

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique



Département de Génie Chimique  
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister en Génie Chimique  
Présenté par  
ATMA Wafa  
Ingénieur d'Etat en Génie Chimique de l'Université de Constantine

*Quantification et prévention de la pollution  
engendrée par l'unité Linde Gaz Algérie*

Soutenu en Juin devant le jury :

<b>Mme F. MOHELLEBI</b>	<i>Présidente, Maître de Conférences (ENSP)</i>
<b>Mme F. SOUAHI</b>	<i>Directrice du Mémoire, Maître de Conférences (ENSP)</i>
<b>Mme A. MEFTI</b>	<i>Examinatrice, Chargée de Cours (ENSP)</i>
<b>Mr M. NAKIB</b>	<i>Examineur, Chargé de Cours (ENSP)</i>
<b>Mme F. AZIRA</b>	<i>Invitée, Ingénieur, Linde Gaz Algérie</i>

Année universitaire 2008-2009

## *Dédicaces*



*A ma famille*

*A mon mari et sa famille*

*A toutes mes amies*

*A tous ceux qui ont contribué  
de près ou de loin à ma formation.*



## REMERCIEMENTS

*Louange à ALLAH Tout Puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.*

*Je dois toute la reconnaissance à Madame Fatiha SOUABI, Maître de Conférences à l'ENSP, pour la confiance qu'elle m'a accordée en me proposant ce sujet et pour son aide constante et les conseils très utiles qu'elle n'a cessé de me prodiguer. Qu'elle trouve ici mes plus respectueux remerciements.*

*Il m'est tout particulièrement agréable de pouvoir remercier Monsieur Maamar NAKIB, Chargé de Cours à l'ENSP, qui a su m'écouter, me comprendre et m'encourager. Par son expérience dans le domaine de l'environnement, il m'a aidé à faire évoluer très sensiblement ce travail.*

*Je remercie Madame Ferroudja MOHELLEBI, Maître de Conférences à l'ENSP, qui me fait l'honneur de présider le jury.*

*Je tiens également à remercier Madame Afia MEFTI, Chargée de Cours à l'ENSP et Monsieur Maamar NAKIB d'avoir accepté la charge de rapporter mon travail.*

*Je remercie, Monsieur Ahmed KETTAB, Directeur du Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau, et Monsieur Omar MOALI, Chef du Laboratoire Régional Centre de l'O.N.E.D.D (Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable), pour m'avoir accueillie et autorisée à effectuer des expériences nécessaires à la réalisation de ce mémoire.*

*Je remercie Monsieur YOUSSEFI, Directeur de l'Unité Linde Gaz Algérie de Réghaïa de m'avoir accueillie dans l'unité, en me donnant l'opportunité d'acquérir une réelle expérience en milieu industriel.*

*Ma gratitude s'adresse également à tout le personnel de l'unité de Réghaïa notamment Monsieur FERHANI, Madame et Monsieur AZIRA et les chefs des différents ateliers.*

*Que Monsieur Ahmed Zaïd, Chef du Département de Génie Chimique, reçoive toute ma reconnaissance pour sa disponibilité, ses conseils et surtout pour sa patience.*

*Qu'il me soit permis de remercier les enseignants du Département de Chimie Industrielle de l'Université de CONSTANTINE, en particulier Madame Safia SEMRA et Monsieur Mohamed Salah KOUTCHOUKALI.*

*Je ne peux terminer sans remercier spécialement mes très chers collègues Sabrina, Radia, Samir et Chafei pour l'ambiance cordiale et l'aide qu'ils m'ont apportée à tout moment. Je leur souhaite à tous une bonne continuation et une vie pleine de succès.*

*Enfin, Je tiens à exprimer mes sentiments de reconnaissance à toutes les personnes qui, par leur aide et leurs encouragements, m'ont permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.*

## ملخص

النفايات الصناعية تشكل خطرا وتهديدا دائما لكل من البيئة والصحة البشرية. وفقا لنوع النفايات، يمكننا تحديد بعض عمليات المعالجة المناسبة لها، الهدف منها تحويل النفايات إلى أشكال والتي تمكننا إما من إعادة استخدامها أو تدميرها. لهذا الغرض ، قمنا بوصف شامل و مناسب للنفايات يؤدي إلى تحديد دقيق للمشاكل البيئية التي نتجت وفقا لنوع النفايات. دراستنا هذه تركز على نشاط مصنع الغازات الصناعية الواقعة في المنطقة الصناعية لرعاية : LINDE GAZ ALGERIE . بعد تحليل الموقع و تشخيص الوضع العام للمصنع ركزنا على تحديد خصائص التلوث الناتج عن هذه الوحدة ، و على تقييم النوعي والكمي توصلنا من خلالها لاقتراح بعض الحلول أجل تحسين الرقابة على البيئة

**الكلمات الأساسية :** الغاز الصناعي، التلوث ، النفايات السائلة، النفايات الصلبة

## RESUME

Les déchets industriels possèdent un fort potentiel de dangerosité pour l'environnement et la santé. Selon leur catégorie, on peut envisager des procédés de traitements particuliers dans le but de les transformer en une forme qui leur permette par la suite d'être soit valorisés soit détruits. Pour cela, une bonne caractérisation de ces déchets vise à préciser la problématique posée par leur gestion.

Notre étude s'est intéressée à l'activité industrielle de l'unité de production de gaz "LINDE GAZ ALGERIE" implantée à Réghaïa.

Après un état des lieux et une analyse de la situation au niveau de cette unité, le travail proposé a eu pour objectif la caractérisation de la pollution par une étude qualitative et quantitative des éléments rejetés.

Des solutions sont proposées pour préserver l'environnement.

**Mots clés :** gaz industriel, pollution, rejet liquide, rejet solide

## Abstract

The industrial wastes are a permanent threat and hazard for both environment and human health. According to waste type, some particular treatment processes can be considered in order to achieve suitable transformation of these wastes into forms which enable them either to be re-used or simply destroyed. For such a purpose, a suitable waste characterization should lead to accurately specifying the problems issued by their management.

Our study focused on the industrial activity of a gas manufacturing plant "LINDE GAS ALGERIE" situated in Reghaia industrial pole of Algiers.

Following a brief sketch of the site and an analysis of the general situation of the plant, our study focused on the characterization of the pollution generated by this unit and both a qualitative and quantitative assessment of the generated wastes was performed whereupon some solutions were suggested in order to achieve a better control of the environment.

**Key words:** industrial gas, pollution, liquid waste, solid waste

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>01</b>
<b>I. PRESENTATION DE L'UNITE</b> .....	<b>04</b>
<b>I.1. Historique</b> .....	<b>04</b>
<b>I.2. L'unité des gaz industriels d'aujourd'hui</b> .....	<b>04</b>
<b>I.3. Activités de Linde Gaz Algérie</b> .....	<b>05</b>
<b>II. PRESENTATION DES DIFFERENTS ATELIERS DE L'UNITE LINDE GAZ ALGERIE</b> .....	<b>07</b>
<b>II.1. Atelier de production de dioxyde de carbone</b> .....	<b>07</b>
<i>II.1.1. Généralités sur le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub></i> .....	<b>07</b>
<i>II.1.2. Description et fonctionnement de l'atelier de CO<sub>2</sub></i> .....	<b>09</b>
<b>II.2. Atelier de séparation et de liquéfaction des gaz de l'air</b> .....	<b>12</b>
<i>II.2.1. Généralités sur Les gaz de l'air : l'oxygène et l'azote</i> .....	<b>12</b>
<i>II.2.2. Description et fonctionnement de l'atelier de séparation et liquéfaction des gaz de l'air</i> .....	<b>14</b>
<b>II.3. Atelier de production du protoxyde d'azote</b> .....	<b>17</b>
<i>II.3.1. Généralités sur le protoxyde d'azote</i> .....	<b>17</b>
<i>II.3.2. Description et fonctionnement de l'atelier de protoxyde d'azote</i> .....	<b>18</b>
<b>II.4. Atelier de production de l'acétylène</b> .....	<b>22</b>
<i>II.4.1. Généralités sur l'acétylène</i> .....	<b>22</b>
<i>II.4.2. Description et fonctionnement de l'atelier d'acétylène</i> .....	<b>23</b>
<b>III. LES REJETS SOLIDES ET LIQUIDES INDUSTRIELS</b> .....	<b>28</b>
<b>III.1. Généralités sur la pollution</b> .....	<b>28</b>
<i>III.1.1. Définition de la pollution</i> .....	<b>28</b>
<i>III.1.2. Les principaux types de pollution</i> .....	<b>29</b>
<i>III.1.3. Les principales sources de la pollution</i> .....	<b>30</b>
<b>III.2. Les rejets solides industriels : Les déchets industriels</b> .....	<b>32</b>
<i>III.2.1. Définition du déchet</i> .....	<b>32</b>
<i>III.2.2. Approche environnementale</i> .....	<b>33</b>
<i>III.2.3. Approche économique</i> .....	<b>33</b>
<i>III.2.4. Typologie des déchets</i> .....	<b>33</b>
<i>III.2.5. Les stratégies de gestion des déchets</i> .....	<b>33</b>
<i>III.2.6. Différents modes de valorisation des déchets</i> .....	<b>35</b>

<b>III.3. Les rejets liquides industriels .....</b>	<b>36</b>
<i>III.3.1. Caractérisation des eaux résiduaires industrielles.....</i>	<i>36</i>
<i>III.3.2. Effets de rejets liquides industriels.....</i>	<i>39</i>
<i>III.3.3. Méthodes de traitements de la pollution industrielle.....</i>	<i>43</i>
<b>III.4. Contraintes et législations des rejets liquides industriels.....</b>	<b>46</b>
<i>III.4.1. Le principe pollueur- payeur.....</i>	<i>46</i>
<i>III.4.2. L'Algérie et la pollution de l'eau.....</i>	<i>46</i>
<i>III.4.3. Les réglementations environnementales algériennes .....</i>	<i>47</i>
<b>IV. LA PREVENTION DE LA POLLUTION : TECHNOLOGIES PROPRES .....</b>	<b>50</b>
<b>IV.1. Qu'est-ce que la prévention de la pollution ? .....</b>	<b>50</b>
<b>IV.2. Méthodes de prévention de la pollution.....</b>	<b>52</b>
<b>IV.3. Dépollution en aval .....</b>	<b>53</b>
<b>IV.4. Les avantages de la prévention de la pollution .....</b>	<b>54</b>
<b>IV.5. Le zéro-rejet.....</b>	<b>54</b>
<b>V. POLLUTION ENGENDREE PAR L'UNITE : DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL .....</b>	<b>55</b>
<b>V.1. Etablissement d'un bilan détaillé de la consommation en eau .....</b>	<b>55</b>
<b>V.2. Produits utilisés pour le traitement des eaux de procédés .....</b>	<b>58</b>
<b>V.3. Produits chimiques utilisés par atelier .....</b>	<b>61</b>
<b>V.4. Recensement et localisation des points de prélèvement des échantillons.....</b>	<b>63</b>
<i>V.4.1. Prélèvement et conservation des échantillons d'eau rejetée.....</i>	<i>65</i>
<i>V.4.2. Prélèvement et conservation de l'échantillon rejet solide.....</i>	<i>66</i>
<b>V.5. Les différents paramètres de pollution étudiés .....</b>	<b>66</b>
<b>V.5.1. paramètres mesurés au niveau de l'unité (in situ) .....</b>	<b>66</b>
<b>V.5.2. Paramètres mesurés aux laboratoires.....</b>	<b>67</b>
<b>VI. ANALYSES, RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>69</b>
<b>VI.1. Etude des eaux de procédés au niveau des différents ateliers.....</b>	<b>69</b>
<i>VI.1.1. Mesure des titres alcalimétriques : TA, TAC et TH.....</i>	<i>69</i>
<b>VI.2. Etude des eaux de rejets .....</b>	<b>76</b>
<i>VI.2.1. Mesure des débits de rejets .....</i>	<i>76</i>
<i>VI.2.2. Résultats d'analyse des rejets liquides.....</i>	<i>77</i>
<b>VI.3. Résultats d'analyse du rejet solide : la chaux hydratée .....</b>	<b>82</b>
<b>VI.4. Recommandations et solutions proposées.....</b>	<b>84</b>

<b>VI.4.1. Problème des purges</b> .....	<b>84</b>
✓ <b>Dimensionnement d'un bassin d'attente</b> .....	<b>85</b>
<b>VI.4.2 Rejet solide</b> .....	<b>86</b>
✓ <b>Etude de la possibilité de réutiliser ce rejet solide</b> <b>dans les traitements des rejets industriels</b> .....	<b>86</b>
✓ <b>Etude de la possibilité de réutiliser ce rejet solide</b> <b>dans l'épandage des sols acides</b> .....	<b>86</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>91</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>ANNEXES</b>	

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.</b>	Image Google earth donnant l'endroit de l'unité Linde Gaz Algérie .....	06
<b>Figure 2.</b>	Diagramme température / pression de CO <sub>2</sub> .....	07
<b>Figure 3.</b>	Différentes étapes de la génération de CO <sub>2</sub> .....	09
<b>Figure 4.</b>	Schéma du procédé de production de CO <sub>2</sub> .....	11
<b>Figure 5.</b>	Schéma de l'installation d'atelier de séparation et de liquéfaction des gaz de l'air ..	16
<b>Figure 6.</b>	Schéma de l'atelier du protoxyde d'azote .....	21
<b>Figure 7.</b>	Le carbure de calcium.....	25
<b>Figure 8.</b>	Schéma d'un générateur d'acétylène par voie humide .....	25
<b>Figure 9.</b>	Le générateur d'acétylène de l'unité .....	25
<b>Figure 10.</b>	Schéma de l'atelier de production de l'acétylène.....	27
<b>Figure 11.</b>	Les rejets solides et liquides industriels .....	28
<b>Figure 12.</b>	Stratégies de gestion des déchets .....	34
<b>Figure 13.</b>	Dégradation primaire et ultime .....	41
<b>Figure 14.</b>	Représentation du phénomène d'eutrophisation.....	41
<b>Figure 15.</b>	Interactions entre l'homme et l'environnement.....	42
<b>Figure 16.</b>	Les divers types de traitement d'eaux résiduaires .....	45
<b>Figure 17.</b>	Pollution de l'eau -source : industrie chimique (% des émissions totales - DBO) Algérie.	47
<b>Figure 18.</b>	Quelques moyens pour réduire les déchets à la source. ....	51
<b>Figure 19.</b>	Circuit de refroidissement semi - ouvert .....	56
<b>Figure 20.</b>	Circuit de refroidissement fermé.....	57
<b>Figure 21.</b>	Installation de prétraitement des eaux de production, Linde Gaz Algérie, Réghaïa.	59
<b>Figure 22.</b>	Localisation des différents points de prélèvement .....	64
<b>Figure 23.</b>	Evolution de la température au niveau des quatre points de prélèvement .....	77
<b>Figure 24.</b>	Evolution du pH dans le temps sur les quatre points de prélèvement .....	78
<b>Figure 25.</b>	Bassin d'attente des rejets .....	85

