de production de chlore et ses dérivés

Usine de production de chlorure de calcium

### 1. Capacité de production dans unité de chlore et ses dérivés :

**A. Chlore liquide :** 22 300 T/an

**B. Soude caustique :** 24 000 T/an

**C. Hypochlorite de sodium :** 42 000 T/an

**D. Acide chlorhydrique :** 35 600 T/an

**E. Chlorure ferrique :** 30.000 T/an

## 2. Application

### Chlore liquide :

- ✓ Oil & Gas
- ✓ Fabrication de détergent
- ✓ Traitement des eaux usées
- ✓ L'industrie alimentaire (CIP)
- ✓ Traitement des eaux Soude caustique
- ✓ Traitement des eaux Hypochlorite de sodium
- ✓ Fabrication de détergent o Produit d'entretien des surfaces Acide chlorhydrique
- ✓ Production des produits chimiques et pharmaceutiques o L'industrie de l'alimentation o Les industries métallurgiques Chlorure ferrique
- ✓ L'existence d'une société d'une telle envergure contribue activement au développement économique de la région. La vocation principale de l'entreprise est de garantir aux clients locaux et étrangers une gamme de produits de haute qualité.



**Figure I.1:** Adwan Chemicals Algeria

### 3. Système de contrôle YOGOKAWA

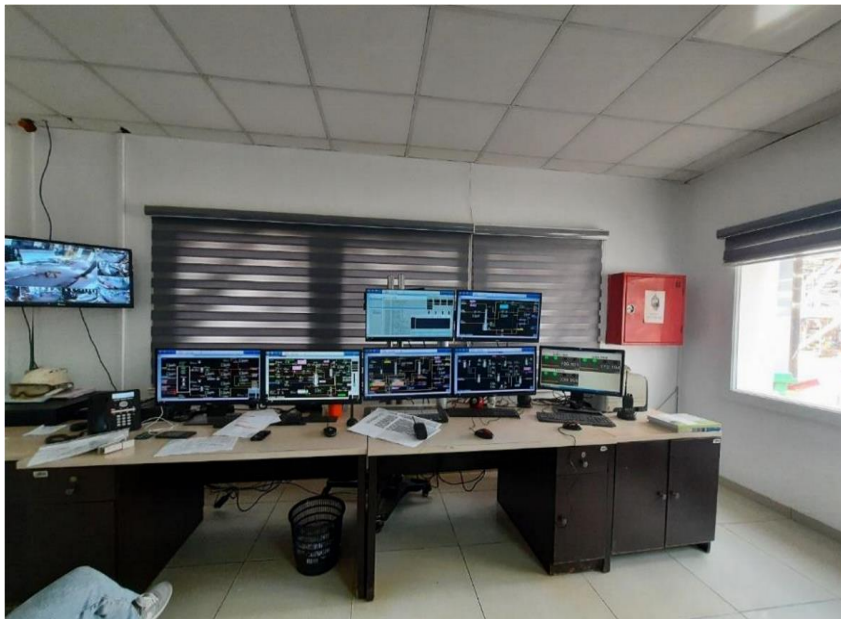
L'automatisation et la supervision des installations de production chlore et dérivés sont essentielles pour améliorer l'efficacité et la sécurité de ces installations.

Le DCS est un système automatique efficace pour atteindre les objectifs dans ADWAN Chemicals Algeria.

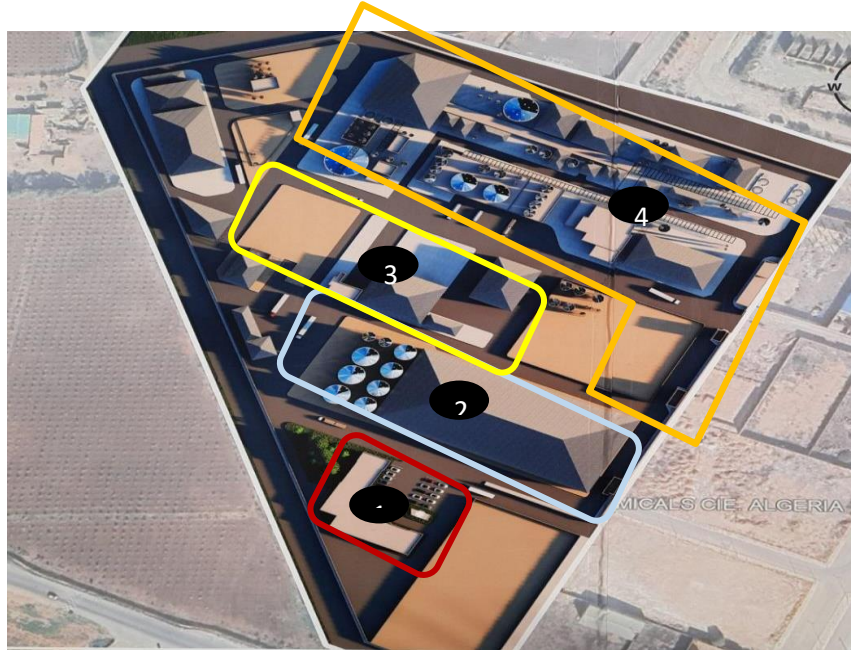
Le système de contrôle DCS (Distributed Control System : système de contrôle distribué) a été conçu spécialement pour les tâches industrielles, dédiée à la surveillance, au contrôle et à la conduite des procédés industriels, est un ensemble de moyens matériels et logiciels assemblés de façon à partager les fonctions de base pour la conduite des procédés industriels.

Les fonctions de base d'un système de conduite sont les suivantes :

- Adaptation des signaux échangés avec le procédé
- Traitement en temps réel des données échangées
- Traitement en temps différé des données échangées
- Communication avec l'utilisateur du système
- Communication avec des autres systèmes voisins



**Figure I.2:** Salle de contrôle



**Figure I.3:** présentation graphique des zones par domaine d'entrepris ADWAN

- 1 : Administration
- 2 : unité de production sable traités
- 3 : unité de production de chlorure ferrique
- 4 : unité de production de chlore et dérivés

A travers notre discussion du sujet d'étude dans le premier chapitre, nous tenterons de faire la lumière dans le deuxième chapitre sur le mécanisme de travail de l'entreprise en expliquant la méthode d'élimination des métaux, également appelée ionisation, car elle comporte deux étapes: Osmose inverse et Échange d'ions.

# **CHAPITRE II**

## Matériel et méthodologie

## 1. Material ET methodologies

La déminéralisation, également appelée d'ionisation (DI), est un procédé de traitement de l'eau qui vise à éliminer les sels minéraux dissous et les ions qu'ils libèrent. On peut l'imaginer comme un processus de retrait des particules chargées microscopiques présentes naturellement dans la plupart des sources d'eau. La déminéralisation permet d'obtenir une eau hautement purifiée, souvent comparable à l'eau distillée, mais obtenue par une méthode différente.

Voici pourquoi la déminéralisation est importante :

### 1.1. Besoin d'eau pure

De nombreuses industries et applications ont besoin d'une eau d'une pureté exceptionnelle. La déminéralisation permet d'atteindre cet objectif en éliminant les minéraux pouvant causer des problèmes tels que:

- ❖ **Entartrage** dans les chaudières et les tuyaux (similaire au calcaire qui se forme dans une bouilloire).
- ❖ **Contamination** dans les processus sensibles comme la production pharmaceutique ou la fabrication de composants électroniques.
- ❖ **Diminution de l'efficacité** des solutions de nettoyage et d'autres procédés à base d'eau.

### 1.2. Applications

L'eau déminéralisée est utilisée dans de nombreux secteurs industriels, notamment :

- ❖ **Production d'électricité** : pour prévenir l'entartrage des chaudières.
- ❖ **Industrie pharmaceutique** : pour la production de médicaments stériles.
- ❖ **Industrie électronique** : pour le nettoyage et le rinçage de composants délicats.
- ❖ **Industrie agroalimentaire** : pour le rinçage et le traitement des produits alimentaires.
- ❖ **Laboratoires** : pour mener des expériences et préparer des solutions.

### 1.3. Méthodes de déminéralisation

Il existe deux principales méthodes de déminéralisation :

- ❖ **Échange d'ions** : ce procédé utilise des résines échangeuses d'ions spécifiques qui attirent et remplacent les ions de l'eau par des ions inoffensifs.
- ❖ **Osmose inverse (OI)** : cette méthode utilise une membrane spéciale qui permet aux molécules d'eau de passer tout en bloquant les minéraux dissous.



**Figure II.1:** l'unité OI à ADWAN

### 1.4. Choix de la méthode appropriée

La méthode de déminéralisation la plus adaptée dépend de plusieurs facteurs, tels que la qualité d'eau souhaitée, la source d'eau initiale et les coûts associés.

En résumé, la déminéralisation joue un rôle essentiel dans diverses industries en fournissant une eau hautement purifiée, indispensable à des processus efficaces et sûrs.

