

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**

**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES**

**FACULTE DE THECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DU GENIE DES PROCEDES**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**En vue de l'obtention du diplôme Master en Génie chimique**

**Spécialité : Génie des procédés**

**Option : Génie chimique**

**Thème**

**L'obtention du carbonate de soude  
à partir de matières locales**

**Réalisé par :**

**BOUDJELTHIA Rachedi**

**MESSAOUDI Mohamed**

**Soutenu le .../.../2022, devant le jury composé de :**

<b>Président du jury</b>	.....	.....
<b>Promotrice</b>	<b>ASSELAH Amel</b>	<b>MCA</b>
<b>Examineur</b>	.....	.....

**Promotion: 2021/2022**

# Remerciements

La présentation de ce modeste travail nous offre l'occasion d'exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice **A. ASSELAH**, Maitre de Conférences "A" à l'université de M'Hamed Bougara- faculté de Technologie -Département du Génie des Procédés qui a bien voulu diriger ce travail pendant toute la durée de l'expérimentation et la mise en forme du document final. Ses nombreux conseils ne nous ont jamais fait défaut. Nous sommes heureux de lui exprimer ici notre respectueuse reconnaissance.

Nous tenons à remercier le président du jury d'avoir accepté de présider ce jury de soutenance ainsi que les membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail.

Nous désirons aussi remercier l'effectif du laboratoire **NOVER**, qui nous a fourni les outils nécessaires à la réussite de nos recherches.

Un grand merci à **Mr. AKKSAS**, notre chef département, sans oublier **Mr. SEKKOUR** qui nous a encouragés à faire ce sujet.

Nous tenons enfin, à remercier tous nos professeurs du génie des procédés qui nous ont formés et enrichi nos connaissances.

Notre reconnaissance est exprimée envers les amis et les collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

## Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chères parents, ma mère et a l'âme de mon cher  
père

Pour leur patience, leur amour.

A ma petite famille

A mes amies et mes camarades sans oublier tout les  
professeurs que ce sont du primaire, du moyen, du  
secondaire, ou du l'enseignement supérieur

Boudjelthia rachedi



# Dédicace

Je dédie ce modeste travail :  
A mes très chers parents, ma petite  
famille qui a été à mes côtés et ma  
soutenu durant toute ma vie, Aucun  
langage ne saurait exprimer mon  
respect et ma considération pour votre  
soutien et encouragements

A toute ma famille sans exception.

A tous mes amis.

En fin, je remercie mon binôme  
rachid qui a contribué à la réalisation  
de ce modeste travail.

MESSAOUDI MOHAMED



## Résumé

Notre étude s'intéresse à la fabrication du carbonate de sodium, qui est un produit chimique industriel important utilisé dans la fabrication de plusieurs produits comme : le savon, le verre, le papier, et comme un produit chimique d'adoucissement de l'eau. L'objectif de ce sujet consiste à chercher un meilleur procédé chimique pour obtenir le carbonate de sodium en Algérie à base de matières locales peu coûteuses.

La stratégie adoptée est de simuler au laboratoire NOVER de Chlef l'un des meilleurs procédés chimiques connu sous le nom de procédé Solvay, qui utilise des matières premières disponibles ( $\text{NaCl}$  et  $\text{CaCO}_3$ ) et bon marché, et qui préserve mieux l'environnement par la récupération de l'oxyde de carbone et l'ammoniac.

Aucune étude antérieure n'a été réalisée dans ce contexte dans notre pays. Nous avons utilisé un montage expérimental fabriqué par la société SOMIVER –Thénia-Boumerdès pour la synthèse du carbonate de soude en faisant un barbotage du dioxyde de carbone dans une solution concentrée de chlorure de sodium saturée d'ammoniac.

Pour ce faire, trois échantillons de carbonate de calcium récupérés de trois gisements de l'Est et de l'Ouest de notre pays ont été utilisés, les résultats obtenus concernant les différents paramètres physico-chimiques sont satisfaisants et très proches des valeurs seuils exigées pour le carbonate de soude commercialisé.

## **Abstract**

Our study is interested in the manufacture of sodium carbonate, which is an important industrial chemical used in the manufacture of several products such as: soap, glass, paper, and as a chemical of water softening .

The objective of this subject consists in looking for a better chemical process to obtain sodium carbonate in Algeria based on inexpensive local materials.

The strategy adopted is to simulate in the Nover laboratory in Chlef one of the best chemical processes known as the solvay process, which uses available raw materials (NaCl and  $\text{CaCO}_3$ ) and cheap, and above the environment by recovery of recovery of carbon oxide and ammonia.

No previous study was carried out in this context in our country. We have used an experimental assembly manufactured by the Somiver -Thenia-Boumerdès company for the synthesis of soda by carbon dioxide in a concentrated solution of concentrated solution Sodium chloride saturated with ammonia.

To do this, three samples of calcium carbonate recovered from three eastern and west deposits of our country were used, the results obtained concerning the various physico-chemical parameters are satisfactory and very close to the threshold values required for marketed soda carbonate.

## ملخص

تهتم دراستنا بتصنيع كربونات الصوديوم ، وهي مادة كيميائية صناعية مهمة تستخدم في تصنيع العديد من المنتجات مثل: الصابون والزجاج والورق وكمادة لتليين المياه. الهدف من هذا الموضوع هو البحث عن أفضل عملية كيميائية للحصول على كربونات الصوديوم في الجزائر استنادًا إلى مواد محلية غير مكلفة. تتمثل الإستراتيجية المعتمدة في محاكاة واحدة من أفضل العمليات الكيميائية المعروفة باسم عملية صولفاي في مخبر "نوفر" بشركة الزجاج بالشلف ، والتي تستخدم المواد الخام متاحة (كلوريد الصوديوم وكربونات الكالسيوم) ورخيصة و محافظة على البيئة عن طريق استرداد أكسيد الكربون والأمونيا. لم يتم إجراء أي دراسة سابقة في هذا السياق في بلدنا. لقد استخدمنا مجموعة تجريبية تصنعها شركة -صومي فار- بالثنية بومرداس ، لتوليف الصودا بواسطة ثاني أكسيد الكربون في محلول مركز من محلول كلوريد الصوديوم المشبع بالأمونيا. للقيام بذلك ، تم استخدام ثلاث عينات من كربونات الكالسيوم التي تم استردادها من ثلاثة رواسب شرق و غرب بلدنا والنتائج التي تم الحصول عليها فيما يتعلق بالخصائص الفيزيائية والكيميائية المختلفة مرضية وقريبة جدًا من قيم العتبة المطلوبة لكربونات الصودا التي يتم تسويقها.

# Sommaire

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

## ***PARTIE THEORIQUE***

### **CHAPITRE I : Généralité sur le carbonate de soude**

#### **I-1 Le carbonate de sodium**

I.1.1 Définition.....	02
I.1.2 Propriétés physiques du carbonate de sodium.....	03
I.1.3 Propriétés chimiques du carbonate de sodium.....	03
I.1.4 Hydrates de carbonate de sodium.....	04
I.1.5 Grades et spécifications du carbonate de sodium.....	04

#### **I-2 Utilisations du Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dans les secteurs industriels**

• Industrie du verre.....	04
• Industrie chimique.....	05
• Industrie métallurgique.....	05
• Industrie des détergents et savons .....	05
• Traitement de l'eau .....	05
• Industrie papetière .....	06
• Industrie textile .....	06
• Industrie pétrolière.....	06
• Industrie de cuire .....	06
• Industrie de la photographie.....	06

• Industrie des engrais.....	06
• Divers.....	06

### **I-3 Extraction naturelle du carbonate de sodium**

I-3-1 Le natron .....	07
I-3-2Le trôna .....	08
I-3-3 Méthodes d'extraction des produits naturels.....	10

## **CHAPITRE II :**

### **Procédé de fabrication du carbonate de soude**

<b>II-1 Historique de la fabrication.....</b>	<b>13</b>
---	-----------

### **II-2 Origines synthétiques**

II-2-1 Procédé Le Blanc.....	14
II-2-2 Procédé Solvay.....	15
II-2-3 Procédé de Hou.....	18
II-2-4 sélection et choix de procédé .....	20

### **II-3 Description du procédé Solvay**

II-3-1 Purification de la saumure.....	19
II-3-2 Combustion et extinction du calcaire.....	20
II-3-3 Absorption de l'ammoniac.....	21
II-3-4 Précipitation du bicarbonate.....	22
II-3-5 Filtration du bicarbonate.....	23
II-3-6 Calcination du bicarbonate en carbonate de soude.....	24
II-3-7 Récupération de l'ammoniac.....	24

## **CHAPITRE III :**

### **Matières premières et impact environnemental**

### **III-1 Matières premières**

III-1-1 Les saumures résiduelles .....	27
• Gisements de sel exploités .....	29
• Potentiel géologique du sel non exploités (réserves).....	30
• Caractéristiques générales de l'exploitation.....	30
• Différents procédés de production du sel .....	31

III-1-2 Le calcaire.....	31
• Les formes du calcaire.....	32
• Gisements de calcaires.....	33
<b>III-2 L'impact environnemental</b>	
• Calcaire de qualité approprié .....	34
• Fonctionnement optimisé de l'usine de carbonate de sodium .....	35
• Déversement dans l'environnement aquatique des eaux résiduaires.....	35

## ***PARTIE PRATIQUE***

### **CHAPITRE IV : Présentation de nover et Mise en Evidence du Lien entre le Verre et le Carbonate de Soude**

<b>IV-1 Présentation de l'entreprise NOVER :</b>	
IV-1-1 Structures du complexe .....	37
IV-1-2 Matières premières utilisées .....	38
IV-1-3 Procédés de fabrication .....	38
<b>IV-2 Le carbonate de soude et la production du verre</b>	
IV-2-1 composition chimique de verre .....	39
IV-2-2 Oxydes formateurs .....	39
IV-2-3 Oxydes modificateurs .....	40
IV-2-4 Oxydes intermédiaires.....	40
<b>IV-3 Catalogue des produits fabriqués par la société</b>	
• Agro-alimentaire.....	42
• Pharmaceutique. ....	42
• Cosmétique. ....	43
• Verrerie de table. ....	43

### **Chapitre V : Échantillonnage et analyse du carbonate de calcium**

<b>V-1 Echantillonnage.</b> .....	45
<b>V-1-1 Broyage.</b> .....	45

## **V-1-2 La calcination**

- Tableau d'avancement de la réaction chimique.....46
- Calcul de la masse d'oxyde de calcium (chaux vive) obtenue.....47

## **V-2 Analyse physico-chimiques de la matière première(CaCO<sub>3</sub>)**

**V-2-1** Détermination du taux d'humidité .....49

V-2-2 Détermination de la perte au feu à 1000C° .....50

V-2-3 Caractéristiques granulométriques.....50

V-2-4 Dosage de CaO & MgO par complexométrie a L'E.D.T.A.....52

**V-3** Interprétation des résultats obtenu.....57

## **Chapitre VI :**

### **Réalisation de procédé Solvay au laboratoire**

**VI-1** Description de l'appareil.....60

#### **VI-2** Etapes d'obtention du carbonate de soude :

VI-2-1 Étape préalable : synthèse du dioxyde de carbone ..... 63

VI-2-2 Première étape : Synthèse de NaHCO<sub>3</sub> .....64

VI-2-3 Seconde étape : Synthèse du carbonate de sodium Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> .....65

VI-2-4 Etape postérieur : Synthèse de l'ammoniac ..... 66

#### **VI-3** Analyse physico-chimique du carbonate de soude

- Dosage de l'oxyde de sodium (Na<sub>2</sub>O) .....67

**VI-4-Résultats obtenus pour les trois échantillons** ..... 69

**VI-5** Interprétation des résultats obtenus .....72

## **Conclusion**

## **Bibliographie**

## Liste des figures

Figure I-1	Le carbonate de sodium en poudre	02
Figure I-2	Natron Emi Koussi (Tibesti, Tchad)	07
Figure I-3	Le lac de Magadi « Kenya »	08
Figure I-4	Fabrication de carbonate de soude à partir du trôna	09
Figure I-5	les mines de « Wyoming USA »	10
Figure II-1	Schéma explicatif du procédé de Leblanc	15
Figure II-2	Schéma du procédé de Solvay	17
Figure III-1	Les cristaux de sel	28
Figure III-2	Marais salin de Oued El-Djemaa	27
Figure III-3	Formes de calcaire	32
Figure III-4	Usine de carbonate de calcium El Khroub	33
Figure IV-1	L'entreprise NOVER	36
Figure V-1	Vue des échantillons du carbonate de calcium choisis	45
Figure V-2	Broyeur HERZOG (Osnabrück Germany)	46
Figure V-3	Four de laboratoire à haut Température	46
Figure V-4	Laboratoire d'analyse « NOVER » Chlef	49
Figure V-5	Courbe granulométrique du $\text{CaCO}_3$ analysé	51
Figure V-6	Fiche d'analyse (Ech.N°1 récupéré -carrière SIG).	54
Figure V-7	Fiche d'analyse (Ech N°2 (ENG LAKHROUB)).	55
Figure V-8	Fiche d'analyse (Ech. N°3 - ENOF- TELEMEN).	56
Figure VI-1	Schéma simplifiant les réactions du procédé Solvay	59
Figure VI-2	Schéma représentatif de la simulation du procédé Solvay	62
Figure VI-3	Appareil simulant le procédé Solvay au laboratoire	62
Figure VI-4	préparation du $\text{NaCl}_{(s)}$	63
Figure VI-5	préparation du $\text{NaCl}_{(aq)}$	63
Figure VI-6	Synthèse du $\text{NaHCO}_3$	64
Figure VI-7	Filtration du $\text{NaHCO}_3$	65
Figure VI-8	Fiche d'analyse du carbonate de soude (Ech.N°1).	69
Figure VI-9	Fiche d'analyse du carbonate de soude (Ech.N°2).	70
Figure VI-10	Fiche d'analyse du carbonate de soude (Ech.N°3)	71
Figure VI-11	La fiche de données de sécurité du carbonate de soude	72

## Liste des tableaux

Tableau I-1	Types de minéraux de soude naturels présents dans le monde entier	11
Tableau II-1	Comparaison du procédé Solvay avec d'autres méthodes de production	19
Tableau III-1	Principaux gisement de sel en Algérie	29
Tableau III-2	Réserves géologiques du sel	30
Tableau V-1	Avancement de la réaction chimique	47
Tableau V-2	Analyse des échantillons	48
Tableau V-3	Calcul du tamisât (%)	50

# **Introduction générale**

## INTRODUCTION GENERALE

---

Dans les régions développées du monde, principalement dans les pays d'Europe Occidentale et en Amérique du Nord, la valeur annuelle en dollars de la production de minéraux industriels a dépassé celle des métaux et continue de croître rapidement. Cela est dû au fait que les niveaux de revenu élevés, la consommation par habitant de produits minéraux industriels dans les pays développés dépasse celle des pays en développement. Alors que dans les pays développés, les minéraux et les roches industriels fournissent des intrants dans de nombreux processus industriels, dans certains pays en développement dotés de peu d'infrastructures industrielles, une partie importante de leurs devises étrangères provient des exportations de minéraux industriels comme notre pays. Ainsi, les minéraux industriels sont d'une grande valeur économique pour les économies développées et en développement.

Lorsque nous considérons la perspective algérienne comme l'un des pays en développement, le scénario mentionné ci-dessus s'applique sans trop de déviation. L'Algérie est un pays riche en minerais et en ressources naturelles, mais celles-ci n'ont pas été utilisées au point de contribuer à la production du pays et donc à son développement. L'Algérie en tant que pays peut capitaliser sur ses exportations s'il fabrique des produits à valeur ajoutée à partir des ressources existantes au lieu d'une économie basée sur l'exportation de matières premières vers les industries d'autres pays.

Le carbonate de sodium a une importance économique importante en raison de ses applications dans la fabrication du verre, des produits chimiques, des détergents, des métaux et des mines, du papier et de la pâte à papier, des industries textiles et de nombreux autres produits. Il existe de nombreuses études (Louis Figuier 1819-1894, Plin l'Ancien 23 ap. J.-C, Hérodote 480 av. J.-C) qui ont montré que les gens utilisaient du carbonate de sodium extrait de la terre sous forme brute dans les industries de fabrication du verre depuis l'antiquité. Mais la production du carbonate de sodium en tant qu'industrie elle-même, n'a émergé qu'à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle.

La quantité totale du carbonate de sodium produite dans le monde a été estimée à 54 milliards de tonnes en 2017, montrant une forte augmentation de la production contre environ 44,8 milliards de tonnes en 2007. Les méthodes de production du carbonate de sodium dépendent de la disponibilité de ressources; pour les régions du monde où l'extraction du carbonate de sodium naturel n'est pas faisable, des techniques synthétiques sont employées à la place.

Toutefois, la pureté du minerai, l'emplacement des gisements et les conditions d'extraction ont limité le nombre d'exploitations mises en service étant donné qu'il n'existe pas de gisements de trona en Europe.

## INTRODUCTION GENERALE

---

Le carbonate de sodium y est presque exclusivement produit selon le procédé Solvay, à partir des matières premières naturelles (saumure de sel et calcaire) disponibles localement et présentant la pureté requise.

Le procédé Solvay a été mis au point au 19<sup>ème</sup> siècle et les premières usines de production du carbonate de sodium en Europe datent de cette époque ; les matières premières pour la fabrication du carbonate de sodium sont facilement disponibles et peu coûteuses. Dans notre pays, les principales matières premières peuvent être obtenues à partir de l'eau de mer et des mines de calcaire qui existent à plusieurs endroits. Ainsi, le but de notre projet de fin d'études est de faire une conception globale de la production du carbonate de sodium à partir de saumure et de pierre calcaire selon les formations acquises en génie chimique, en présentant les problématiques et les enjeux tant sur le plan industriel que sur le plan technique. Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au sein du laboratoire de la société de verre « **NOVER** » de Chlef.

Nous avons choisi de traiter cette thématique en raison de son importance dans l'économie nationale, de la rareté de ce matériau de base dans l'industrie et du coût élevé de son acquisition sur le marché international, ce qui a entraîné la suspension de nombreuses institutions. C'est dans cette optique qu'on a pris cette démarche pour l'incarner et produire ce matériau en Algérie.

Pour répondre aux différents objectifs, on a devisé notre travail de recherche en deux parties :

- Une partie théorique répartie sur trois chapitres, expliquant et définissant le carbonate de soude en précisant ses propriétés physico-chimiques, ses domaines d'utilisation industriels, ses procédés de fabrication ainsi que son impact sur l'environnement.
- Une partie pratique comportant trois chapitres, dans laquelle les essais expérimentaux, les résultats ainsi que leurs interprétations sont dictés.

**CHAPITRE 1 :**  
**Généralités sur le carbonate  
de soude**

## CHAPITRE I : Généralités sur le Carbonate de Soude

Le carbonate de sodium est recherché depuis l'antiquité. Il est aujourd'hui utilisé dans l'industrie chimique, pharmaceutique, l'industrie du verre et du papier, les détergents, la sidérurgie et la métallurgie. Les différentes applications du carbonate de sodium découlent de la diversité d'utilisations possibles. Il peut être source d'oxyde de sodium (propriété du fondant dans la fabrication des verres et en métallurgie), réactif alcalin (maintien du pH pour la neutralisation des acides, préparation de sels sodiques). La fabrication du carbonate de soude a évolué au cours du temps. L'extraction issue des cendres d'algues (d'où l'appellation « soda ash ») a été remplacée par le procédé Leblanc en 1797 puis par le procédé Solvay en 1863. Il utilise des matières premières bon marché et facilement disponibles localement : le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) et le sel ( $\text{NaCl}$ ).

### I-1 Le carbonate de sodium:

**I-1-1 Définition:** le carbonate de sodium est un composé chimique minéral. Sa formule chimique est  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Il est connu dans le langage courant sous plusieurs nomenclatures citées comme suit :

Nomenclature française	Nomenclature anglo-saxonne
Carbonate de sodium	Soda ash
Acide carbonate	Carbonate acide
Sel di-sodique	Disodiumsalt
Alcali sec	Dry alkali

Il se présente sous forme d'une poudre blanche (voir figure I-1) hygroscopique, cristalline et inodore produite dans différentes notes de densité allant de  $560 \text{ kg / m}^3$  à  $1250 \text{ kg / m}^3$  :



**Figure I-1: Le carbonate de sodium en poudre <sup>[1]</sup>.**

<sup>[1]</sup> Danushka, P. A. (2008) Design Of Soda Ash Prod. Plant. University of Moratuwa, Siri Lanka, p01.

# CHAPITRE I : Généralités sur le Carbonate de Soude

---

## I-1-2 Propriétés physiques du carbonate de sodium :

À température ambiante, le carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) est une poudre blanche grisâtre inodore qui est hygroscopique. Cela signifie que lorsqu'il est exposé à l'air, il peut absorber spontanément des molécules d'eau. Il est soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool, l'acétone et l'éther. Le carbonate de sodium réagit de manière exothermique avec les acides forts en dégageant du dioxyde de carbone. Il corrode l'aluminium, le plomb et le fer.

Le carbonate de sodium anhydre peut absorber diverses quantités d'eau et former des hydrates qui ont des caractéristiques légèrement différentes. Il est caractérisé par :

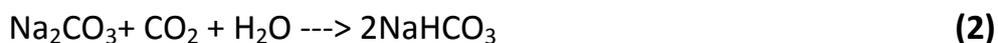
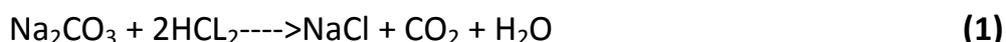
- ❖ Une densité : 2,53.
- ❖ Une solubilité dans l'eau (22°C) : 22g/100ml.
- ❖ Un point de fusion de 1 564 °F (851 °C).
- ❖ Un pH =11,5 (solution aqueuse à 1%)<sup>[2]</sup>.