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.</b>	Gamme de gaz produits par Linde Gaz Algérie.....	05
<b>Tableau 2.</b>	Utilisations de CO <sub>2</sub> : Gaz, liquide et solide .....	08
<b>Tableau 3.</b>	Propriétés physico-chimiques, biologiques et les utilisations de l'O <sub>2</sub> et du N <sub>2</sub> .....	13
<b>Tableau 4.</b>	Principales applications du protoxyde d'azote.....	18
<b>Tableau 5.</b>	Composition et volume des tours de lavage de l'atelier N <sub>2</sub> O.....	19
<b>Tableau 6.</b>	Classification des principaux types de pollution des eaux.....	29
<b>Tableau 7.</b>	Nature des rejets et leurs impacts.....	40
<b>Tableau 8.</b>	Valeurs limites des paramètres de rejets des effluents Liquides Industriels.....	49
<b>Tableau 9.</b>	Composition molaire du gaz naturel par chromatographie.....	61
<b>Tableau 10</b>	Différents produits chimiques utilisés annuellement dans l'atelier de CO <sub>2</sub> .....	61
<b>Tableau 11.</b>	Différents produits utilisés annuellement dans l'atelier de gaz de l'air.....	62
<b>Tableau 12.</b>	Différents produits chimiques utilisés annuellement dans l'atelier de N <sub>2</sub> O.....	62
<b>Tableau 13.</b>	Différents produits chimiques utilisés annuellement dans l'atelier d'acétylène.....	62
<b>Tableau 14.</b>	Méthodes standardisées pour l'analyse des effluents liquides .....	68
<b>Tableau 15.</b>	Méthodes standardisées pour l'analyse de rejet solide (Quantification des métaux lourds)..	68
<b>Tableau 16.</b>	Index de RYZNAR.....	70
<b>Tableau 17.</b>	Résultats d'analyses de l'eau de forage.....	71
<b>Tableau 18.</b>	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'alimentation de l'atelier gaz de l'air	72
<b>Tableau 19.</b>	Calcul de l'index de LANGELIER et de RYZNAR pour L'Atelier gaz de l'air....	73
<b>Tableau 20.</b>	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'alimentation de l'atelier CO <sub>2</sub> .....	74
<b>Tableau 21.</b>	Calcul de l'index de LANGELIER et de RIZNAR pour l'Atelier CO <sub>2</sub> .....	75
<b>Tableau 22.</b>	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de bassin d'atelier N <sub>2</sub> O.....	75
<b>Tableau 23.</b>	Calcul de l'index de LANGELIER et de RIZNAR pour L'Atelier N <sub>2</sub> O.....	76
<b>Tableau 24.</b>	Valeur de débit de rejet des différents ateliers.....	76
<b>Tableau 25.</b>	Résultats d'analyse pour la première séance de prélèvement.....	79
<b>Tableau 26.</b>	Résultats d'analyse pour la deuxième séance de prélèvement.....	79
<b>Tableau 27.</b>	Résultats d'analyse au niveau du collecteur principal.....	79
<b>Tableau 28.</b>	Résultats d'analyses des métaux lourds dans les rejets liquides.....	82
<b>Tableau 29.</b>	Résultats de l'analyse chimique de la chaux hydratée de l'unit é de Bahreïn.....	83
<b>Tableau 30.</b>	Résultats de l'analyse de la chaux hydratée de l'unité de Réghaïa.....	83
<b>Tableau 31.</b>	Différents purges de l'unité.....	84
<b>Tableau 32.</b>	Effet du pH sur les nutriments et le rendement des engrais.....	87
<b>Tableau 33.</b>	Comparaison des analyses de la chaux.....	88

## ABREVIATION

<b>CFC</b>	Chlorofluorocarbures
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demande biochimique en oxygène (incubation pendant 5 jours)
<b>DCO</b>	Demande chimique en oxygène
<b>DCO/DBO</b>	Rapport de biodégradabilité
<b>DDT</b>	Dichlorodiphényltrichloroéthane
<b>EDTA</b>	Sel disodique de l'acide éthylènediaminetetraacétique
<b>ENGI</b>	Entreprise Nationale des Gaz Industriels
<b>°F</b>	Degré Français (1 °F = 10 ppm de CaCO <sub>3</sub> )
<b>I<sub>L</sub></b>	Index de saturation de LANGELIER
<b>I<sub>R</sub></b>	Index de stabilité ou index de RYZNAR
<b>IR</b>	Infrarouge
<b>MEA</b>	Monoéthanolamine
<b>MES</b>	Matières en suspension
<b>MO</b>	Matières oxydables
<b>NGL</b>	Azote global
<b>NTK</b>	Azote total Kjeldahl
<b>NO<sub>x</sub></b>	Les oxydes d'azote
<b>NP K</b>	Fertilisants : Azote, phosphore, potassium
<b>O.N.E.D.D</b>	Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable
<b>PCB</b>	Polychlorobiphényles
<b>pHs</b>	pH de saturation ou d'équilibre
<b>PNAEDD</b>	Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable
<b>STEP</b>	Stations d'épuration
<b>SNS</b>	Société Nationale de Sidérurgie
<b>TA</b>	Titre Alcalimétrique
<b>TAC</b>	Titre Alcalimétrique Complet
<b>TH</b>	Titre Hydrométrique



*INTRODUCTION*

*GENERALE*



## **INTRODUCTION GENERALE**

Pendant de nombreuses années, la planète a été considérée, d'une part, comme un réservoir inépuisable de matières premières et, d'autre part, comme une destination habituelle pour les déchets domestiques, industriels et agricoles pouvant constituer un risque pour l'homme et l'environnement.

L'augmentation de la demande en produits finis et leur consommation démesurée entraîne des rejets industriels très importants et conduit à des problèmes de pollution divers, dont les conséquences sont aussi nombreuses que variées.

Le rejet inconsidéré et massif de résidus toxiques dans l'environnement a, peu à peu, conduit à l'apparition de risques nouveaux pour l'équilibre des écosystèmes. La dégradation de l'environnement est, en fait, générale et concerne tous les milieux (air, eau et sol) et l'humanité ne peut continuer à se développer qu'à condition que les écosystèmes, constituant la biosphère, ne soient pas perturbés.

L'industrie est grande consommatrice d'eau ; Par conséquent, ces eaux utilisées seront rejetées sales, chargées en produit chimiques, en métaux lourds, en hydrocarbures, en solvants, en matières organiques et inorganiques, etc..., si elles ne sont pas traitées dans une station d'épuration, entraînent une pollution physique et chimique du milieu naturel.

Dans l'industrie des gaz industriels, l'eau peut être utilisée à diverses fins. Elle peut participer au processus industriel proprement dit, être utilisée pour le lavage et pour le refroidissement des installations ou pour faire fonctionner les circuits de refroidissement. Le refroidissement des installations représente l'essentiel de la consommation industrielle.

L'ampleur des dégâts a provoqué une prise de conscience et plusieurs recherches scientifiques ont été réalisées et ont donné naissance à des mesures de prévention et de lutte pour diminuer ou au moins stabiliser la pollution. Généralement, les travaux ont concerné la pollution engendrée par les grandes industries : telle que, par exemple la pétrochimie, l'industrie du papier et textile et l'industrie de traitement de surfaces.

Par contre, les études scientifiques sur les rejets des usines de gaz industriels sont très limitées voir inexistantes ce qui nous a poussé à choisir cet axe de recherche et apporter notre contribution à ce secteur d'activité par une évaluation quantitative et qualitative de la

pollution engendrée par une grande consommation d'eau et de produits chimiques conduisant à des quantités importantes de rejets toxiques pour l'homme et pour l'environnement.

C'est ainsi que ce travail a été initié pour contribuer à enrichir la banque de données scientifiques relative à ce problème de pollution.

Le premier objectif de ce travail est donc d'apporter des connaissances qualitatives et quantitatives sur le degré de pollution des rejets liquides et solides au niveau de l'unité : eaux rejetées, engendrées par l'utilisation de plusieurs produits chimiques pour la production des différents gaz à savoir le CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O et l'acétylène et un seul rejet solide qu'est la chaux hydratée, sous produit de la génération de l'acétylène en utilisant le carbure de calcium par voie humide .

Les résultats obtenues ont permis la vérification si les valeurs limites de rejet, exprimées en flux ou charges de pollution et en concentration, sont en conformité ou non avec les exigences imposées par la législation.

Le deuxième consiste à proposer des solutions préventives servant à réduire la pollution au niveau de cette unité ou apporter des modifications à leurs pratiques en vue de leur permettre une amélioration des conditions respectueuses à l'environnement.

Six chapitres ont été développés pour répondre aux grandes lignes de cette étude :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'unité des gaz industriels, sa situation géographique et ses gammes de production.

Dans le deuxième chapitre, nous décrivons les différents procédés utilisés au cours de la production des différents gaz industriels, et nous présentons les principales caractéristiques et utilisations de chaque gaz produit par l'unité Linde Gaz Algérie.

Nous consacrons le troisième chapitre de notre étude à un rappel détaillé sur les rejets industriels, nous parlons des rejets solides et des eaux résiduaires industrielles: origines et nature, caractérisation, effets, leurs traitements et les différentes contraintes et législations des rejets.

Le quatrième chapitre décrit l'étude de la prévention de la pollution qui consiste à réduire au maximum la quantité de déchets issue des procédés de fabrication.

Dans le cinquième chapitre nous abordons une enquête préliminaire approfondie, qui a pour but de préciser les éléments nécessaires à une bonne connaissance de la pollution de l'usine,

nous nous sommes intéressés au bilan quantitatif et qualitatif de la consommation de l'eau et des matières premières et les sous produits utilisés et au recensement et localisation des diverses sources de pollution solide et liquide.

Le sixième chapitre : après avoir donné les méthodes d'échantillonnage, les différentes méthodes d'analyses, deux parties ont été développées : dans la première partie, nous trouvons les analyses effectuées et la discussion des résultats obtenus de l'évaluation qualitative et quantitative des paramètres polluants.

La deuxième est consacrée à donner des recommandations et à proposer des solutions pour le traitement de ces rejets.

❧

*CHAPITRE I*

❧

## **I. PRESENTATION DE L'UNITE [1]**

### **I.1. Historique**

L'activité de production des gaz industriels fut introduite en Algérie par la société française AIR LIQUIDE durant la période coloniale.

L'entreprise nationale de production et de distribution des gaz industriels était une division de la «SNS» (Société Nationale de Sidérurgie) sous la tutelle du Ministère de l'Energie de 1972 à 1978 puis du Ministère de l'Industrie Lourde de 1979 à 1983.

La restructuration organique de la SNS en 1983 donnera naissance à ENGI « Entreprise Nationale des Gaz Industriels » qui sera placée sous la tutelle du Ministère des Industries Chimiques et Pétrochimiques de 1983 à 1989.

Dans le cadre de la loi 88-01 du 12-06-88 sur l'autonomie des entreprises publiques, l'ENGI a été transformée en SPA et est entrée en autonomie le 11-02-1989 avec un capital de 30 millions de DA.

En 1996, suite à la dissolution des fonds de participation, toutes les actions remises par l'entreprise furent transférées au holding chimie – pharmacie puis à la société de gestion des participations chimie – pharmacie.

Le siège se situe au 23 Avenue de l'ALN HUSSINDEY, ALGER, est doté d'un capital de 1.500.000.000 DA.

Nous donnons, en figure 1 et par rapport au lac de Réghaïa, l'endroit de l'unité qui a concerné notre étude.

### **I.2. L'unité des gaz industriels d'aujourd'hui**

En 2007, après deux années de plusieurs négociations, la firme allemande Linde acquiert l'Entreprise Nationale Algérienne des Gaz Industriels (ENGI), et son nom devient : Linde Gaz Algérie. Au terme d'un accord qui a été signé à Alger, Linde détient 66% du capital social et les pouvoirs de management, l'Etat algérien, ayant accepté d'être relégué au rang d'actionnaire minoritaire, est toutefois doté des pouvoirs que confère la minorité de blocage.

Leader mondial du gaz industriel, Linde connaît déjà très bien l'ENGI avec laquelle elle s'est associée pour réaliser à Hassi Massoud une usine de gaz de l'air (oxygène, azote et argon) opérationnelle depuis environ deux années.

Linde Gaz Algérie est présent sur l'ensemble du territoire national, par un réseau comprenant neuf unités de production : Alger, Constantine, Ouargla, Oran, Bouira, S. Bel Abbes, Arzew, Skikda et Annaba.

### I.3. Activités de Linde Gaz Algérie

L'objectif principal de Linde Gaz Algérie est la satisfaction aux impératifs économiques et sociaux du pays, en assurant la prise en charge des besoins générés par la multiplicité et l'hétérogénéité des applications des gaz industriels dans les différents secteurs de l'économie.

#### ✓ Gamme de production

Les différentes gammes de gaz produits et commercialisés par Linde gaz Algérie sont représentées dans le tableau ci-après.

*Tableau 1. Gamme de gaz produits par Linde Gaz Algérie*

Gaz	Liquide livré par citerne		Gazeux conditionné en bouteille	
	Température	Pureté %	Charge	Pureté %
Oxygène O <sub>2</sub>	-183	99,7	150 bars	99,5
Azote N <sub>2</sub>	-196	99,995	150 bars	99,5/99,995
Argon Ar	-186	99,995	150 bars	99,995
Gaz Carbonique CO <sub>2</sub>	-20	99,5	35 kg	99,5
Acétylène	-	-	25 bars	99,5
Protoxyde d'azote	-	-	35 kg	98
Hydrogène	-	-	150 bars	99,5/99,995
Air comprime	-	-	150 bars	industriel/respirable
Mélange binaire et ternaire	-	-	150bars	selon la demande
Mélange oxyde d'éthylène/CO <sub>2</sub> (10% CO <sub>2</sub> )	-	-	30kg	99,7
Hélium He	-	-	150 bars	selon la demande

#### ✓ Principaux clients

Les principaux clients de Linde Gaz Algérie sont de trois catégories :

- Entreprise nationales : SONATRACH, ENIP, ENIEM, ENIB.
- Secteurs étatiques : hôpitaux, centres de recherche, universités, collectivités locales.
- Autres : Coca Cola, Artisans...etc. (Rapport, 2002).



*Figure 1. Image Google earth donnant l'endroit de l'unité Linde Gaz Algérie*

ᄃᄂ

*CHAPITRE II*

ᄃᄂ

## II. PRESENTATION DES DIFFERENTS ATELIERS DE L'UNITE LINDE GAZ ALGERIE

L'unité de gaz industriels est située dans la zone industrielle de Réghaïa, ses activités consistent à produire du gaz carbonique, de l'oxygène, de l'azote, du protoxyde d'azote et de l'acétylène. En raison des différents procédés de fabrication, il existe quatre ateliers.

Dans le but de justifier une éventuelle existence d'éléments polluants, il est nécessaire de présenter les procédés de fabrication de ces différents gaz.

### II.1. Atelier de production de dioxyde de carbone

#### II.1.1. Généralités sur le dioxyde de carbone $CO_2$ [2 à 5]

Dans la première moitié du 16<sup>ème</sup> siècle *Paracelsus* était le premier à différencier entre le  $CO_2$  et l'air, alors que *Blacdk* identifiait le dioxyde de carbone comme un élément d'air respiratoire en 1760 ; En 1835, *Thilorier* a mis en exécution la première expérience pour liquéfier le  $CO_2$  et produire la glace sèche.

##### ✓ Propriétés physico-chimiques

Le dioxyde de carbone ou anhydride carbonique est un gaz incolore, inodore, ininflammable, chimiquement peu réactif, alcalin, corrosif en présence d'humidité, seulement toxique pour des concentrations très élevées, à saveur piquante et soluble dans l'eau et dans les solutions.

Le  $CO_2$  peut exister sous trois formes:  $CO_2$  gazeux ;  $CO_2$  liquide ;  $CO_2$  solide : neige carbonique.