Les détails supplémentaires sur les avantages de la déminéralisation de l'eau, en approfondissant chaque aspect :

#### 1.4.1. Prévention de l'entartrage

La déminéralisation élimine les minéraux dissous comme le calcium et le magnésium, responsables de la formation de tartre dans les canalisations, chaudières et autres équipements. Cela prolonge la durée de vie des appareils et réduit les coûts de maintenance.

- **Processus de déminéralisation:** Utilise des techniques telles que l'échange d'ions, l'osmose inverse ou la distillation pour éliminer les ions de calcium et de magnésium.
- **Impact:** Réduit les dépôts de tartre dans les chauffe-eau, les systèmes de refroidissement, et les tuyauteries, ce qui améliore l'efficacité et prolonge la durée de vie des équipements.

#### 1.4.2. Amélioration de l'efficacité des processus industriels

Dans de nombreux secteurs industriels, l'eau déminéralisée est essentielle pour éviter la corrosion et les dépôts minéraux qui peuvent affecter la qualité des produits et l'efficacité des processus de production, par exemple dans les industries pharmaceutiques, alimentaires et des semi-conducteurs.

- **Industries concernées :** Industries chimiques, pharmaceutiques, agroalimentaires, et de fabrication de semi-conducteurs.
- **Exigences :** L'eau déminéralisée est nécessaire pour éviter la contamination des produits, garantir des réactions chimiques pures et protéger les équipements de production de la corrosion.

#### 1.4.3. Qualité de l'eau pour les laboratoires et les hôpitaux

L'eau déminéralisée est souvent utilisée dans les laboratoires et les hôpitaux pour des applications nécessitant une eau de haute pureté, comme la préparation de solutions et le nettoyage d'instruments médicaux.

- **Applications spécifiques** : Préparation de solutions, nettoyage d'instruments chirurgicaux et dentaires, fonctionnement des autoclaves et autres équipements de stérilisation.
- **Normes** : L'eau utilisée doit répondre à des normes de pureté strictes pour éviter toute interférence dans les tests et procédures médicales.

#### 1.4.4. Réduction des coûts énergétiques

L'eau sans minéraux dissous améliore le rendement des systèmes de chauffage et de refroidissement, ce qui peut se traduire par une réduction des coûts énergétiques

- **Efficacité thermique** : Les systèmes de chauffage et de refroidissement fonctionnent mieux avec de l'eau déminéralisée, ce qui réduit les pertes énergétiques dues aux dépôts de tartre.
- **Entretien** : Moins de tartre signifie moins de nettoyage et d'entretien, réduisant ainsi les coûts opérationnels.

#### 1.4.5. Amélioration de la performance des produits de nettoyage

Dans les environnements domestiques et industriels, l'eau déminéralisée permet aux détergents et autres produits de nettoyage de fonctionner plus efficacement, car elle ne contient pas de minéraux qui peuvent interférer avec ces produits.

- **Produits ménagers** : Les détergents et savons fonctionnent mieux dans l'eau déminéralisée car ils ne réagissent pas avec les minéraux dissous, évitant les dépôts savonneux.
- **Nettoyage industriel** : Utilisée pour le nettoyage des surfaces et équipements industriels sensibles, réduisant les résidus minéraux.

#### 1.4.6. Préservation des équipements électroniques et optiques

L'eau déminéralisée est utilisée pour le nettoyage des équipements électroniques et des optiques sensibles, car elle ne laisse pas de résidus minéraux qui pourraient endommager ces équipements délicats.

- **Nettoyage** : L'eau déminéralisée est idéale pour le nettoyage des composants électroniques et des lentilles optiques car elle ne laisse pas de résidus conducteurs ou abrasifs.
- **Applications sensibles** : Utilisée dans la fabrication et l'entretien de composants électroniques et optiques pour éviter toute contamination.

#### 1.4.7. Production de boissons et d'aliments de meilleure qualité

Dans l'industrie alimentaire et des boissons, l'eau déminéralisée est utilisée pour garantir la pureté et la constance des produits, évitant ainsi les variations de goût et les contaminations.

- **Boissons** : Utilisée dans la production de boissons gazeuses, bières, et autres pour garantir un goût constant et éviter les précipitations de minéraux.
- **Aliments** : Utilisée pour la préparation d'aliments transformés pour éviter les interactions indésirables avec les minéraux qui peuvent altérer le goût et la texture.

#### 1.4.8. Considérations environnementales et économiques

- **Consommation d'énergie** : Certaines méthodes, comme la distillation, sont énergivores. L'osmose inverse est plus efficace mais nécessite un prétraitement de l'eau pour prolonger la durée de vie des membranes.
- **Gestion des déchets** : Les techniques comme l'osmose inverse produisent des rejets concentrés en minéraux, nécessitant une gestion appropriée pour éviter la pollution.

En résumé, la déminéralisation de l'eau offre de nombreux avantages en termes de protection des équipements, amélioration des processus industriels, et qualité des produits finaux, tout en nécessitant des considérations attentives en matière de coûts énergétiques et de gestion des déchets.

- **Les informations supplémentaires détaillées sur les inconvénients de la déminéralisation de l'eau :**

- a. **Absence de minéraux essentiels**

- ✚ **Impact sur la santé :** La consommation d'eau déminéralisée peut entraîner une carence en minéraux essentiels tels que le calcium et le magnésium, qui sont importants pour la santé des os et du système cardiovasculaire. Une absence prolongée de ces minéraux peut augmenter le risque de maladies comme l'ostéoporose et l'hypertension (Water Wonders).

- ✚ **Recommandations de l'OMS :** L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande que l'eau potable contienne certains niveaux de minéraux pour maintenir une bonne santé.

- b. **Coût élevé**

- ✚ **Installation et maintenance :** Les systèmes de déminéralisation, comme l'osmose inverse, nécessitent des investissements initiaux importants pour l'installation. De plus, ils nécessitent un entretien régulier, y compris le remplacement des membranes et des résines, ce qui peut augmenter les coûts opérationnels.

- ✚ **Consommation énergétique :** Les procédés comme l'osmose inverse sont énergivores, ce qui peut augmenter les coûts énergétiques et l'empreinte carbone de l'installation.

- c. **Corrosivité**

- ✚ **Effets sur les infrastructures :** L'eau déminéralisée peut être plus agressive pour les tuyaux et les équipements en raison de son manque de minéraux. Elle peut dissoudre plus facilement certains matériaux, entraînant une corrosion accélérée et nécessitant des matériaux résistants à la corrosion, souvent plus coûteux.

#### d. Goût désagréable

- ✚ **Propriétés organoleptiques** : L'absence de minéraux dans l'eau déminéralisée lui donne souvent un goût plat ou même désagréable pour certains consommateurs. Cela peut rendre l'eau moins attrayante pour boire et cuisiner, affectant ainsi la consommation quotidienne.

#### e. Impact environnemental

- ✚ **Rejets de concentrés** : Les procédés de déminéralisation, notamment l'osmose inverse, produisent des eaux usées concentrées en sels et autres contaminants. L'élimination de ces concentrés nécessite des traitements spécifiques pour éviter la pollution environnementale.
- ✚ **Utilisation de produits chimiques** : Certains procédés, comme l'échange d'ions, utilisent des produits chimiques pour régénérer les résines, ce qui peut entraîner des problèmes de gestion des déchets chimiques.

#### f. Risque de contamination

- ✚ **Entretien inadéquat** : Si les systèmes de déminéralisation ne sont pas correctement entretenus, il existe un risque de contamination microbologique. Les filtres et les résines peuvent devenir des sites de prolifération bactérienne, posant des risques pour la santé si les protocoles de nettoyage et de remplacement ne sont pas rigoureusement suivis.

Ces aspects montrent que bien que l'eau déminéralisée soit utile dans de nombreuses applications industrielles et techniques, son utilisation pour la consommation humaine doit être soigneusement contrôlée et surveillée pour éviter des effets négatifs sur la santé et l'environnement.

## 1.5. Les applications de l'eau déminéralisée :

### 1.5.1. Industries électriques

L'eau déminéralisée est spécialement utilisée pour les applications nécessitant des niveaux plus élevés de pureté de l'eau, telles que l'eau d'alimentation ou d'appoint pour les chaudières à haute pression ou les flux de processus utilisés dans la fabrication de produits électroniques, par exemple dans les raffineries ; Chaudières à pression ; cela inclut l'eau d'alimentation de la chaudière et la génération de tiges.

### 1.5.2. Pétrochimie

La déminéralisation peut également traiter les purges des tours de refroidissement (ce qui peut également s'appliquer à d'autres industries mentionnées).

### 1.5.3. Industrie des boissons

L'utilisation d'eau déminéralisée pour désinfecter les conteneurs et les équipements avant et pendant la production afin d'éviter toute contamination.

### 1.5.4. Pharmaceutique

Production de médicaments et de suspensions pour contrôler la qualité et la sécurité des produits. L'eau déminéralisée est utilisée dans la fabrication de produits pharmaceutiques et cosmétiques dans l'ordre ci-dessus.