## I-1-3 Propriétés chimiques du carbonate de sodium :

Le carbonate de sodium est hygroscopique. Dans l'air à 96 % R.H (humidité relative), son poids peut augmenter de 1,5 % en 30 minutes. Si le carbonate de sodium est stocké dans des conditions humides, son alcalinité diminue en raison de l'absorption d'humidité et du dioxyde de carbone de l'atmosphère. La vapeur d'eau réagit avec le carbonate de sodium au-dessus de 400 °C pour former de l'hydroxyde de sodium et du dioxyde de carbone.

Le carbonate de sodium est facilement soluble dans l'eau et les solutions résultantes sont alcalines. À 25 °C, le pH des solutions à 1,5 et 10 % en poids est respectivement de 11,37, 11,58 et 11,70. Le carbonate de sodium réagit de manière exothermique avec le chlore au-dessus de 150 °C pour former  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  et  $\text{NaClO}_4$ <sup>[3]</sup>.

- **Action avec les acides :**



**I-1-4 Hydrates de carbonate de sodium :** En minéralogie, le carbonate de sodium cristallise avec l'eau pour former trois hydratations distinctes :

- ❖ **Carbonate de sodium mono-hydraté ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) :**

Le carbonate de sodium mono-hydraté contient 85,48 % de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et 14,52 % d'eau. Il se sépare sous forme de petits cristaux des solutions aqueuses saturées au-dessus de 35,4 °C, ou il peut être formé simplement en mouillant du carbonate de sodium avec la quantité calculée

---

<sup>[2]</sup> Danushka, P. A. op cit, p05.

<sup>[3]</sup> Technical & Handling Guide (2018). Soda Ash, General Chemical Industrial Prod., Article, U.S.A, pp2-15

## CHAPITRE I : Généralités sur le Carbonate de Soude

---

d'eau à ou au-dessus de cette température. Il perd de l'eau en chauffant et sa solubilité diminue légèrement avec l'augmentation de la température. Au contact de sa solution saturée, il se transforme en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à 109 °C.

❖ **Carbonate de sodium hepta-hydraté (  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ) :**

Il contient 45,7% de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et 54,3% d'eau de cristallisation. Il ne présente aucun intérêt commercial en raison de sa plage de stabilité étroite, qui s'étend de 32 °C à 35,4 °C.

❖ **Carbonate de sodium déca-hydraté (  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ) :**

Il est appelé soude de sel ou soude de lavage qui forme généralement de gros cristaux transparents contenant 37,06 % de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et 62,94 % d'eau. Il peut être cristallisé à partir de solutions aqueuses saturées en dessous de 32,0 °C et au-dessus de -2,1 °C ou en mouillant du carbonate de sodium avec la quantité d'eau calculée dans cette plage de température. Les cristaux s'efflorescent facilement dans l'air sec formant un résidu d'hydrates inférieurs, principalement le monohydrate <sup>[4]</sup>.

### I-1-5 Grades et spécifications du carbonate de sodium :

Le carbonate de sodium est un produit ayant deux qualités principales connues sous le nom de carbonate de sodium léger et de carbonate de sodium dense. Ces qualités ne diffèrent que par des caractéristiques physiques telles que la densité apparente, la taille et la forme des particules, qui influencent les caractéristiques d'écoulement et l'angle de repos.

❖ **Le carbonate de sodium dense :** Il a une densité apparente de 950 à 1100  $\text{kg/m}^3$  et peut se vendre à un prix légèrement plus élevé que la variété légère. Il est préféré pour la fabrication du verre car la variété plus légère conduit à la formation de mousse dans le verre fondu.

❖ **Le carbonate de sodium léger :** est un sel de l'acide carbonique appelé parfois Cristaux de soude, Il a une densité apparente de 520 à 600  $\text{kg/m}^3$ , et est préféré par les industries chimiques et détergentes. D'autres propriétés physiques, ainsi que les propriétés chimiques et les propriétés des solutions, sont communes aux deux qualités de carbonate de sodium.

### I-2 Utilisations dans les secteurs industriels :

L'utilisation des carbonates de sodium évolue peu, seules les proportions varient en fonction des facteurs économiques mondiaux et nationaux. Ainsi le principal débouché de ce produit demeure l'industrie du verre malgré une diminution sensible due à la concurrence sur l'emballage et au recyclage de la matière première.

---

<sup>[4]</sup> Danushka, P. A., op.cit. p06

## CHAPITRE I : Généralités sur le Carbonate de Soude

---

### ❖ Industrie du verre :

Le carbonate de sodium est utilisé dans la fabrication du verre plat et d'emballage. Lorsqu'il est mélangé en proportion avec du sable et du carbonate de calcium, chauffé à la bonne température puis refroidi rapidement, le résultat final sera un verre qui a un excellent niveau de durabilité et de clarté. Le  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  en tant que modificateur de réseau ou fondant, permet d'abaisser la température de fusion du sable et donc de réduire la consommation d'énergie.

### ❖ Industrie chimique :

Le carbonate de sodium est à l'origine de nombreux produits chimiques comme les phosphates alcalins, chromates, nitrites, sulfites, oxalates, silicate de sodium, peroxyde de sodium, dithionite de sodium. Il est utilisé dans de nombreux procédés industriels pour régulariser le pH.

### ❖ Industrie métallurgique :

Utilisé dans le traitement de surface des métaux, le carbonate de sodium est employé également dans le travail de l'aluminium et d'autres métaux non ferreux, il sert à désulfurer le fer et déphosphorer les aciers.

### ❖ Industrie des détergents et savons :

Le carbonate de sodium est utilisé dans un grand nombre de produits ménagers préparés : savons, poudres à récurer, poudres de trempage et de lavage contenant des proportions variables de carbonate de sodium, où le carbonate de sodium agit principalement comme adjuvant ou adoucisseur d'eau. L'ajout de carbonate de sodium empêche l'eau dure de se lier au détergent, permettant une répartition plus uniforme de l'agent de nettoyage pendant le cycle de lavage. De plus, le carbonate de sodium a démontré sa capacité à aider à éliminer les taches d'alcool et de graisse sur les vêtements <sup>[5]</sup>.

### ❖ Traitement de l'eau :

Les eaux de rejet acides de l'industrie sont traitées par le carbonate de soude. De même, il peut être utilisé pour traiter les eaux potables ou industrielles pour supprimer leur dureté et rectifier leur pH ; les eaux circulant dans les chaudières sont également prétraitées avec. Des essais ont également été réalisés pour traiter les effets des " pluies acides ".

### ❖ Industrie papetière :

Il est utilisé dans la préparation du sulfite et du bisulfite de sodium. La solution de carbonate de sodium est utilisée pour la production de sulfite ou de bisulfite de sodium pour la fabrication de pâte à papier par divers procédés au sulfite.

---

<sup>[5]</sup> B.Bourguet (1992) les carbonates et les sulfates de sodium: L'entreprise au service de la terre, France, pp19-21

## CHAPITRE I : Généralités sur le Carbonate de Soude

---

### ❖ Industrie textile :

Le carbonate de sodium est largement utilisé dans la préparation de fibres et de textiles. Dans le traitement de la laine, il est utilisé pendant le lavage et la carbonisation pour éliminer la graisse et la saleté de la laine. Il est également utilisé comme neutralisant après traitement avec des acides.

### ❖ Industrie céramique :

Il est utilisé comme base pour le traitement des argiles.

### ❖ Industrie pétrolière :

Il est employé pour neutraliser les rejets acides des raffineries et aussi comme additif anticorrosion pour le fuel-oil.

### ❖ Industrie du cuir :

Il est utilisé comme agent neutralisant dans le tannage du cuir par le chrome.

### ❖ Industrie de la photographie : Il est utilisé en additif dans les émulsions.

### ❖ Industrie des engrais :

Il est utilisé dans la production des phosphates. Parallèlement la fabrication du  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  de synthèse engendre du chlorure d'ammonium qui est un fertilisant.

### ❖ Divers :

Il est utilisé pour distinguer d'autres ions métalliques, qui seront précipités avec des ions carbonate. Peut distinguer les ions cuivre, fer, calcium, zinc et plomb. Une solution de carbonate de sodium est ajoutée au sel métallique. Le précipité bleu indique les ions  $\text{Cu}^{2+}$ . Un précipité vert sale indique des ions  $\text{Fe}^{2+}$ . Un précipité jaune-brun montre des ions  $\text{Fe}^{3+}$ . Un précipité blanc indique des ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  ou  $\text{Pb}^{2+}$  [6].

Le carbonate de sodium a de nombreuses autres applications comme : l'émaillage, le traitement des saumures, les boues des forages, la nourriture animale, parfums, produits pharmaceutiques colorants, fabrications des colles et résines [7].

**I-3 Extraction naturelle du carbonate de sodium :** Le carbonate de sodium peut être obtenu à partir de gisements naturels de natron ou de trona :

**I-3-1 Le natron :** Il cristallise dans le système monoclinique, sa dureté varie de 1 à 1,5 ; sa densité est le 1,47 (2,25 pour la thermonatrite). Il est très soluble dans l'eau et devient efflorescent à l'air sec et donne la thermonatrite (avec une seule molécule d'eau), il fond facilement en dégageant beaucoup d'eau. Le natron et la thermonatrite se trouvent dans les dépôts d'évaporation de certains lacs salés.

---

[6] R.Aditya and All (2016),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Soda Ash), Chem. Pro. Depart, Gajdah Mada University, Indonesia, p05-06.

[7] Soda Ash manufacturing industry, production of sodium carbonate. NPC, New Delhi, India, pp03-05.

## CHAPITRE I : Généralités sur le Carbonate de Soude

---

L'exemple type de lacs concentrant actuellement du carbonate de sodium est constitué par les lacs de natron de Tanzanie à une superficie de 980 Km<sup>2</sup>, son environnement volcanique est important. Durant la saison sèche une croûte de sel de 0.3 m d'épaisseur se développe sur les surfaces abandonnées par le lac. La croûte est composée de trôna, et thermonatrite (voir figure I-2). Ces évaporites se développent à partir de saumures très basiques (pH compris entre 9.8 et 10.8). Les cations de saumures sont constitués à 98% par le sodium.



**Figure I-2** : Natron Emi Koussi (Tibesti, Tchad)<sup>[8]</sup>.

### I-3-2 Le trôna :

Il cristallise dans le système monoclinique, sa dureté est de 2,5 à 3 et sa densité est comprise entre 2,11 et 2,14. Il fond facilement en dégageant H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> et donne Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (le trôna pur donne 70 % de natron). Sa saveur est salée ; il est très soluble dans l'eau et se trouve dans certains dépôts d'évaporation de lacs salés (Voir figure I-3).

Le lac de Magadi au Kenya se trouve également dans une dépression fermée du rift est-africain au climat aride. Son environnement géologique est aussi composé de roches volcaniques et de sources thermales. En raison sèche, le lac se réduit à quelques mares contenant des saumures, le reste étant occupé par les dépôts de trôna<sup>[9]</sup>.

---

<sup>[8]</sup> Centre National d'Appui à La Recherche (1996) Page Naturelle De la terre Tchadienne, p 12.

<sup>[9]</sup> R.Dyni, R. W. (1998) Proceeding of the first international soda Ash conference. volume 1, WYOMING STATE GEOLOGICAL SURVE, U.S.A, p15.



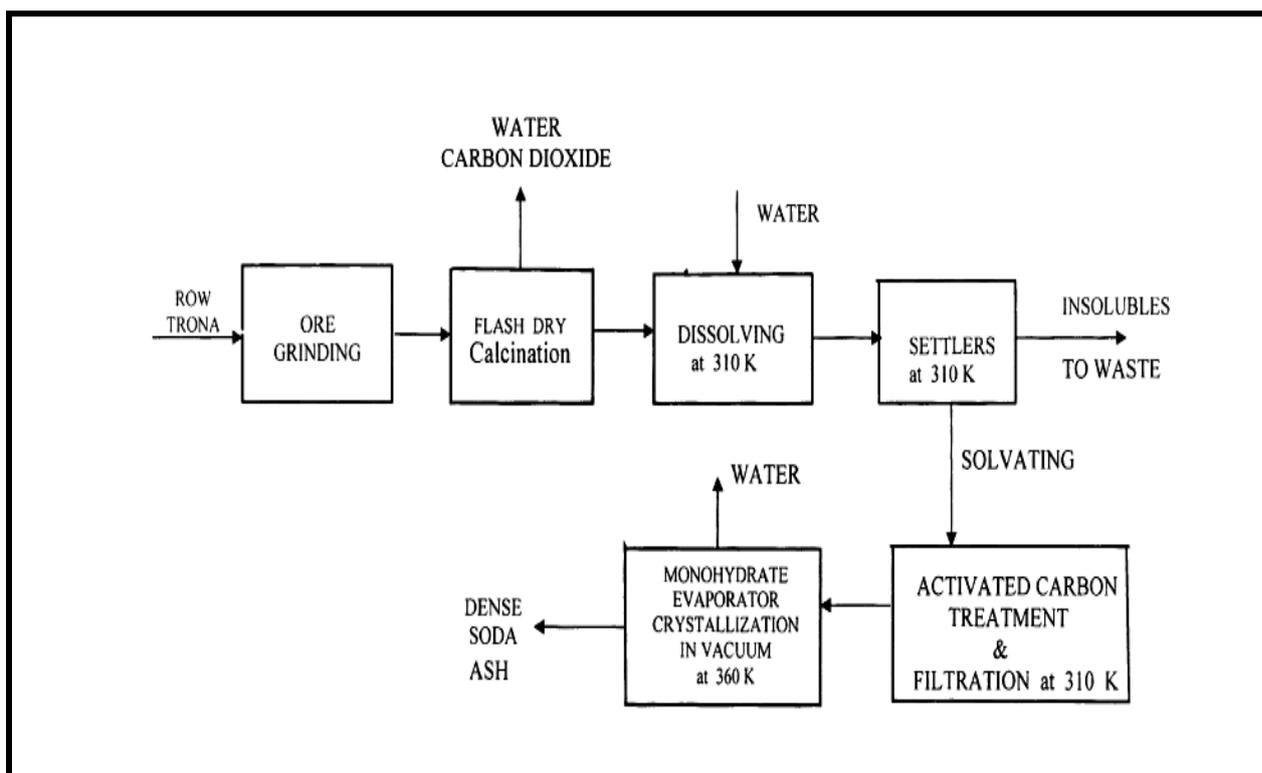
**Figure I-3** : Le lac de Magadi « Kenya » <sup>[10]</sup>.

. Les recherches engagées sur ce dépôt évaporitique ont montré que le trona et les sels l'accompagnant se développaient sur 30 m d'épaisseur environ permettant ainsi une extraction industrielle par « Magadi soda company » qui calcine le trona pour obtenir du carbonate de sodium.

Aux états unis, le gisement de trona du Wyoming est le plus connu au monde, il se trouve à Green River dans le sud-ouest de l'état de Wyoming entre 120 et 1050 m de profondeur. Il s'agit de sédiments déposés dans un lac montrant une succession de marnes, argiles vertes, cendres volcaniques, lits minces de schistes bitumineux et couches évaporitiques de trona pur et de trona avec halite.

---

<sup>[10]</sup> R. Bernhart Owen et al. (2019) Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Angleterre, p97.



**Figure I-4 :** Fabrication de carbonate du soude à partir du trôna <sup>[11]</sup>.

Le carbonate de sodium est un produit faisant l'objet d'échanges internationaux, dont les prix sont fixés principalement par la pureté (ou la densité) du produit. Il existe trois principales régions exportatrices : les États-Unis, l'Union Européenne et la Chine. Ces deux derniers produisent principalement pour couvrir la demande intérieure et exporter à peu près la même quantité. Cependant, la grande majorité de la demande internationale est satisfaite par du carbonate de sodium américain moins cher à base de trôna (voir figure I-4). L'Asie du Sud-Est, l'Asie du Sud et l'Amérique latine sont les principales régions importatrices. L'Afrique et la Russie sont également des importateurs nets du carbonate de sodium.

### **I-3-3-Méthodes d'extraction des produits naturels :**

Dans les mines Wyoming (USA), l'extraction du trôna (voir figure I-5) se fait de manière classique par cavage suivant la méthode des « chambres et piliers » mais également par dissolution des veines de trôna à l'aide de puits d'injection et de récupération de saumure. Cette technique date depuis 1981 met ainsi en œuvre une vingtaine de puits d'injection et d'extraction.

<sup>[11]</sup> A.Demirbas(2001) Production of Sodium. Carbonate From Soda Ash via Flash Calcination in a Drop Tube Urnace,Article,Trabzon,Turkey.

## CHAPITRE I : Généralités sur le Carbonate de Soude

---

Le carbonate de sodium est obtenu par le procédé de « carbonatation directe » qui consiste à :

- L'injection du  $\text{CO}_2$  dans la saumure ;
- Le refroidissement du mélange ;
- La formation des cristaux de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ;
- La filtration et le séchage du  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ;
- La récupération du  $\text{CO}_2$  des gaz de combustion qui est introduit dans le cycle de carbonatation ;
- L'obtention des sous- produits potassiques comme le  $\text{K}_2\text{SO}_4$  et le borax <sup>[12]</sup>.



**Figure I-5** : les mines de « Wyoming USA » <sup>[13]</sup>.

---

<sup>[12]</sup> V.W.Stephen, W.D.Grundy, And J.R.Dyni, Trona Resources In The Green River, U.S.Geological Survey Open-file Report 95-476,U.S.A, pp30-36.

<sup>[13]</sup> Yoming States Park & Cultural Roussources, Trona Trail Interpretive Plan,article,U.S.A, p42.

## CHAPITRE I : Généralités sur le Carbonate de Soude

Les types de minéraux de soude naturels présents dans le monde entier sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau I-1** : Types de minéraux de soude naturels présents dans le monde entier<sup>[14]</sup>.

<b>Minéral</b>	<b>Nom chimique</b>	<b>Composition chimique</b>	<b>% de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>
<b>Trona</b>	Sodium naturel	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .NaHCO <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O	70.3
<b>Nahcolite</b>	Bicarbonate de soude naturel	NaHCO <sub>3</sub>	63.1
<b>Gaylussite</b>	Bicarbonate de soude naturel	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .CaCO <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	35.8
<b>Pirssonite</b>	Bicarbonate de soude naturel	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .CaCO <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O	43.8
<b>Thermonatrite</b>	Carbonate de soude monohydrate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	85.5
<b>Natron</b>	Carbonate de soude decahydrate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .10H <sub>2</sub> O	37.1
<b>Burkeit</b>	-	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .2Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	27.2
<b>Dawsonit</b>	-	NaAl(CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub>	35.8
<b>Hankcité</b>	-	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .9Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .KCl	13.5
<b>Sortite</b>	-	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .2CaCO <sub>3</sub>	34.6

Seuls le Trôna et le Nahcolite sont les minéraux d'intérêt commercial, ces minéraux contenant du Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ont été formés à partir de la roche d'origine par l'action érosive de l'air, de l'eau, de la chaleur et de la pression, suivie de changements chimiques causés par l'action du dioxyde de carbone atmosphérique. Les carbonates contenant les sels formés ont été lessivés par de l'eau puis concentrés et cristallisés par évaporation.

<sup>[14]</sup> Danushka, P.A. op cit, p17.

**CHAPITRE 2 :**  
**Procédés de fabrication du**  
**carbonate de soude**

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

---

### II-1 L'historique de la fabrication du carbonate de sodium :

A la fin du 18<sup>ème</sup> siècle, la production disponible en carbonate de sodium était bien au-delà de la demande croissante due au marché du savon et du verre. L'académie française des sciences a décerné un prix pour l'invention d'un procédé pratique de fabrication du carbonate de sodium. Nicolas Leblanc<sup>[15]</sup> proposa un procédé à partir du sel commun et obtint un brevet en 1791. Le procédé dit « Leblanc » ou « la cendre noire » a été développé entre 1825 et 1890. L'inconvénient majeur de ce procédé était son impact environnemental avec l'émission de grandes quantités de gaz de chlorure d'hydrogène et la production de déchets solides de sulfure de calcium, mais aussi il produit des gaz toxiques.

En 1861, Ernest Solvay<sup>[16]</sup> redécouvre et perfectionne le procédé à base de sel commun, de calcaire et d'ammoniac. La concurrence entre les deux procédés a duré de nombreuses années mais une relative simplicité des coûts d'exploitation réduits et, surtout, un impact environnemental réduit du procédé Solvay ont assuré son succès. À partir de 1885, la production de «Leblanc» a pris une courbe descendante tout comme le prix du carbonate de sodium et par la première guerre mondiale, la production du carbonate de sodium de «Leblanc», a pratiquement disparu. Depuis lors, le seul procédé de production utilisé en Europe occidentale ainsi que dans la majeure partie du monde est le procédé «Solvay».

Il y a un siècle environ, un chimiste chinois Hou Debang<sup>[17]</sup> a développé un autre procédé, même que le procédé de Solvay dans les premières étapes. Mais, au lieu de traiter la solution restante avec de la chaux, du dioxyde de carbone et de l'ammoniac sont pompés dans la solution, et du chlorure de sodium est ajouté jusqu'à ce qu'il soit saturé à 40°C. Ensuite, la solution est refroidie à 0°C.

Entre temps et principalement depuis les années vingt, plusieurs gisements de minéraux contenant du carbonate ou du bicarbonate de sodium ont été découverts.