Dans des conditions normales, l'anhydride carbonique est facilement liquéfiable et a un point triple, critique et supercritique (figure 1).

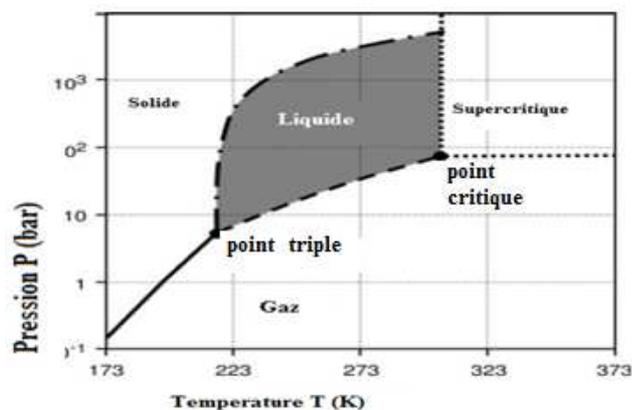


Figure 2. Diagramme température / pression de  $CO_2$ .

Le  $CO_2$  solide, aussi appelé neige carbonique, est le produit du  $CO_2$  liquide à haute ou basse pression ; Si la pression du  $CO_2$  liquide est soudainement relâchée, une proportion du liquide

va se solidifier et lorsqu' elle est compressée sous action hydraulique ou mécanique, des blocs ou des pastilles sont formés.

La température de la neige carbonique est de  $-78.3^{\circ}\text{C}$  et dans l'atmosphère elle passe, à température ambiante, directement de l'état solide à l'état gazeux ne laissant aucune humidité ou trace de sa présence mise à part le froid.

D'autres propriétés du gaz carbonique sont données en annexe 1.

✓ **Propriétés biologiques**

Le  $\text{CO}_2$  gazeux fait partie du système respiratoire humain dont la concentration dans notre air exhalé est environ de 300 ppm de volume, mais l'inhalation avec des concentrations de  $\text{CO}_2$  plus élevées aura l'effet physiologique suivant:

- Une teneur de 8 à 15 % provoque des céphalées, des nausées, des vomissements pouvant aboutir à une perte de connaissance, et la mort ensuite par insuffisance d'oxygène ;
- L'exposition à des concentrations plus élevées entraîne une insuffisance circulatoire rapide avec coma et mort.

✓ **Utilisations**

L'anhydride carbonique a certaines propriétés spéciales qui doivent être prises en considération dans son application.

*Tableau 2. Utilisations de  $\text{CO}_2$  Gaz, liquide et solide.*

<b>Dioxyde de carbone</b>	<b>Utilisations</b>
<b>Gaz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gazéification des eaux minérales naturelles, et des boissons ;</li> <li>- Constitution des atmosphères inertes dans le soudage à l'arc ;</li> <li>- Production du Carbonate de sodium, du caoutchouc, peintures et vernis ;</li> <li>-Réanimation des asphyxiés : employé en mélange avec l'oxygène;</li> <li>-Traitement de certaines maladies de la peau.</li> </ul>
<b>Liquide</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabrication de la forme solide (neige carbonique) ;</li> <li>- Dans les appareils d'extinction d'incendie ;</li> <li>- Dans les entrepôts frigorifiques.</li> </ul>
<b>Solide</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Transport et conservation des produits alimentaires ;</li> <li>- Fabrication des sorbets et des crèmes glacées ;</li> <li>- Fragiliser les bavures des articles en caoutchouc moulé afin de pouvoir les éliminer plus facilement ;</li> <li>-En laboratoire: employé pour maintenir des basses températures ;</li> <li>-En médecine, il est utilisé pour congeler les coupes anatomiques.</li> </ul>

### II.1.2. Description et fonctionnement de l'atelier de CO<sub>2</sub> [4, 6 à 8]

#### ✓ Sources de génération d'anhydride carbonique

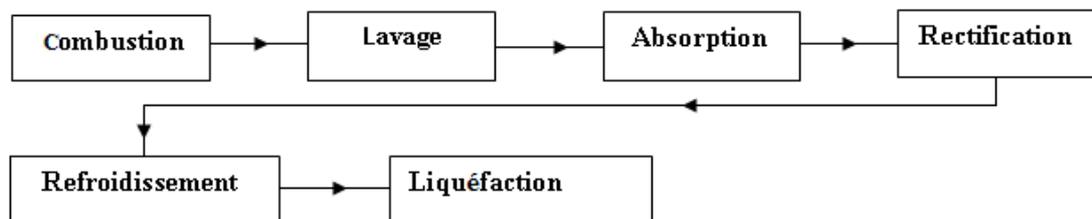
Le gaz carbonique est le produit final de beaucoup de réactions, il est considéré comme un sous-produit de quatre types de procédés à grande échelle industrielle :

- Dans les fumées de combustion des hydrocarbures en présence de l'air ;
- Dans la production de l'hydrogène par la réaction de la vapeur et des matières carbonées;
- Dans les fours à chaux où les carbonates de calcium se décomposent en oxyde ;
- Fermentation de mélasse, maïs, blé, pommes de terre, et autres matières servant à la fabrication des alcools.

#### ✓ Description de l'installation

A l'unité de Réghaïa, l'installation est de type « ASCO Carbon Dioxide LTD, Switzer land », le CO<sub>2</sub> est produit par récupération des fumées de combustion du gaz naturel, avec une capacité de production égale à 1000 Kg /h pour chaque ligne de production (ligne 1 et 2).

Le procédé de production du CO<sub>2</sub> présente les opérations majeures montrées dans le schéma suivant :



**Figure 3.** Différentes étapes de la génération de CO<sub>2</sub>

#### a) La combustion

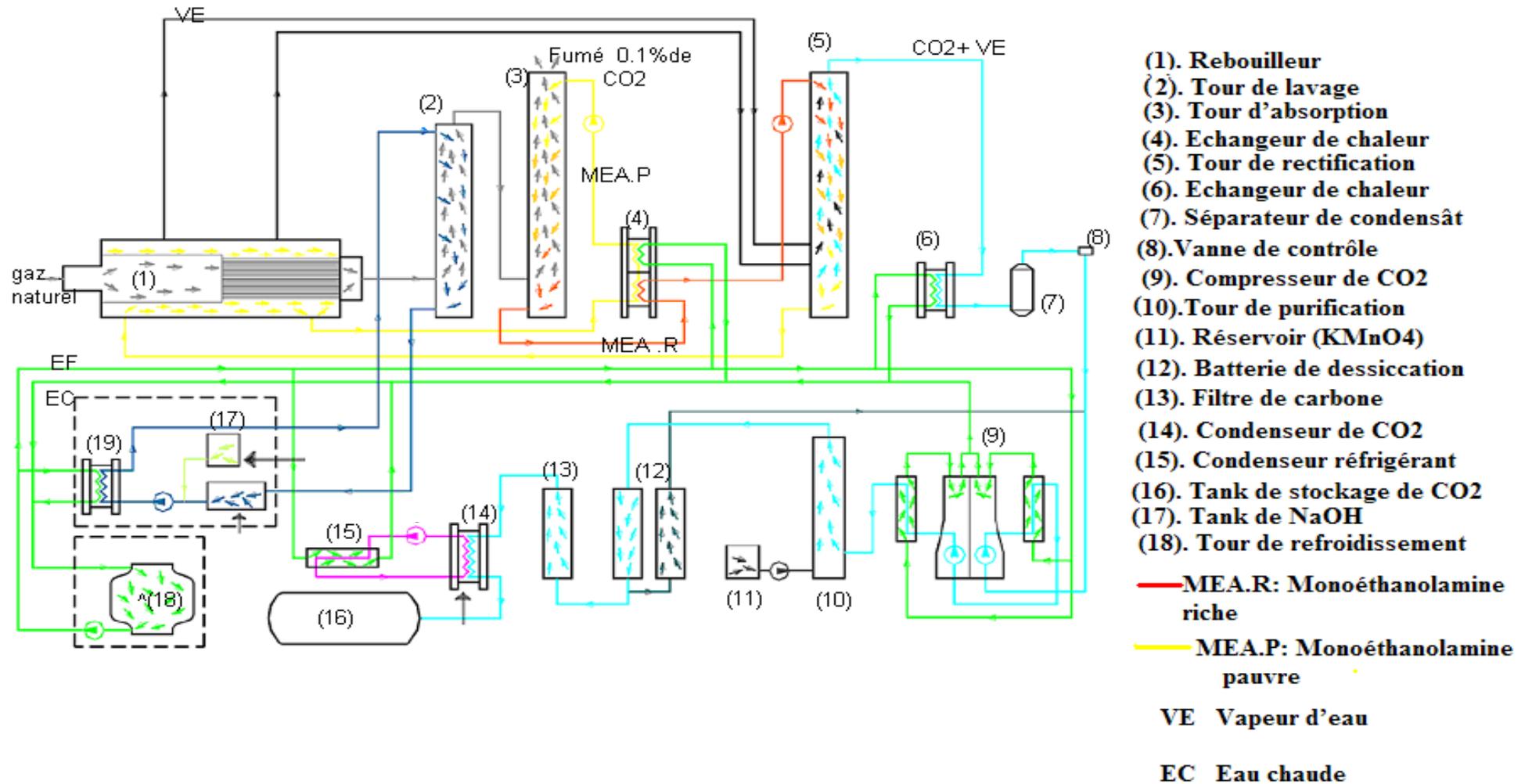
La combustion se fait à l'aide d'une chaudière, qui est conçu pour fonctionner avec du gaz naturel. Le débit d'air introduit au brûleur est réglé manuellement afin d'obtenir des fumées à 12 % de CO<sub>2</sub>, le gaz produit est ensuite acheminé vers la tour de lavage où il sera refroidi et débarrassé de ses impuretés.

#### b) Lavage des gaz de combustion

Le gaz de combustion chaud venant de la chaudière à une température de 340 à 380°C passe verticalement à travers la tour de lavage.

L'eau du laveur qui a été dosée avec de la soude caustique (NaOH) ou cendre de soude (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) entre près du haut de la tour de lavage et coule à contre courant aux gaz de





## **II.2. Atelier de séparation et de liquéfaction des gaz de l'air**

### **II.2.1. Généralités sur Les gaz de l'air : l'oxygène et l'azote [2, 3, 6, 9 ,10]**

L'air qui constitue l'atmosphère terrestre est un mélange de gaz ( $N_2$  78.12% ;  $O_2$  20.95% ; Ar 0.932% et autres gaz), transparent, inodore, sans saveur et de concentration relativement constante; seules les concentrations en vapeur d'eau et en dioxyde de carbone peuvent variées.

Au 17<sup>ème</sup> siècle, de l'air a été accepté comme une substance homogène ; *Scheele (1772)* et *Priestley (1774)* ont découvert l'azote (dinitrogen,  $N_2$ ), et l'oxygène tout à fait indépendamment. En 1902 *Carl Von Linde* a commencé à employer un procédé de rectification pour séparer l'air liquide pour la production continue de l'oxygène à une pureté au dessus de 99%.

L'azote de grande pureté était d'abord récupéré en 1905, cinq ans après, en 1910, la production simultanée de l'oxygène et de l'azote est devenu possible avec l'invention de *Carl Von Linde* d'un distillateur à double colonne.

Les propriétés physico - chimiques, biologiques et les utilisations de l'oxygène et de l'azote sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 3. Propriétés physico- chimique, biologiques et utilisations de l'oxygène et de l'azote

	<b>Azote</b>	<b>Oxygène</b>
<b>Propriétés physico-chimiques</b>	-L'azote est un gaz dans les conditions ordinaires (15°C, 760 mm Hg), il est incolore, inodore et sans saveur ; A la pression atmosphérique, pour des températures inférieures à (-196°C), c'est un liquide incolore, un peu plus léger que l'eau.	-A pression atmosphérique, pour des températures inférieures à -183°C, c'est un liquide bleu pâle, un peu plus lourd que l'eau ; -L'oxygène est un gaz très réactif qui se combine directement à la plupart des éléments pour former des oxydes selon les conditions de température
<b>Propriétés biologiques</b>	-L'azote est un gaz non toxique, mais peut avoir des effets nocifs sur l'organisme en réduisant la pression partielle de l'oxygène dans les poumons et agir comme asphyxiant ;  - Des troubles sont distingués par des caractères de début d'anesthésie.	-L'air sous oxygéné (moins de 17%) entraîne des dommages graves pouvant conduire à la mort par l'asphyxie avec de gros risque d'inflammation des matières organiques ;  -Pour des teneurs supérieures à 75% en volume, des symptômes apparaissent : crampes, nausées, vertiges, hypothermie, gêne respiratoire, crise convulsive pouvant entraîner la mort.
<b>Utilisations</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Azote gazeux</b> Métallurgie, chimie et pétrochimie, industrie gazière, industrie alimentaire et pharmaceutique, industrie minière, industrie électrique et électrotechnique.</li> <li>• <b>Azote liquide</b> Utilisé comme source de froid pour conservation, en cryochirurgie, le marquage des animaux, pour ces effets scéniques pour la création de nuage, métallurgie, l'industrie de plastique, construction astronomique et industrie nucléaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Oxygène gazeux</b> En soudage, trempe superficielle, les brûleurs de sidérurgie, le coupage et façonnage des roches en forage thermique, dans l'industrie chimique, et dans l'industrie électronique. Dans le traitement des eaux potables, traitement des rejets liquides industriels, dans le contrôle de traitement aérobic des boues</li> <li>• <b>Oxygène liquide</b> Fabrication des explosifs et Comme carburant des propulseurs spatiaux.</li> </ul>

D'autres propriétés physico-chimiques de l'azote et de l'oxygène sont données en annexe 1.

## **II.2.2. Description et fonctionnement de l'atelier de séparation et liquéfaction des gaz de l'air [11, 12]**

La séparation des gaz de l'air est utilisée pour la production de l'oxygène, de l'azote, et des gaz rares. Les puretés de l'oxygène et de l'azote s'étendent normalement de 90% à 99.6%.

L'azote et l'oxygène liquide sont obtenus par distillation fractionnée de l'air liquéfié. Les points d'ébullition de l'oxygène, de l'azote, de l'argon, du néon, du krypton et du xénon sont tous différents.

Les gaz sont séparés en fonction de leurs points d'ébullition dans une colonne de distillation.

### **✓ Description et fonctionnement de l'installation**

L'installation a été construite par L' AIR LIQUID destinée à la production de l'oxygène avec une pureté  $\geq 99,5\%$  (avec une teneur résiduelle faible en azote), de l'azote pur et de l'argon. Ces opérations sont effectuées à des températures de  $-170^{\circ}\text{C}$  et  $-196^{\circ}\text{C}$ , sous une pression allant de 1 à 6 bars.

La séparation des différents constituants de l'air nécessite le passage par trois étapes essentielles : compression, épuration et liquéfaction et enfin Séparation.

#### **a) Compression**

Pour faire fonctionner l'atelier il faut environ  $7200 \text{ Nm}^3/\text{h}$  d'air atmosphérique comprimé à 5bars à faible débit, envoyé au tamis moléculaire et ensuite passe dans les batteries de dessiccation afin d'éliminer l'humidité par adsorption sur l'alumine.

La colonne de dessiccation peut être régénérée après 8 heures de marche par écoulement à contre courant d'un gaz chaud à une température de  $100^{\circ}\text{C}$ .