Figure II.2: L'eau déminéralisée Epochem

### 1.5.5. Automobile ; Batteries de voiture.

Les batteries de voiture d'aujourd'hui ne sont plus comme avant. La plupart d'entre elles ne nécessitent pas autant d'entretien, et certaines n'ont même pas de bouchons qui vous permettent d'ajouter de l'eau aux cellules. Les batteries plus récentes sont livrées avec des électrolytes supplémentaires au-dessus des plaques pour compenser toute perte de durée de vie de la batterie. Si votre batterie est dotée de capuchons amovibles, vous devrez peut-être ajouter de l'eau distillée ou déminéralisée de temps en temps. Si une batterie est chargée trop longtemps ou à une tension trop élevée, une partie de l'eau contenue dans l'électrolyte se décompose en hydrogène et oxygène gazeux.

Ces gaz s'échappent des cellules : c'est ce qu'on appelle le gazage. Si le niveau de liquide électrolytique descend trop bas, les plaques sont exposées à l'air et perdent leur capacité et seront endommagées. Toute impureté ou additif dans l'eau réduira la durée de vie et les performances de la batterie. C'est pourquoi les fabricants recommandent d'utiliser de l'eau déminéralisée ou distillée, qui ne contient pas de niveaux élevés de minéraux comme l'eau potable du robinet.

### 1.5.6. Les autres applications sont :

L'eau déminéralisée a des applications dans les domaines de la vapeur, de l'énergie, des procédés et du refroidissement. Piscines, hôpitaux, engrais, textiles, découpe laser et production de cosmétiques. L'eau déminéralisée est utilisée dans les aquariums et les machines à pression positive constante des voies respiratoires.

### 1.5.7. Eau déminéralisée et santé

Certains éléments essentiels sont présents dans l'eau, qui sont très importants pour la santé humaine car l'alimentation moderne n'est souvent pas une bonne source de minéraux nécessaires au corps humain. Certains de ces minéraux essentiels sont souvent présents dans l'eau sous forme d'ions libres, qui sont facilement absorbés dans l'eau par rapport aux aliments. Des recherches ont montré que la consommation d'eau potable à faible teneur en minéraux pourrait entraîner de l'hypertension et des maladies coronariennes, des ulcères gastriques et duodénaux, une gastrite chronique, un goitre, des complications de grossesse et plusieurs autres complications chez les nourrissons.

En outre, l'étude a révélé que boire de l'eau pauvre en minéraux, sans calcium ni magnésium, entraînerait un taux élevé de décès par maladies cardiovasculaires et un risque accru de fractures chez les enfants. Il diminue la densité osseuse chez les adultes par rapport à ceux qui boivent de l'eau ordinaire. L'eau déminéralisée, lorsqu'elle est consommée, a un goût fade et ne l'éteint pas rapidement. De plus, la cuisson de l'eau déminéralisée peut entraîner une perte considérable allant jusqu'à 60 % du calcium et du magnésium des aliments en cours de préparation.

Selon une recommandation récente d'un rapport de l'OMS basé sur les données actuelles, divers chercheurs ont recommandé que les niveaux suivants de calcium, de magnésium et de dureté de l'eau soient présents dans l'eau potable

- Pour le magnésium, un minimum de 10 mg/L et un optimal d'environ 20-30 mg/L
- Pour le calcium, un minimum de 20 mg/L et un optimal d'environ 50 (40-80) mg/L
- Pour la dureté totale de l'eau, la somme du calcium et du magnésium doit être de 2 à 4 mmol/L. À ces concentrations, des effets néfastes sur la santé minimales, voire nuls, ont été observés.

L'OMS suggère donc également que le minimum de matières dissoutes totales (TDS) dans l'eau potable soit de 150 à 300 mg/L.

## **1.6. Les considérations pour la mise en place d'un système de déminéralisation**

La mise en place d'un système de déminéralisation implique une planification et une évaluation minutieuses pour garantir son efficacité, sa rentabilité et sa conformité aux réglementations. Voici les principales considérations à prendre en compte

### **1.6.1. Définition des besoins en eau déminéralisée**

- ❖ **Quantité:** Déterminer le débit d'eau déminéralisée requis par jour ou par heure en fonction des besoins de vos processus industriels ou de vos applications.
- ❖ **Qualité:** Spécifier le niveau de pureté souhaité, généralement exprimé en conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ou en concentration en ions spécifiques (mg/L), en fonction des exigences de vos processus.

### 1.6.2. Analyse de l'eau d'alimentation

- ❖ **Qualité de l'eau:** Effectuer une analyse complète de l'eau d'alimentation pour identifier et quantifier les minéraux dissous, les composés organiques et les gaz présents. Cela permettra de déterminer la technologie de déminéralisation la plus adaptée et les prétraitements éventuellement nécessaires.
- ❖ **Variabilité de la qualité:** Évaluer la variabilité de la qualité de l'eau d'alimentation au fil du temps, car cela peut affecter la conception et le fonctionnement du système de déminéralisation.

### 1.6.3. Choix de la technologie de déminéralisation

- ❖ **Échange d'ions (EI):** La méthode la plus courante et polyvalente, adaptée à une large gamme de qualités d'eau et de niveaux de pureté.
- ❖ **Osmose inverse (OI):** Particulièrement efficace pour les eaux salines ou saumâtres, mais peut nécessiter un prétraitement et une consommation d'énergie plus élevée.
- ❖ **Électrodialyse (ED):** Adaptée à des applications spécifiques, comme le traitement des eaux usées industrielles ou la concentration de solutions salines.

### 1.6.4. Dimensionnement du système

- ❖ **Capacité de traitement:** Déterminer la capacité de traitement requise en fonction du débit et de la qualité de l'eau d'alimentation.
- ❖ **Taille des cuves:** Dimensionner les cuves pour contenir le volume de résine échangeuse d'ions nécessaire et assurer un temps de contact adéquat pour une déminéralisation efficace.
- ❖ **Sélection des composants:** Choisir des pompes, des vannes, des instruments de mesure et des systèmes de contrôle adaptés au débit, à la pression et aux exigences de contrôle du système.

### 1.6.5. Prétraitement de l'eau d'alimentation

- ❖ **Élimination des impuretés:** Envisager un prétraitement pour éliminer les impuretés en suspension, les colloïdes et les matières organiques qui pourraient obstruer les résines échangeuses d'ions ou affecter leurs performances.
- ❖ **Conditionnement de l'eau:** Ajuster le pH et la température de l'eau d'alimentation si nécessaire pour optimiser l'efficacité de la déminéralisation.

### 1.6.6. Régénération des résines échangeuses d'ions

- ❖ **Méthode de régénération:** Choisir une méthode de régénération appropriée, telle que la régénération par régénérant acide et basique, en fonction du type de résine et des ions à éliminer.
- ❖ **Fréquence de régénération:** Déterminer la fréquence de régénération nécessaire en fonction de la capacité d'échange des résines, du débit d'eau et de la qualité de l'eau d'alimentation.
- ❖ **Gestion des effluents de régénération:** Traiter et éliminer les effluents de régénération de manière conforme aux réglementations environnementales locales.

### 1.6.7. Instrumentation et contrôle

- **Mettre en place des instruments de mesure** pour surveiller les paramètres critiques du système, tels que le débit, la pression, la conductivité et le pH.
- **Implémenter des systèmes de contrôle** pour réguler automatiquement le fonctionnement du système, optimiser les performances et assurer une production d'eau déminéralisée de qualité constante.

### 1.6.8. Aspects économiques et environnementaux

- ❖ **Évaluer les coûts d'investissement et d'exploitation** du système de déminéralisation, y compris les coûts d'achat, d'installation, d'entretien, de consommables et d'énergie.
- ❖ **Considérer l'impact environnemental** du système, notamment la consommation d'eau et d'énergie, la production de rejets et l'utilisation de produits chimiques.
- ❖ **Choisir des technologies et des pratiques écoresponsables** pour minimiser l'empreinte environnementale du système.

## 1.7. Lit mélangé

Dans le domaine du traitement de l'eau, un **lit mélangé** (ou **lit mixte**) désigne une technologie utilisée pour la purification de l'eau en la débarrassant de ses ions minéraux.

### 1.7.1. Fonctionnement

Un lit mélangé est constitué d'un mélange de deux types de résines échangeuses d'ions :

- **Résines cationiques:** Elles retiennent les cations, tels que le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et le potassium ( $\text{K}^+$ ).
- **Résines anioniques:** Elles retiennent les anions, tels que les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).

Ces résines sont mélangées uniformément dans un cylindre appelé échangeur d'ions. Lorsque l'eau traverse le lit mélangé, les ions minéraux s'échangent avec les ions hydrogène ( $\text{H}^+$ ) et hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ) des résines.

### 1.7.2. Avantage

Les lits mélangés présentent plusieurs avantages pour la purification de l'eau :

- **Production d'eau déminéralisée de haute qualité:** Ils permettent d'obtenir une eau avec une conductivité très faible, inférieure à  $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui est nécessaire pour de nombreuses applications industrielles et pharmaceutiques.
- **Fonctionnement simple:** La technologie des lits mélangés est relativement simple à mettre en œuvre et à exploiter.
- **Coûts d'exploitation raisonnables:** La régénération des résines, qui est nécessaire pour maintenir leur capacité d'échange d'ions, peut se faire avec des produits chimiques courants.