Néanmoins, la pureté du minerai et la localisation de ces gisements, ainsi que les conditions d'exploitation de ces minéraux, ont limité le nombre effectif d'usines mises en service. Aperçu sur le type de production l'emplacement géographique et les caractéristiques du site telles que les questions environnementales, les ressources énergétiques spécifiques, les méthodes de distribution et les barrières commerciales sont des éléments clés dans une sélection de méthode de traitement. Le carbonate de sodium est facilement produit à partir de gisements naturels ou de trôna ou par des voies synthétiques.

---

<sup>[15]</sup> RP.Oesper(1942) Nicolas Leblanc (1742-1806), J.Chem.Ed.19,U.S.A, pp567-572.

<sup>[16]</sup> W.A.Compbell(2000), The Alkali Industry,Chemie,Société et environnemnt,U.S.A, pp75-106.

<sup>[17]</sup> J.P.Detournay, D. (2004). Soda Ash Process BREF. ESAPA ,p10.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

### II-2 Origines synthétiques :

Les méthodes synthétiques « soude de commerce » sont produits industriellement par des procédés connus depuis longtemps et sont présentées ci-dessous par l'ordre chronologique :

- ❖ Procédé Le Blanc.
- ❖ Procédé Solvay.
- ❖ Procédé de Hou.

#### II-2-1 Procédé «Leblanc»:

Ce procédé inventé par Nicolas Leblanc<sup>[18]</sup> réalisé à une échelle commerciale, se déroule selon les réactions suivantes :



Un mélange de quantités équivalentes de sel et d'acide sulfurique concentré est chauffé dans un four à gâteau de sel en fonte. De l'acide chlorhydrique se dégage et de l'hydrogénosulfate de sodium se forme. Le gaz est dissous dans l'eau et le mélange est ratisé et transféré au four à réverbère à lit de moufle où il est soumis à une chaleur plus forte. Ici, du sulfate de sodium appelé gâteau de sel se forme. Le gâteau est brisé, mélangé avec du coke et du calcaire et chargé dans un four à cendres noires. La masse est chauffée et une masse grise poreuse dite de cendre noire est retirée. Le frêne noir est lessivé avec de l'eau en l'absence d'air dans une série de réservoirs. L'extrait contenant du carbonate de sodium, de l'hydroxyde de sodium et de nombreuses autres impuretés, est pulvérisé du haut d'une tour à contre-courant du flux de gaz chauds du four à cendres noires. Cela convertit l'hydroxyde de sodium, l'aluminate, le silicate, le cyanate en carbonate de sodium. La liqueur est concentrée dans des casseroles ouvertes jusqu'à ce que la solution soit concentrée dans des casseroles ouvertes jusqu'à ce que la solution soit suffisamment concentrée pour précipiter le carbonate de sodium lors du refroidissement<sup>[19]</sup>.

Le produit est calciné pour obtenir du carbonate de sodium brut qui est purifié par recristallisation. La liqueur restante après. L'élimination de la première récolte de cristaux de soude est purifiée pour éliminer le fer et caustifiée avec de la chaux pour produire de la soude caustique. La boue restante dans les réservoirs de lixiviation contenant du sulfure de calcium est

<sup>[18]</sup> A.Heaton(1996) Introduction à La Chimie Ind,3<sup>eme</sup> Ed, Blackie Academic And Professional,U.S.A,pp62-65.

<sup>[19]</sup> J.P.Detournay, op cit ,pp11-15

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

mise en suspension dans l'eau et le gaz du four à chaux y passe. La réaction suivante se produit :



Le gaz pauvre contenant du sulfure d'hydrogène est passé à travers un autre réservoir contenant une suspension de sulfure de calcium.



Cette solution est à nouveau traitée avec du gaz de four à chaux libérant un gaz riche en hydrogène sulfuré :



Le sulfure d'hydrogène est brûlé dans un apport limité d'air dans un four spécial en présence d'oxyde de fer hydraté comme catalyseur pour obtenir du soufre.



Ce soufre est sublimé et récupéré. L'acide chlorhydrique produit par le procédé Leblanc était une source majeure de pollution de l'air, et le sous-produit de sulfure de calcium présentait également des problèmes d'élimination des déchets. Cependant, il est resté la principale méthode de production de carbonate de sodium jusqu'à la fin des années 1880 (voir figure II-1).

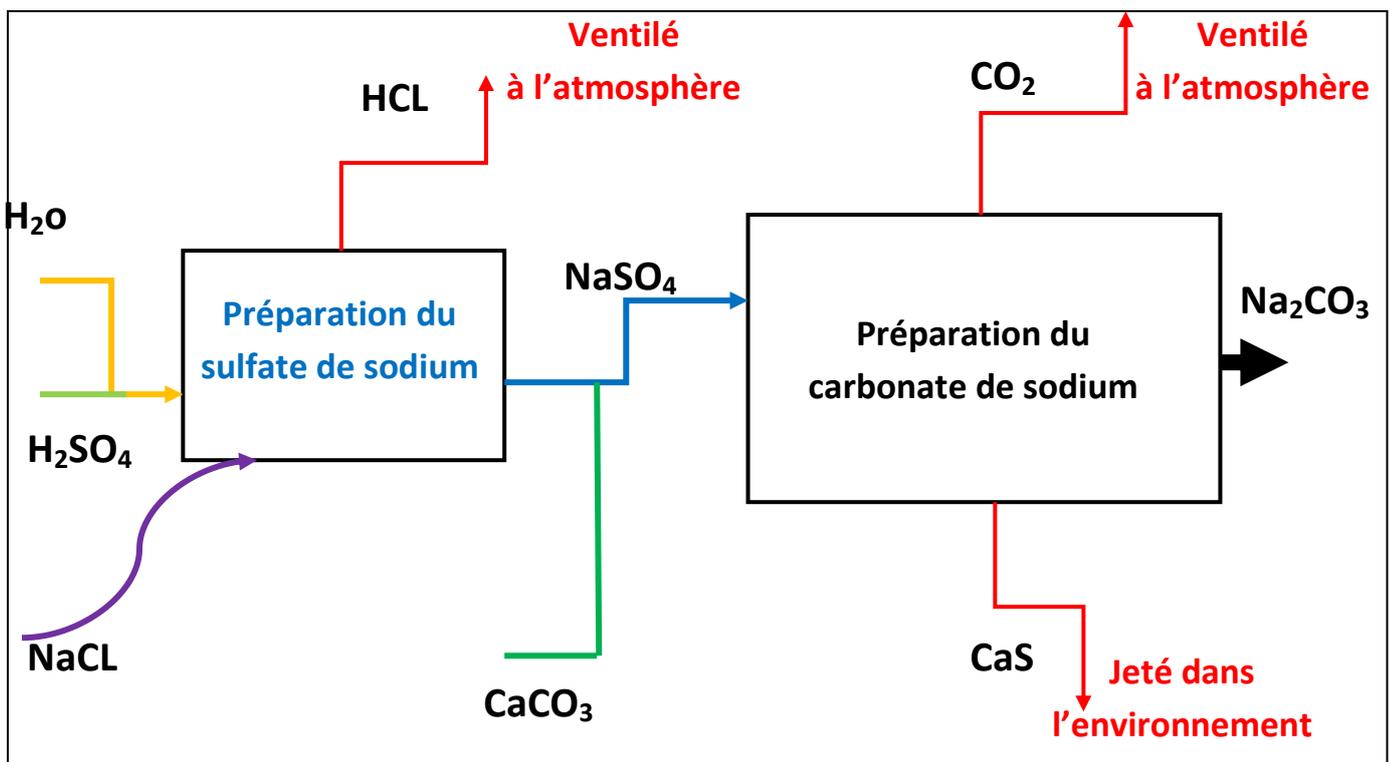


Figure II-1 : Schéma explicatif du procédé de Leblanc <sup>[20]</sup> .

<sup>[20]</sup> S.Orgul(2003) Evaluation of soda ash production, The Middle East Technical University, Ankara, Turquie, p54.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

### ❖ Inconvénients de procédé Leblanc:

Ce procédé présente quelques inconvénients :

- Consommation élevée en combustible,
- Main d'œuvre très importante et conditions de travail pénibles,
- Dégagement de produits toxiques,
- La soude brute contient : 36 à 46% en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 27 à 31%  $\text{CaS}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

### II-2-2 Procédé Solvay :

En 1861, le chimiste industriel belge Ernest Solvay <sup>[21]</sup> a développé une méthode pour convertir le chlorure de sodium en carbonate de sodium à l'aide d'ammoniac (voir figure II-2). Le procédé Solvay était centré sur une grande tour creuse. Au fond, du carbonate de calcium a été chauffé pour libérer du dioxyde de carbone selon la réaction suivante :



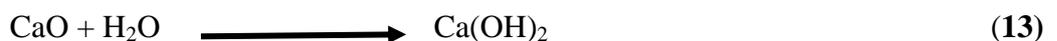
Au sommet, une solution concentrée de chlorure de sodium et d'ammoniac pénètre dans la tour. Au fur et à mesure que le dioxyde de carbone bouillonnait, du bicarbonate de sodium précipitait selon la réaction suivante :



Le bicarbonate de sodium a ensuite été converti en carbonate de sodium en le chauffant, libérant de l'eau et du dioxyde de carbone :



Pendant ce temps, l'ammoniac a été régénéré à partir du sous-produit de chlorure d'ammonium en le traitant avec de la chaux laissée par la génération de dioxyde de carbone :



### ❖ Avantages du procédé Solvay : Ce procédé :

- Peut utiliser de la saumure de qualité inférieure.
- Consomme moins d'électricité.
- Engendre moins de problèmes de corrosion.
- Ne produit aucun co-produit à éliminer.
- Ne nécessite pas d'investissement dans une usine d'ammoniac.

<sup>[21]</sup> J.C.Charpotier (2000) Fabrication Des Grands Produits Industriels En Chimie (2<sup>ème</sup> éd.). Technique De L'ingenieur ,France,pp26-27.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

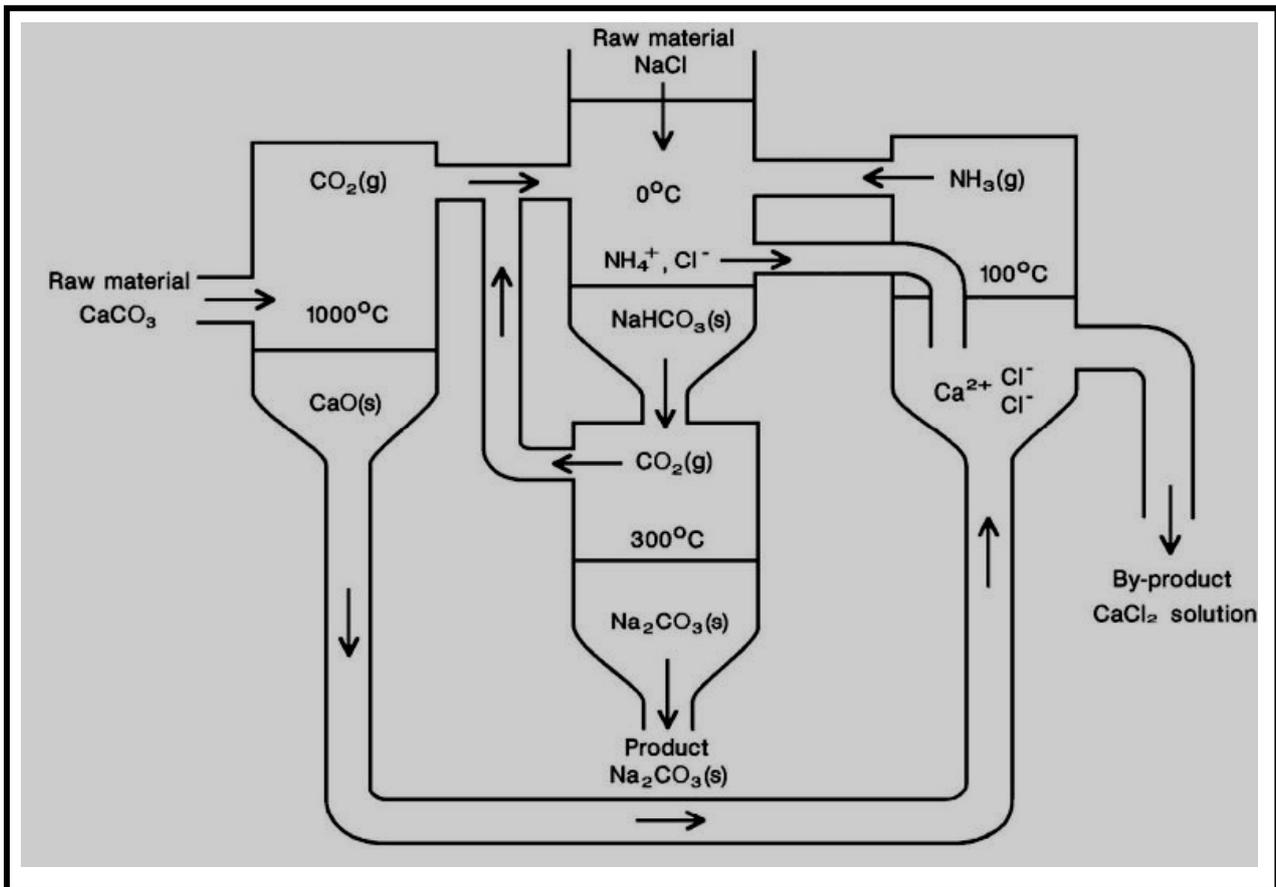


Figure II-2 : Schéma du procédé de Solvay <sup>[22]</sup>

### ❖ Inconvénients du procédé Solvay :

- Consommation plus élevée de sel,
- Investissement plus important dans l'unité de récupération d'ammoniac par rapport aux unités de cristallisation pour le chlorure d'ammonium,
- Élimination des déchets du flux de saumure de chlorure de calcium,
- Consommation plus élevée de vapeur,
- Usine de plus grande capacité pour un fonctionnement économique à l'équilibre,
- Avec la pénurie actuelle d'engrais, tout le chlorure d'ammonium sera utilisé comme ingrédient d'engrais chimique mélangé, donc l'élimination des co-produits ne pose aucun problème <sup>[23]</sup>.

<sup>[22]</sup> Shakhshiri (2010) Sodium Hydrogen Carbonate And Sodium Carbonate, Chemistry, article 104-2, U.S.A., p02.

<sup>[23]</sup> D.F.Kiefer (2002) Soda Ash, Solvay Style, 11 :2, Université de porto, Portugal, pp87-90.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

---

### II-2-3 Procédé Hou :

Ce procédé a été développé par un chimiste chinois Hou Debang <sup>[24]</sup> en 1930. Son principe est similaire que le procédé Solvay dans les premières étapes ; on l'appelle aussi le procédé Solvay modifié. Cependant, au lieu de traiter la solution restante avec de la chaux, du dioxyde de carbone et de l'ammoniac sont pompés dans la solution, et du chlorure de sodium est ajouté jusqu'à ce qu'il soit saturé à 40 °C. Ensuite, la solution est refroidie à 10 °C. Le chlorure d'ammonium précipite et est éliminé par filtration, la solution est recyclée pour produire davantage de bicarbonate de sodium. Ce procédé élimine la production de chlorure de calcium et le sous-produit de chlorure d'ammonium peut être utilisé comme engrais.

#### ❖ Avantages du procédé Hou (Solvay modifié) :

- Il remplace le chlorure de calcium comme sous-produit par le chlorure d'ammonium, qui peut être recyclé pour être réutilisé dans le processus, raffiné et utilisé comme engrais pour la culture du riz.
- Il élimine le besoin de lits de déchets et d'autres méthodes d'élimination, car les sous-produits peuvent être utilisés dans d'autres productions.
- Il est beaucoup plus économique et écologique que les procédés Leblanc et Solvay d'origine.
- Comme le chlorure d'ammonium est plus utile que le chlorure de calcium, il est plus économiquement avantageux pour les usines Solvay d'utiliser le procédé de Hou dans leurs usines.

#### ❖ Inconvénients du procédé Hou (Solvay modifié) :

- Plus cher que le procédé Solvay.
- Nécessite le remplacement ou la modification des machines existantes.

---

<sup>[24]</sup> Jain, R.S And Mahajan (1982) Modified Solvay Process And Pollution Control At PNFC. Chem.Eng.World,19(4) ,Arabie Saoudite, pp17-72.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

**Tableau II-1 : Comparaison du procédé Solvay avec d'autres méthodes de production.**

	<b>Procédé Leblanc</b>	<b>Procédé Solvay</b>	<b>Procédé Hou</b>
<b>Sous-produits</b>	La soude brute contient : 36 à 46% en $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 27 à 31% $\text{CaS}$ , $\text{CaO}$ , $\text{CaCO}_3$ , $\text{NaCl}$ , $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .	Chlorure de calcium - relativement inutile, la plus grande partie doit être éliminée.	Chlorure d'ammonium - très utile dans la production d'engrais. Ça peut être recyclé pour réutiliser l'ammoniac.
<b>Pollution thermique</b>	La chaleur est libérée et absorbée dans l'eau.	La chaleur est libérée et absorbée dans l'eau	La chaleur est libérée et absorbée dans l'eau
<b>Pollution de l'air</b>	Dégagement de produits toxiques	Ammoniac gazeux (toxique), mais c'est réutilisé donc la perte est minime	Ammoniac gazeux (toxique), mais c'est réutilisé donc la perte est minime.
<b>Consommation d'énergie</b>	Consommation d'énergie plus élevée par rapport aux autres procédés.	Température relativement basse et la plus élevée requis est $300^\circ\text{C}$ . D'autres réactions prennent place à $+40^\circ\text{C}$	Inférieur au procédé Solvay, le plus élevé la température requise est de $300^\circ\text{C}$ , cependant d'autres réactions ont lieu à sur la température ambiante.
<b>Utilisation de l'eau</b>	Consommation élevée	De grandes quantités d'eau sont nécessaires pour garder les pièces de la machine au frais. L'eau peut être refroidi et réutilisé.	une grande quantité d'eau est nécessaire pour garder les pièces de la machine au frais. L'eau peut être refroidi et réutilisé.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

### II-2-4 Choix du procédé :

Notre choix a porté sur le procédé Solvay pour la production du carbonate de sodium pour les raisons suivantes :

- ❖ Les matériaux utilisés dans le procédé Solvay sont disponibles et bon marché.
- ❖ C'est une méthode à faible coût.
- ❖ L'oxyde de carbone et l'ammoniac sont récupérés et réutilisés.
- ❖ Le processus est sans pollution si l'ammoniac est contrôlé.
- ❖ On obtient du carbonate de sodium d'une pureté très élevée.

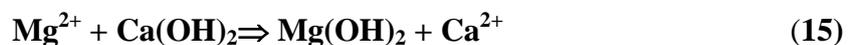
### II-3 Description du procédé Solvay :

#### II-3-1 Purification de la saumure :

La première étape est la purification de la saumure, cette étape est effectuée afin d'obtenir une solution de chlorure de sodium pur. Le chlorure de sodium utilisé comme matière première dans le verre est disponible naturellement, il est fréquemment obtenu par l'extraction par dissolution de gisements de sel. La saumure contient toujours des impuretés inorganiques telles que des sels de magnésium et de calcium et certaines saumures contiennent également des sulfates. Si les impuretés ne sont pas éliminées, elles posent des problèmes de production : elles réagissent avec les alcalis et le dioxyde de carbone pour produire des sels insolubles et affectent également la qualité du carbonate de sodium finalement produit. La purification de la saumure est réalisée par le traitement chaux-soude.

Dans le procédé chaux-soude, les ions magnésium sont précipités sous forme d'hydroxyde avec du lait de chaux (concentration en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  : 170 – 185  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) et les ions calcium sont précipités sous forme de carbonate avec du carbonate de sodium (Concentration en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  : 65 – 80  $\text{kg}/\text{m}^3$ )<sup>[25]</sup>.

Le processus chaux-soude est donné par les réactions chimiques :



La saumure est transférée vers les absorbeurs d'ammoniac après la séparation des impuretés précipitées.

<sup>[25]</sup> KM. Wagialla, I.S. Al-Mutaz and M.E. El-Dahshan ,Chemical Engineering Department, King Saud University, Riyadh 11421, Arabie Saoudite, p147.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

### II-3-2 Combustion et extinction du calcaire :

Le calcaire acceptable doit être de très haute pureté ( $\text{SiO}_2 : < 3\%$  ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 : < 1,5\%$ ) ou contenir une faible concentration d'impuretés. Il doit être dur et résistant avec la même grosseur grossière. Le calcaire est fréquemment mélangé à environ 7 % de coke ou de charbon de qualité métallurgique et brûlé dans des fours à puits verticaux. Le calcaire est calciné avec du coke pour produire du dioxyde de carbone qui est utilisé dans l'étape de carbonatation et il produit également de l'oxyde de calcium qui est utilisé pour la récupération par distillation de l'ammoniac.