#### **b) Epuration et liquéfaction**

##### **- Epuration**

Avant sa liquéfaction, l'air doit être purifié de tous composés capables de se solidifier (le gaz carbonique et la vapeur d'eau) et produire des bouchages.

L'opération d'épuration est réalisée grâce à un procédé frigorifique qui se fait par dépôt de givre sur les parois des échangeurs réversibles, cette étape assure simultanément la purification et l'échange thermique.

##### **- Liquéfaction**

Le compresseur comprime  $21000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  d'azote chaud de 5 à 33 bars.

Un débit de  $17000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  d'azote comprimé se refroidit dans l'échangeur, l'admission de la détente (33 à 5 bars) assure la quantité de frigories nécessaires pour liquéfier l'air avant son entrée dans la colonne de rectification.

Les 4000 Nm<sup>3</sup>/h restants passent par l'échangeur de liquéfaction, ils seront envoyés en tête de la colonne moyenne pression dans le but d'améliorer le transfert de matière et de chaleur.

*c) Séparation de l'air*

La distillation est une technique de séparation des constituants d'un mélange, basée sur la différence de température d'ébullition des composés, la séparation est réalisée dans les colonnes : colonne moyenne pression et colonne basse pression.

Entre les deux colonnes se situe le condenseur, utilisé comme rebouilleur de cuve de la colonne basse pression.

L'air épuré dans les échangeurs réversibles est envoyé dans la partie basse de la colonne moyenne pression à une pression de 5,2 bars effectifs, et une température voisine de -172°C; cet air sert à chauffer la cuve de la colonne en produisant un liquide riche (avec 38 % d'oxygène en marche mixte), ce dernier remonte au 56<sup>ème</sup> plateau de la colonne basse pression pour servir comme reflux.

Sur le circuit de remontée du liquide riche, deux filtres alternativement en service et en régénération, sont utilisés pour adsorber les hydrocarbures contenus dans le liquide riche.

Le liquide pauvre inférieur (4% d'oxygène) du 14<sup>ème</sup> plateau de la colonne moyenne pression est envoyé au 66<sup>ème</sup> Plateau de la colonne basse pression, le but de cette étape est de faire condenser la quantité d'oxygène entraînée avec le liquide riche. Les produits résultant de cette séparation sont :

-L'oxygène liquide à haute pureté, récupéré en bas de la colonne basse pression suite à son évaporation à -180°C et 0,3 bars effectifs;

-L'azote liquide, récupéré en haut de la colonne moyenne pression, est remonté à travers le sous refroidisseur, puis vers le séparateur ;

-La mixture Argon extraite de la partie médiane de la colonne basse pression.

L'oxygène et l'azote seront pompés vers des réservoirs de stockages appropriés (Tank), alors que les gaz non liquéfiés peuvent être extraits à l'état gazeux. Tandis que les moins volatils (Kr, Ne) accompagne l'oxygène.



## II.3. Atelier de production du protoxyde d'azote

### II.3.1. Généralités sur le protoxyde d'azote [2, 3, 6, 9]

Le protoxyde d'azote a été découvert en 1773 puis purifié en 1776 par un anglais nommé Joseph Priesley; Humphrey Davy reprend les travaux de Priesley et découvre la propriété "hilarante" du N<sub>2</sub>O en 1799.

Le 11 Décembre 1844, Horace Wells, décide d'expérimenter sur lui-même les effets du protoxyde d'azote lors d'une extraction dentaire effectuée par John Riggs.

Le N<sub>2</sub>O arrive en France en 1867 et il est rapidement associé aux anesthésies au chloroforme ou à l'éther. Aujourd'hui l'utilisation du protoxyde d'azote est encore très large mais elle est remise en question sur des arguments économiques et écologiques.

#### ✓ Propriétés physico-chimiques

L'hémioxyde d'azote appelé également protoxyde d'azote ou oxyde azoteux est un gaz dans les conditions ordinaires (15°C, 760 mm Hg) de formule chimique N<sub>2</sub>O, il est hilarant, incolore, inodore, non toxique et ininflammable, stable et inerte à la température ambiante.

D'autres propriétés physico-chimiques de protoxyde d'azote sont données en annexe 1

#### ✓ Propriétés biologiques

Le N<sub>2</sub>O est un gaz faiblement narcotique, dénué d'action toxique significative. Son pouvoir anesthésique apparaît lorsque sa concentration dépasse 70% en volume, à forte concentration dans l'air il agit comme asphyxiant par déplacement de l'oxygène.

Le protoxyde d'azote a un effet fongistatique marqué sur certains champignons (Pénicillium, Botrytis).

#### ✓ Utilisations

Le N<sub>2</sub>O est employé en chirurgie pour les anesthésies. Il est aussi utilisé comme propulseur d'aérosols dans l'alimentation, la pharmacie, la parapharmacie, les produits d'entretien ménager, en peinture, vernie et insecticide.

Il est employé dans l'industrie comme détecteur de fuite pour les enceintes sous vide.

La flamme (N<sub>2</sub>O, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) est employée en laboratoire pour permettre le dosage par spectrométrie d'émission de flamme et d'absorption atomique.

Les principaux domaines d'utilisation de N<sub>2</sub>O sont indiqués dans le tableau suivant :

**Tableau 4. Principales applications du protoxyde d'azote.**

<b>Domaine</b>	<b>Application</b>
Médecine / Dentisterie	Anesthésie (propriété analgésique)
Traitement des aliments	Gaz propulseur
Fabrication des semi-conducteurs	Comburent utilisé à très haute pureté
Chimie analytique	Comburent utilisé avec l'acétylène pour la spectrométrie d'absorption atomique
Fabrication des produits chimiques	Matière première servant à la fabrication du propulsif des sacs gonflables
Courses automobiles	Injection dans le moteur pour en augmenter la puissance

### **II.3.2. Description et fonctionnement de l'atelier de protoxyde d'azote [2, 9, 13]**

Le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) est produit par la décomposition thermique du nitrate d'ammonium ( $NH_4NO_3$ ), substance commune utilisée dans les engrais et les explosifs. Une réaction à une température de 260 °C décompose le nitrate d'ammonium en vapeur ( $H_2O$ ) et en protoxyde d'azote ( $N_2O$ ).

L'eau est éliminée par condensation et le  $N_2O$  brut est alors épuré, comprimé, asséché et liquéfié avant stockage et distribution.

#### **✓ Description de l'installation**

C'est une installation de type «SOCSIL – INTER SA, suisse» destinée à produire du protoxyde d'azote avec un débit de 100 kg /h. L'installation est composée des éléments suivants :

#### **a) Le Bassin**

En acier inoxydable, il est divisé en deux compartiments, l'un de remplissage où l'on charge le nitrate d'ammonium solide et l'autre où passe le nitrate dissout pour être injecté dans le réacteur.

Le coté charge, plus grand, est équipé de trois éléments de chauffe de 16 kW chacun pour maintenir la température à 125°C.

Le coté alimentation, moins grand, équipé d'un élément de chauffe et d'une pompe d'injection pour alimenter le réacteur.

Les deux compartiments sont séparés par une paroi sur laquelle se trouve un filtre pour éviter le passage des particules solides vers le coté alimentation. La température est mesurée à l'aide de sonde pour chaque cotée.

**b) Le Réacteur**

Une enceinte fermée avec une entrée pour l'alimentation, une sortie du gaz produit et deux cheminées de circuit qui fonctionnent en cas de pression excessive.

La température est contrôlée par :

- Une plaque chauffante à émission IR se trouvant sous le réacteur et à puissance réglable de 0 à 100% ;
- Deux serpentins de refroidissement en contact direct avec la charge ;
- Deux sondes de détection à la base et en tête du réacteur.

**c) Le Condenseur et le refroidisseur**

De simples échangeurs de chaleur fonctionnent à contre courant avec de l'eau froide (coté tube). La température de l'eau est contrôlée par une sonde à la sortie froide.

**d) Les Groupes de purification**

Composés de cinq tours de lavage placées en série et une pompe fait circuler à contre courant la solution de lavage dans un circuit fermé.

Le tableau ci-dessous donne la composition et le volume de chaque tour par ordre de passage du gaz :

*Tableau 5. Composition et volume des tours de lavage de l'atelier N<sub>2</sub>O*

Tour	Composition de la solution	Volume (L)
1 et 5	H <sub>2</sub> O	150
2 et 3	H <sub>2</sub> O+15 kg NaOH+ 1.5 Kg KMnO <sub>4</sub>	140
4	H <sub>2</sub> O+15Kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> basé sur une concentration de 100%	150

**e) Le Gazomètre à cloche**

Le gazomètre agit comme compensateur entre la production du réacteur qui est variable et la constante consommation du compresseur. L'eau contenue dans le réservoir assure l'étanchéité de la cloche.

En cas de surproduction depuis le réacteur, le gaz s'échappe à l'atmosphère par les trous situés en bas et autour de la cloche.

**f) Le Groupe de séchage**

Le groupe de séchage retient, par adsorption, les vapeurs d'eau présentes dans le gaz comprimé. Le groupe consiste en deux colonnes à haute pression garnies avec du gel d'alumine activée et fonctionnant en alternance.

**g) Les Groupes de réservoirs de stockage haute-pression**

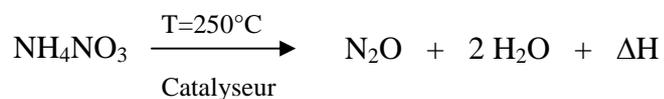
Constitués par quatre réservoirs de 700 litre chacun, ils sont groupés deux par deux, ce qui permet le stockage de 1000kg de N<sub>2</sub>O liquide par groupes de deux, chaque réservoir est équipé d'une douche de refroidissement pour évacuer la chaleur de compression lors du remplissage.

**h) Le Groupe de remplissage**

Équipé de deux pompes permettant le remplissage de N<sub>2</sub>O liquide.

**1. Principe de fabrication de N<sub>2</sub>O**

La matière première nitrate d'ammonium fournit par "ALZOFERT" (filiale du groupe ASMIDAL) du complexe d'ammoniac et engrais azoté d'ARZEW) est dissoute dans le coté charge du bassin, avec un pourcentage massique de l'ordre de 12% d'eau et maintenir à une température de 125°C. On y ajoute 3g de phosphate d'ammonium par charge de 50 kg comme catalyseur. Le passage du mélange vers le coté alimentation se fera automatiquement par des électrovannes et où la température du côté charge est de 135°C pour éviter la cristallisation de notre produit (le bouchage des tuyauteries) et alimenter ainsi le réacteur. Dans le réacteur le dégagement du gaz se fait par une simple élévation de température selon la réaction exothermique suivante:



Le gaz produit passera ensuite par le condenseur où on aura l'élimination partielle de la vapeur d'eau présente. La température de sortie est T= 170 °C. Le gaz pour le quel on a éliminé la vapeur d'eau passera par un refroidisseur où sa température va encore diminuer et les traces d'eau seront éliminées. Le gaz ainsi refroidit, passera par une opération de purification dans les cinq tours de lavage de H<sub>2</sub>O, NaOH, KMnO<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> placées en série. Cette partie permet d'éliminer les impuretés (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> et NO<sub>x</sub>). Le gaz récupéré dans le gazomètre sera comprimé puis envoyé vers les batteries de dessiccation où le gel d'alumine absorbe les vapeurs d'eau résiduelles. Après la dessiccation le gaz est refroidi et liquéfié avant le stockage dans les réservoirs de capacité 1000kg de N<sub>2</sub>O liquéfié. La température critique du N<sub>2</sub>O de 36,4°C permet son stockage sous forme liquide à haute pression (50 bars). La pression interne reste constante tant que subsiste du N<sub>2</sub>O à l'état liquide. Le N<sub>2</sub>O doit être stocké dans un local tempéré car sa pression de vapeur saturante varie en fonction de la température externe (50 bars à 20°C et 18 bars à -20°C).

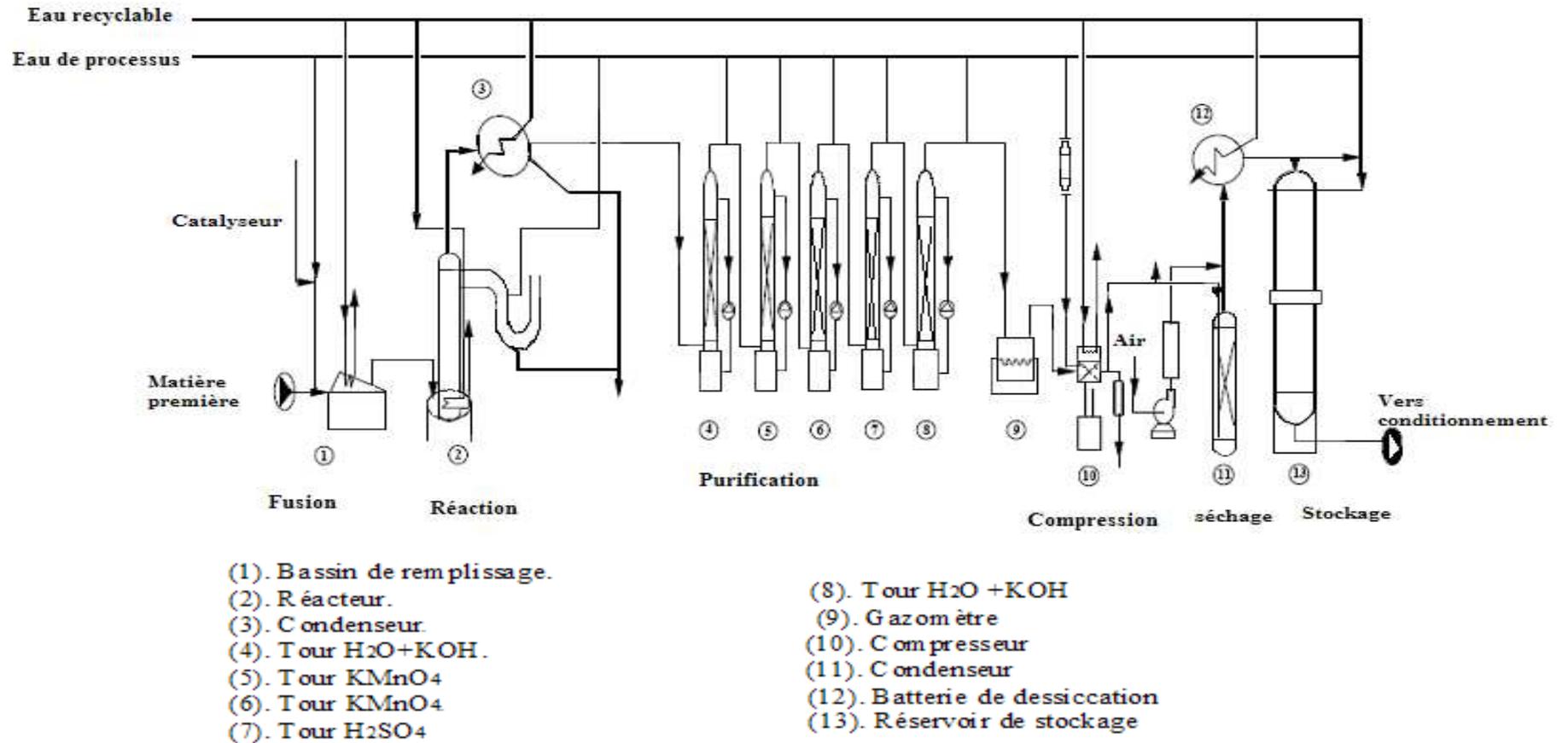


Figure 6. Schéma de l'atelier du protoxyde d'azote.