### 1.7.3. Inconvénients

Malgré ses avantages, la technologie des lits mélangés présente également quelques inconvénients :

- **Sensibilité à la pollution organique:** La présence de matière organique dans l'eau d'alimentation peut réduire l'efficacité des résines et nécessiter des prétraitements supplémentaires.
- **Difficulté de séparation des résines:** Lors de la régénération, il peut être difficile de séparer complètement les résines cationiques des résines anioniques en raison de leurs densités différentes.

#### 1.7.4. Applications

Les lits mélangés sont utilisés dans une large gamme d'applications, notamment

- **Production d'eau déminéralisée pour les chaudières à vapeur:** L'eau déminéralisée est nécessaire pour éviter la formation de tartre et de corrosion dans les chaudières.
- **Production d'eau ultra-pure pour l'industrie électronique:** L'eau ultra-pure est utilisée dans le nettoyage des composants électroniques et la fabrication de semi-conducteurs.
- **Production d'eau pour l'industrie pharmaceutique:** L'eau déminéralisée est utilisée dans la fabrication de médicaments et de produits pharmaceutiques.
- **Traitement des eaux usées:** Les lits mélangés peuvent être utilisés pour éliminer les ions spécifiques des eaux usées industrielles.

En résumé, un lit mélangé est une méthode efficace pour la purification de l'eau en la débarrassant de ses ions minéraux. Cette technologie est utilisée dans une large gamme d'applications, notamment la production d'eau déminéralisée pour les chaudières à vapeur, l'eau ultra-pure pour l'industrie électronique, l'eau pour l'industrie pharmaceutique et le traitement des eaux usées.

#### 1.7.5. Informations générales sur l'échange d'ions :

L'échange d'ions est l'échange réversible d'ions entre un solide (matériau échangeur d'ions) et un liquide dans lequel il n'y a pas de changement permanent dans la structure du solide. L'échange d'ions est utilisé dans le traitement de l'eau et fournit également une méthode de séparation pour de nombreux processus impliquant d'autres liquides. Il est particulièrement utile dans la synthèse chimique, la recherche médicale, la transformation des aliments, l'exploitation minière, l'agriculture et une variété d'autres domaines. L'utilité de l'échange d'ions repose sur possibilité d'utiliser et de réutiliser le matériau échangeur d'ions.

L'échange d'ions se produit dans diverses substances et est utilisé sur une base industrielle depuis vers 1910 avec l'introduction de l'adoucissement de l'eau à l'aide de zéolites naturelles puis synthétiques. Le charbon sulfoné, développé pour le traitement des eaux industrielles, a été le premier matériau échangeur d'ions qui était stable à faible pH. L'introduction des résines échangeuses d'ions organiques synthétiques en 1935 résulte de la

synthèse de produits de condensation phénolique contenant soit des sulfoniques, soit des groupes amine qui pourraient être utilisés pour l'échange réversible de cations ou d'anions.

#### 1.7.6. Description du processus de base :

L'eau de procédé sous pression, filtrée, claire et exempte de chlore doit passer à travers un lit mélangé. Colonnes échangeuses d'ions, d'une capacité totale de 20 m<sup>3</sup>/h et 4 bars. Dans cette colonne, anionique et les résines cationiques sont mélangées pendant le fonctionnement. En colonne unique, eau désionisée de haute qualité la production est réalisée via une chaîne infinie d'anions et de cations.

L'automatisation de la colonne échangeuse d'ions doit être maintenue par l'analyseur de conductivité installé en sortie de chaque colonne échangeuse à lit mixte. Lorsque l'échangeur d'ions la colonne est épuisée – la conductivité de l'eau dépasse la valeur réglée – la régénération sera déclenché automatiquement. La conductivité est étroitement surveillée en sortie des lits mélangés. À haute conductivité ou haute débit, le lit mélangé est régénéré pour ramener les résines sous forme H et OH. C'est réalisé par injection d'acide pour la résine cationique et injection caustique pour la résine anionique. Avant cela, les résines sont séparées par lavage à contre-courant de la résine.

La résine cationique étant plus lourde, elle tombera à le fond et la résine anionique étant plus légère resteront en haut. Après l'injection chimique est Ceci fait, les résines sont remélangées par application d'air provenant de l'air de l'usine prévu à cet effet. Le système acide et caustique est équipé de vannes d'entrée, de sortie et de vidange de blocage et de purge dans le décharge des pompes à acide pour des raisons de sécurité. Les eaux usées doivent être raccordées au réseau d'eaux usées station d'épuration par votre groupe. Le fonctionnement et la régénération de l'ensemble du système sont entièrement automatique et contrôlé par une unité PLC.

#### 1.7.7. Échange de cations

L'échange de cations est largement utilisé pour adoucir l'eau. Dans ce processus, les ions calcium et magnésium l'eau est échangée contre des ions sodium. Le fer ferreux et d'autres métaux tels que le manganèse et l'aluminium est parfois présent en petites quantités. Ces métaux sont également échangés mais sont sans importance dans le processus de ramollissement. Élimination de la dureté ou du calcium formant du tartre et les ions

magnésium, produisent de « l'eau douce ». Le fonctionnement « cycle du sodium » des échangeurs de cations est le terme utilisé lorsque la régénération est réalisée avec du sel commun. Il s'agit de l'adoucissement de l'eau dans sa forme la plus simple. Cette réaction est indiquée ci-dessous.

### 1.7.8. Échange d'anions

L'échange d'anions est l'échange d'anions présents dans l'eau ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc.) pour ions hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ). Cet échange, suite à l'échange cationique, déminéralise complètement l'eau une fois porté jusqu'au bout.

### 1.7.9. Principes de fonctionnement

Les dés ioniseurs (DI) éliminent à la fois les cations et les anions, libérant des ions hydrogène ( $\text{H}^+$ ) en échange de le premier et les ions hydroxyle ( $\text{OH}^-$ ) pour le second. Les ions hydrogène et hydroxyle se combinent ensuite pour former de l'eau pure. Dans les d'ioniseurs à lit mixte (MBDI), le cation les résines échangeuses et échangeuses d'anions sont intimement mélangées et contenues dans une seule pression navire. Les deux résines sont mélangées par agitation avec de l'air comprimé, afin que le lit du trou puisse être considéré comme un nombre infini d'échangeurs d'anions et de cations en série.

La figure suivante - Représentation schématique de l'échange d'ions montrant l'échange de sodium et chlorure pour les ions hydrogène et hydroxyle. Ces dernières se combinent pour former de l'eau.

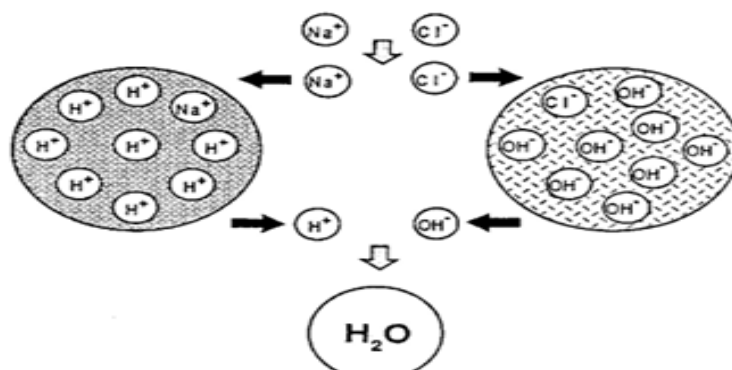


Figure II.3: Représentation schématique de l'échange d'ions

Pour réaliser la régénération, les deux résines sont séparées hydrauliquement lors du relâchement phase. Comme la résine anionique est plus légère que la résine cationique, elle monte vers le haut, tandis que la résine cationique tombe au fond. Après l'étape de séparation,

la régénération est effectuée avec de la soude caustique et un acide fort. Tout excès de régénérant est éliminé en rinçant chaque lit séparément.

#### 1.7.10. Séquence de contrôle du système désionisé à lit mélangé

Le système est essentiellement divisé en deux modes de fonctionnement. Mode service et régénération : Le réservoir en mode service doit avoir la vanne d'entrée de la colonne (PV-101/112) ouverte et la vanne de sortie de la colonne (PV-102/113) ouverte. En mode service, l'eau passe à travers les vannes Intel et s'accumule avec les résines, et le processus d'échange d'ions se produit, puis l'eau est purifiée et passe à travers les vannes de sortie pour le réservoir de stockage de démin. Pour avoir une sortie d'eau déminéralisée de la colonne, il faudra préciser que l'eau de service de l'usine d'osmose inverse est disponible et le niveau du réservoir de déminéralisation n'est pas élevé.