La combustion du calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) s'effectue à une température comprise entre  $950^\circ\text{C}$  et  $1100^\circ\text{C}$ . Le dioxyde de carbone est produit par la décomposition du calcaire et également par la combustion :



Les gaz du four sont dilués avec de l'azote de l'air de combustion. Le gaz contient de 37 à 42 % de  $\text{CO}_2$ , de la poussière de pierre, des particules de cendres et d'autres impuretés gazeuses. Le gaz chaud est refroidi et nettoyé par contact direct avec de l'eau. Le gaz est ensuite transféré vers les compresseurs de dioxyde de carbone, puis acheminé vers les colonnes de carbonatation. La chaux du four est refroidie par l'air qui pénètre dans les parties inférieures du four à cuve. Après le refroidissement, la chaux est déchargée du four et réagit avec de l'eau de refroidissement utilisée ( $50 - 65^\circ\text{C}$ ) pour produire une suspension épaisse d'hydroxyde de calcium ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dans l'eau (lait concentré de chaux à une température de  $90 - 100^\circ\text{C}$ ) :



La teneur en oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ) du lait de chaux peut atteindre  $5,5 \text{ mol/L}$  dans des conditions favorables. Le lait de chaux est ajouté à l'étape de distillation lors de la récupération de l'ammoniac. Avant que le lait de chaux ne soit ajouté à l'étape de distillation, le sable grossier et le calcaire non brûlé sont éliminés par des tamis, mélangés avec du nouveau calcaire et recyclés dans le four <sup>[26]</sup>

### II-3-3 Absorption de l'ammoniac:

Le gaz de l'étape de distillation contient de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et est saturé de vapeur d'eau dans une tour d'absorption. À ce stade de l'absorption de l'ammoniac, le gaz est absorbé par la saumure purifiée. La saumure ammoniacale obtenue se compose de  $85 \text{ à } 90 \text{ kg/m}^3$  d'ammoniac et de  $40 \text{ à } 50 \text{ kg/m}^3$  de dioxyde de carbone. La teneur en chlorure de sodium est réduite de  $300 \text{ g/L}$  à  $260 \text{ g/L}$  en raison de l'augmentation du volume spécifique de la liqueur causée par l'ajout d'ammoniac et par dilution avec de l'eau.

<sup>[26]</sup> G. Steinhauser ( 2007) Journal Of Cleaner Production In The Solvay Process , University of Technology, Vienna, Austria, ,p834

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

Les réactions qui se produisent dans la phase d'absorption sont fortement exothermiques et données par les équations chimiques:



La réaction nécessite un refroidissement du liquide. La saumure a besoin d'être refroidie (394 kcal/kg) du produit de la soude pendant l'ammonisation. Ce processus est effectué à un peu moins que la pression atmosphérique. La température de la saumure d'entrée est d'environ 30°C et celle de sortie est d'environ 36°C à 42°C <sup>[27]</sup>.

### II-3-4 Précipitation du bicarbonate:

La précipitation du carbonate de sodium est un processus exothermique.



Cette réaction implique la réaction de la saumure ammoniacquée et du dioxyde de carbone. La saumure ammoniacquée provient de l'étape d'absorption tandis que le dioxyde de carbone provient du four à chaux ou de l'étape de calcination. La saumure ammoniacquée est pompée au sommet de l'une des colonnes utilisées pour précipiter le bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ). Cette colonne qui a été encrassée ou partiellement bouchée avec du bicarbonate de sodium après plusieurs jours de cristallisation est appelée colonne de « nettoyage ».

Le gaz du four à chaux est comprimé à environ 414 kPa, pénètre dans le fond de la colonne et bouillonne à travers la solution et absorbe également une grande quantité de dioxyde de carbone. La concentration de dioxyde de carbone dans le liquide sortant de la colonne est maintenue en dessous du niveau de précipitation du bicarbonate. Cependant, si des précipitations se produisent, elles sont dissoutes par la saumure ammoniacquée fraîche qui est assistée par l'agitation du gaz.

Relativement peu de refroidissement est nécessaire dans cette tour. La liqueur qui quitte cette colonne est introduite en haut des colonnes restantes du bloc. Le dioxyde de carbone du four à chaux est également injecté à partir du fond de ces colonnes. Ces colonnes sont connues sous le nom de « colonne de fabrication » car la précipitation de bicarbonate de sodium est autorisée ici.

Ce processus de précipitation s'accompagne de l'évolution d'une chaleur considérable qui doit être éliminée pour améliorer le rendement. Les cristaux formés au cours de l'étape de carbonatation encombrant progressivement les surfaces d'échange de chaleur et ces colonnes cristallisantes doivent donc avoir la capacité d'agir comme la colonne de « nettoyage » <sup>[28]</sup>.

<sup>[27]</sup> J. A. Brink, Sodium Carbonates in ECT 1<sup>st</sup> Ed., Vol. 12, U.S.A, pp 601–602.

<sup>[28]</sup> Jr. Purdue, University; Sodium Compounds, Carbonates 2<sup>nd</sup> Ed., Vol. 18, New York, U.S.A, p 459.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

Le liquide est ensuite placé parallèlement au sommet des autres colonnes. La température dans les colonnes est de 50 à 60 °C. La précipitation du bicarbonate de sodium se produit après avoir fait les colonnes pour recevoir le mélange de gaz du four et de bicarbonate qui bouillonne à travers la solution.

La suspension de bicarbonate dans la liqueur mère quitte l'étape de carbonatation à une température de 30°C. L'azote gazeux et une partie du dioxyde de carbone et de l'ammoniac sont évacués des colonnes de la tour cristallisante et collectés avant d'être recyclés à l'étape d'absorption.

### II-3-5 Filtration du bicarbonate:

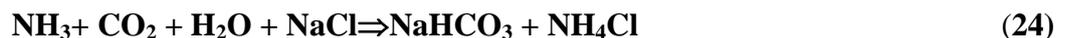
Les cristaux de bicarbonate sont normalement séparés de la liqueur mère par l'utilisation de filtres à vide, de filtres à bande et de centrifugeuses. La boue, recueillie dans les tours de cristallisation, est acheminée vers des filtres à vide continus ou des centrifugeuses qui séparent les cristaux de la « liqueur filtrante ». Lorsque des filtres sont utilisés, les pompes à vide tirent l'air à travers le gâteau et après cela, le gaz qui transporte l'ammoniac et un peu de dioxyde de carbone est nettoyé et libéré dans l'atmosphère.

Le gâteau de filtration est lavé soigneusement avec de l'eau et le chlorure de liqueur mère restant est éliminé. Le chlorure de liqueur mère est envoyé à un stade de calcination et la liqueur mère en phase liquide est envoyée au stade de la distillation pour la récupération de l'ammoniac.

### II-3-6 Calcination du bicarbonate en carbonate de soude:

La calcination du bicarbonate est généralement effectuée dans des calcinateurs rotatifs qui sont chauffés à l'extérieur avec du charbon, du pétrole ou du gaz ou à l'intérieur avec de la vapeur. La décomposition thermique du bicarbonate brut en carbonate dégage du dioxyde de carbone, de l'ammoniac et de la vapeur d'eau <sup>[29]</sup>.

Le produit carbonaté est du carbonate de soude de qualité technique qui contient du chlorure de sodium. La réaction principale est



La chaleur est nécessaire pour les calcinations du bicarbonate. La quantité de chaleur nécessaire est de 0,92 GJ/t de carbonate de sodium, mais la valeur indiquée n'inclut pas la quantité de chaleur requise pour sécher le produit. La chaleur totale requise pour les calcinations du bicarbonate dans les fours rotatifs est de 3,7 GJ/t de carbonate de sodium.

<sup>[29]</sup> E. Rau, FMC Corp. Alkali and Chlorine Products—Sodium Carbonate, 3<sup>rd</sup> Ed., Vol. 1, Philadelphia, U.S.A., p 872.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

---

La chaleur est fournie à une température de 180°C. La température de décomposition du bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) est de 87,7°C. Les gaz extraits des calcinateurs rotatifs contiennent du dioxyde de carbone, de l'ammoniac, de l'eau de l'air de fuite et de grandes quantités de poussière de carbonate de sodium et de bicarbonate. Le gaz est refroidi et également lavé avec de la saumure et de l'eau pour éliminer l'ammoniac et condenser l'eau avant de l'utiliser dans l'étape de carbonatation. Les condensats formés sont envoyés à l'étape de distillation pour la récupération de l'ammoniac.

### II-3-7 Récupération de l'ammoniac :

La liqueur du perméat contient du chlorure de sodium n'ayant pas réagi et pratiquement tout l'ammoniac avec lequel la saumure était initialement saturée. L'ammoniac ou le chlorure d'ammonium « fixe » correspond stoechiométriquement au bicarbonate de sodium qui avait été précipité. L'ammoniac « libre » comprend l'hydroxyde d'ammonium, le bicarbonate, le carbamate et les différents composés carbonés possibles de l'ammoniac qui se décomposent à des températures modérées. Avant le préchauffage, une solution de sulfure peut être ajoutée pour la protection contre la corrosion.

Le sulfure est distillé pour une éventuelle absorption par la saumure dans l'absorbeur. La liqueur de perméat est préchauffée par contact indirect avec les gaz sortant du distillateur. La liqueur d'alimentation réchauffée pénètre ensuite dans les sections principales remplies de coke ou de bouchons à bulles du distillateur où la chaleur décompose les composés d'ammonium libres et la vapeur élimine presque tout l'ammoniac libre et le dioxyde de carbone.

La solution sans dioxyde de carbone est ensuite traitée avec du lait de chaux. Ici, le chlorure d'ammonium réagit avec le lait de chaux et l'ammoniac dégagé qui est renvoyé vers le distillateur. La solution chaude de chlorure de calcium résultante, contenant de l'ammoniac résiduel sous forme d'hydroxyde d'ammonium, retourne dans la partie inférieure du distillateur. La vapeur à basse pression balaie tout l'ammoniac de la solution chaulée. La solution finale, connue sous le nom de "déchets de distillerie", contient du chlorure de calcium, du chlorure de sodium n'ayant pas réagi et l'excès de chaux qui est dilué par la vapeur condensée<sup>[30]</sup>.

Les déchets de distillerie contiennent également l'inerte de cette solution. Les liqueurs résiduelles sont pompées vers des bassins de décantation où se déposent les matières en suspension. Le trop-plein transparent contient des sels dissous qui sont des contaminants indésirables et doivent être traités. Le mélange chaud (56°C) d'ammoniac humide et de dioxyde de carbone sortant du haut du distillateur est refroidi pour éliminer la vapeur d'eau avant d'être envoyé à l'absorbeur.

---

<sup>[30]</sup> A. S. Robertson, Allied, Chemical Corporation, Alkali and Chlorine Products—Sodium Carbonate, 4<sup>th</sup> Ed. Vol. 1, U.S.A., pp1025-1035.

## CHAPITRE II : Procédés de Fabrication du carbonate de soude

---

Pour produire du chlorure de calcium, la liqueur résiduaire du distillateur est décantée puis évaporée dans des évaporateurs à effets multiples et ainsi la majeure partie du chlorure de sodium est séparée. La solution restante est encore concentrée pour donner  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Cette solution est ensuite refroidie pour former des flocons qui sont finalement séchés dans un séchoir rotatif, donnant un produit de 77 à 80 % de chlorure de calcium pur. Simultanément, une petite quantité est traitée pour former du sel anhydre.

Dans un procédé de fabrication de chlorure d'ammonium en tant que sous-produit, une plus grande quantité d'ammoniac est d'abord ajoutée à la liqueur du perméat et est refroidie à 10 C°. Le chlorure de sodium solide est ensuite dissous et ainsi précipite, le chlorure d'ammonium qui est séparé pour la vente. La liqueur mère est recyclée vers l'opération de carbonatation <sup>[31]</sup>.

---

<sup>[31]</sup> F. Rauh, FMC Corporation: 5<sup>th</sup> Ed., Vol. 22, Philadelphia, U.S.A, pp782-789.

**CHAPITRE 3 :**  
**Matières premières utilisées**  
**et impact environnemental**

## **CHAPITRE III: Matières Premières Utilisées et Impact Environnemental**

Il est très utile de connaître les matières premières utilisées pour comprendre les motivations des implantations des unités de production. Si les premières soudières se sont groupées dans l'Est de l'Algérie, c'est à la présence des gisements de sel gemme et des sols calcaires qu'elles le doivent. De plus, la proximité des houillères du Nord, facilitaient l'approvisionnement en combustible pour les fours à chaux.

Les matières premières étant très pondéreuses, la région de l'Est sillonnée par de nombreuses voies a favorisé, en outre, de tels transports ; d'ailleurs cette situation présentait aussi un grand intérêt pour les transports des produits des industries en aval.

Actuellement, en raison des procédés électrolytiques employés et de l'arrêt des procédés à la chaux pour la fabrication de la soude, les nouvelles unités de soude ont été installées dans les zones consommatrices, les usines de l'Est de l'Algérie assurant essentiellement la production de la matière première.

### **III-1 Matières premières :**

Les matières premières utilisées dans le procédé Solvay sont le chlorure de sodium et le calcaire ; l'ammoniac intervient dans la fabrication mais il est presque totalement recyclé. On a donc :

- La saumure concentrée,
- Le calcaire (pour fournir du CO<sub>2</sub> et de la chaux vive),
- L'ammoniac,
- Le charbon (comme source de chaleur et d'électricité).

#### **III-1-1 Les saumures résiduelles :**

Le sel est un produit cristallin se composant principalement de chlorure de sodium. Le chlorure de sodium est un cristal ionique de formule chimique NaCl. C'est un solide blanc, soluble dans l'eau à toute température, légèrement soluble dans l'alcool et insoluble dans l'acide chlorhydrique concentré. Cependant, selon son lieu et sa méthode de production, le sel contient entre 94 et 99% de chlorure de sodium mais aussi d'autres sels secondaires (sels de magnésium, de potassium ou de calcium) <sup>[32]</sup>.

---

<sup>[32]</sup> H.Krachi (2017) Contrôle De Qualité De Sel Fabriqué l'ENASEL, Département De Chimie, Mémoire Du Master, Algérie , pp 07-10.

## CHAPITRE III: Matières Premières Utilisées et Impact Environnemental

Le sel de mer contient en moyenne 30g/l des sels divers:

- Chlorure de sodium : 28,5g/l
- Chlorure de magnésium : 3,7g/l
- Sulfate de magnésium : 2,2g/l
- Chlorure de potassium : 0,7g/l
- Carbonate de calcium : 1,4g/l
- Bromure de potassium : 0,1g/l

Le chlorure de sodium (voir figure III-1) est formé de deux ions : le chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) et le sodium ( $\text{Na}^+$ ), dans la proportion 60%-40% environ. C'est ce sel qui est principalement récolté et dont on parlera tout au long de ce mémoire sous le terme vulgarisé de «sel».



**Figure III-1: Les cristaux de sel** <sup>[33]</sup>.

L'Algérie possède des potentialités importantes en sel, grâce notamment à la richesse de son sous-sol en sel rocheux (diapirs visibles ou cachés, couches souterraines) et aux conditions climatologiques très favorables pour la production de sel solaire dans les chotts ou lacs intra-montagneux du Nord, chotts ou lacs des hauts plateaux et des hautes plaines et les chotts ou vastes dépressions de la plateforme saharienne.

Le potentiel des réserves de sel en Algérie est considérable et se compose, Du Nord au Sud du pays, on distingue :

- Les lacs intra-montagneux : Béthioua, Sidi Bouziane et Ouled Zouai.
- Les chotts des Hauts Plateaux : El Hodna, Zahrez Chergui et Zahrez Gherbi.
- Les chotts de la plateforme saharienne : Mérouane et Melghir.

---

<sup>[33]</sup> K.Berrabah (2017) Suivie Du Processus De Fabrication Du Sel Dans L'Entreprise ENASEL Département De Chimie, Algérie, p09.

## CHAPITRE III: Matières Premières Utilisées et Impact Environnemental

- ❖ **Gisements de sel exploités** : parmi tous ces gisements de sel solaire, seuls les lacs salés de Béthioua, Sidi Bouziane, Ouled Zouai et le grand chott Mérouane, qui font l'objet actuellement d'exploitation. Les principaux gisements connus sont présentés dans le Tableau III-1.

**Tableau III-1:** Principaux gisement de sel en Algérie.

Lieu	Type de gisement	Réserves
Béthioua (W. Oran)	Lac	7,2 millions de tonnes
Sidi Bouziane (W.Relizane)	Lac	6,4 millions de tonnes
Ouled Zouai (W.O.E.Bouaghi)	Lac	Apport annuel non évalué
El Hodna (W. Constantine)	Chott	Apport annuel non évalué
Zahrez Chergui et Gherbi (W.Djelfa)	Chotts	35 à 45 millions de tonnes
Mérouane (El Oued)	Chott	0,8 million tonnes/an

L'importance de ces ressources conduit à privilégier le développement de l'industrie salinière en matière de production et de transformation dont une grande partie trouverait des débouchés à l'exportation.

L'Entreprise Nationale de Sel (ENASEL) est le plus grand producteur et distributeur sur le marché algérien des sels, son siège social est situé à Constantine. Elle est une entreprise publique économique (EPE), société par action au capital social de 504.000.000 DA, elle réalise annuellement un chiffre d'affaires moyen de 1 milliard de dinars (15 millions de dollars US) dont un quart à l'exportation.

La production de L'ENASEL provient de cinq salins localisés à Béthioua (Oran), Sidi Bouziane (Relizane), Guergour Lamri (Sétif), El Méghaïer (El Oued) et Ouled Zouaï (Oum el Bouaghi) une quantité annuelle de 400.000 tonnes de sel solaire et d'une raffinerie de sel gemme de 30.000 tonnes localisée à El Outaya (Biskra) <sup>[34]</sup>.

Le produit de L'ENASEL touche plusieurs domaines d'activité, à savoir : l'agro-alimentaire, la pharmacie, le cosmétique, l'industrie, le traitement des eaux et le déneigement.

<sup>[34]</sup> K.Berrabah (2017) op cit, pp 05-15.

## CHAPITRE III: Matières Premières Utilisées et Impact Environnemental

### ❖ Potentiel géologique du sel non exploités (réserves) :

Les gisements de sel non exploités les plus importants en Algérie sont estimés à plus de 1 milliard de tonnes d'après les statistiques de CNIS mentionnés sur le tableau suivant :

**Tableau III-2:** Réserves géologiques du sel <sup>[35]</sup>.

Lieu	Wilaya	Quantité (Million tonne)	Observations
Ain Nouissy	Mostaganem	400 000 000	En couche
Guergour	Sétif	263 000 000	//
Arbal	T'émouchent	260 000 000	Souterrain
El Outaya	Biskra	150 000 000	Apparent sel à 99,85 raffiné
Rocher de sel	Djelfa	120 000 000	
Kerakda	El Bayadh	45 00 000	

### ❖ Caractéristiques générales de l'exploitation :

- **Type de salin** : sel solaire évaporation solaire de la saumure.
- **Origine de la matière primaire** : pompage à partir d'un lac salé.
- **Récolte** : entièrement mécanisée par récolteur et remorques tractées.
- **Conditionnement** : lavage secondaire, séchage, broyage, iodation et conditionnement.



**Figure III-2 :** Marais salin de Oued El-Djema <sup>[36]</sup>.

<sup>[35]</sup>Le Conseil National de l'Information Statistique(CNIS),Algérie.

<sup>[36]</sup>K.Berrabah (2017) op cit, p11.

## CHAPITRE III: Matières Premières Utilisées et Impact Environnemental

### ❖ Différents procédés de production du sel :

Il existe plusieurs façons de récupérer le chlorure de sodium selon les origines suivantes :

- **Le sel de mer**

La salinité de l'eau de mer est voisine de 3.5%, ce qui correspond à une densité de 1.026. Dans les océans, la salinité varie de 3.6% à 3.8%. L'incidence de la dilution (pluie ou fleuves) ou la concentration (évaporation) est plus marquée dans le cas des mers fermées ou semi-fermées. Malgré ces différences importantes des salinités.

- **Méthode agricole (marais salin) :**

Cette méthode mise en œuvre dans les marais salants, ou salins utilise l'énergie solaire dont découle le vent pour produire, à partir d'eau de mer, du sel de mer. Quelques marais salants évaporent toute fois des saumures d'origines terrestres et produisent alors de sel solaire. Des mers fermées, des lacs salés, des chotts, des sources salées peuvent également être à l'origine d'une production de ce type.

- **Autres sources de saumures :**

Le chlorure de sodium est également produit sur des salins à partir d'autres sources naturelles de saumure que la mer. Il s'agit principalement des lacs salés et des chotts, situés dans les régions sèches ou arides du globe. Ces masses d'eau fermées, soumises à des évaporations intenses, ont évolué au gré des apports de sels provenant du lessivage des terrains environnant par les eaux de surfaces et du dépôt de sels les moins solubles. <sup>[37]</sup>

### III-1-2 Le calcaire :

Le calcaire est généralement extrait de la carrière. Il est formé essentiellement de calcite qui peut contenir plus de 99,9 % de  $\text{CaCO}_3$ . La calcite est du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  cristallin. Elle réagit avec l'acide chlorhydrique  $\text{HCl}$  et se présente généralement sous forme de cristaux rhomboédriques. Les calcaires peuvent contenir un peu de dolomite, d'aragonite ou de sidérite. Ils renferment parfois un peu de fer sous forme de sulfures (calcaires bleus) ou d'oxydes (calcaires jaunes ou rouges). Le calcaire peut être identifié car il peut être dissout par les acides tels que l'acide chlorhydrique en solution ou par l'acide éthanoïque contenu dans le vinaigre ou encore par l'acide tartrique <sup>[38]</sup>.

<sup>[37]</sup> L.Arar (2019) Etude De L'Inhibiteur De Teneur  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  Lors Des Traitements De Pissement De Sel Génie Des Procédé, Mémoire Du Master, Algérie, pp 16-19.

<sup>[38]</sup> H.Mebarki (2013) Etude Comp. Des Clinkers De L'Ouest Alg., Départ. De Chimie, Mémoire Du Master, Algérie, p18.