## II.4. Atelier de production de l'acétylène

### II.4.1. Généralités sur l'acétylène [2, 3, 6, 14]

Ce n'est pas un gaz de l'air mais un gaz de synthèse, produit généralement à partir de la réaction de carbure de calcium avec de l'eau.

En 1860, le Français *Berthelot* a trouvé le gaz par hasard ; Il l'a appelé " acétylène " et il a déterminé sa formule chimique comme  $C_2H_2$ , *Berthelot* a également réussi à produire l'acétylène à partir des matières premières organiques, c'est à dire, des hydrocarbures et était devenu un des fondateurs de la chimie organique.

L'acétylène ne devait devenir un produit courant qu'après que H. MOISSAN, d'une part, et T.L. WILSON, d'autre part, eurent, en 1892, préparé indépendamment l'un de l'autre, du carbure de calcium au four à arc électrique, inventé par H. DAVY dès 1801, mais développé industriellement par SIEMENS à partir de 1877. Il établit que l'action de l'eau sur le carbure de calcium permettait de synthétiser l'acétylène.

#### ✓ Propriétés physico-chimiques

L'acétylène, de formule brute  $C_2H_2$ , est le premier terme des alcynes ou hydrocarbures acétyléniques de formule générale  $C_n H_{2n-2}$ .

Ils sont caractérisés par la présence d'une triple liaison entre les deux atomes de carbone. Celle-ci est instable et de grande énergie (194 kcal), ce qui entraîne une forte réactivité des alcynes. L'instabilité de l'acétylène explique les risques d'explosion spontanée de l'acétylène lorsqu'il est comprimé au delà de  $15 \text{ kg/cm}^2$ . Sa stabilité décroît avec l'élévation de la température et/ou de la pression.

D'autres propriétés physico-chimiques de l'acétylène sont données en annexe 1.

#### ✓ Propriétés biologiques

L'acétylène est un gaz narcotique qui favorise l'hypercapnie à basse concentration.

De plus, à des concentrations très élevées, par déplacement de l'oxygène de l'air, il peut agir comme un asphyxiant.

L'acétylène n'est pas un inhibant respiratoire mais un déprimeur du système nerveux central. En intoxication aiguë, on observe des céphalées, vertiges, nausées, une incoordination motrice, puis une perte de connaissance suivie d'un coma éventuellement convulsif.

Un mélange à 50% d'acétylène et d'air peut-être bien toléré pendant 5 minutes, et un mélange à 10% peut-être toléré pendant 30 minutes.

### ✓ Utilisations

-L'acétylène, qui n'est pas toxique, présente des propriétés anesthésiques. On l'utilise surtout en Allemagne et aux États-Unis (narcylène) en anesthésie générale dans un mélange oxygéné à 30 ou 40 % au début puis à 60-70 % par la suite, l'anesthésie est rapide, sans phénomènes secondaires désagréables. Il est peu utilisé à cause des dangers d'explosion qu'il présente.

-L'acétylène est utilisé à la soudure oxy - acétylénique : soudage des aciers, même sous l'eau et même pour le soudage et le découpage des métaux jusqu'à 10 cm d'épaisseur, pour la trempe superficielle des aciers, pour le brasage et le soudo-brasage de tous les métaux usuels, pour la métallisation et l'apport thermique localisé, dans laquelle un apport d'oxygène permet d'atteindre des températures très importantes (3000°C).

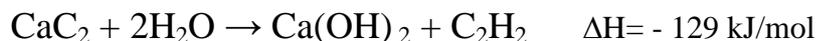
- L'acétylène est à l'origine de la synthèse du néoprène (1930), des résines vinyliques, de l'acrylonitrile (1940) puis des polychlorures de vinyle (PVC), nylon et autres textiles synthétiques.

-Pour ce qui est de la fabrication des matières plastiques, la synthèse de l'acétylène à partir de carbure de calcium tend aujourd'hui à disparaître au profit de la pétrochimie.

- Le "carbon - black" ou "noir d'acétylène" est fabriqué en "craquant" l'acétylène (c'est-à-dire en cassant la molécule en ses éléments carbone et hydrogène). La température de craquage est très élevée (2400°C) et cela confère au noir ainsi obtenu des propriétés particulières : pureté, conductibilité, pouvoir d'absorption. Ce noir est utilisé pour la fabrication des piles, comme charge pour les pneus, et comme pigment dans les peintures, vernis et encres.

#### **II.4.2. Description et fonctionnement de l'atelier d'acétylène [14, 15, 16]**

Pour la fabrication de l'acétylène on se sert généralement de carbure de calcium, qui réagit avec de l'eau ou de la vapeur d'eau suivant l'équation :



Une composition moyenne de carbure de calcium (80 à 82 % de CaC<sub>2</sub>) exige environ 10 litres d'eau par kg de carbure et fournit 300 litres d'acétylène et une quantité double à celle du carbure frais de chaux tandis qu'il se dégage environ 129 kJ/mol.

Le carbure de calcium utilisé n'étant pas pur, sa réaction avec de l'eau va former d'autres gaz tel que la phosphine (PH<sub>3</sub>) et le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S).

On procède donc au lavage du gaz par l'acide sulfurique à 96-98 % ou à 78 %; dans certaines usines on utilise l'acide dilué, de l'eau de chlore et de la soude, ou une solution d'hypochlorite. Cette purification est également pratiquée dans tous les ateliers de remplissage de bouteilles, où l'on oxyde les impuretés par le chlorure ferrique; en fait, on utilise des mélanges de ce sel avec d'autres composés (HgCl<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>).

Dans ces derniers temps, l'acétylène est également produit en grande quantité, dans les usines pétrochimiques par craquage d'essence légère.

La préparation de l'acétylène, en utilisant le carbure de calcium s'opère dans des générateurs qui sont de deux types: humide ou sec selon que l'on extrait la chaux formée à l'état d'un lait à environ 10 %, ou bien à l'état de chaux hydratée quasiment sèche.

#### *a) Les générateurs humides*

Les générateurs humides sont les plus utilisés par les producteurs d'acétylène. Les différents types, selon leur fonctionnement, sont à trois catégories : les générateurs à chute de carbure dans l'eau, les générateurs à chute d'eau et les générateurs à contact. Les générateurs à chute d'eau, dont la capacité de production peut atteindre 2 500 m<sup>3</sup>/h, sont les plus utilisés dans les ateliers de production d'acétylène dissous.

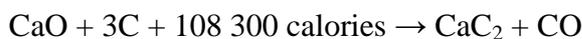
#### *b) Les générateurs secs*

Les générateurs secs ont été mis au point en Allemagne, pour la production de grande quantité d'acétylène utilisé comme matière première en industrie chimique. Compte tenu de la réaction d'hydrolyse du carbure, la chaleur dégagée permet d'évaporer environ 600 g d'eau par kg de carbure, de telle sorte qu'on peut ajouter un kg d'eau par kg de carbure si on veut obtenir de la chaux hydratée sèche. Les fabrications chimiques utilisant l'acétylène comme matière première exigent généralement l'élimination de ces impuretés, qui constituent notamment des poisons de catalyseurs.

### ✓ Matière première

L'utilisation du carbure de calcium dans les usines de fabrication de l'acétylène constitua pendant longtemps la seule méthode de fabrication de l'acétylène.

Sa fabrication nécessite deux éléments : la chaux vive et le carbone, selon la réaction suivante



(Chaux vive) + (carbone) + (énergie) → (carbure) + (monoxyde de carbone)

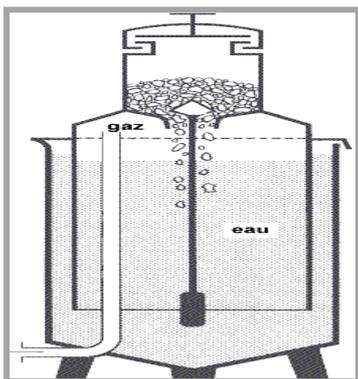
Lorsque le carbure sort du four, il se solidifie et cristallise sous la forme d'un corps opaque, gris foncé, légèrement mordoré. Il est aussi dur que du granite. Son apparence varie avec la qualité des matières premières employées et le soin apporté à sa fabrication. Sa structure est très proche de celle de la chaux.



**Figure 7.** Le carbure de calcium (photo personnelle)

L'installation complète pour la mise en bouteilles du gaz acétylène est fournie par WELMAC de type 1500/125/BP/TV.

Le générateur humide fonctionne suivant le principe de la chute de carbure de calcium dans une quantité d'eau contenue dans une cuve (ce processus est appelé « Carbide to water ») voir figure suivante :



**Figure 8.** Schéma d'un générateur d'acétylène par voie humide

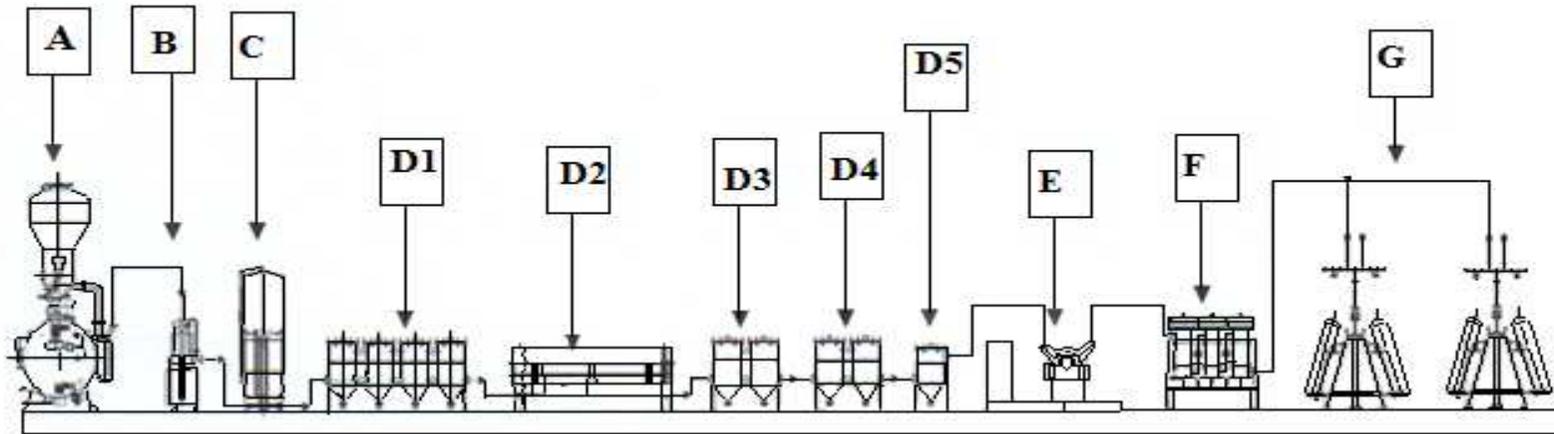


**Figure 9.** Le générateur d'acétylène de l'unité

Si le carbure est amené au contact de l'eau, la réaction qui en résulte conduit à la production de gaz acétylène, lequel s'accumule dans la partie supérieure de la cuve du générateur.

A partir de cette cuve, le gaz passe à travers un petit récipient pour le lavage et le refroidissement et s'écoule vers une soupape hydraulique; il passe alors de la pression de génération (0.044-0.048 bar) à la pression déterminée par le poids de la cloche de gazomètre (0.015-0.020 bar). Le gaz se concentre dans la cloche du gazomètre, ce qui lui permet de compenser la différence quantitative entre les processus de génération et de compression, et de régler la chute de carbure.

Le gaz traverse les différents éléments de la batterie basse pression où il subit un processus de séchage qui lui permet de ne pas altérer la phase successive d'épuration suivie par la neutralisation, par une ultérieure phase de séchage et par l'élimination des poussières. Le gaz arrive ainsi au niveau de l'aspiration du compresseur et passe par différents stades pour atteindre la pression de l'embouteillage. Entre le compresseur et les bouteilles à remplir, le gaz traverse la batterie à haute pression où il subit un traitement pour l'élimination de l'huile et un processus de séchage final avant d'arriver aux rampes où se trouve les bouteilles. En plus du gaz acétylène, on obtient comme sous produit des quantités considérables de boue hydratée (lait de chaux), représente un volume sensiblement double de celui de carbure frais. La chaux hydratée est évacuée vers une fausse de récupération sous forme de déchet liquide/solide régulièrement évacué hors site.



**A** générateur d'acétylène

**B** soupape hydraulique

**C** gazomètre

**D** batterie basse pression

**D1** séchage

**D2** épuration

**D3** neutralisation

**D4** super séchage

**D5** tamis

**E** Compresseur gaz acétylène (fabricant WEPUKO)

**F** Batterie haute pression

**G** rampes de remplissage de bouteilles

*Figure 10. Schéma de l'atelier de production de l'acétylène*

ᏊᏊ

*CHAPITRE III*

ᏊᏊ

### III. LES REJETS SOLIDES ET LIQUIDES INDUSTRIELS

Les activités de production génèrent des déchets qui peuvent être liquides (on parle alors d'effluents industriels) ou solides, formés en petites quantités ou en flux importants, ils ont la particularité de présenter un large spectre de polluants (hydrocarbures, composés organiques, métaux sels,...) à des concentrations très variables, ce qui détermine par ailleurs leur classe de dangerosité.

Afin d'éviter leur dispersion dans les milieux naturels et limiter les impacts environnementaux et sanitaires, le monde industriel s'applique à traiter ces déchets au plus près des activités les ayant générés, à les recycler à l'intérieur même du procédé ou à les valoriser dans d'autres secteurs industriels, où encore à les stocker si nécessaire.

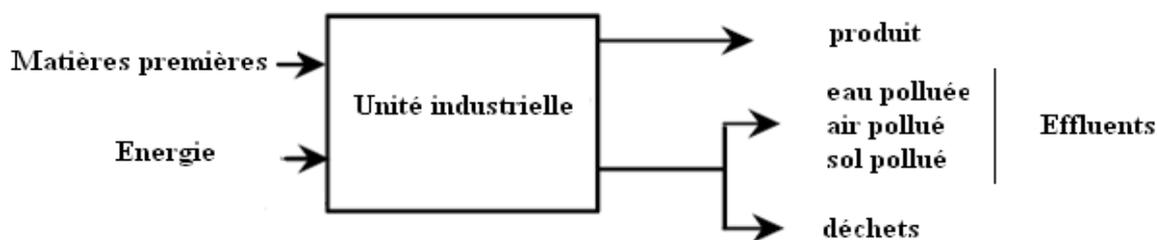


Figure 11. Les rejets solides et liquides industriels

#### III.1. Généralités sur la pollution

##### III.1.1. Définition de la pollution [17 à 20]

Fort utilisé de nos jours, le terme de pollution recouvre bien des acceptions et qualifie une multitude d'actions qui dégradent l'environnement. Ce vocable désigne sans aucune ambiguïté les effets de l'ensemble des composées toxiques libérés par l'homme dans la biosphère.

La définition la plus générale du terme de pollution a été donnée par le premier rapport du Conseil sur la Qualité de l'Environnement de la Maison Blanche (1965), « la pollution » dit ce rapport « est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît, en totalité ou en partie, comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu».

### **III.1.2. Les principaux types de pollution**

On peut distinguer plusieurs catégories de polluants des eaux selon leur nature physico-chimique, leur modalité de dispersion ou encore le type de biotope contaminé. Tout en soulignant le caractère arbitraire de toute typologie. La pollution engendrée peut être d'ordre physique (radioactivité, élévation de la température...), chimique (rejets agricoles, industriels et urbains) et microbiologique (rejets urbains, élevage...).