La colonne à lit mélangé a un débit volumétrique, après un certain temps les résines doivent être régénérées. Finalement, les résines expireront, car tous les ions hydrogène et/ou hydroxyde sont expulsés, et tous les sites d'échange sont remplis d'ions impurs. Par la suite, le déminéralisé la colonne d'eau n'éliminera plus les ions impurs ultérieurs, leur permettant de s'échapper à travers, réduisant la pureté de l'eau. L'indicateur le plus courant d'une expiration de résine est une baisse importante de la résistivité de la demi-eau. Il existe d'autres indicateurs.

Lorsque la résine cationique expire, le premier ion à s'échapper sera Sodium ( $\text{Na}^+$ ). Lorsque la résine anionique expire, les premiers ions à s'échapper seront la silice ( $\text{SiO}_2$ ) et/ou l'alcalinité carbonatée ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). En ce qui concerne le mode de fonctionnement, le cycle de service d'une unité à lit mixte est très similaire à un système conventionnel à deux lits, dans le sens où l'eau s'écoule vers le haut du récipient, vers le bas à travers le lit, et l'effluent purifié sort par le bas. C'est dans la régénération et la préparation de celui-ci que l'équipement à lit mixte diffère de l'équipement à deux lits. Les résines doivent être séparées, régénérées séparément et remixées pour le prochain cycle de service.

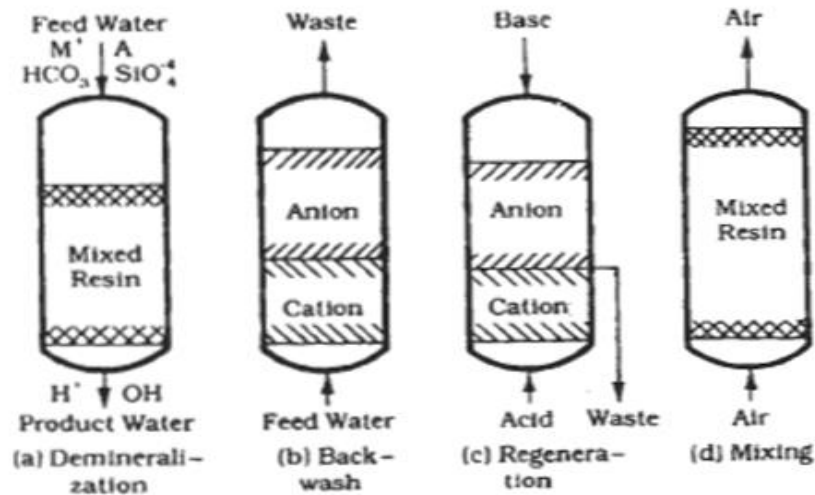


Figure II.4: Mixed bed column

La régénération d'une résine de traitement d'eau à lit mélangé implique plusieurs étapes distinctes pour restaurer efficacement sa capacité d'échange d'ions. Voici un résumé des étapes clés

#### a) Séparation des résines:

- Arrêtez le flux d'eau et laissez le lit de résine se stabiliser.
- Initiez un lavage à contre-courant à l'eau claire pour séparer les résines cationiques (plus lourdes) des résines anioniques (plus légères).
- Les résines se stratifient, avec la résine anionique sur le dessus et la résine cationique en dessous.

#### b) Régénération de la résine anionique:

- Introduisez une solution de soude caustique diluée ( $NaOH$ ) dans le lit de résine anionique à débit ascendant.
- Le volume de solution doit être environ deux fois le volume de résine anionique.
- Laissez la solution s'écouler lentement à travers le lit pour élever le pH et éliminer les ions négatifs capturés.
- Rincez abondamment à l'eau claire pour éliminer tout résidu de soude caustique.

**c) Régénération de la résine cationique:**

- Introduisez une solution d'acide dilué (généralement HCl ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dans le lit de résine cationique à débit ascendant.
- Le volume de solution doit être environ deux fois le volume de résine cationique.
- Laissez la solution s'écouler lentement à travers le lit pour abaisser le pH et éliminer les ions positifs capturés.
- Rincez abondamment à l'eau claire pour éliminer tout résidu d'acide.

**d) Remise en mélange et rinçage final:**

- Initiez un flux d'air comprimé ou d'azote pour fluidiser et mélanger les résines cationiques et anioniques.
- Rincez lentement le lit de résine avec de l'eau déminéralisée pour éliminer toute trace de solution régénérant et de fines de résine.
- Continuez le rinçage jusqu'à ce que l'eau de sortie soit neutre (pH 7) et exempte de contaminants.

**e) Remise en service:**

- Une fois le rinçage final terminé, le lit de résine régénéré est prêt à être remis en service pour le traitement de l'eau.

**f) Points importants:**

- Respectez scrupuleusement les consignes de sécurité lors de la manipulation des solutions régénérantes, qui peuvent être corrosives.
- Les débits et les volumes de solution spécifiques peuvent varier en fonction de la composition de la résine et des caractéristiques du système de traitement d'eau.
- Consultez le manuel d'utilisation de votre système de traitement d'eau pour des instructions détaillées et des recommandations précises.

**1.8. Problématique**

Il y a beaucoup de problèmes liés à la gestion des systèmes de déminéralisation de l'eau, y compris la qualité de l'eau d'alimentation, la gestion du système et la dégradation de la résine. Une qualité d'eau d'alimentation insuffisante peut provoquer un encrassement des lits de résine, réduire la capacité d'échange d'ions et entraîner de mauvaises performances de déminéralisation.

En outre, une gestion inadéquate du système, telle que le fonctionnement à des débits excessifs, des cycles de régénération mal adaptés et une surveillance insuffisante de la qualité de l'eau, peut également contribué à ces problèmes.

La dégradation de la résine, souvent due à un encrassement organique, à des chocs thermiques et au vieillissement naturel, réduit encore l'efficacité du système. Par conséquent, le prétraitement de l'eau d'alimentation est crucial pour éliminer les impuretés susceptibles de nuire aux performances de la résine et pour prévenir l'ensemble de ces problèmes.

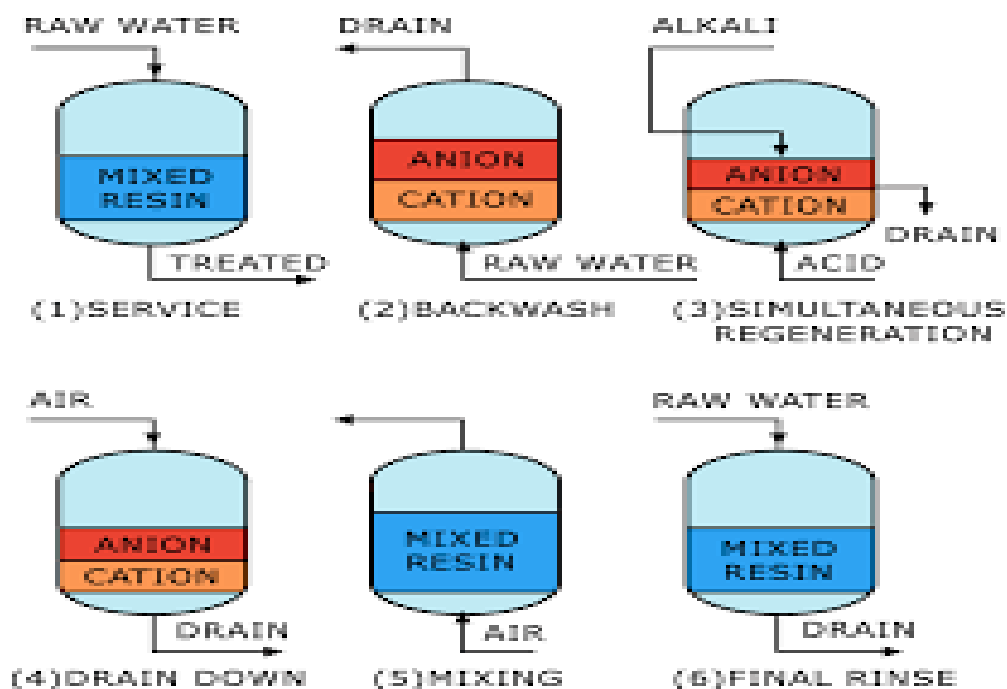


Figure II.5 : Fonctionnement de régénération

# **CHAPITRE III:**

## Résultats et discussion

Comme nous l'avons dit au chapitre deux, La déminéralisation, également appelée d'ionisation (DI), est un procédé de traitement de l'eau qui vise à éliminer les sels minéraux dissous et les ions qu'ils libèrent. On peut l'imaginer comme un processus de retrait des particules chargées microscopiques présentes naturellement dans la plupart des sources d'eau. La déminéralisation permet d'obtenir une eau hautement purifiée, souvent comparable à l'eau distillée, mais obtenue par une méthode différente.