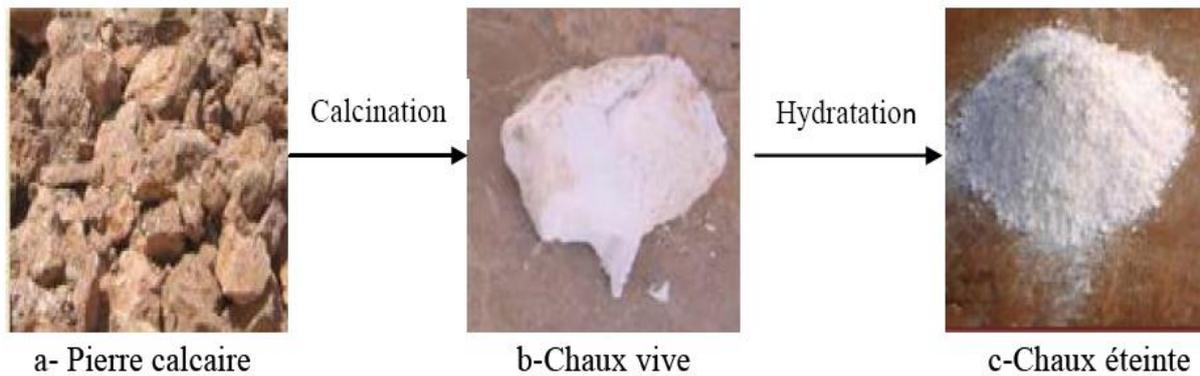


Figure III-3 : Formes de calcaire <sup>[39]</sup>.

### ❖ Les formes de calcaire :

Le terme «calcaire» est utilisé pour décrire un groupe de roches avec une teneur de plus de 50% de carbonates de calcium  $\text{CaCO}_3$ . Les roches carbonatées utilisées pour la production de charges minérales doivent remplir divers critères chimiques et physiques de façon à fournir à coût raisonnable un produit finement broyé répondant aux normes de l'industrie.

La pureté chimique et minéralogique du calcaire est très importante surtout lorsqu'il s'agit d'un produit de haute de gamme. Le calcaire doit contenir un minimum d'impuretés solubles et le pourcentage de carbonate de magnésium ne doit pas être élevé <sup>[40]</sup>.

Les calcaires se trouvent sous différentes formes physiques (voir figure III-3) en granulométries diverses, en agrégats et en moellons, mais aussi broyé, moulu ou micronisé.

Le calcaire est extrait, généralement, à ciel ouvert. Le traitement des roches carbonatées, particulièrement le calcaire, dépend de l'utilisation et les spécifications du produit final.

La calcite a une valeur économique élevée par rapport à la dolomite, aux marbres et à la craie. La similitude, entre les propriétés physiques des minéraux carbonatés, rend la distinction entre eux un peu difficile. L'Aragonite ( $\text{CaCO}_3$ ), par exemple, a la même composition chimique que la calcite. La différence réside dans la structure cristalline <sup>[41]</sup>.

<sup>[39]</sup> A .Ayat(2015)Contribution à L'Elaboration Et La Caractérisation D'Un Eco-mortier D'Enduit à Base De Chaux Et Déchets De Briques, Mémoire Du Master ,Algérie, p27.

<sup>[40]</sup> P. W., Harben (2002) The Industrial Minerals Hand Book, London. 4<sup>th</sup> Edition, Angleterre, p119.

<sup>[41]</sup> D. Ait kadi (2015) Analyse du Marché du  $\text{CaCO}_3$ , Université Lava, Thèse De Doctorat, Qubec,p07

### ❖ Gisements de calcaires :

Le carbonate de calcium est produit principalement par des entreprises relevant du secteur public (dont 87% avec l'Entreprise Nationale des Granulats –ENG- dont l'unité du Khroub est en tête de file), L'ENG (voir figure III-4), Entreprise Nationale des Granulats est issue de la restructuration de la Société Nationale des Matériaux de Construction (S.N.M.C.). Elle a été créée en Novembre 1986 avec effet à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1987.



**Figure III-4** : Usine de carbonate de calcium El Khroub <sup>[42]</sup>.

Et par quelques petites entreprises privées (13%) implantées dans l'Ouest Algérien pour la plupart. La production totale des ces dernières années fluctue autour de 200000 t [(220000 t en 2009 ; Ministère Energie et Mines (MEM)]. La commercialisation de ce produit est relativement récente. Le marché se met en place progressivement avec l'apparition de nouveaux utilisateurs dans les domaines pharmaceutiques, cosmétique, d'alimentation animale, de peinture, de l'épuration des eaux de lutte contre la pollution <sup>[43]</sup>.

Les gisements de calcaire non exploités les plus importants en Algérie sont :

- Calcaire de Ténès (W. Chlef),
- Calcaire noir de Dhar El Mendjel (W. Ain-Temouchent),
- Calcaire à nummulites et silex de Djebel Dyr (W. Tébessa),
- Calcaire noir de Djebel Def (W. Tébessa),
- Calcaire de Djebel Ghorab (W, Biskra) <sup>[44]</sup>.

<sup>[42]</sup> M.Sayeh(2017) Entreprise Nationale Des Granulats, Algérie, P05.

<sup>[43]</sup> M.Bourzeg (2014) Etude Géologique et Minière de Quelques Roches Industrielles, Thèse de Doctorat en Science, Université de Constantine, Algérie, P65.

<sup>[44]</sup> (CNIS), op cit.

### III-2 L'impact environnemental :

L'industrie chimique approvisionne tous les secteurs de l'économie, étant donné que la transformation des produits chimiques comprend de nombreuses étapes intermédiaires. Le carbonate de sodium est une matière première essentielle dans les secteurs du verre, des détergents et des produits chimiques, et à ce titre il revêt une importance stratégique pour l'industrie manufacturière.

La qualité des matières premières sélectionnées et la localisation géographique des installations de production influent directement sur la composition, le volume et le traitement des effluents. Les principales incidences environnementales du procédé Solvay sont les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'air et les rejets dans l'eau associés aux eaux résiduelles de l'étape de «distillation» du procédé.

L'évaluation de l'impact environnemental est le processus d'identification, de prévision, d'évaluation et d'atténuation des effets biophysiques, sociaux et autres effets pertinents des propositions de développement avant la prise de décisions majeures et la prise d'engagements. Cela peut inclure une évaluation des effets à court et à long terme sur l'environnement physique, tels que la pollution de l'air, de l'eau et du sol, ainsi que les effets sur les services locaux, les normes de vie et de santé, et l'esthétique [45].

Pour améliorer la performance environnementale de la production du carbonate de sodium par le procédé Solvay, il est apparu essentiel de prendre en considération les facteurs environnementaux suivants:

#### ❖ Calcaire de qualité approprié :

- haute teneur en CaCO<sub>3</sub>, de préférence de l'ordre de 95 à 99 % (faible teneur en MgCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).
- caractéristiques physiques appropriées au procédé (granulométrie, dureté, porosité, caractéristiques de combustion)
- teneur réduite en métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn) du calcaire acheté ou provenant du gisement propre.

---

[45] Institut De Prospective Technologique(2006) Prévention Et Réduction Intégrées De La Pollution, Produits Chimiques Inorganiques En Grands Volumes –Solides Et Autres,France, p07.

## **CHAPITRE III: Matières Premières Utilisées et Impact Environnemental**

---

### **❖ Fonctionnement optimisé de l'usine de carbonate de sodium :**

Maintenir les émissions de CO<sub>2</sub> du procédé de carbonate de sodium produite (la production intégrée de carbonate de sodium et de bicarbonate de sodium raffiné sur le site peut considérablement réduire les émissions).

### **❖ Déversement dans l'environnement aquatique des eaux résiduaires :**

Les eaux résiduaires chargées de solides en suspension et de métaux lourds provenant de la production de carbonate de sodium. Si les eaux résiduaires sont finalement déversées dans le milieu marin (mer ou estuaire soumis à l'influence de la marée, suivant conditions locales), il convient de veiller à la dispersion des solides et d'éviter les accumulations localisées et en tout état de cause de réduire au minimum les rejets de métaux lourds, grâce à la sélection des matières premières.

Si les eaux résiduaires sont finalement déversées dans des masses d'eau douce, il convient :

- De réduire au minimum les émissions de métaux lourds par l'application d'au moins une des techniques suivantes :
  - sélection de matières premières appropriées,
  - filtration des eaux résiduaires pour extraire les particules solides grossières,
  - sédimentation/dispersion – bassins de décantation,
  - sédimentation/dispersion – élimination souterraine,
- De réduire au minimum les rejets de solides en suspension par l'application d'au moins une des techniques suivantes, selon les caractéristiques de la masse d'eau réceptrice.

**CHAPITRE 4 :**  
**Présentation de nover**

### IV-1 Présentation de l'entreprise NOVER :

Filiale de l'Entreprise Nationale des Verres et Abrasifs (ENAVA), la nouvelle verrerie de Chlef (NOVER) fut fondée il y a plus de dix ans, afin de répondre à la forte demande nationale en emballage verre pharmaceutique. C'est ainsi que cette société par actions est devenue un partenaire privilégié des grandes entreprises pharmaceutiques algériennes (voir figure IV-1).

Située dans la région de Chlef, à l'ouest d'Alger, NOVER est spécialisée dans le verre flaconnage et le verre pressé. Elle est dotée d'un capital de 28.000.000 ,00 DA. La capacité de production actuelle de NOVER est estimée à 26.000 tonnes de verre par an. En effet, grâce à des installations répondant aux normes internationales, des équipements de production modernes et sophistiqués, des outils de contrôle de la qualité ainsi qu'un personnel jeune, dynamique et qualifié, NOVER possède des atouts hors-pairs faisant de cette société un leader dans le domaine du flaconnage en Algérie.

Le processus de globalisation qui anime la scène internationale est la source de profondes mutations auxquelles NOVER s'est totalement adaptée afin de continuer à se développer harmonieusement dans ce climat de forte compétitivité.



**Figure IV-1** : L'entreprise NOVER

Dans ce contexte, NOVER a mis en œuvre une démarche qualité selon le référentiel international ISO 9001 version 2015, démarche qui a permis de :

- développer et maintenir l'écoute de la clientèle pour toujours mieux la satisfaire;
- améliorer en permanence la qualité des produits NOVER.

## CHAPITRE IV : Présentation de « NOVER » et Mise en Evidence du Lien entre le Verre et le Carbonate de Soude

---

- mieux maîtriser les coûts par notamment, la diminution des rebus;
- optimiser le rendement afin de préserver et de développer les parts de marché de NOVER.
- développer les compétences du personnel par la formation continue.

Ces résultats ont été le fruit de l'engagement des cadres dirigeants, pris depuis la création de NOVER, à :

- mettre en œuvre les moyens organisationnels, matériels et financiers nécessaires;
- veiller au développement de la communication en interne;
- rester à l'écoute de toute suggestion ou proposition d'amélioration des méthodes de gestion;
- évaluer régulièrement la mise en œuvre de notre système de management de la qualité.

L'implantation de NOVER dans la région de Chlef est le fait d'un choix judicieux qui a motivé la disponibilité d'une matière première de qualité (sable riche en silice) ainsi que la situation géostratégique de cette ville. En effet, la ville de Chlef, déjà située sur un axe routier qui rallie toutes les régions du pays, en particulier Alger et Oran (les deux plus grands centres économiques du pays), est également proche du complexe pharmaceutique de Médéa.

De tels atouts permettent à NOVER d'optimiser au maximum les frais généraux et de proposer des produits de qualité à des prix très compétitifs. Œuvrant de plus en plus dans le domaine des produits pharmaceutiques, NOVER s'implique en fait dans un secteur jugé extrêmement porteur en Algérie grâce à une référence qualité indiscutable.

Dans ce contexte, l'entreprise NOVER s'est engagée dans une démarche qualité qui lui a valu la certification de son système de management de la qualité selon le référentiel ISO-9001 version 2000.

Forte de toutes ces potentialités, NOVER est actuellement en quête de partenaires nationaux ou étrangers afin d'améliorer encore plus sa croissance actuelle; ce, en drainant des capitaux ainsi qu'un savoir-faire supplémentaires.

Le complexe de production de NOVER (verre flaconnage et verre pressé) se situe dans la zone industrielle de Oued Sly, Wilaya de Chlef, à proximité de la RN 4 (Alger-Oran) et à 70 Km à peine du port de Ténès. Le complexe s'étend sur une surface de 8,5 Ha dont 18.000 m<sup>2</sup> bâtis et emploie 290 travailleurs désormais acquis au secteur de la verrerie.

### **IV-1-1 Structures du complexe :**

Le complexe de production se compose de plusieurs unités :

- Unité de traitement et d'enrichissement du sable.
- Bâtiment d'homogénéisation et de stockage du sable traité.

## CHAPITRE IV : Présentation de « NOVER » et Mise en Evidence du Lien entre le Verre et le Carbonate de Soude

- Bâtiment de composition et formulation.
- Deux bâtiments utilitaires.
- Bâtiment de stockage des matières premières.
- Bâtiment d'entretien VL/PL.
- Bâtiment de production comportant :
  - Trois lignes de production verre flaconnage pharmaceutique/cosmétique;
  - Deux lignes de production verre pressé (verres de table).
- Matériels roulants.
- Carrière de sable (concession), à 25 km du complexe.

### IV-1-2 Matières premières utilisées :

- Locales (à 80%) : sable - feldspath - calcaire - dolomie.
- Importées (à 20%) : carbonate de soude - alumine - sulfate de soude - oxydes.

### IV-1-3 Procédés de fabrication :

Les procédés utilisés pour la fabrication du verre sont :

- le soufflé-soufflé;
- le pressé-soufflé.
- le pressé-pressé.



#### Etape1 : Préparation des matières

- traitement par lavage-criblage
- double cycle d'attrition
- séparation électromagnétique à haute intensité par voie sèche.



#### Etape2 : Composition et mélange

- Préparation automatisée du mélange.



### Etape 4 : Façonnage

Cette étape est assurée par :

- les procédés soufflé-soufflé et pressé-soufflé, pressé -pressé
- des machines à huit sections.
- Deux presses a double gobe & simple gobe



### Etape 5 : Contrôle des produits

Systemes intégrés :

- d'inspection avec imagerie électronique,
- de transport,
- de faradisation sous film plastique.
- Contrôle de laboratoire.



### Etape 5 : Contrôle des produits

Systemes intégrés :

- d'inspection avec imagerie électronique,
- de transport,
- de faradisation sous film plastique.
- Contrôle de laboratoire.

## CHAPITRE IV : Présentation de « NOVER » et Mise en Evidence du Lien entre le Verre et le Carbonate de Soude

---

### IV-2 Le carbonate de soude et la production du verre :

#### IV-2-1 Composition chimique de verre :

Pour fabriquer le verre, un ensemble de matières premières est constitué en majeure partie des roches naturelles (sable, calcaire) et des produits chimiques, tels que le carbonate de sodium, le mélange hétérogène s'appelle mélange vitrifiable. Il existe un nombre important de types de verre qui diffèrent suivant leurs compositions, leurs propriétés et leurs applications, les différentes compositions du verre se comptent aujourd'hui par milliers, suivant les caractéristiques chimiques de leurs composants principaux, on peut les classer en cinq catégories : les verres d'oxydes, les verres d'halogénures, les verres métalliques et les verres obtenus à partir de sels ioniques et de solutions aqueuses. Certains éléments comme le silicium et le bore peuvent former un verre par leur seule combinaison avec de l'oxygène par élévation à une très haute température. Ces oxydes sont appelés oxydes formateurs car ils forment le squelette du verre. On les combine avec d'autres éléments dits « modificateurs » qui sont :

- ❖ Les fondants qui abaissent la température de fusion des oxydes formateurs (température de la silice est 1730°C).
- ❖ Les stabilisants qui modifient les propriétés physiques du verre atténuées par l'adjonction du fondant.

#### IV-2-2 Oxydes formateurs :

Ce sont des oxydes principaux, utilisés en grandes proportions pour former le réseau vitreux dont les plus importants sont :  $\text{SiO}_2$  verres à base silicates,  $\text{B}_2\text{O}_3$  verres à base de borate,  $\text{P}_2\text{O}_5$  verres à base de phosphate, et que pour chacun de ces formateurs, on peut introduire ensemble ou séparément des modificateurs très nombreux dont certains peuvent être partiellement formateurs, on peut voir l'étendue assez importantes de composition des verres possibles.

#### IV-2-3 Oxydes modificateurs

Les oxydes modificateurs sont essentiellement, les oxydes alcalins par exemples  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ou bien des oxydes alcalino-terreux par exemples  $\text{CaO}$ . Ce sont essentiellement des composés ioniques. Les oxydes modificateurs dépolymérisent les réseaux des oxydes formateurs en détruisant ou bien alternant la structure de base, ce qui explique le rôle des modificateurs dans l'abaissement de la température de fusion des verres. Ils sont ajoutés pour faciliter la fusion des vitrifiant en s'insérant dans le réseau vitreux (rupture des ponts d'oxygènes ou oxygènes non pontants) et pour modifier les propriétés du verre formé par l'oxyde formateur, ces oxydes sont des composés ajoutés à la composition du verre, en quantités maîtrisées dont on peut citer :

## CHAPITRE IV : Présentation de « NOVER » et Mise en Evidence du Lien entre le Verre et le Carbonate de Soude

---

- **Oxyde de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ )** : obtenu à partir de carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , il abaisse la viscosité et la résistance chimique, augmente le coefficient de dilatation thermique, et la conductivité électrique.
- **Oxyde de lithium ( $\text{Li}_2\text{O}$ )** : qui augmente l'amplitude à la diffraction en diminuant la viscosité.
- **Oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ )** : obtenu à partir du calcaire  $\text{CaCO}_3$ , il améliore la résistance chimique des verres en diminuant leur solubilité.
- **Oxyde de potassium ( $\text{K}_2\text{O}$ )** : obtenu à partir du carbonate de potassium  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , agit sur la viscosité en augmentant ainsi l'intervalle de travail des verres.
- **Oxyde de magnésium ( $\text{MgO}$ )** : améliore les caractéristiques de résistance des verres.
- **Oxyde de baryum ( $\text{BaO}$ )** : augmente l'indice de réfraction, d'où son application dans les verres optiques.

### IV-2-4 Oxydes intermédiaires

Ce sont généralement des oxydes qui ne sont pas capables de former un verre. Ils peuvent prendre une place dans la chaîne du verre. L'oxyde d'aluminium est un exemple d'un tel oxyde intermédiaire. Il joue le rôle de colorants ou d'affinant dans la composition chimique du verre. Les oxydes intermédiaires sont ajoutés en petites quantités dans le mélange vitrifiant. On peut citer  $\text{AS}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AL}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ...etc . Ainsi par variation de la composition chimique des composants et l'addition des divers oxydes, les propriétés mécaniques, optiques, thermiques et chimiques du verre sont améliorées. Dont les oxydes intermédiaires sont classés en :

- ❖ **Affinants** : Ils ont pour fonction essentielle, de favoriser l'élimination des bulles gazeuses présentes dans le verre en fusion, parmi ces oxydes, on a essentiellement l'oxyde d'antimoine et les nitrate d'alcalins.
- ❖ **Colorants** : Ce sont des oxydes de métaux de transition, utilisés dans les verres de couleur dits aussi verres ambrés, dont la couleur varie entre le jaune doré au marron foncé.
- ❖ On chauffant progressivement le mélange de silice et de carbonates, on observe divers phénomènes. Au-dessous de  $750\text{ }^\circ\text{C}$ , au contact de la silice, les cristaux de carbonate de sodium se déforment pour épouser la forme des cristaux de silice. Une réaction entre le sable et le carbonate de sodium (réaction de décarbonatation) est à l'origine de la formation de deux types de silicates de sodium. Simultanément, si un carbonate de calcium est en contact avec un carbonate de sodium, ils forment un carbonate double. Isolé, le carbonate de calcium se dissocie en chaux et en dioxyde de carbone. À partir de  $810\text{ }^\circ\text{C}$ , les premiers cristaux fondent. La fusion se fait à différentes températures en fonction des éléments en contact. Par exemple, les grains de silice qui ne sont pas entourés de silicate de sodium sont

## CHAPITRE IV : Présentation de « NOVER » et Mise en Evidence du Lien entre le Verre et le Carbonate de Soude

---

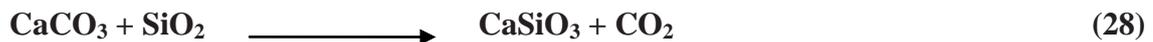
probablement les éléments les plus difficiles à faire fondre – ils sont toujours solides à 900 °C – et peuvent créer des défauts dans le verre ; des pistes pour améliorer la fabrication du verre

- ❖ Sous l'effet de la température et à partir de 800°C, les carbonates alcalins et alcalino-terreux vont se combiner puis réagir chimiquement avec les grains de sable suivant des réactions des types suivants :

### Vers 800°C:



### Vers 1000°C:



Les silicates ainsi formés vont passer dans la phase liquide du bain et participer à la formation du verre.

### IV-3 Catalogue des produits fabriqués par la société :

#### IV-3-1 Secteur agro-alimentaire :

Il existe 24 produits répertoriés dans la catégorie agro-alimentaire.



#### IV-3-2 Secteur pharmaceutique :

Il existe 10 produits répertoriés dans la catégorie pharmaceutique.

## CHAPITRE IV : Présentation de « NOVER » et Mise en Evidence du Lien entre le Verre et le Carbonate de Soude

---



### IV-3-3 Secteur cosmétique :

Il existe 7 produits répertoriés dans la catégorie cosmétique.



### IV-3-4 Secteur verrerie de table :

Il existe 11 produits répertoriés dans la catégorie Verrerie de table.



**Chapitre 5 :**  
**Échantillonnage et analyse**  
**du carbonate de calcium**

Le calcaire est extrait, généralement, à ciel ouvert. Le traitement des roches carbonatées particulièrement le calcaire dépend de l'utilisation et les spécifications du produit final. L'extraction se fait par abattage à l'explosif et le transport vers la centrale de concassage-criblage. Le traitement par concassage-criblage permet de classer les produits selon leur granulométrie.