On distingue aussi deux grandes formes de pollutions :

- o Les pollutions ponctuelles, souvent relativement immédiates, provenant de sources bien identifiées comme les rejets domestiques, industriels ou les effluents d'élevage persistants. Ces rejets sont souvent traités directement dans des stations d'épuration ;
- o Les pollutions diffuses, comme celles dues aux épandages de pesticides et d'engrais sur les terres agricoles. Ce type de pollution met plus de temps pour atteindre les milieux aquatiques et ne peut être traité qu'à la source en diminuant l'usage des substances nocives

Le tableau ci-dessous effectue une synthèse de ces diverses approches de classification et des causes de pollution des eaux.

**Tableau 6.** Classification des principaux types de pollution des eaux

Type de pollution	Cause ou nature chimique	Source ou agent
<b>I. Physique</b>		
Radioactive	Rejets d'eau chaude	Centres électriques Installations nucléaires
<b>II. Chimique</b>		
Pollution par les fertilisants	Nitrates, phosphates	Agriculture
Pollution par les métaux et métalloïdes toxiques	Mercure, cadmium, plomb, aluminium, arsenic, etc.	Métallurgie, industries chimiques, combustion.
Pollution par les pesticides	Insecticides, fongicides, herbicides	Agriculture, traitement des talus d'infrastructures routières ou ferroviaires
Pollution par les composés organochlorés	PCB, chlorophénols, solvants chlorés	Industries (usages domestiques)
<b>III. Organique</b>		
	Effluents chargés de matières organiques fermentescibles (glucides, lipides, protides)	Effluents domestiques ou industriels
<b>IV. Microbiologique</b>		
	Bactéries, Virus	Effluents urbains ou d'industries agro-alimentaires (abattoirs par exemple)

#### ***III.1.3. Les principales sources de la pollution [18, 21 à 28]***

Il n'est pas toujours facile d'identifier ou d'énumérer les diverses sources de pollution ni d'estimer leurs conséquences respectives sur l'environnement car, les phénomènes mis en jeu sont très complexes et difficiles à cerner. Cependant, il a été établi que dans la plupart des cas, les effets d'une pollution dépendent à la fois de la nature et de la concentration des polluants ainsi que de l'écosystème considéré.

D'une façon générale, les sources de contamination dans la civilisation industrielle se différencient en trois catégories :

- La production de l'énergie ;
- Les activités agricoles ;
- Les activités de l'industrie chimique.

#### **- La production d'énergie, source essentielle de pollution**

La production d'énergie vient largement en tête des innombrables sources de pollution propre à la civilisation industrielle moderne. L'usage des combustibles fossiles et, en date plus récente, celui de l'énergie nucléaire constitue une importante cause de production d'agent polluants et cela depuis le stade même de l'extraction jusqu'en aval à celui de l'élimination des déchets.

La consommation énergétique mondiale atteignait en 1996 quelques  $8,68 \cdot 10^6$  tep (tonne d'équivalent pétrole) soit  $12,58 \cdot 10^9$  tec (tonne d'équivalent charbon). Les combustibles fossiles représentent près de 97% de ce total et plus de 30 milliards de barils de pétrole brut sont produits chaque année dans le monde.

A tous les stades de l'activité humaine, l'usage des hydrocarbures fossiles les place au premier rang des sources de contamination de l'environnement.

Parmi les principales nuisances associées à la production et à l'utilisation de l'énergie est la pollution thermique. Lorsque l'homme brûle une masse déterminée de combustibles fossiles ou de matière fissile, 60% de l'énergie potentielle est perdue dans l'environnement sous forme de basses calories inutilisables. Le refroidissement d'une centrale de 1 000 MW provoque un réchauffement des eaux fluviales ou littorales catastrophique pour les êtres vivants limniques et marins. Il en résulte, entre autre graves conséquences écologiques, une importante perturbation de leur cycle biogéochimique à une échelle globale.

#### - **L'agriculture moderne**

L'agriculture est devenue une cause importante de pollution des sols et des eaux par suite de l'usage systématique des engrais chimiques et des pesticides dont certains présentent une telle toxicité qu'ils s'apparentent aux armes chimiques.

Ce type de pollution intéresse les eaux de ruissellement et concerne principalement deux familles de composés : les pesticides et les engrais.

\*Pollution par les pesticides : regroupe les herbicides, les fongicides, les insecticides...

\*Pollution par les fertilisants, entraînant une augmentation nette des teneurs en nitrates et en phosphates dans les eaux courantes et les eaux de nappe.

La pollution par les pesticides se traduit par diverses perturbations écologiques qui résultent de la contamination des parties aériennes des végétaux et des sols par les résidus des traitements. Ces perturbations présentent des conséquences néfastes pour les espèces et les biocénoses.

Les masses de pesticides actuellement utilisées en agriculture sont donc considérables si on réfléchit à la toxicité ou à la persistance (parfois à ces deux propriétés en même temps) extraordinaires de la plupart de ces composés dont la majorité possède en un mot une très intense activité biocide.

L'insertion des pesticides dans les réseaux trophiques n'est plus à démontrer. Elle concerne en dernière analyse l'homme qui se trouve particulièrement exposé car notre espèce est située, ne l'oublions pas, au sommet de la pyramide écologique d'où la contamination de l'alimentation humaine constitue un des problèmes d'environnement les plus préoccupants à l'heure actuelle.

#### - **L'industrie source de polluants variés [18, 19, 22] et [29 à 31]**

Les industries, en particulier chimiques, métallurgiques, et même électroniques, constituent une cause essentielle de pollution de l'air et des eaux. Celles ci prennent place non seulement au niveau des usines mais aussi au niveau de l'utilisation des substances produites (qui conduit généralement à une pollution diffuse) et au niveau des objets manufacturés, en fin de cycle du produit, avec les déchets. Que dire des molécules minérales ou organiques de synthèse dont plus de 120 000 espèces chimiques différentes sont commercialisées à l'heure actuelle dans le monde et dont le nombre s'accroît d'un millier environ par an sans que l'on connaisse pour la majorité d'entre elles leur impact environnemental potentiel ?

Les industries rejettent des eaux usées de compositions très variables en fonction de la branche industrielle dans laquelle elles s'inscrivent.

L'industrie est une activité extrêmement polluante ; des secteurs tels que la papeterie, la chimie, le pétrole et la métallurgie atteignent des records en ce domaine, car ils utilisent un important volume d'eau dans leurs processus de fabrication. Les rejets des eaux usées «effluents» contiennent des produits comme les métaux lourds (mercure, plomb ou cadmium, entre autres) dont la toxicité est encore mal connue pour certains.

Les polluants chimiques, d'origine organique ou minérale, sont innombrables. Certaines matières sont biodégradables, c'est-à-dire susceptibles d'être reprises dans le cycle de la vie, dégradées et assimilées par les micro-organismes présents dans une eau suffisamment oxygénée. Les eaux véhiculent également, sous forme dissoute, des sels plus ou moins nuisibles, de produits hautement et immédiatement toxiques et d'autres qui, à dose minime, tels que les métaux (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, fer, mercure, plomb, zinc...), sont à long terme particulièrement dangereux.

Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution par exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec des filons géologiques (métaux, arsenic), une source thermo minérale.

#### **III.2. Les rejets solides industriels : Les déchets industriels [32 à 34]**

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous-produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières et, pour de nombreux pays à la nécessité d'importations de plus en plus coûteuses, enfin à la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et de l'environnement.

##### ***III.2.1. Définition du déchet***

On appelle déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit, ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

Le terme sous-produit provient du fait que la fabrication d'un produit ou d'une matière première déterminée peut donner naissance à un sous-produit ou coproduit ou produit annexe dont l'utilisation n'est pas prévue au départ.

#### ***III.2. 2. Approche environnementale***

Du point de vue de l'environnement, un déchet constitue une menace à partir du moment où l'on envisage un contact avec l'environnement.

Le déchet peut provoquer un impact sur l'environnement soit du fait de son rejet ou des rejets liés à son traitement, soit, plus indirectement, par l'impact que provoque l'exploitation des matières et de l'énergie dont il est composé s'il n'est pas valorisé. Parfois extrêmement difficiles à évaluer, ces impacts sont pourtant une des justifications principales aux différents traitements envisagés.

#### ***III.2. 3. Approche économique***

Sur le plan économique, un déchet est une matière ou un objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur à un moment et dans un lieu donné. Cette définition exclut une bonne part des déchets recyclables, qui possèdent une valeur économique, même faible.

#### **III.2.4. Typologie des déchets**

Il est courant de distinguer les déchets suivant leur origine :

- déchets urbains, qui regroupent les ordures ménagères et les déchets des municipalités
- déchets industriels,
- déchets agricoles.

On peut ensuite distinguer les déchets suivant la nature du danger qu'ils font courir à l'environnement :

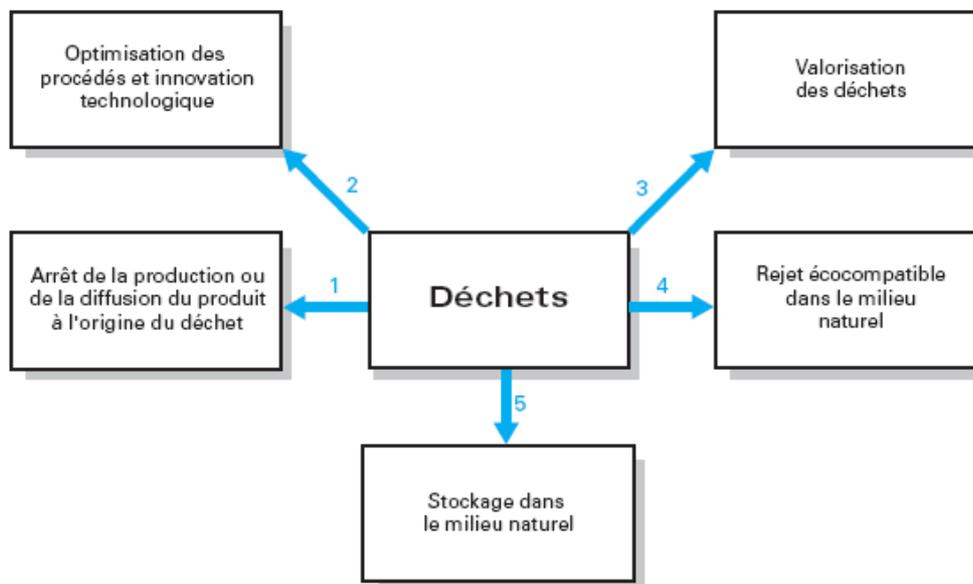
- déchets inertes, dont l'effet sur l'environnement est négligeable;
- déchets banals, assimilables aux ordures ménagères;
- déchets spéciaux, représentant un danger direct ou indirect pour l'homme ou l'environnement.

A cette liste, il faudrait encore ajouter les déchets radioactifs.

#### **III.2.5. Les stratégies de gestion des déchets**

La réflexion sur la gestion d'un déchet ne doit pas se limiter à la seule recherche d'une solution immédiate au problème posé par son existence. Sa production n'est pas toujours une fatalité et des voies stratégiques sont à explorer et peuvent conduire à modifier profondément la nature du déchet et les quantités produites pour un procédé donné. Il s'agit là d'une attitude qui peut entraîner des modifications importantes tant au niveau du procédé que du produit.

Globalement, face à la nécessité de résoudre le problème de la gestion d'un déchet, les choix stratégiques sont au nombre de cinq (figure 12).



**Figure 12.** *Stratégies de gestion des déchets*

✓ ***Stratégie 1 : arrêt de la production ou de la diffusion du produit à l'origine du déchet***

Le choix de cette stratégie est généralement imposé par les impacts écologiques ou toxiques liés à l'usage de certains produits. La décision, qui dépasse le plus souvent le cadre national, conduit, d'une part, au développement d'une activité de récupération et d'élimination du produit incriminé et, d'autre part, à la recherche d'un produit de substitution.

**Exemple :** interdiction des pyralènes, des CFC, du DDT et des insecticides organochlorés.

✓ ***Stratégie 2 : optimisation des procédés et innovation technologique***

Cette stratégie est le champ privilégié de ce qu'il est convenu d'appeler les *technologies propres, sobres et économes*. Le recours à l'automatisation et à des techniques de séparation performantes (membranes, résines échangeuses...) permet souvent de substantielles économies de fluides et de matières (réduction à la source), tout en évitant la production de déchets dangereux (solvants, complexants...). Le développement des biotechnologies et des nanotechnologies s'inscrit dans cette évolution des outils de production, moins générateurs de déchets dangereux.

**Exemple:** développement de technologies innovantes dans la chimie de synthèse, l'élaboration des métaux, la fabrication du papier...

✓ ***Stratégie 3 : valorisation des déchets***

En fonction de leur nature chimique, de leurs propriétés mécaniques, physico-chimiques ou thermiques, presque tous les déchets sont potentiellement valorisables. C'est cette stratégie qui se décline à travers toutes les filières de valorisation.

**Exemple:** développement des filières de valorisation de certains déchets : verre, plastiques, papier, métaux...

✓ ***Stratégie 4 : rejet éco-compatible dans le milieu naturel***

Il est possible, dans certains cas, de permettre le retour des déchets dans le milieu naturel sans pour autant perturber ce milieu et poser des problèmes de type écologique, écotoxique ou toxique. C'est en général le cas pour les déchets inertes mais aussi pour les sous-produits de la décomposition thermique de molécules organiques en composés simples comme l'eau et le gaz carbonique.

**Exemple :** banalisation de déchets minéraux après stabilisation-solidification.

✓ ***Stratégie 5 : stockage et confinement dans le milieu naturel***

Il s'agit dans ce cas de l'enfouissement des déchets. C'est la traditionnelle *mise en décharge* dans un contexte technique et réglementaire qui doit garantir l'innocuité du système au regard du milieu environnant.

**Exemple :** maîtrise accrue de l'enfouissement des déchets ultimes.

#### **III.2.6. Différents modes de valorisation des déchets**

Du point de vue global la valorisation des déchets peut permettre de :

-Préserver les ressources correspondantes. Ceci se traduit par une disponibilité des ressources à plus long terme, mais aussi par une diminution des atteintes à l'environnement associées à l'exploitation de ces ressources. Là encore, le gain n'est pas nécessairement positif lorsqu'il s'agit de matières premières abondantes ou renouvelables ou lorsque les techniques de collecte et de valorisation se révèlent polluantes.

-Eviter des atteintes à l'environnement du fait d'un traitement classique du déchet. Ceci n'est effectif que si la technique de valorisation n'est pas trop polluante.

Indépendamment du recyclage direct d'un déchet ou sous-produits, plusieurs types de valorisation sont possibles selon les caractéristiques, le tonnage et la situation géographique

du déchet concerné : la valorisation énergétique, la récupération de matières premières ou l'emploi comme matière première de substitution, la valorisation en agriculture ou encore l'utilisation des résidus pour le traitement d'autres déchets ou effluents.

Toute valorisation pose un certain nombre de problèmes tels que :

- Disponibilité et localisation des déchets (problème particulier du transport et du coût correspondant) ;
- Nécessité d'investissements et de modifications technologiques des installations existantes ;
- Possibilité de concurrence entre les matières premières conventionnelles et les matières premières de substitution qui deviennent des déchets valorisables ;
- Qualité souvent moins bonne des produits régénérés....etc.