Après déminéralisation, la résine se colmate et le rendement diminue. Elle doit donc être régénérée pour minimiser le colmatage et maximiser le rendement

## 1. La régénération

### 1.1. Performance d'un lit mélangé de finition

Généralement, l'utilisation d'un lit mélangé de finition sert à produire une eau ultra pure utilisée pour l'alimentation des chaudières HP :

- ✓ Conductivité  $< 0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$  (meilleure qualité  $0.06-0.08 \mu\text{S}/\text{cm}$ )
- ✓ Sodium  $< 0.01 \text{ mg}/\text{l}$
- ✓ Silice  $< 0.02 \text{ mg}/\text{l}$  (souvent  $< 0.005 \text{ mg}/\text{l}$ )
- ✓ Seuil : Conductivité  $= 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$
- ✓ Silice  $= 20 \text{ ppb}$

### 1.2. Dimensionnement d'un lit mélangé

Les Résines utilisées

SBA (Type I)

SAC

Gel : PFA400 MB, PFA 600

Gel : PPC100, PPC 100\*10

Super gel : SGA550

Super gel : SGC650

Granulométrie spécifique

Mac : PPC 150

Grade MB

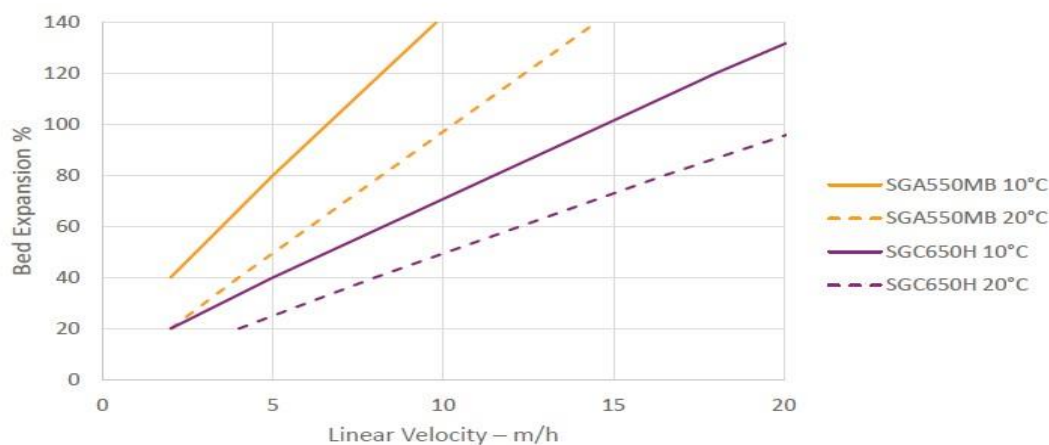
Ratio SAC/SBA = 1/2

Volume de vide = volume des résines

### 1.3. Régénération d'un lit mélangé

#### a. Détassage/séparation

Décompactage et soulèvement de lit pour obtenir une séparation parfaite entre le cation et l'anion au point d'interface correct. Expansion du lit est environ 100%.



Durée : 20-25 min minimum, 40-45 min recommandée

**Figure III.1:** La separation

Le débit est déterminé par l'expansion disponible, le type de résine et la température de l'eau

#### b. Repos

Le but de cette étape est de reformer le lit en anion et cation séparés.

Durée : 3-10min selon le volume et type de résines utilisées

#### c. Ecoulement de l'eau motrice

L'écoulement de l'eau motrice à travers les éjecteurs et le lit de résine est établi avant l'introduction des régénérant,

Le débit correspond au débit l'injection de régénérant- le débit de produit chimique concentré durant 1 minute. Cette aspiration contrôle la concentration du régénérant,

#### d. Injection des régénérant

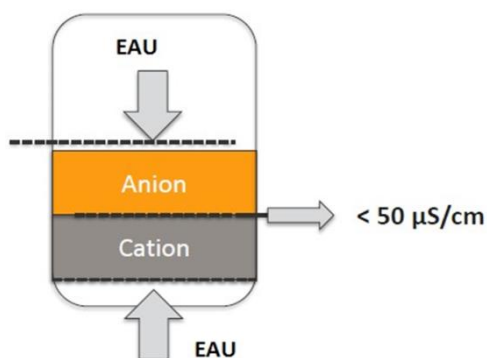
**Table III.1:** Les paramètres d'injection des règeération

Paramètre	NaOH	HCL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Concentration%	4	4-5	
Dose g (100%)/la résine	60-80	50-70	
Température °C	ambiant	ambiant	
Débit BV/h	2-4		
Temps de contact	Minimum 30min		

**e. Rinçage lent**

À garder le débit de l'eau motrice à travers l'éjecteur avec la fermeture des vannes de l'acide et la soude, Volume environ 3 BV

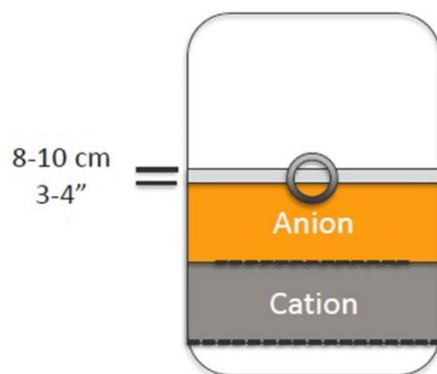
Conductivité inférieure à 50 µS/cm à la sortie centrale.



**Figure III.2:** Rinçage lent

**f. Drainage**

Abaisser le niveau d'eau jusqu'à environ 80 mm au-dessus du lit de résine.

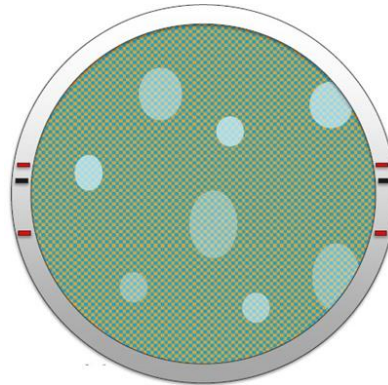


**Figure III.3** Drainage

**g. Malaxage**

Un souffleur d'air est utilisé pour donner un mélange complet et intime.

- Vitesse de l'air =  $110 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{h}$  (m / h).
- Pression de refoulement = 80 à 100 Kg / cm<sup>2</sup>.
- Grandes bulles d'air au niveau du voyant central
- Le temps nécessaire dépendra de la taille du lit, mais généralement 10 à 20 minutes.



**Figure III.4:** Malaxage

**h. Remplissage lent**

Avec un débit faible à travers le distributeur de la soude caustique caustique pour ne pas perturber le lit,

**i. Remplissage rapide**

Avec le débit de service ou similaire via l'entrée supérieure jusqu'à ce que de l'eau apparaisse à la sortie d'évent,

**j. Rinçage final**

- Par l'entrée principale
- De préférence avec le débit de service jusqu'à la conductivité souhaitée
- Cela devrait être très rapide si les résines sont bien mélangées
- Des débits inférieurs peuvent être utilisés, à condition que toutes les zones mortes soient rincées

**I. Mauvaise séparation**

Présence de cation dans le compartiment anionique et inversement Cation sous forme  $\text{Na}^+$  ou Anion sous forme  $\text{Cl}^-$

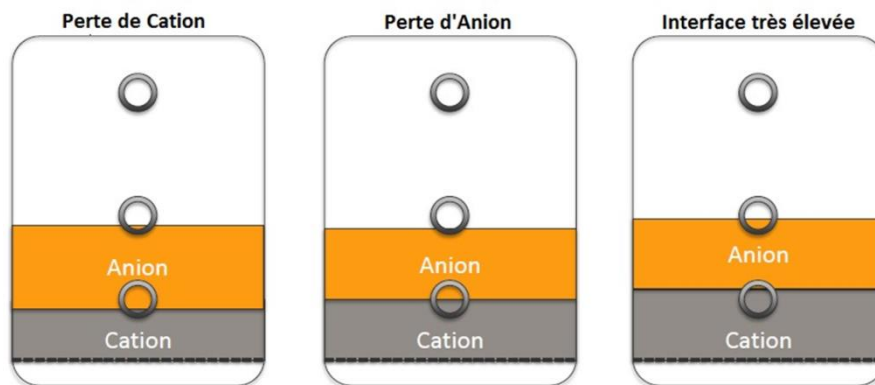


Figure III.5 : Mauvaise séparation

**II. Mauvais rinçage lent**

- Généralement pas de control de conductivité sur le drainage central.
- La perte d'efficacité signifie que le régénérant n'est pas correctement éliminé, ce qui entraîne une contamination croisée importante lorsque le lit est re mélangé.