### V-1 Echantillonnage :

Pour faire un suivi et une comparaison du meilleur échantillon de  $\text{CaCO}_3$ , on a récupéré trois échantillons (voir figure V-1) de trois gisements différents :

- **Echantillon N°1** : récupéré de la carrière (ENOF SIG) Wilaya da Mascara).
- **Echantillon N°2** : récupéré de la carrière (ENG Elkhroub) Wilaya de Constantine.
- **Echantillon N°3** : récupéré de la carrière (ENOF) Wilaya de Tlemcen.



**Figure V-1** : Vue des échantillons du carbonate de calcium choisis.

### V-1-1 Broyage :

Nous avons utilisé le broyeur à disques oscillants HERZOG (voir figure V-2) pour la réduction de solides particuliers en fragments plus petits par l'application de contraintes mécaniques, ce qui permet le broyage final des trois échantillons de carbonate de calcium.

L'échantillon final est destiné à être ensuite calciné en vue d'analyses élémentaires.

Après la fermeture du volet, le broyeur reste fermé pendant tout le processus de broyage.

Une fois le broyage terminé, il est possible de retirer le bol de broyage.



**Figure V-2 :** Broyeur à disques oscillants semi-automatique HERZOG (Osnabrück Germany)

### V-1-2 La calcination :

Pour simplifier, on a fait l'hypothèse d'une roche extrêmement pure, contenant 100% du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ . Partant de cette roche calcaire, la première étape consiste en une calcination. A une température voisine de  $900\text{ }^\circ\text{C}$ , le carbonate de calcium constituant la roche se décompose selon la réaction chimique ci-dessous :



Cette réaction est théoriquement totale c'est-à-dire que l'intégralité du carbonate de calcium initialement présent se décompose sous l'effet de la chaleur en oxyde de calcium  $\text{CaO}$  et en dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$



**Figure V-3:** Four de laboratoire à haute température (Chesterfield, Angleterre).

L'oxyde de calcium obtenu de formule chimique CaO est plus couramment appelé chaux vive. On obtient donc de la chaux vive à la sortie du four. Pour 100 grammes de roche au départ dans le four (voir figure V-3), on obtient seulement 56 grammes de chaux vive à l'issue de la calcination. Le seul réactif mis en jeu est le carbonate de calcium.

**Tableau V-1 : Avancement de la réaction chimique**

Equation chimique	CaCO <sub>3</sub>	→	CaO	+	CO <sub>2</sub>
<b>Etat initial</b>	<b>n</b>		<b>0</b>		<b>0</b>
<b>Au cours de la transformation</b>	<b>n - X</b>		<b>X</b>		<b>X</b>
<b>Etat final</b>	<b>n - X<sub>final</sub> = 0</b>		<b>X<sub>final</sub> = n</b>		<b>X<sub>final</sub> = n</b>

n: représente la quantité de matière de CaCO<sub>3</sub> présente au départ (n s'exprime en mole)  
 X : est l'avancement, également exprimé en mole. X représente la quantité de matière qui disparaît au fil de la réaction (côté réactif) ou qui apparaît (côté produits). Pour une molécule de CaCO<sub>3</sub> qui disparaît, il se forme une molécule d'oxyde de calcium CaO et une molécule de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>.

❖ **Calcul de la masse d'oxyde de calcium (chaux vive) obtenue :**

$$n(\text{CaO}) \text{ obtenue} = n(\text{CaCO}_3) \text{ initial (égalité des quantités de matière disparue et apparue)}$$

D'où :

$$m(\text{CaO}) \text{ obtenue} / M (\text{CaO}) = m(\text{CaCO}_3) \text{ initial} / M (\text{CaCO}_3) \quad (01)$$

$$m(\text{CaO}) \text{ obtenue} = m (\text{caco3})\text{initial} \times M (\text{CaO}) / M (\text{CaCO}_3) \quad (02)$$

Où n est la quantité de matière exprimée en mole, m est la masse en gramme, M est la masse molaire moléculaire en g/mole.

Les masses molaires moléculaires de la chaux vive et du carbonate de calcium étant respectivement égales à  $M(\text{CaO}) = 56 \text{ g/mol}$  et  $M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ g/mol}$ .

On obtient alors:

$$m(\text{CaO}) \text{ obtenue} = m(\text{CaCO}_3)_{\text{initial}} \times 56 / 100 \quad (03)$$

La masse de la chaux vive obtenue ne représente que 56% de la masse de roche au départ ; en d'autres termes, il y a une perte en masse de l'ordre de 44% au cours de la calcination du au dégagement de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

❖ **Détermination des carbonates :**

**Tableau V-2 :** Analyse des échantillons.

<b>Code de l'échantillon</b>	<b>Ech N°01</b>	<b>Ech N°02</b>	<b>Ech N°03</b>
Masse de la prise d'essai M (g)	300	300	300
X' volume du gaz carbonique dégagé lors de l'essai témoin $V_0$ (ml)	66,0	66.0	66.0
Volume du gaz carbonique dégagé par l'échantillon analysé $V_1$ (ml)	620	62.5	62.5
Teneur en calcite ou/et en aragonite A (%)	93.9	94.7	94.7
Teneur en dioxyde de carbone liée à la calcite ou/et à l'aragonite a (%)	<b>46,5</b>	<b>46,5</b>	<b>46,5</b>

**V-2 Analyse physico-chimique de la matière première (CaCO<sub>3</sub>) :**

Il est nécessaire de connaître les caractéristiques physico-chimiques des échantillons choisis pour voir quel échantillon répond aux qualités exigés à la fabrication du carbonate de soude. Le service contrôle de qualité (voir figure V-4) de la société de verre « NOVER » nous a permis de faire les analyses physico-chimiques pour les trois échantillons du carbonate de calcium récupérés de trois régions différentes.



**Figure V-4 :** Laboratoire d'analyse « NOVER » Chlef.

**V-2-1 Détermination du taux d'humidité :**

Elle se fait immédiatement dès l'arrivée des échantillons au laboratoire de la manière suivante :

- Peser 20g de matière dans un verre de montre soit P<sub>1</sub>.
- Placer le tous dans l'étuve à température 100C°-120C° Pendant 1h 30 min au minimum.
- Retirer la pesée de l'étuve et laisser refroidir ensuite peser soit P<sub>2</sub>.

La teneur en humidité s'exprime comme suit :

$$\%H_2O = (P_1 - P_2) / P_1 \times 100 \quad (04)$$

**V-2-2 Détermination de la perte au feu à 1000C° :**

La perte au feu est déterminée par la méthode gravimétrique qui s'effectue de la manière suivante :

- Dans un creuset de platine peser exactement 10g de la matière sèche non broyée.
- Porter au four à moufle à 1000C° pendant 1h.
- Laisser refroidir dans dessiccateur et peser.

Soit P la perte de poids en grammes :

$$\text{Perte au feu à } 1000C^\circ = \%PAF \text{ A } 1000C^\circ = 10P \quad (05)$$

**V-2-3 Caractéristiques granulométriques :**

Pour les caractéristiques granulométriques, les trois échantillons ont été préparés de la même manière, puis ils ont été tamisés. Les granulométries sont extrapolées entre un diamètre des grains variant entre 0.850mm < D < 0.106 mm. D'après les tableaux correspondants aux fiches d'analyses précédentes.

Le calcul des valeurs de tamisât sont calculés comme suit :

$$\text{Tamisât (\%)} = 100 - \text{Refus cumulé (\%)} \quad (06)$$

**Tableau V-3 :** Calcul du tamisât (%).

<b>φTamis (mm)</b>	2.0	1.180	0.850	0.500	0.425	0.212	0.150	0.106	< 0.106
<b>Refus cumulé (%)</b>	0	0	0.7	17.15	25.33	75.25	89.60	96.06	100
<b>Tamisât (%)</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>99.3</b>	<b>82.85</b>	<b>74.67</b>	<b>24.75</b>	<b>10.4</b>	<b>3.94</b>	<b>0</b>

Le tracé du graphique tamisât en fonction du diamètre du tamis est représenté sur la figure V-5.

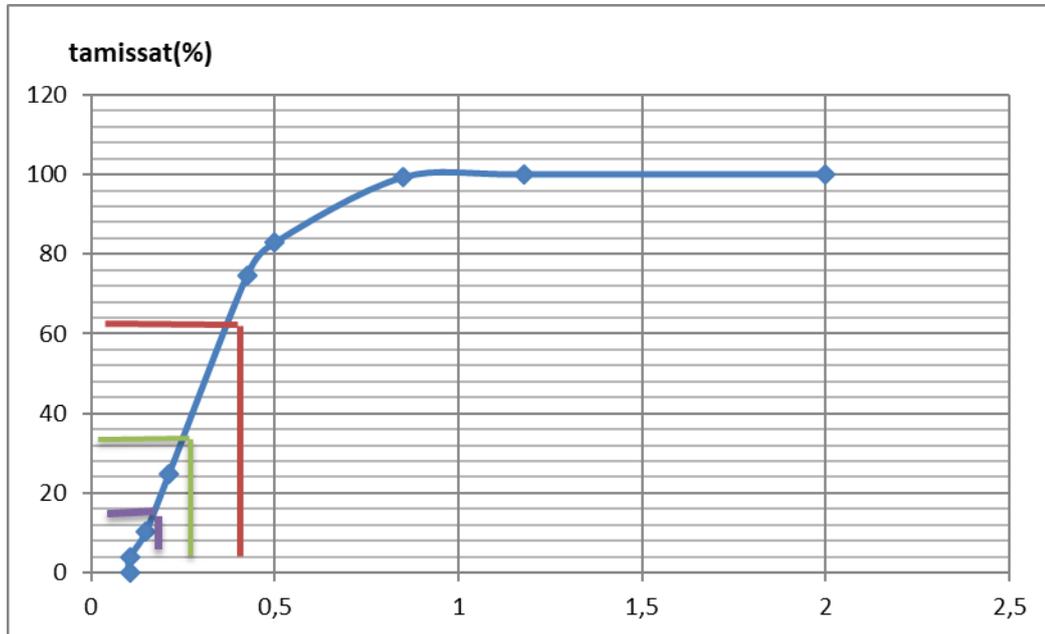


Figure V-5 : Courbe granulométrique du carbonate de calcium analysé.

A partir du graphe, on peut déterminer :  $D_{10\%}$ ,  $D_{30\%}$ ,  $D_{60\%}$  sur l'axe des abscisses :

$$D_{10\%}=0.11\text{mm} \quad D_{30\%}=0.22\text{mm.} \quad D_{60\%}=0.38\text{mm.}$$

Puis on calcul les coefficients d'uniformité et de courbure  $C_u$  et  $C_c$  :

- **Coefficient d'uniformité** : le calcul de ce coefficient se fait selon la formule suivante :

$$C_u = D_{60\%} / D_{10\%} \quad (07)$$

$$C_u=3,45$$

Etant donné que  $C_u > 2$ , la granulométrie est donc **étalée**.

- **Coefficient de courbure** :

Le calcul de ce coefficient se fait selon la formule suivante :

$$C_c = D_{30\%}^2 / D_{10\%} \times D_{60\%} \quad (08)$$

$$C_c=0,167$$

La valeur de  $C_c$  se situe entre  $1 < C_c < 3$ , le matériau est **donc bien gradué**.

#### V-2-4 Dosage de CaO et MgO :

Par complexométrie à l'éthylène diamine tétra-acétique (E.D.T.A) la concentration des ions calcium et magnésium dans une solution peut être déterminée par titrage. Au départ on mesure exactement un volume de la solution à analyser qui contient les ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . Ce volume est appelé prise d'essai. Elle est placée dans un erlenmeyer dans lequel on ajoute une solution tampon (qui stabilise le pH) et un indicateur coloré. On verse alors progressivement dans la prise d'essai une solution d'EDTA (l'éthylène diamine tétra-acétique) à l'aide d'une burette graduée jusqu'au virage (changement de couleur). On note alors  $V_{\text{EDTA}}$  le volume de solution d'EDTA versée.

Ce dosage est réalisé selon les étapes suivantes :

- Sécher bien l'échantillon dans l'étuve.
- Broyer une quantité de cet échantillon.
- Peser 2g et les mettre dans un bécher de 400 ml bien sec et verser 10ml d'acide chlorhydrique concentré (37,5%) sur le poids déjà pesé et mettre un couvercle sur le bécher.
- Mettre le tout sur le bain de sable jusqu'à dissolution complète et laisser refroidir le bécher pendant 15 minute et verser de l'eau distillée chaude dans le bécher.
- Filtrer dans une fiole de 500 ml, une fois la solution obtenue préparer deux béchers bien nettoyés et sec.
- Prélever deux fois 10ml du filtrat et introduire 10 ml dans chaque bécher à l'aide d'une pipette.
- Dans le 1<sup>er</sup> bécher verser 5ml de KOH (4N) et 5 ml de tri-éthanol-amine (0,5) de la calcéine comme indicateur coloré et titrer la solution par L'E.D.T.A (éthylène diamine tétra acétique 0,02N) jusqu'au virage du vert marron au rose.
- Lire le volume de l'E.D.T.A, versé sur la pipette et le noté soit t noté  $V_{(\text{EDTA}/\text{CaO})}$
- Dans le 2<sup>ème</sup> bécher verser 10ml de la solution tampon a pH10 et le méthyle thymol bleu carboxylique (MTBC) comme indicateur coloré, et titrer la solution par l'E .D.T.A (0,02N) jusqu'au virage du bleu à l'incolore et lire le volume de l'E.D.T.A versé par pipette et le noté soit  $V_{(\text{E.D.T.A}/\text{CaO}+\text{MgO})}$ .

Le pourcentage de CaO est exprimé selon la formule suivante :

$$\% \text{CaO} = N_{\text{E.D.T.A}} \times V_{(\text{E.D.T.A}/\text{CaO})} \times E_q \times V_p \times 500) / (m_p \times 1000) \quad (09)$$

Avec :

$E_q$  : équivalent gramme de CaO.

$E_q = M_{CaO} / 2$ .

$V_p$  : le volume de la prise d'essai.

$M_p$  : la masse de la prise d'essai

$N_{EDTA}$  : la normalité de L'E .D.T.A

%CaO :le pourcentage de la chaux.

$V_{(E.D.T.A./CaO)}$ : le volume d' E.D.T.A. nécessaire pour doser le CaO.

$$\%MgO = (N_{EDTA} \times V / MgO) \times E_q \times 500 / m_p \times 1000 \quad (10)$$

Avec :

$E_q$  : L'équivalent en gramme de MgO.

$E_q = M_{MgO} / 2$ .

$V_p$  : le volume de la prise d'essai .

$M_p$  : la masse de prise d'essai.

$N_{E.D.T.A}$  : la normalité de l'E.D.T.A.

Le carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) est composé d'un ion calcium ( $Ca^{2+}$ ) et d'un ion carbonate ( $CO_3^{2-}$ ), sa masse molaire est de  $100,087 \pm 0,006$  g/mol et sa masse volumique est de 2,6 à 2,9 g/cm<sup>3</sup> selon sa forme cristallographique. Les caractéristiques principales du carbonate de calcium sont sa blancheur, son pH élevé (8,0 à 10,0) et sa solubilité élevée dans les acides. De façon courante, le produit à une granulométrie qui varie selon leurs utilisations dans les différents domaines industriels.

## CHAPITRE V : ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DU CARBONATE DE CALCIUM

Les analyses ( figure V-6) effectuées au laboratoire d'analyse « NOVER sur le premier échantillon du carbonate de calcium récupéré de la carrière de SIG (MASCARA) nous ont donné les teneurs suivantes pour:

- Oxyde de calcium : 53 %.
- Oxyde de magnésium : 0.3 %.
- Oxyde de potassium : 0.702 %.
- Oxyde d'aluminium : 0.1 %.
- Oxyde de fer : 0.2 % .Oxyde de soufre : 0.3% .Perte au feu (PAF) : 46.5% (quantité de CO<sub>2</sub> dégagée).

NOVER	FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES												N° : ER5.860.01.R5					
													Page: 1 Sur 1					
<b>FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES</b>																		
ECHANTILLON N° 01																		
Matière première à contrôler : carbonate de calcium (SIG) MASKARA												Date : 10/03/2022						
Méthode d'analyse : Par Méthode classique																		
Caractéristiques chimiques												H <sub>2</sub> O (%)	PAF (%)	OBS				
Humidité (%)																		
Oxydes (%)	SiO <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> O		MgO		CaO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub>		SO <sub>3</sub>	
Limites	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	0,02	0,10	0,13	0,19	0	1	0,37	0,40	55,6	56,3	0,06	0,07	0,03	0,04	....	....	....	....
Résultats	1		....		0,702		0,3		53		0,1		0,2		.....		0,3	
Caractéristiques physiques (Granulométrie)												0 %	46,5 %					
Caractéristiques physiques (Granulométrie)														OBS				
Limites	2.00		1.180		0.850		0.500		0.425		0.212		0.150		0.106		< 0.106	
Ø Tamis (mm)	2.00		1.180		0.850		0.500		0.425		0.212		0.150		0.106		< 0.106	
Refus ind (%)	0		0		0,7		16,45		8,171		49,92		14,35		6,45		3,95	
Refus Cumul (%)	0		0		0,7		17,15		25,33		75,25		89,60		96,06		100	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;"> <p>Visa Opérateur</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Visa du responsable laboratoire</p>  </div> </div>														OBS				

**Figure V-6:** Fiche d'analyse par la méthode classique (Ech.N°1 récupéré -carrière SIG).

## CHAPITRE V : ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DU CARBONATE DE CALCIUM

Les analyses (figure V-7) effectuées au laboratoire d'analyse « NOVER » sur le deuxième échantillon du carbonate de calcium récupéré de la carrière (ENG ELKHROUB) nous ont donné les teneurs suivantes pour :

- Oxyde de calcium : 56 %.
- Oxyde de silicium : 0.1 %.
- Oxyde d'aluminium : 0.05 %.
- Oxyde de fer : 0.02 %.
- Perte au feu (PAF) : 46.5% (quantité de CO<sub>2</sub> dégagée).

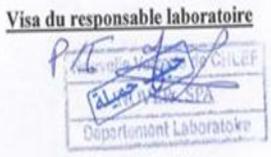
NOVER	FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES															N° : ER5.860.01.R5					
																Page: 1 Sur 1					
<u>FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES</u>																					
ECHANTILLON N° 02																					
Matière première à contrôler : carbonate de calcium ( ENG ELKHROUB ) CONSTANTINE															Date : 10/03/2022						
Méthode d'analyse : Par Méthode classique																					
Caractéristiques chimiques															H <sub>2</sub> O (%)	PAF (%)	OBS				
Humidité (%)																					
Oxydes (%)	SiO <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> O		MgO		CaO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub>		SO <sub>3</sub>		0 %	46,5 %	
Limites	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max			
	0,02	0,10	0,13	0,19	0	1	0,37	0,40	55,6	56,3	0,06	0,07	0,03	0,04	....	....	....	....			
Résultats	0,1		....		....		....		56		0,05		0,02		....		....				
Caractéristiques physiques (Granulométrie)																	OBS				
Limites																					
Ø Tamis (mm)	2.00		1.180		0.850		0.500		0.425		0.212		0.150		0.106		< 0.106				
Refus ind (%)	0	0	0,7	16,45	8,171	49,92	14,35	6,45	3,95												
Refus Cumul (%)	0	0	0,7	17,15	25,33	75,25	89,60	96,06	100												
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;"> <p><u>Visa Opérateur</u></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><u>Visa du responsable laboratoire</u></p>  </div> </div>																					

**Figure V-7:** Fiche d'analyse (Echantillon N°2 récupéré (ENG LAKHROUB)).

## CHAPITRE V : ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DU CARBONATE DE CALCIUM

Les analyses (figure V-8) effectuées au laboratoire d'analyse « NOVER » sur le troisième échantillon du carbonate de calcium récupéré de la carrière de SIG (MASKARA) nous ont donné les teneurs suivantes :

- Oxyde de calcium : 54.32 %.
- Oxyde de fer : 0.204 %.
- Perte au feu (PAF) : 46.5% (quantité de CO<sub>2</sub> dégagée).