Ces problèmes ne sont pas toujours faciles à résoudre. Par ailleurs toute valorisation n'apporte pas forcément un bénéfice mais garde toute sa valeur si, elle correspond à un traitement à moindre coût. Dans la conjoncture actuelle, si cette valorisation est bien pensée, elle tendra à économiser partiellement l'énergie, à préserver les matières premières restantes, et à limiter la pollution dont souffre de plus en plus notre planète.

#### **III.3. Les rejets liquides industrielles**

Utiliser l'eau, c'est pratiquement accepter de la polluer... En effet, toute activité industrielle engendre des rejets polluants qui renferment tous les sous-produits et les pertes de matières premières qui n'ont pu être récupérés ni recyclés.

##### ***III.3.1. Caractérisation des eaux résiduaires industrielles***

Il est nécessaire de bien connaître les effluents, c'est-à-dire d'identifier la nature et la concentration des polluants qu'ils contiennent, pour appliquer la solution de traitement la plus appropriée : celle qui permettra d'obtenir le taux de dépollution le plus élevé au meilleur coût et le cas échéant, de valoriser les polluants.

##### **✓ Origine, nature des rejets industriels [35 à 38]**

Les eaux résiduaires industrielles ou professionnelles sont les déchets liquides obtenus lors de l'extraction et de la transformation de matières premières en produits industriels, ainsi que lors de l'utilisation de ces produits pour la fabrication d'articles de consommation. Les eaux résiduaires industrielles proviennent principalement de l'eau consommée dans de nombreuses opérations de fabrication par voie humide, comme par exemple la précipitation, le lavage, et

le refroidissement de gaz, de liquide, ou de solide ; ainsi que dans la production de chaleur ou d'énergie, dans le transport, le trempage, et le gonflement de substances non solubles ou peu solubles dans l'eau, dans les distillations, les filtrations, les transformations chimiques, et aussi dans le nettoyage des appareils, des ateliers, etc.... utilisée pour ces travaux.

#### - **Effluent généraux de fabrication ou de procédé**

La nature de ces eaux est très variable d'une industrie à l'autre ; la plupart des procédés industriels conduisent à des rejets polluants qui proviennent du contact de l'eau avec des solides, des liquides ou des gaz.

C'est dans l'industrie alimentaire, l'industrie chimique, celle des pâtes et papiers, ainsi que dans certaines branches de l'industrie textile qu'on trouve l'essentiel de la pollution organique dissoute, qui peut avoir un caractère plus ou moins biodégradable et un degré de pollution plus ou moins important.

#### - **Eaux de circuit de refroidissement**

Abondantes et généralement pas polluées, car elles ne sont pas en contact avec les produits fabriqués, et elles peuvent être recyclées.

Plus délicat est le problème posé par le rejet des purges des circuits d'eau de réfrigération, souvent très minéralisées et pouvant contenir une quantité plus ou moins grande de produits chimiques ayant servi à leur traitement.

#### - **Eaux de lavage des sols et machines**

Contrairement aux rejets précédents, la qualité et le débit des eaux de lavage sont très variables. Ces eaux sont chargées de produits divers : matières premières ou liqueurs de fabrication, hydrocarbures et huiles de machines, produits détergents, bactéricides ou bactériostatiques utilisés en désinfection. La production et le degré de pollution de ces effluents résiduels sont souvent importants à la fin de la période de travail et au cours des nettoyages de fin de semaine et des périodes de congés.

#### - **Effluent de services généraux**

Ce sont essentiellement les eaux usées domestiques de l'usine qui présentent des caractéristiques particulières et sont biodégradables.

#### ✓ **Paramètres de caractérisation de la pollution industrielle [38 à 42]**

Toutes les eaux industrielles formant les effluents contiennent de nombreuses molécules différentes qu'il est impossible d'identifier et de quantifier individuellement et de manière exhaustives. On utilise donc des grandeurs qui servent à caractériser de manière globale et pertinente le niveau de pollution présent dans les effluents.

Les volumes rejetés et la quantité de matière contenant principalement du carbone, de l'azote, et du phosphore sont les caractéristiques les plus importantes à considérer. Cela n'exclut pas qu'une attention particulière soit portée ponctuellement sur d'autres éléments. Ils correspondent aux méthodes d'analyse normalisées permettant de caractériser une eau résiduaire et connaître son niveau de contamination.

La mesure de la pollution s'effectue à l'aide des différents paramètres suivants :

- **Les principaux paramètres**

- Demande chimique en oxygène (DCO) : (exprimée en mg O<sub>2</sub>/L) représente l'enveloppe de tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène (par oxydation au bichromate de potassium en milieu sulfurique), en particulier les sels minéraux oxydables et la majeure partie des composés organiques ;
- Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) : (exprimée en mg O<sub>2</sub>/L) est la quantité d'oxygène consommée dans les conditions d'essai (incubation à 20 °C et à l'obscurité pendant 5 jours), pour assurer par voie bactérienne l'oxydation biologique des matières organiques dites biodégradables ;
- Le rapport DCO / DBO<sub>5</sub> permet d'évaluer la biodégradabilité de la matière organique dans un échantillon donné.
- Azote (en ses différentes formes chimiques) : qui englobe l'azote total Kjeldahl (NTK) et l'azote global (NGL) ;
- Matières en suspension (MES) ;
- Phosphore (en ses différentes formes chimiques).

- **Paramètres spécifiques**

- Hydrocarbures (méthode normalisée et analyse par infra Rouge) ;
- Métaux lourds (analyse par spectrométrie d'absorption et d'émission atomique). Ce paramètre est constitué par une somme pondérée de la concentration exprimée en g/l de huit métaux, Il s'agit du mercure (Hg), de l'arsenic (As), du plomb (Pb), du cadmium (Cd), du nickel (Ni), du cuivre (Cu), du chrome (Cr) et du zinc (Zn).

#### ***III.3.2. Effets de rejets liquides industriels***

Les enjeux environnementaux et sanitaires liés à la pollution dans les milieux aquatiques sont au cœur de nombreux débats de société et la prise de conscience de la nécessité de réduire la pollution toxique est de plus en plus importante.

En effet, les polluants toxiques ont des impacts non seulement sur l'environnement, mais aussi sur la santé humaine, avec des conséquences économiques non négligeables.

La pollution peut avoir des effets irréversibles sur les écosystèmes comme la disparition d'espèces et la contamination de la chaîne trophique.

#### **✓ Effets des eaux résiduaires industrielles sur l'environnement [18,24, 35, 43 à 48]**

Les eaux résiduaires industrielles non traitées, ou insuffisamment épurées, peuvent également provoquer des perturbations dans les processus physiques, chimiques et biologiques qui sont à la base du pouvoir naturel d'autoépuration, ainsi que d'autres accidents.

Les constituants non dissous des eaux résiduaires causent des accumulations de boues. Il se produit des phénomènes de décompositions avec dégagement de gaz de digestion ou de fermentation, un épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau par les produits de dégradation ; à cela s'ajoute un ralentissement des manifestations vitales, voire même une destruction totale des micro-organismes et des poissons et met en questions l'utilisation de l'eau, et conduire à un dépeuplement biologique des rivières.

Les eaux résiduaires contenant des graisses et des huiles peuvent par formation de films ou couches superficiels, empêcher l'accès de l'air dans le cours d'eau et occasionner des effets d'intoxication sur les micro-organismes et les poissons.

*Tableau 7. Nature des rejets et leurs impacts*

<b>Types de pollution</b>	<b>Impact sur le milieu naturel</b>
<b>Phase polluante solide (minérale et/ou organique)</b> matières en suspension, colloïdales et non colloïdales.	-Nuisances esthétiques ; -Dépôt de sédiments ; - Diminution de la photosynthèse ; -Diminution des transferts d'oxygène.
<b>Pollution de nature minérale</b> - chromates, cyanures, sulfures ; - (métaux lourds : Cu, Pb, Zn, Cd, Hg...) ; - formes minérales de l'azote (ammonium, nitrites) ; - formes minérales de l'azote (ammonium, nitrites, nitrates) et du phosphore ;	-Toxicité aiguë entraînant une mortalité rapide ; -Toxicité différée par bioaccumulation ; -Eutrophisation : prolifération surabondante d'algues, toxicité.
<b>Pollution de nature organique</b> -Biodégradable et non biodégradable -Formes organiques de l'azote (urée) et du phosphore -Substances toxiques (phytosanitaires, hydrocarbures polycycliques aromatiques, composés phénoliques...)	- Consommation de l'oxygène dissous (mortalité des poissons par asphyxie) - Contamination des chaînes trophiques - Eutrophisation -Toxicité à long terme (troubles de la reproduction des espèces)
<b>Pollution thermique</b>	Diminution de l'oxygène dissous, modifications de l'écosystème
<b>Pollution microbiologique</b>	Présence de germes pathogènes et de virus dangereux pour l'homme et les animaux

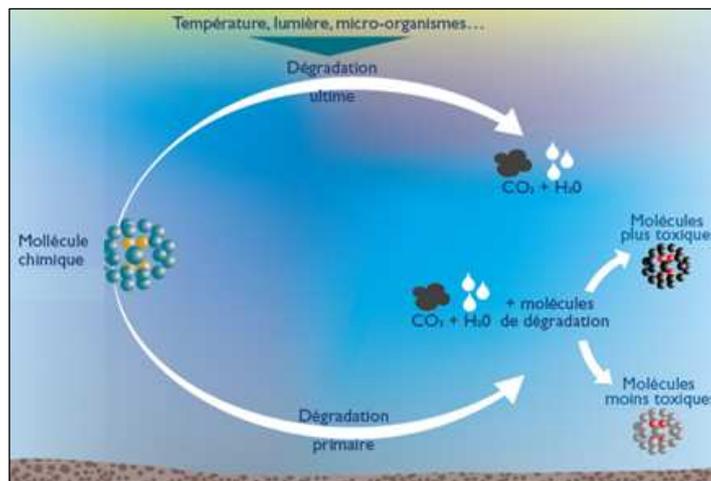
#### - La biodégradation

La biodégradation est une dégradation biologique effectuée par les êtres vivants (bactéries, champignons...). Elle est due à l'abondance et à la variété des micro-organismes dans le milieu considéré. L'attaque d'une molécule chimique par des micro-organismes a pour aboutissement sa minéralisation et l'obtention de métabolites de faibles poids moléculaires.

Deux types de biodégradation sont distingués :

- La biodégradation primaire qui est une attaque partielle de la molécule. Dans certains cas, elle peut aboutir à l'apparition de métabolites persistants plus toxiques que la molécule initiale.
- La biodégradation ultime qui est une dégradation complète conduisant à la formation de dioxyde de carbone, méthane, eau, éléments minéraux. Cette biodégradation, si elle se fait rapidement, conduit à l'élimination du polluant dans le milieu.

Pour évaluer la biodégradabilité d'une substance, il existe des méthodes normalisées basées sur des suivis de cinétique de dégradation bactérienne en conditions standard de laboratoire.



**Figure 13.** Dégradation primaire et ultime.

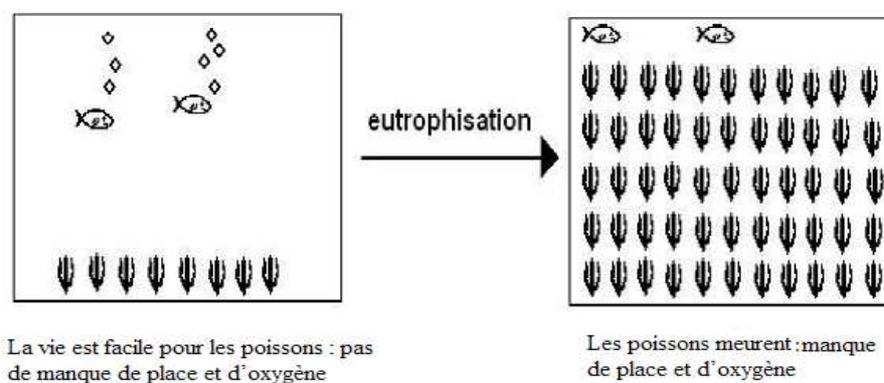
Cependant à défaut de ces méthodes standards, deux paramètres facilement mesurables peuvent être utilisés pour avoir une appréciation de l'aptitude à la biodégradation des molécules : La DBO et la DCO.

Une substance est facilement biodégradable si :  $DCO / DBO_5 < 3$ .

#### - L'eutrophisation des lacs et rivières

L'eutrophisation, constitue l'augmentation de la densité de la population d'algues dans un milieu aquatique (lacs et rivières à faible débit). Elles prolifèrent jusqu'à ce qu'elles absorbent la totalité de l'oxygène et des nutriments dissous dans l'eau, entraînant la mort de tous les organismes vivants, même les algues. Parmi les éléments minéraux nécessaires pour la croissance des algues, nous trouvons le phosphore et les composés azotés.

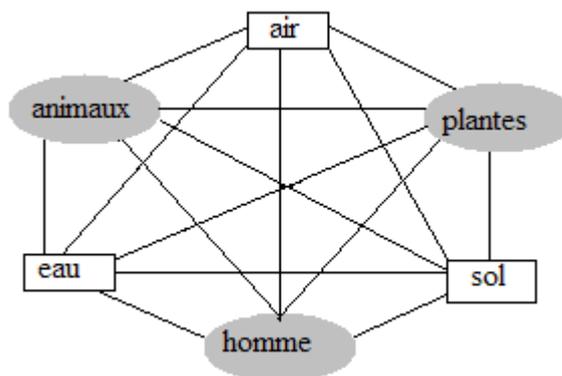
Ainsi, l'eutrophisation provoque une élévation des coûts de traitement, une altération de la qualité de l'eau distribuée et une augmentation des risques sanitaires.



**Figure 14.** Représentation du phénomène d'eutrophisation

#### ✓ Les polluants de l'environnement à l'homme [21, 49]

L'homme est une partie de l'écosystème de la terre. L'homme utilise l'environnement et le transforme à travers l'économie, la technique, etc. ... ; ainsi il crée son espace vitale et assure ses besoins.



*Figure 15. Interactions entre l'homme et l'environnement (schéma simplifié), les relations sont représentées par des lignes.*

Les populations humaines sont exposées par inhalation, par ingestion d'aliments et par contact cutané à un nombre considérable de polluants toxiques.

La nourriture de l'homme est contaminée par un grand nombre de composés minéraux et organiques, sans omettre les divers additifs incorporés délibérément dans notre nourriture dont ils ne sont ni nécessaires ni favorables à la santé de l'homme.

L'eau dite potable l'est de moins en moins, contaminée par divers polluants en particuliers des nitrates susceptibles de provoquer la formation de nitrosamines cancérogènes dans le tractus digestif, par divers autres substances minérales indésirables ainsi que par un grand nombre de composés organiques : pesticides, PCB, solvants qui polluent de plus en plus les eaux superficielles et même les nappes phréatiques.

Bon nombre de polluants, en particulier, les métaux lourds tels que le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium, peuvent causer des problèmes sérieux comme un retard de croissance et de développement, des perturbations des systèmes bio-régulateurs responsables de troubles étiquetés fonctionnels ou psychosomatiques (syndrome fatigue chronique), des problèmes neuro-dégénératifs (Parkinson, Alzheimer), des lésions organiques et des maladies cancéreuses.

Cette pollution par certains contaminants mutagènes et carcinogènes constitue une cause de préoccupation pour les hygiénistes et les politiques.