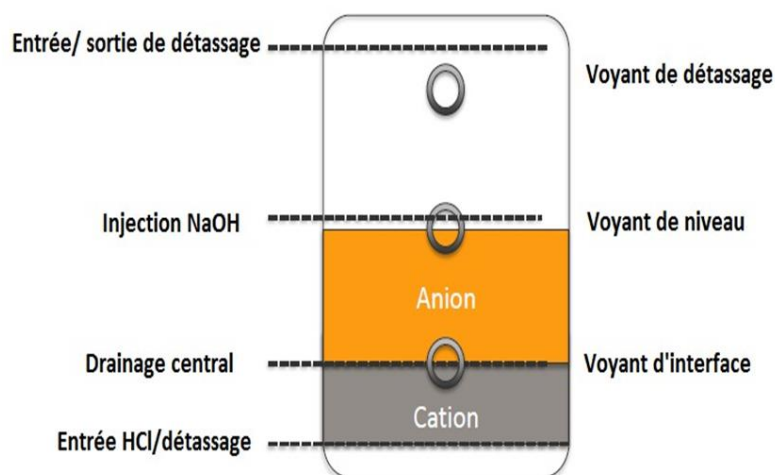


Figure III.6: Mauvaise rincage lent

### III. Mauvais drainage

- La vanne de vidange peut ne pas être installée ou utilisée,
- Trop d'eau permet au lit de se séparer partiellement et de former une couche cationique au fond du lit,
- Le temps de rinçage du lit et la qualité en ligne sont médiocres
- Cela peut être prouvé en mesurant le pH qui sera acide

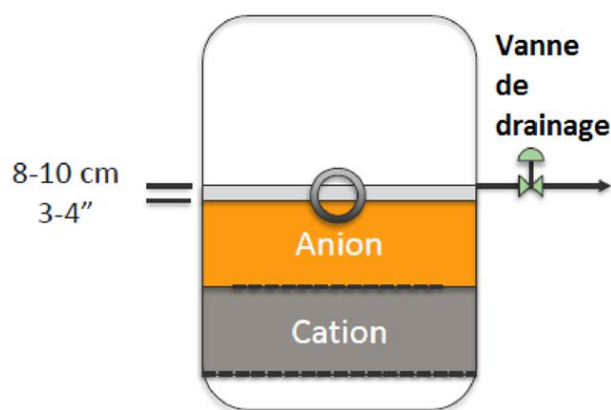


Figure III.7: Mauvaise drainage

## 2. Les problèmes liés à la régénération d'un lit mélange dans l'industrie

### 1. Inhomogénéité du mélange

Lors de la régénération, si les différentes phases du lit ne sont pas bien mélangées, cela peut entraîner une distribution inégale des réactifs. Par exemple, certains réactifs peuvent être surconsommés tandis que d'autres restent inactifs, ce qui affecte la qualité et la constance du produit final.

### 2. Dépôts et encrassement

Au fil du temps, des impuretés et des résidus peuvent s'accumuler sur les particules du lit. Ces dépôts peuvent réduire la surface active des particules, ce qui diminue l'efficacité des

réactions chimiques. De plus, l'encrassement peut nécessiter des nettoyages fréquents, augmentant ainsi les coûts d'exploitation.

### **3. Perte de performance**

Les matériaux utilisés dans le lit mélange peuvent se dégrader avec le temps, surtout s'ils sont exposés à des conditions extrêmes (température, pression, etc.). Une perte de performance peut se traduire par une diminution de la capacité de traitement et une augmentation des temps d'arrêt pour maintenance.

### **4. Contrôle de la température**

La régénération implique souvent des changements de température. Un contrôle inadéquat peut entraîner des variations de température qui affectent les cinétiques de réaction. Par exemple, une température trop élevée peut provoquer des réactions secondaires indésirables, tandis qu'une température trop basse peut ralentir les réactions.

### **5. Coûts énergétiques**

La régénération nécessite généralement de l'énergie, que ce soit pour chauffer, refroidir ou agiter le mélange. Si le processus n'est pas optimisé, cela peut entraîner des coûts énergétiques élevés, impactant la rentabilité de l'opération.

### **6. Impact environnemental**

Les procédés de régénération peuvent générer des déchets solides ou liquides, ainsi que des émissions gazeuses. Il est essentiel de gérer ces déchets de manière appropriée pour minimiser l'impact sur l'environnement et se conformer aux réglementations en vigueur.

### **7. Variabilité des matières premières**

La qualité et la composition des matières premières utilisées dans le lit mélange peuvent varier. Cette variabilité peut influencer les performances du processus de régénération et la qualité du produit final.

En tenant compte de ces problèmes, il est crucial d'effectuer une surveillance constante et des ajustements du processus pour garantir une régénération efficace et durable du lit mélange.

### 3. La solution proposée

#### A. Inhomogénéité du mélange

##### 1) Identification du problème

L'inhomogénéité du mélange se produit lorsque les composants d'un mélange ne sont pas uniformément répartis. Cela peut entraîner des réactions chimiques incomplètes ou des produits finaux de qualité variable.

##### 2) Causes possibles

- ✓ Vitesse de mélange insuffisante.
- ✓ Temps de mélange trop court.
- ✓ Propriétés physiques des composants (taille des particules, densité, etc.) qui empêchent un bon mélange.

##### 3) Approches pour résoudre le problème

- **Utilisation de mélangeurs appropriés :** Choisir un type de mélangeur adapté à la nature des matériaux. Par exemple, un mélangeur à pales peut être efficace pour des mélanges solides, tandis qu'un mélangeur à haute shear peut être nécessaire pour des liquides visqueux.
- **Optimisation des paramètres de mélange :** Ajuster la vitesse et le temps de mélange. Il peut être utile d'effectuer des tests pour déterminer les conditions optimales.
- **Ajout d'additifs :** Dans certains cas, l'ajout d'agent de flux ou d'autres additifs peut aider à améliorer l'homogénéité du mélange.
- **Contrôle de la température :** Assurer que la température est constante, car des variations de température peuvent affecter la viscosité et donc le mélange.

##### 4) Suivi et évaluation

Après avoir mis en œuvre les solutions, il est crucial de surveiller la qualité du mélange et d'effectuer des tests réguliers pour s'assurer que l'homogénéité est atteinte.

En appliquant ces étapes, tu devrais pouvoir résoudre le problème d'inhomogénéité du mélange.

## B. Dépôt et encrassement

### 1) Identification du problème

Le dépôt et l'encrassement se réfèrent à l'accumulation de matières solides ou de contaminants sur des surfaces, ce qui peut nuire à la performance des équipements ou à la qualité des produits.

### 2) Causes possibles

- ✓ **Nature des matériaux** : Certains matériaux peuvent avoir une tendance plus élevée à s'accumuler en raison de leurs propriétés chimiques ou physiques.
- ✓ **Conditions d'opération** : Des températures élevées ou des pressions inappropriées peuvent favoriser la formation de dépôts.
- ✓ **Vitesse d'écoulement** : Un écoulement trop lent peut permettre aux particules de se déposer.

### 3) Approches pour résoudre le problème

- **Nettoyage régulier** : Mettre en place un programme de nettoyage régulier pour éliminer les dépôts avant qu'ils ne deviennent problématiques.
- **Utilisation de produits chimiques** : Des agents de nettoyage ou des inhibiteurs de dépôt peuvent être ajoutés pour réduire l'accumulation.
- **Optimisation des conditions d'opération** : Ajuster la température, la pression et la vitesse d'écoulement pour minimiser l'encrassement.
- **Surveillance** : Installer des capteurs pour surveiller les niveaux de dépôt et d'encrassement, permettant des interventions rapides.

### 4) Suivi et évaluation

Après avoir mis en œuvre ces solutions, il est essentiel de surveiller l'efficacité des mesures prises et d'effectuer des ajustements si nécessaire

## C. Perte de performance

### 1) Identification du problème

La perte de performance peut se manifester par une diminution de l'efficacité d'un système, d'un appareil ou d'un processus. Cela se traduit souvent par des résultats inférieurs aux attentes.

## 2) Causes possibles

- ✓ **Dépôts et encrassement** : Comme mentionné précédemment, l'accumulation de contaminants peut entraver le fonctionnement normal.
- ✓ **Usure des composants** : Les pièces mécaniques peuvent s'user avec le temps, provoquant une diminution de l'efficacité.
- ✓ **Conditions environnementales** : Des facteurs tels que la température, l'humidité ou la pression peuvent affecter les performances.
- ✓ **Mauvaise calibration** : Des instruments ou des équipements mal calibrés peuvent donner des résultats erronés.

## 3) Approches pour résoudre le problème

- **Maintenance préventive** : Mettre en place un programme de maintenance pour vérifier régulièrement l'état des équipements et remplacer les pièces usées.
- **Nettoyage et décontamination** : Assurer un nettoyage régulier pour éliminer les dépôts qui pourraient affecter la performance.
- **Évaluation des conditions d'opération** : Analyser et ajuster les conditions de fonctionnement pour optimiser les performances.
- **Calibration** : Effectuer des calibrations régulières des instruments pour garantir des mesures précises.

## 4) Suivi et évaluation

Après avoir mis en œuvre des solutions, il est crucial de surveiller les performances et d'évaluer l'impact des changements effectués.

## D. Contrôle de la température

Le contrôle de la température est un aspect crucial dans de nombreux domaines, notamment dans l'industrie, la biologie, la chimie et même dans les systèmes domestiques. Voici une explication détaillée

### 1) Définition

Le contrôle de la température fait référence à la régulation et à la gestion de la température dans un environnement spécifique pour atteindre des conditions optimales.