NOVER	FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES															N° : ER5.860.01.R5					
																Page: 1 Sur 1					
<p><b>FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES</b> ECHANTILLON N° 03</p> <p>Matière première à contrôler : carbonate de calcium ( ENOF ) TELEMEN Méthode d'analyse : Par Méthode classique</p> <p style="text-align: right;">Date : 10/03/2022</p>																					
Caractéristiques chimiques															H <sub>2</sub> O (%)	PAF (%)	OBS				
Humidité (%)																					
Oxydes (%)	SiO <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> O		MgO		CaO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub>		SO <sub>3</sub>		0 %	46,5 %	
Limites	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max			
	0,02	0,10	0,13	0,19	0	.....	0,37	0,40	55,6	56,3	0,06	0,07	0,03	0,04	....	....	....	....			
Résultats									54,32		0,204										
Caractéristiques physiques (Granulométrie)																	OBS				
Limites	2.00		1.180		0.850		0.500		0.425		0.212		0.150		0.106		< 0.106				
Ø Tamis (mm)																					
Refus ind (%)	0		0		0,7		16,45		8,171		49,92		14,35		6,45		3,95				
Refus Cumul (%)	0		0		0,7		17,15		25,33		75,25		89,60		96,06		100				
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Visa Opérateur</p>  </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Visa du responsable laboratoire</p>  </div> </div>																					

**Figure V-8:** Fiche d'analyse (Ech. N°3 récupéré de la carrière- ENOF- TELEMEN).

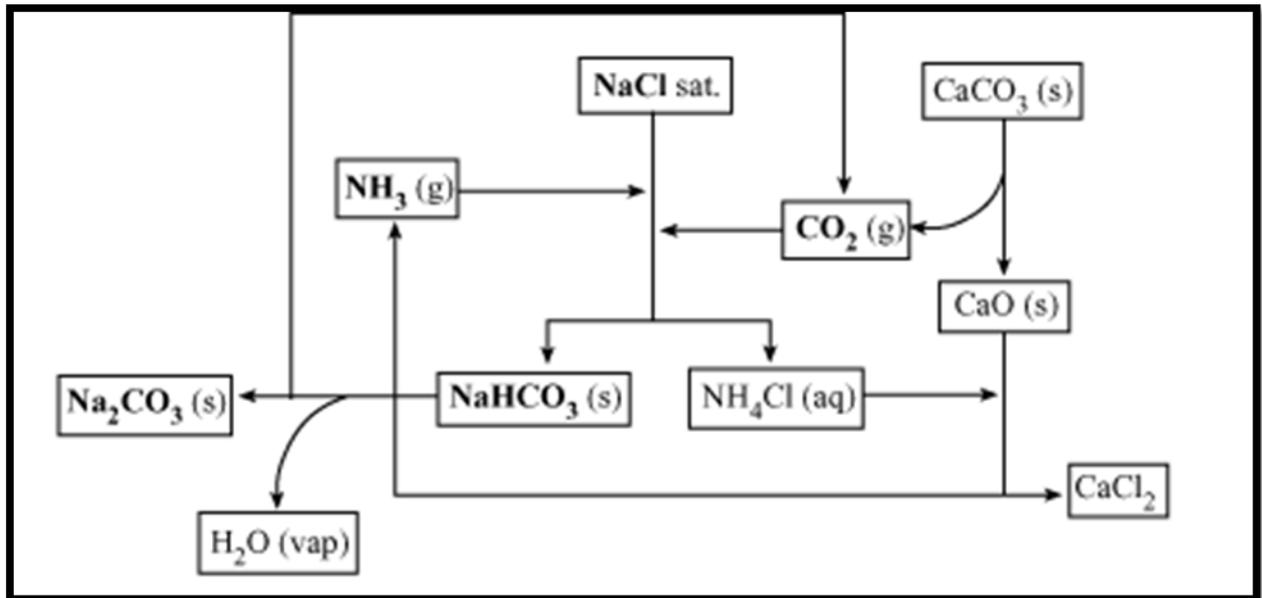
**V-3 Interprétation des résultats obtenus :**

Les analyses chimiques effectuées sur les trois échantillons (Figures V-6, V-7 et V-8) nous ont permis de constater que tous les échantillons répondent aux qualités exigées pour la production du carbonate de soude avec quelques différences dans les compositions chimiques.

- ❖ On note la prédominance de l'oxyde de calcium par rapport aux autres composés pour les trois échantillons.
- ❖ Plus de teneur en oxyde de calcium (56%) pour le deuxième échantillon (ENG LEKHROUB)- Constantine par rapport aux autres échantillons.
- ❖ La composition chimique du troisième échantillon (ENOF)- Tlemcen contient uniquement l'oxyde de calcium et l'oxyde de fer.
- ❖ Même quantité de CO<sub>2</sub> dégagée (46.5%) pour les trois échantillons.
- ❖ La concentration de certaines impuretés est contrôlée, à titre d'exemple, dans les trois échantillons analysés, l'oxyde de magnésium, l'oxyde de fer, l'oxyde de l'aluminium et l'oxyde de silice sont contrôlés à des concentrations variées de 0,01% à 0,4%.

**Chapitre 6 :**  
**Réalisation du procédé**  
**Solvay au laboratoire**

Le procédé Solvay est une voie importante pour la préparation industrielle du carbonate de sodium à partir de saumure et de dioxyde de carbone. Dans ce chapitre, nous décrivons une méthode qui simule correctement le procédé Solvay en utilisant un montage expérimental simple. Le procédé utilise du calcaire et de la saumure comme matières premières pour produire de la soude et du chlorure de calcium. Le cœur du procédé réside dans les propriétés des gaz  $\text{NH}_3$  et  $\text{CO}_2$ , et dans la différence de solubilité entre le bicarbonate d'ammonium et le bicarbonate de sodium (figure VI-1).



**Figure VI-1:** Schéma simplifiant les réactions du procédé Solvay<sup>[46]</sup>.

Malgré l'importance et la simplicité des réactions impliquées, il existe peu d'exemples d'expériences didactiques qui explorent la synthèse du carbonate de sodium par le procédé Solvay. Les exemples trouvés utilisent invariablement des procédés discontinus, qui ont peu d'analogie avec les opérations unitaires vérifiées dans le procédé industriel continu. Ainsi, dans notre expérience nous décrivons un nouveau dispositif, qui permet de reproduire fidèlement les étapes d'ammonisation et de carbonatation de la saumure suivies de la précipitation de  $\text{NaHCO}_3$  de haute pureté et avec un bon rendement. De plus, l'appareil permet de faire varier les températures des colonnes d'ammoniac et de carbonatation et le débit relatif de ces gaz par rapport au débit de saumure à contre-courant.

<sup>[46]</sup> R.N.Shreve,Jr. Brink (1977) JA Industries de Procédés Chimiques ; 4<sup>ème</sup> Ed. Industries soude-alcali ; Processus Solvay,U.S.A, p. 208.

### VI-1 Description de l'appareil :

Les procédés d'ammonisation et de carbonatation ont été réalisés selon le montage à flux à contre-courant, Le dispositif (voir figure VI-2) se compose de :

- ❖ Deux colonnes vigreux sont reliées par un séparateur qui permet à la solution de s'écouler de la colonne supérieure vers la colonne inférieure par gravité, mais qui empêche le  $\text{CO}_2$  de remonter vers la colonne d'ammoniac.
- ❖ Le séparateur est constitué d'un tube d'environ 3 cm de diamètre et de 5 cm de longueur, aux extrémités duquel ont été montés un joint mâle et un joint femelle. Un tube ouvert (tube collecteur) ,a été soudé au joint mâle. Ce tube est partiellement recouvert par un tube de plus grand diamètre, fermé dans la zone intermédiaire et relié au joint femelle, qui est situé à un angle de  $180^\circ$  par rapport au joint mentionné précédemment. Cette disposition assure la formation d'une petite colonne de liquide qui empêche l'accès du gaz  $\text{CO}_2$  de la colonne inférieure vers la colonne supérieure, tout en laissant la solution s'écouler de la colonne supérieure vers la colonne inférieure. De petits trous dans la région du tube d'étanchéité, entre la base du joint femelle et le joint male, permettent le passage du flux de gaz ammoniac vers la colonne d'ammoniac tout en garantissant la libre circulation de la solution saturée de NaCl et de l'ammoniac de la colonne d'ammoniac à la colonne de carbonatation, à travers le séparateur.

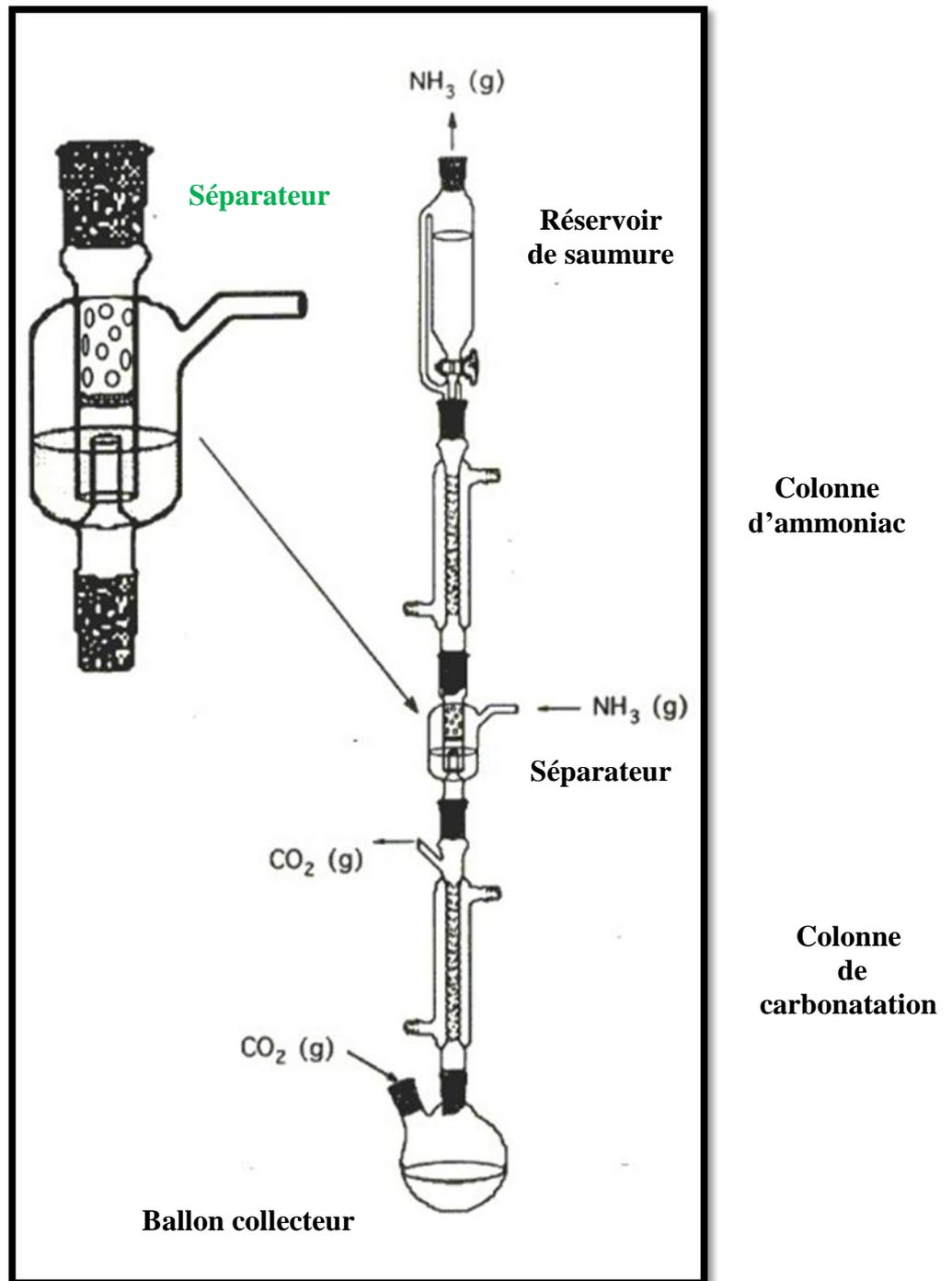


Figure VI-2 : Schéma représentatif de la simulation du procédé Solvay <sup>[47]</sup>.

<sup>[47]</sup> L.Adriano and all (1997) Instuto de Quimeca-USP-,Article,Sao Paulo,Brizil,P04.

**VI-2 Etapes d'obtention du carbonate de soude :** les étapes se déroulent comme suit :

### VI-2-1 Étape préalable : synthèse du dioxyde de carbone

Le  $\text{CO}_2$  gazeux a été obtenu par la calcination du carbonate de calcium dans un four de laboratoire à haute température ( $900^\circ\text{C}$ - $1100^\circ\text{C}$ ) et le  $\text{NH}_3$  gazeux a été généré en ajoutant lentement une solution concentrée d'ammoniaque, contenue dans une ampoule à addition. Le dioxyde de carbone a été injecté à partir d'une sortie latérale du ballon de collecte, qui est reliée à la partie inférieure de la colonne de carbonatation. L'excédent est éliminé par la sortie latérale en haut de la colonne. Le  $\text{NH}_3$  a été injecté dans le système à travers le séparateur, et l'excédent a été envoyé à l'entonnoir de séparation avec un égaliseur de pression contenant la saumure. La solution résultante a été refroidie dans un bain d'eau glacée (voir figure VI-3). Le précipité formé a été filtré, lavé avec de petites fractions d'eau glacée puis avec de l'éthanol et maintenu dans un dessiccateur sous vide pendant quelques heures.



**Figure VI-3 :** Appareil simulant le procédé Solvay au laboratoire <sup>[48]</sup>.

<sup>[48]</sup> Fabriqué par L'entreprise (EPE/SPA SOMIVER – THENIA -BOUMERDES) à la demande du binôme Messaoudi et Boudjelthia.

### VI-2-2 Première étape : Synthèse du $\text{NaHCO}_3$

On pèse une quantité correspondant à 0.5 moles (29,25g) de  $\text{NaCl}$ , à laquelle on ajoute une quantité de 0.5 moles (8.5 g) de  $\text{NH}_3$  diluée dans le même volume d'eau distillée et on agite jusqu'à la dissolution totale de  $\text{NaCl}$  (voir figure VI-6).

Les calculs utilisés pour cette étape sont détaillés ci-dessous :

$$m_{\text{NaCl}} = n_{\text{NaCl}} \times M_{\text{NaCl}} = 0,5 \times 58,5 = 29,25\text{g} \quad (11)$$

$$m_{\text{NH}_3} = n_{\text{NH}_3} \times M_{\text{NH}_3} = 0,5 \times 17 = 8,5 \text{ g} \quad (12)$$

Pour déterminer le volume de  $\text{NH}_3$  (28 % massique) qu'on va utiliser, on procède de la manière suivante :

$$100 \text{ g (NH}_3\text{)} \implies 28 \text{ g NH}_3$$

$$m_{\text{NH}_3}=? \longleftarrow 8,5 \text{ g NH}_3$$

$$\rho_{\text{NH}_3} = d = \frac{m_{\text{NH}_3}}{V} \quad \text{or} \quad \rho_{\text{NH}_3} = 0,9 \quad .$$

$$\Rightarrow V = \frac{100 \cdot 8,5}{28 \cdot 0,9} = 33,73 \text{ mL}$$

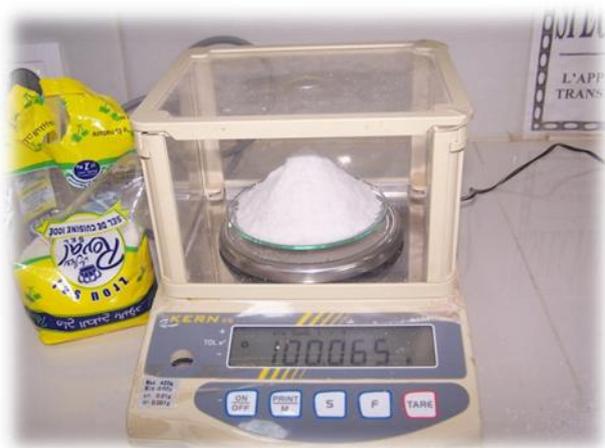


Figure VI-4 : préparation du  $\text{NaCl}_{(s)}$



Figure VI-5 : préparation du  $\text{NaCl}_{(aq)}$

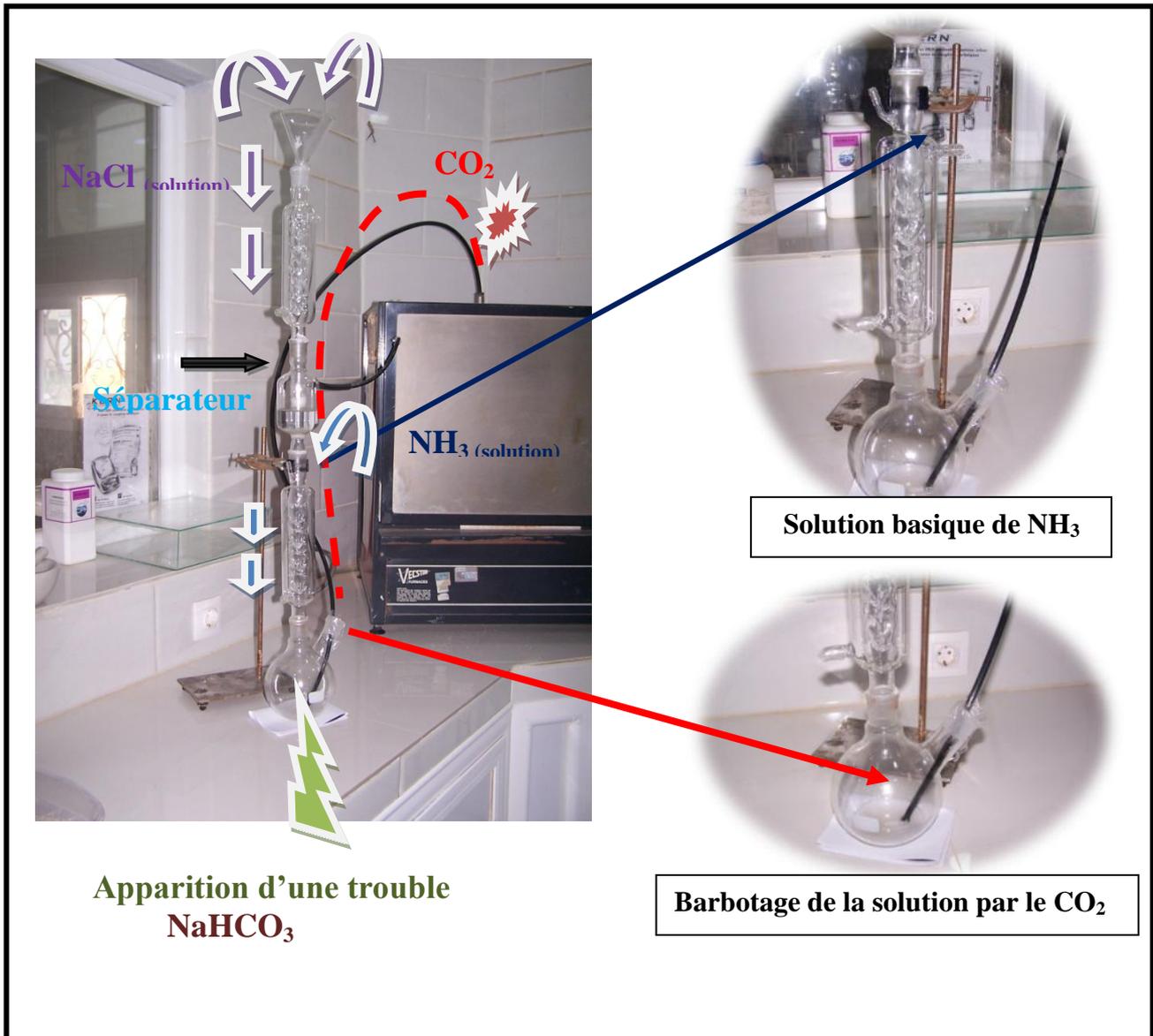


Figure VI-6 : Synthèse du NaHCO<sub>3</sub>.

On barbote la solution obtenue par le CO<sub>2</sub> provenant de la calcination du carbonate de calcium tout en plongeant le flacon dans un bain Marie pour maintenir la température entre 35°C- 36°C. On laisse poursuivre le barbotage jusqu'à l'apparition d'une trouble qui s'explique par la réaction suivante :



Par la suite, on filtre le contenu du flacon. La masse du solide obtenu est égale à 12.69 g. Le rendement de cette réaction est égal à:

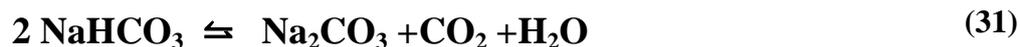
$$R_1 = \frac{m_{NaHCO_3_{exp}}}{m_{NaHCO_3_{théo}}} = \frac{12.69}{0.5 \cdot 84} \times 100 = 30.21 \% \quad (13)$$



Figure VI-7 : Filtration du  $NaHCO_3$ .

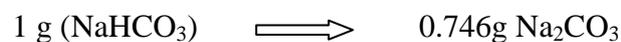
### VI-2-3 Seconde étape : Synthèse du carbonate de sodium $Na_2CO_3$

On pèse 1 g de  $NaHCO_3$  précédemment obtenu et on l'introduit dans un tube à essai après l'avoir séché et on le torréfie pour produire la réaction suivante :



Quand le dégagement gazeux est terminé, on pèse le  $Na_2CO_3$  formé qui est égale à:

$$m_{Na_2CO_3_{obtenu}} = 0.746g$$



D'où :

$$m_{Na_2CO_3, tot} = 12.69 \times 0.746 = 9.466 g$$

D'après la réaction précédente :

$$m_{Na_2CO_3, théo} = 26.5 g$$

Le rendement est de:

$$R_2 = \frac{m_{Na_2CO_3_{exp}}}{m_{Na_2CO_3_{théor}}} = \frac{9.466}{26.5} \times 100 = 35.72 \%$$

$$R_{total} = R_1 + R_2 = 65.93 \%$$

On note que le rendement peut être affecté par plusieurs facteurs, citons par exemple la quantité de réactifs et la température. Cette dernière doit varier dans une gamme de sûreté car si on dépasse une certaine valeur optimale de température, on risque de faire dissoudre le précipité formé.

#### VI-2-4 Etape suivante: Synthèse de l'ammoniac :

L'oxyde de calcium (CaO) synthétisé lors de l'étape préalable, permet de transformer l'ammonium (dans la solution de chlorure d'ammonium NH<sub>4</sub>Cl) en ammoniac NH<sub>3</sub> grâce à sa forte basicité. Du chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>) est également produit selon l'équation suivante :



#### Remarques importantes :

- Le chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>) ainsi synthétisé n'est pas un déchet mais un produit utile notamment dans des unités de réfrigération, pour le salage des routes par grands froids, dans les ciments et même dans l'alimentation.
- Si les proportions sont respectés, il reste de l'ammoniac (2NH<sub>3</sub>), de l'eau (2H<sub>2</sub>O) et du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Or, ce ne sont pas des déchets puisque ils peuvent être réutilisés par le procédé.

**VI-3 Analyse physico-chimique du carbonate de soude :** La simulation du procédé Solvay pour produire le carbonate de soude est réalisée avec succès pour les trois échantillons cités précédemment. Nous avons pu avoir une poudre blanche, très soluble dans l'eau qui forme une solution alcaline. Pour vérifier la qualité du carbonate de soude produit par les trois échantillons étudiés, on procède aux analyses chimiques réalisées au laboratoire NOVER.

On a déterminé le taux d'humidité et la perte au feu ainsi que l'oxyde de sodium pour le carbonate de soude en suivant les mêmes étapes cités au chapitre précédent.

❖ **VI-3-1 Dosage de l'oxyde de sodium (Na<sub>2</sub>O) par titrage**

Le protocole expérimental s'effectue selon les étapes suivantes :

- Sécher bien la matière et peser 2g de l'échantillon, puis ajouter 20 ml de NaOH (0,1 N) et 100 ml d'eau distillée chaude.
- Peser 15g de chlorures de baryum BaCl<sub>2</sub>, ajouter 150ml d'eau distillée et mélanger le tout, laisser reposer le mélange et titrer par HCL (0,1N) en présence de quelques gouttes de phénolphtaléine jusqu'au virage du blanc au rose soit V<sub>m</sub>.
- Repeser 2 g de carbonate bien séchées, ajouter 100ml d'eau distillée chaude, laisser le tout se refroidir ensuite prélever 50ml de la solution ,ajouter quelques gouttes d'orange de méthyle et titrer par HCL (0,1N) jusqu'au virage de l'orange au rose soit V'<sub>1</sub>.
- Prélever 50 ml de la solution, ajouter quelques gouttes d'orange de méthyle et titrer par HCL (1N) jusqu'au virage de l'orange au rose soit V'<sub>2</sub>.
- Prélever 20 ml de NaOH (0,1N) et titrer par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0, 1N) en présence de l'orange de méthyle jusqu'au virage de l'orange au rose soit V<sub>1</sub>.
- Prélever 20 ml de NaOH (0,1N) et la titrer par HCL (0,1N) en présence de l'orange de méthyle jusqu'au virage au rose soit V<sub>2</sub>.

Le volume moyen de HCL nécessaire pour titre la solution de carbonate V' est donné par la formule suivante :

$$V' = (V'_1 + V'_2) / 2 \quad (14)$$

**Avec :**

V<sub>m</sub> : le volume d'HCL (0,1N) nécessaire pour titrer le mélange.

V<sub>1</sub> : le volume d'HCL (1N) nécessaire pour titrer la solution de carbonate.

V'<sub>2</sub> : le volume d'HCL (1N) nécessaire pour titrer la solution de carbonate.

V' : le volume moyen d'HCL (1N) nécessaire pour titre la solution de carbonate.

Le pourcentage en Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> est donné par les équations suivantes :

$$\% \text{NaHCO}_3 = [V_1 - (V_1 \times V_m) / V_2] \times 0,42 \quad (15)$$

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = [(N_1 \times V') / V_p] \times (E_q / m_p) \times N_2 \times 100 \quad (16)$$

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = [(N_1 \times V') / 50] \times [(106 / 2) / 2] \times 0,1 \times 100 \quad (17)$$

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = V' \times 5.3 \quad (18)$$

Où :

$V_1$  : le volume d' $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,1N) nécessaire pour titrer NaOH (0,1N).

$V_2$  : le volume d'HCL (0,1N) nécessaire pour titrer NaOH (0,1N).

$N_1$  : normalité d'HCL (1N).

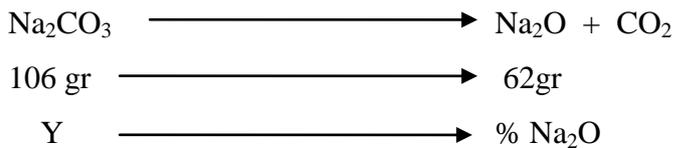
$N_2$  : normalité d'HCL (0,1N).

$V_p$  : volume de la prise d'essai.

$m_p$  : la masse de la prise d'essai .

$E_p$  : l'équivalent en gramme du carbonate de soude.

La différence entre les équations ( 19) et (20) donne l'expression du % de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  égale à Y



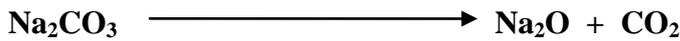
$$\% \text{Na}_2\text{O} = (Y \times 62) / 106 \quad (19)$$

**VI-4 Résultats obtenus pour les trois échantillons:** les résultats obtenus sont représentés ci-dessous :

❖ **Echantillon N° 01 :** les analyses effectuées sur le carbonate de soude de l'échantillon N° 1 de (SIG) MASKARA (voir figure VI-8) sont :

- Taux d'humidité :  $H_2O\% = 0.01$ .
- la perte au feu à  $1000^\circ C$  :  $PAF\% = 41.7$ .
- Dosage de l'oxyde de sodium ( $Na_2O$ ) :

D'après les résultats d'analyse  $\Rightarrow Na_2O = 55\%$



106 gr  $\longrightarrow$  62gr

Y  $\longrightarrow$  %  $Na_2O$

$Y = 106 \times 55 / 62 = 94.03$

$Na_2CO_3 = 94.03\%$

FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES																	H <sub>2</sub> O (%)	PAF (%)	OBS		
ECHANTILLON N° 01																					
Matière première à contrôler : carbonate de soude																	Date : 03/04/2022				
Avec Carbonate de calcium (SIG) MASKARA																					
Méthode d'analyse : méthode classique																					
Caractéristiques chimiques																					
Humidité (%)																					
Oxydes (%)	SiO <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> O		MgO		CaO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub>		SO <sub>3</sub>				
Limites	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	0.01	41.7	
Résultats	---		55		---		---		---		---		---		---		---				

Visa Opérateur  
*[Signature]*

Visa du responsable laboratoire  
*[Signature]*  
P. Trouvillier  
NOVEL SPA  
Département Laboratoire

Figure VI-8 : Fiche d'analyse du carbonate de soude (Ech.N°1).

❖ **Echantillon N° 02** : les analyses effectuées sur le carbonate de soude de l'échantillon N°= 2 de (ENG KHROUB) CONSTANTINE (voir figure VI-9) sont :

- Taux d'humidité :  $H_2O\% = 0.01$ .
- la perte au feu à  $1000^\circ C$  :  $PAF\% = 41.7$ .
- Dosage de l'oxyde de sodium ( $Na_2O$ ) :

D'après les résultats d'analyse  $\rightarrow Na_2O = 57.8\%$



$$106 \text{ gr} \longrightarrow 62 \text{ gr}$$

$$Y \longrightarrow \% Na_2O$$

$$Y = 106 \times 57,8 / 62 = 98,81$$

$$Na_2CO_3 = 98.81 \%$$

**FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES**

**ECHANTILLON N° 02**

Matière première à contrôler : carbonate de soude  
Avec Carbonate de calcium (ENG) KHROUB - CONSTANTINE-

Date : 25/03/2022

Méthode d'analyse : méthode classique

Caractéristiques chimiques																H <sub>2</sub> O (%)	PAF (%)	OBS				
Humidité (%)																						
Oxydes (%)	SiO <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> O		MgO		CaO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub>		SO <sub>3</sub>					
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max				
Limites			57	58																0.01	41.7	
Résultats	----		57.8		----		----		----		----		----		----		----					

Visa Opérateur

*[Signature]*

Visa du responsable laboratoire

*[Signature]*

2022/03/25  
Département Laboratoire

Figure VI-9 : Fiche d'analyse du carbonate de soude (Ech.N°2).

❖ **Echantillon N° 03** : les analyses effectuées sur le carbonate de soude de l'échantillon

N°= 3 de (ENOF) TELEMEN (voir figure VI-10) sont :

- Taux d'humidité :  $H_2O\% = 0.01$ .
- la perte au feu à  $1000^\circ C$  :  $PAF\% = 41.5$ .
- Dosage de l'oxyde de sodium ( $Na_2O$ ) :

D'après les résultats d'analyse  $\Rightarrow Na_2O = 57.24\%$



106 gr  $\longrightarrow$  62gr

Y  $\longrightarrow$  %  $Na_2O$

$Y = 106 \times 57.24 / 62 = 97,86\%$

$Na_2CO_3 = 97,86\%$

**FICHE D'ANALYSE MATIERES PREMIERES**

ECHANTILLON N° 03

Matière première à contrôler : carbonate de soude  
Avec Carbonate de calcium (ENOF) TELEMEN

Date : 31/03/2022

Méthode d'analyse : méthode classique

Caractéristiques chimiques																	H <sub>2</sub> O (%)	PAF (%)	OBS
Humidité (%)																			
Oxydes (%)	SiO <sub>2</sub>		Na <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> O		MgO		CaO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub>		SO <sub>3</sub>		
Limites	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
			57	58															
Résultats	----		57.24		----		----		----		----		----		----		----		

Visa Opérateur



Visa du responsable laboratoire



Figure VI-10 : Fiche d'analyse du carbonate de soude (Ech.N°3)

**VI-5 Interprétation des résultats obtenus :**

Afin de vérifier si les produits synthétisés (les trois échantillons) répondent aux normes, une comparaison avec la fiche de données de sécurité (FDS N° 497-19-8) établie pour le carbonate de soude et respectée par le laboratoire NOVER (voir figure VI-11).

- Pour l'oxyde de sodium, la norme applicable au laboratoire NOVER varie entre 57% < Na<sub>2</sub>O < 58%, ce qui nous permet de conclure que les deux échantillons 2 et 3 ont des valeurs comprises dans cet intervalle.

- Pour le carbonate de sodium, les trois valeurs de pourcentage obtenues sont proches de la valeur donnée dans la FDS N° 497-19-8) qui est de 99.3% au minimum. La légère différence entre les valeurs obtenues est due aux pertes dues pendant les essais.

**SISECAM**  
**SODA ASH DENSE**

**DESCRIPTION:**

A substance which is white, granule, hygroscopic and soluble in water. Its solution in water is clear and colorless. Main component is Sodium Carbonate.

**CHEMICAL NAME** : Sodium Carbonate-Anhydrous  
**STANDART NO** : TS 525 (class 3D)  
**EINECS NO** : 207-838-8  
**CAS NO** : 497-19-8  
**REACH Registration Number** : 01-2119485498-19-0003

**CHEMICAL SPECIFICATIONS:**

	NORM
Sodium Carbonate, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (%)	Min. 99.30
Sodium Chloride NaCl (%)	Max. 0.20
Iron, Fe <sup>3+</sup> (ppm)	Max. 15
Insoluble part in water (%)	Max. 0.01
Sulfate, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)	Max. 0.027
Copper, Cu (ppm)	Max. 1
Arsenic, As (ppm)	Max. 1
Lead, Pb (ppm)	Max. 2
Mercury, Hg (ppm)	Max. 0.1
Drying Lost (%)	Max. 0.5

**Figure VI-11** : La fiche de données de sécurité du carbonate de soude N° 497-19-8.

# **Conclusion générale**

## CONCLUSION

---

Le génie chimique est un domaine très vaste au sein de l'industrie, ses applications et ses contributions à la société, à l'industrie en tant que telle, à l'économie, à l'ergonomie et en général à l'humanité ont été assez étendues. Elle est présente dans tout processus industriel, à tout moment elle peut intervenir, cela a été le cas pour la collaboration dans la création de substances qui rendent la vie de l'homme beaucoup plus confortable.

La découverte de deux grands chimistes Leblanc et Solvay qui ont réussi à décrypter comment produire le carbonate de soude, Leblanc est entré dans l'histoire pour avoir mis au point le procédé qui porte son nom pour obtenir de la soude à partir de sources non biologiques, sa méthode a été en vigueur pendant près de cent ans jusqu'à ce que Solvay inventa la sienne; elle ne nécessite que deux matières premières : le sel ( $\text{NaCl}$ ) et le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ). La raison pour laquelle la méthode Leblanc a cessé d'être applicable est due à la contamination qu'elle génère au cours de son procédé, La pollution causée par l'utilisation de ce procédé est ce qui a déterminé son déclin, car c'est que Solvay avec sa méthode, rend le procédé plus efficace et surtout moins polluant.

Nous avons tiré profit de la possibilité de simuler le procédé Solvay au laboratoire NOVER de Chlef à l'aide d'un montage expérimental très simple. Les résultats obtenus sont impressionnants (94.03% de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pour le 1<sup>er</sup> échantillon de ENOF SIG MASKARA, 98.81% pour le 2<sup>ème</sup> échantillon ENG KHROUB CONSTANTINE, 97.86% pour le 3<sup>ème</sup> échantillon ENOF TLEMCEN). Ces valeurs sont très proches de la valeur seuil exigée selon la fiche de données de sécurité qui exige 99.3% de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Le carbonate de soude est un produit qui a aujourd'hui une grande variété d'application, y compris son utilisation comme pigment, agent neutralisant ou comme composant de savons et de détergents. Au plan national, les utilisateurs de carbonate de sodium sont essentiellement :

- L'industrie du verre : ENAVA, MFG, Alver/Condor, autres.
- L'industrie des détergents : ENAD, HENKEL, UNILIVER, etc.
- L'industrie des engrais : ASMIDAL.
- Divers industries : Mines, Hydrocarbures, Métallurgie... etc.

## CONCLUSION

L'estimation de la demande nationale est telle que les importations actuelles sont estimées en 2017 à 180 000 T/an (Conseil National de l'Information Statistique).

- MFG (CEVITAL) 100 000 t/an.
- Alver/CONDOR 3 000 t/an.
- Autres distributeurs 34 000 t/an.
- Filiales ENAVA 10 000 t/an.
- VEREST SOUK AHRAS 3 000 t/an.
- Filière détergents 30 000 t/an.

### Recommandations :

Les matières premières pour fabriquer le carbonate de soude sont facilement disponibles et peu coûteuses en Algérie. Les gisements de matières premières sont : le sel, le calcaire, l'ammoniaque.

- ❖ **Le sel** : les gisements de sel gemme les plus importants en Algérie sont estimés à plus de 1 milliard de tonnes, dont :

Lieu	Wilaya	Quantité (Million tonne)	Observations
Ain Nouissy	Mostaganem	400 000 000	En couche
Guergour	Setif	263 000 000	//
Arbal	Temouchent	260 000 000	Souterrain
El Outaya	Biskra	150 000 000	Apparent sel à 99,85 raffinés
Rocher de sel	Djelfa	120 000 000	
Kerakda	El Bayadh	45 000 000	

- ❖ **Le calcaire** :

- Calcaire de Ténès (W. Chlef),
- Calcaire noir de Dhar El Mendjel (W. AïnTémouchent),
- Calcaire à nummulites et silex de Djebel Dyr (W. Tébessa),
- Calcaire noir de Djebel Def (W. Tébessa),
- Calcaire de Djebel Ghorab (W, Biskra).

- ❖ **L'ammoniac** :

La production en ammoniac en Algérie est plus que suffisante pour la production de carbonate de sodium prévue. Etant donné les besoins de l'industrie pénitentiaire pour

## CONCLUSION

---

cette matière première, il est impératif que nous réfléchissions sérieusement à implanter une usine pour la fabrication de cette matière en Algérie. La rareté de cette matière et son prix élevé sur les marchés étrangers ont entraîné un faible niveau de production et la fermeture de nombreux établissements.

Il est proposé de penser à construire une usine en utilisant le procédé Solvay pour la production du carbonate de sodium à partir des richesses locales de sel et de calcaire situées dans le Nord, Ouest et l'Est du pays au lieu de compter uniquement sur l'importation extérieure. Notre souci principal est de contribuer au développement de notre pays, on espère que ce projet de fin d'études participera à faire avancer la cause de développement national en fournissant une solution viable, rentable et respectueuse de l'environnement.

# **Bibliographie**

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A .Ayat (2015) Contribution à L'Elaboration Et La Caractérisation D'Un Eco-mortier D'Enduit à Base De Chaux Et Déchets De Briques, Mémoire Du Master, Algérie.
- [2] A. S. Robertson(2000) Allied Chemical Corporation. Alkali and Chlorine Products- Sodium Carbonate, 4<sup>th</sup> Ed, U.S.A.
- [3] A.Demirbas (2001) Production of Sodium, Carbonate From Soda Ash via Flash Calcination in a Drop Tube Furnace, Article, Trabzon,Turkey.
- [4] A.Heaton(1996) Introduction à La Chimie Industrielle,3<sup>eme</sup> Ed, Blackie Academic And Professional,U.S.A.
- [5] B.Bourguel (1992) les carbonates et les sulfates de sodium: L'entreprise au service de la terre , France.
- [6] Centre National d'Appui à La Recherche (1996) Page Naturelle De la terre Tchadienne.
- [7] D. Ait kadi (2015) Analyse du Marché du  $\text{CaCO}_3$  , Université Lava, Thèse De Doctorat Qubec.
- [8] D.F.Kiefer (2002)Soda Ash ,Solvay Style, 11 :2,Université de porto,Portugal.
- [9] Danushka, P. A ( 2008) Design Of Soda Ash Prod. Plant. University of Moratuwa,Seri Lanka.
- [10] E. Rau, FMC Corporation,Alkali and ChlorineProducts—Sodium Carbonate, 3<sup>rd</sup> Ed. Vol. 1, Philadelphia, U.S.A.
- [11] F. Rauh, FMC Corporation: 5<sup>th</sup> Ed., Vol. 22, Philadelphia, U.S.A.
- [12] G. Steinhauser ( 2007) Journal Of Cleaner Production In The Solvay Process , University of Technology,Vienna, Austria.
- [13] H.Krachi (2017) Contrôle De Qualité De Sel Fabriqué l'ENASEL, Département De Chimie, Mémoire Du Master, Algérie .
- [14] H.Mebarki (2013) Etude Comp. Des Clinkers De L'Ouest Algérie, Départ. De Chimie, Mémoire Du Master, Algérie.
- [15] Institut De Prospective Technologique(2006) Prévention Et Réduction Intégrées De La Pollution, Produits Chimiques Inorganiques En Grands Volumes –Solides Et Autres, France.
- [16] J. A. Brink , Sodium Carbonates in ECT 1<sup>st</sup> Ed., Vol. 12, U.S.A.
- [17] J.C.Charpotier (2000) Fabrication Des Grands Produits Industriels En Chimie (2<sup>eme</sup> éd.) Technique De L'ingenieur ,France.

- [18] J.P.Detournay, D (2004) Soda Ash Process BREF. ESAPA .
- [19] Jain, R.S And Mahajan (1982) Modified Solvay Process And Pollution Control At PNFC. Chem.Eng.World,19(4),Arabie Saoudite.
- [20] Jr., Purdue ,University Sodium Compounds, Carbonates'' 2<sup>nd</sup> Ed., Vol. 18,New York,U.S.A.
- [21] K.Berrabah (2017) Suivre Du Processus De Fabrication Du Sel Dans L'Entreprise ENASEL Département De Chimie, Algérie.
- [22] KM. Wagialla, I.S. Al-Mutaz and M.E. El-Dahshan ,Chemical Engineering Department, King Saud University, Riyadh 11421, Arabie Saoudite.
- [23] L.Adriano and all (1997) Instituto de Quimica-USP-,Article,Sao Paulo,Brizil.
- [24] L.Arar (2019) Etude De L'Inhibiteur De Teneur  $Ca^{+2}$  et  $Mg^{+2}$  Lors Des Traitements De Pissement De Sel Génie Des Procédés, Mémoire Du Master, Algérie.
- [25] Le Conseil National de l'Information Statistique(CNIS), Algérie.
- [26] M.Bourzeg (2014) Etude Géologique et Minière de Quelques Roches Industrielles, Thèse de Doctorat en Science, Université de Constantine, Algérie.
- [27] M.Sayeh(2017) Entreprise Nationale Des Granulats, Algérie.
- [28] P. W. Harben (2002) The Industrial Minerals Hand Book, London. 4<sup>th</sup> Edition Angleterre.
- [29] R. Bernhart Owen (2019) Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Angleterre.
- [30] R.Aditya and All (2016)  $Na_2CO_3$  (Soda Ash),Chemical Process Depart,Gajdah Mada University,Indonesia.
- [31] R.Dyni, R. W (1998). Proceeding of The First International Soda Ash Conference. Volume1, Wyoming State Geological Survey,U.S.A.
- [32] R.N.Shreve,Jr. Brink (1977) JA Industries de Procédés Chimiques , 4<sup>eme</sup> Ed. Industries soude-alkali ; Processus Solvay, U.S.A.
- [33] RP.Oesper(1942) Nicolas Leblanc (1742-1806), J.Chem.Ed.19,U.S.A.
- [34] S.Orgul(2003) Evaluation of soda ash production, The Middle East Technical University, Ankara,Turquie.
- [35] Shakhashiri (2010) Sodium Hyd. Carbonate And Sod. Carbonate chem., Article,U.S.A.
- [36] Soda Ash manufacturing industry,production of sodium carbonate. NPCS, New Delhi,India..
- [37] Technical & Handling Guide (2018) Soda Ash, General Chemical Industrial Products, Article, U.S.A.

[38] V.W.Stephen, W.D.Grundy And J.R.Dyni, Trona Resources In The Green River,  
U.S.Geological Survey Open-file Report 95-476, U.S.A.

[39] W.A.Compbell(2000) The Alkali Industry,Chemie,Société et environnement,U.S.A.

[40] Yoming States Park & Cultural Roussources, Trona Trail Interp. Plan, Article, U.S.A.