### 2) Importance

- ✓ **Processus industriels:** Dans la fabrication, la température peut affecter la qualité des produits. Un contrôle précis est nécessaire pour garantir des résultats cohérents.
- ✓ **Biologie :** Dans les expériences biologiques, la température peut influencer les réactions enzymatiques et la croissance des organismes.
- ✓ **Conservation :** Pour certains produits, comme les aliments ou les médicaments, un contrôle de la température est essentiel pour préserver leur qualité et leur sécurité.

### 3) Méthodes de contrôle

- **Thermostats :** Utilisés pour réguler la température dans les systèmes de chauffage et de climatisation.
- **Systèmes de surveillance :** Des capteurs peuvent être installés pour surveiller en temps réel la température et ajuster automatiquement les conditions si nécessaire.
- **Contrôle manuel :** Dans certains cas, le contrôle peut être effectué manuellement en ajustant les paramètres selon les besoins.

### 4) Applications

- **Industrie alimentaire :** Maintenir des températures spécifiques pour la conservation des aliments.
- **Laboratoires :** Assurer des conditions contrôlées pour les expériences scientifiques.
- **Systèmes de chauffage et de refroidissement :** Utiliser des thermostats pour réguler la température dans les maisons et les bureaux.

## E. Coût énergétique

Le coût énergétique se réfère à la quantité d'énergie consommée pour réaliser un certain service ou produit, et il est souvent exprimé en termes financiers.

### 1) Définition

Le coût énergétique est la somme des dépenses liées à la consommation d'énergie, que ce soit pour l'électricité, le gaz, ou d'autres sources d'énergie.

### 2) Facteurs influençant le coût

- ✓ **Type d'énergie :** Les prix varient selon les sources d'énergie (électricité, gaz naturel, pétrole, etc.).

- ✓ **Consommation:** Plus la consommation d'énergie est élevée, plus le coût total sera important.
- ✓ **Efficacité énergétique :** Les appareils et systèmes plus efficaces consomment moins d'énergie, ce qui peut réduire le coût.

### 3) Importance de la gestion du coût énergétique

- **Économie:** Réduire le coût énergétique peut entraîner des économies significatives sur les factures d'énergie.
- **Environnement :** Une consommation d'énergie plus efficace peut également réduire l'empreinte carbone et les impacts environnementaux.
- **Planification budgétaire :** Comprendre les coûts énergétiques aide à mieux planifier les budgets personnels ou d'entreprise.

### 4) Stratégies pour réduire le coût énergétique

- **Amélioration de l'efficacité :** Utiliser des appareils économes en énergie et améliorer l'isolation des bâtiments.
- **Utilisation de sources d'énergie renouvelable :** Intégrer des systèmes solaires ou éoliens peut réduire la dépendance aux combustibles fossiles.
- **-Suivi et ajustement :** Surveiller régulièrement la consommation d'énergie pour identifier les domaines où des économies peuvent être réalisées.

## F. Variabilité des matières premières

La variabilité des matières premières fait référence aux fluctuations dans la qualité, la disponibilité et le prix des matériaux utilisés dans la production.

### 1) Définition

La variabilité peut être due à plusieurs facteurs, y compris les conditions climatiques, les changements dans la demande du marché, et les politiques économiques.

### 2) Facteurs influençant la variabilité

- ✓ **Climat :** Les conditions météorologiques peuvent affecter la récolte de matières premières agricoles, par exemple.
- ✓ **Géopolitique :** Les conflits ou les changements politiques dans les pays producteurs peuvent perturber l'approvisionnement.

- ✓ **Technologie:** L'innovation peut modifier la manière dont les matières premières sont extraites ou produites, impactant ainsi leur disponibilité.

### 3) Impact sur les industries

- **Coûts de production :** La variabilité peut entraîner des coûts imprévus pour les entreprises, affectant leur rentabilité.
- **Planification :** Les entreprises doivent adapter leurs stratégies d'approvisionnement pour gérer cette variabilité et minimiser les risques.

### 4) Stratégies de gestion

- **Diversification des sources :** Travailler avec plusieurs fournisseurs pour réduire la dépendance à une seule source.
- **Contrats à long terme :** Établir des accords pour garantir un approvisionnement stable à des prix fixés.
- **Suivi des tendances :** Analyser régulièrement les tendances du marché pour anticiper les fluctuations.

## G. L'impact environnemental

L'impact environnemental dans l'industrie est un sujet vaste et complexe. Les différents aspects

### 1) Pollution de l'air

- ✓ **Sources de pollution :** Les industries, en particulier celles de la chimie, de la métallurgie et de l'énergie, émettent des polluants comme les gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), et les composés organiques volatils (COV).
- ✓ **Conséquences :** Ces émissions peuvent provoquer des problèmes respiratoires chez les humains, contribuer à l'acidification des sols et des eaux, et entraîner des phénomènes comme le smog.

### 2) Pollution de l'eau

- ✓ **Déversements :** Les industries peuvent déverser des produits chimiques, des métaux lourds et des nutriments dans les rivières et les océans. Cela peut provenir des eaux usées, des fuites ou des accidents industriels.

- ✓ **Impact écologique** : La pollution de l'eau peut entraîner la mort des poissons et d'autres organismes aquatiques, perturber les écosystèmes et rendre l'eau potable non sécuritaire pour les populations locales.

### 3) Déchets solides

- ✓ **Types de déchets** : Les déchets industriels comprennent des résidus de fabrication, des produits chimiques périmés, et des matériaux d'emballage. Une partie de ces déchets est souvent classée comme dangereux.
- ✓ **Gestion des déchets** : Une mauvaise gestion peut conduire à des décharges illégales et à la contamination des sols. Les industries doivent adopter des pratiques de réduction, de réutilisation et de recyclage pour minimiser leur empreinte.

## 4. Consommation des ressources naturelles

- ✓ **Extraction** : L'extraction de ressources comme le pétrole, le charbon, et les minéraux peut entraîner la destruction des habitats naturels et la perte de biodiversité.
- ✓ **Eau et énergie** : La consommation d'eau pour le refroidissement et le nettoyage, ainsi que l'énergie pour les opérations industrielles, peut entraîner une pression sur les ressources locales, surtout dans les régions arides.

### 5) Changement climatique

- ✓ **Émissions de GES** : Les industries sont responsables d'une part significative des émissions mondiales de GES. Cela contribue au réchauffement climatique, qui a des conséquences sur les régimes météorologiques, les niveaux de la mer et les écosystèmes.
- ✓ **Adaptation et atténuation** : Les industries doivent non seulement réduire leurs émissions, mais aussi s'adapter aux impacts du changement climatique, comme les événements météorologiques extrêmes.

### 6) Réglementations et durabilité

- ✓ **Normes environnementales** : De nombreux pays ont mis en place des lois pour limiter les émissions et la pollution. Les entreprises doivent se conformer à ces réglementations pour éviter les amendes et les poursuites.

- ✓ **Pratiques durables** : L'adoption de technologies vertes, l'amélioration de l'efficacité énergétique, et l'investissement dans des sources d'énergie renouvelable sont des moyens par lesquels les industries peuvent réduire leur impact environnemental.



### Conclusion

La déminéralisation de l'eau est un processus qui consiste à enlever les minéraux et les sels dissous de l'eau. Cela se fait généralement par des méthodes comme l'osmose inverse ou l'échange d'ions. L'eau déminéralisée est utilisée dans divers domaines tels que l'industrie, la recherche scientifique et médicale, car elle est nécessaire lorsque la présence de minéraux peut interférer avec des processus spécifiques. Elle est également utilisée dans les chaudières et les systèmes de refroidissement pour éviter les dépôts minéraux.

La déminéralisation de l'eau permet d'éviter plusieurs problèmes liés à la présence de minéraux et de sels dissous dans l'eau. En éliminant ces substances, on peut prévenir l'entartrage des équipements industriels, des chaudières et des systèmes de refroidissement. De plus, l'eau déminéralisée est essentielle dans les laboratoires pour garantir la précision des analyses chimiques et des expériences. Elle est également utilisée dans l'industrie pharmaceutique pour assurer la pureté des produits.

### References

- [1] J Aknin - Revue d'économie politique, 1981 – JSTOR.
- [2] Documents interne de l'entreprise.
- [3] Marouf, Abderrazak and Tremblin, Gérard. "PARTIE I SUBSTANCES D'ORIGINE VÉGÉTALE". Abrégé de biochimie appliquée: Nouvelle édition, Les Ulis: EDP Sciences, 2016, pp. 7-180. <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-1908-9.c004>
- [4] LUCAS, Marie, and Lise BOITARD-CREPEAU. "Le Chlore."
- [5] Schmittinger, Peter, ed. Chlorine: principles and industrial practice. John Wiley & Sons, 2008.
- [6] GAO, Xiaoming, et al. "Systematic inherent safety and its implementation in chlorine liquefaction process." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 65 (2020): 104133.
- [7] C. Winder "The toxicology of chlorine" *Environ Res* (2001).
- [8] Fauvarque, Jacqueline. "The chlorine industry." *Pure and applied chemistry* 68.9 (1996):1713-1720.
- [9] Z. Lu et al. Liquefaction of sawdust in 1-octanol using acidic ionic liquids as catalyst *Bioresour. Technol.* (2013).