Les coûts liés à la santé humaine et les coûts économiques de la dépollution sont importants (construction de stations d'épuration pour les industries, mise au point de nouveaux procédés, décontamination de sites et des sols pollués...).

#### ***III.3.3. Méthodes de traitements de la pollution industrielle***

Le traitement efficace d'un rejet liquide nécessite tout d'abord une bonne connaissance de la quantité, de la qualité et des variations temporelles de la composition de l'effluent.

Dans le processus de l'identification des eaux résiduaires, la caractérisation physico-chimique est incontournable si on espère définir avec bonne qualité, les caractéristiques d'un procédé de traitement.

#### **✓ Contribution au traitement des effluents liquides industriels [36, 50 à 52]**

Sur un site polluant, on aura des flux de pollutions très divers (autant d'industrie que de types de pollutions différentes). L'épuration n'est pas destinée à produire de l'eau potable mais à réduire les pollutions issues des eaux usées (Rejets éco-compatible).

La connaissance de la composition chimique de l'effluent détermine le traitement adéquat. A l'heure actuelle, les différents types d'effluents peuvent être classés de la manière suivante :

1. Les effluents biodégradables, qui peuvent être directement acheminés vers une station de traitement biologique ;
2. Les effluents récalcitrants, qui nécessitent une sélection et une adaptation bactérienne avant de pouvoir être dégradés par traitement biologique. Il est important de séparer ces composés de ceux qui sont plus facilement biodégradés afin de favoriser l'adaptation bactérienne ;
3. Les effluents toxiques et/ou non biodégradables, qui nécessitent un prétraitement spécifique, à savoir une oxydation totale ou une combustion pour lesquels les procédés de congélation seraient particulièrement intéressants comme indiqués dans les travaux de Rodriguez, 2004 [51].

La Figure 15 schématise les divers types de traitement d'eaux résiduaires applicables dans chacun de ces trois cas.

Actuellement, des procédés de traitement physiques, chimiques et biologiques ont été développés pour la purification des eaux résiduaires. Afin de bien choisir le procédé le plus

approprié pour chaque type d'effluent, il est nécessaire de considérer une série de conditions parmi lesquelles on peut mentionner les plus importantes:

- Les caractéristiques de l'eau résiduaire brute : DBO, DCO, matière en suspension, pH, substances toxiques.
- La qualité de l'effluent final requis (spécifications de l'eau traitée liées souvent à la réglementation).
- Les coûts relatifs.

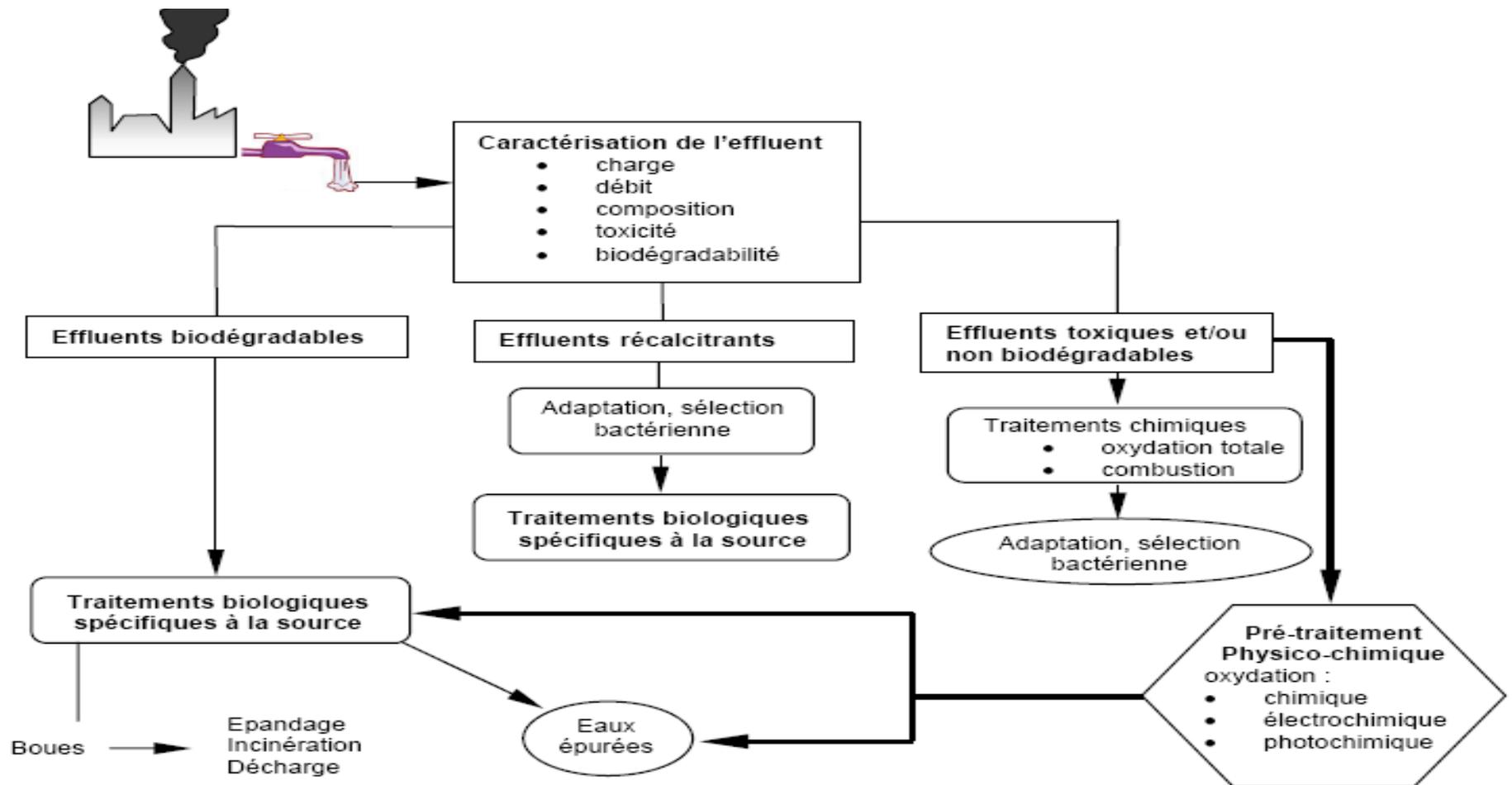


Figure 16. Divers types de traitement d'eaux résiduaires.

#### **III.4. Contraintes et législations des rejets liquides industriels**

##### ***III.4.1. Le principe pollueur – payeur [38, 53 à 57]***

Selon le principe du pollueur - payeur, les coûts des mesures destinées à éviter ou à limiter des atteintes à l'environnement doivent être supportés, non pas par la collectivité publique, mais par la personne qui est à l'origine de ces atteintes ; il en va de même pour les coûts liés à la préparation de dommages causés à l'environnement.

Ce principe apporte par ailleurs une aide technique et financière pour la réalisation des programmes de lutte contre la pollution. Les moyens financiers prélevés auprès des « pollueurs », permettent aux entreprises qui mettent en place des systèmes de traitements des effluents de percevoir une prime pour épuration selon le principe « qui épure est aidé ».

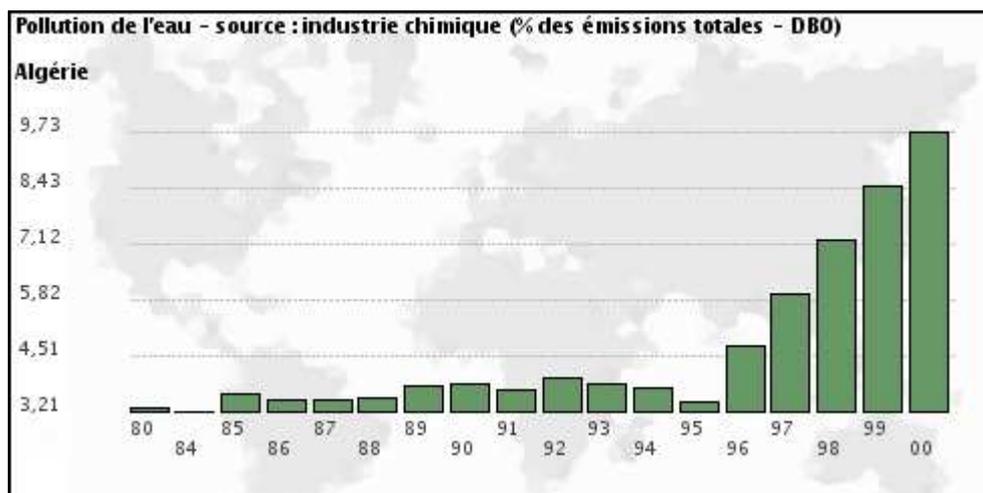
Ce système pollueur-payeur incite donc les industriels, d'une part, à réduire leur rejet et, d'autre part, à investir dans des procédés de lutte contre la pollution.

##### ***III.4.2. L'Algérie et la pollution de l'eau***

L'Algérie est un pays semi-aride, voire même Aride (200 à 400 mm) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière.

Le « rapport national sur l'Etat et l'Avenir de l'Environnement » qui a servi de base à l'élaboration du Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), dresse un bilan alarmant sur l'environnement. Le recensement des problèmes a fait apparaître :

- Des ressources en eau limitées et de faible qualité : l'Algérie ne dispose en moyenne annuelle que de 11.5 milliards de m<sup>3</sup> et ce volume restreint est en outre menacé par diverses pollutions et une gestion de l'eau qui a favorisé jusqu'à là, l'utilisation irrationnelle de la ressource, des pertes dans les réseaux et divers gaspillages.
- L'urbanisation non contrôlée des zones littorales ainsi que le processus d'industrialisation mal maîtrisé ont généré des pollutions industrielles et urbaines croissantes qui sont à l'origine de sérieux problèmes de santé publique.



**Figure 17.** Pollution de l'eau - source : industrie chimique (% des émissions totales - DBO)

#### Algérie

D'une manière générale, cet indicateur permet d'évaluer la part des émissions causées par cette industrie par rapport à celles provenant de l'ensemble des activités industrielles du pays. La donnée est exprimée en %. Pour effectuer cette mesure, en prenant en compte une grande variété de polluants, on utilise la DBO, Demande Biologique en Oxygène. Cet indicateur constitue un standard permettant d'évaluer le niveau de pollution d'un volume d'eau.

Une cinquantaine de stations d'épuration (STEP) ont été réalisées en Algérie avec une capacité de l'ordre de quatre millions habitants équivalents; et il est à noter que près de 95% de ces stations sont à réhabiliter.

En effet sur les 53 stations d'épuration (STEP) existantes, 42 sont à l'arrêt.

En attendant la mise en place ou la réhabilitation des STEP, les eaux usées sont déversées dans les oueds, irriguant les vallées agricoles.

Les risques d'épidémies de maladies à transmission hydrique sont devenus énormes et se produisent beaucoup plus en hiver. Une analyse réalisée sur l'eau de mer de Skikda a révélé que celle-ci contenait du mercure avec un taux de 1000 fois la norme internationale.

#### **III.4.3. Les réglementations environnementales algériennes [55,58]**

Le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique.

Ces politiques interviennent notamment pour aider les entreprises industrielles à réduire ou à éliminer leurs pollutions par des unités de collectes, de traitement et de recyclage des déchets,

ainsi que par une nouvelle fiscalité écologique basée sur le principe pollueur payeur afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement.

Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :

- Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels ;
- La loi du 01-02 du 19 juillet 2001 instaure la création d'un Fond National pour l'environnement et la dépollution ;
- l'ordonnance N°96-13 du 15 juin 1996 modifiant la loi N°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux stipule l'obligation d'épuration des eaux usées d'origines urbaines ou industrielles ;
- Décret exécutif N° 93 – 160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels ;
- la loi N°91-25 du 18 décembre 1991 instaure la taxe sur les activités polluantes ou dangereuses.
- Ratification du protocole de Kyoto ;
- Entrée en application de la fiscalité écologique en Janvier 2005, le montant de la taxe est de 24000 DA/ tonne de déchets liés aux activités de soin des hôpitaux et cliniques et de 10500 DA / tonne de déchets industriels dangereux stockés.

#### ✓ *Limites de rejets*

Selon l'article 4 du la Décret exécutif n° 06-141 19 avril 2006 , JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE [58], toutes les installations générant des rejets liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets, (voir tableau ci-dessous) et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Les valeurs limites de rejets liquides industriels sont celles fixées en annexe du Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006. Toutefois, en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les valeurs limites des rejets liquides industriels prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets liquides industriels émanant de ces installations.

*Tableau 8. Valeurs limites des paramètres de rejets liquides industriels*

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
pH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
MES	mg/l	35	40
Azote Kjeldahl	"	30	40
Phosphore total	"	10	15
DCO	"	120	130
DBO5	"	35	40
Aluminium	"	3	5
Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
Cyanures	"	0,1	0,15
Fluor et composés	"	15	20
Indice de phénols	"	0,3	0,5
Hydrocarbures totaux	"	10	15
Huiles et graisses	"	20	30
Cadmium	"	0,2	0,25
Cuivre total	"	0,5	1
Mercure total	"	0,01	0,05
Plomb total	"	0,5	0,75
Chrome Total	"	0,5	0,75
Etain total	"	2	2,5
Manganèse	"	1	1,5
Nickel total	"	0,5	0,75
Zinc total	"	3	5
Fer	"	3	5
Composés organiques chlorés	"	5	7



# *CHAPITRE IV*



## **IV. LA PREVENTION DE LA POLLUTION : TECHNOLOGIES PROPRES [59 à 61]**

Les méthodes de prévention interviennent, contrairement aux techniques d'épuration, au cœur du procédé de production dans le but de réduire à la source la quantité et la nocivité des rejets

La méthode préventive, fondée sur l'adage qu'il vaut mieux prévenir que guérir, s'impose de plus en plus dans le domaine de la gestion de l'environnement

### **IV.1. Qu'est-ce que la prévention de la pollution ?**

La prévention de la pollution consiste à réduire le plus possible la quantité de déchets issue des procédés de fabrication. Elle fait donc appel à de bonnes pratiques de gestion et à un emploi judicieux des ressources (hausse du rendement énergétique, réutilisation des intrants, réduction de la consommation d'eau, etc.).

Les mesures de prévention sont donc celles qui visent à éliminer ou à réduire l'emploi de substances dangereuses et de matières non dangereuses et à conserver les ressources naturelles comme l'énergie et l'eau.

Pour les industries, la prévention de la pollution doit viser tous les types de déchets. Il repose sur un examen global et continu des opérations industrielles et des déchets produits.

Comme l'illustre la figure 18, un programme de prévention efficace commence par un examen des produits et des procédés afin de réduire la quantité des déchets de production ou la toxicité des produits finis durant leur vie utile de même qu'après leur élimination.

La méthode préventive s'articule autour de trois activités :

- La réduction des déchets ou des polluants à la source ;
- La réutilisation des produits et des sous-produits et
- Le recyclage en boucle fermée.

Il est en général beaucoup moins coûteux d'enrayer les polluants ou les déchets à la source que de les récupérer et d'en assurer le traitement et l'élimination.



**Figure 18.** *Quelques moyens pour réduire les déchets à la source.*

## IV.2. Méthodes de prévention de la pollution

Les méthodes de prévention de la pollution comprennent :

- ✓ Le remplacement de substances, de matériaux ou de matières premières toxiques par des produits non toxiques ou moins toxiques;
- ✓ La ré-conception de produits de telle sorte que le produit final soit non toxique ou moins toxique au moment de son utilisation, de son rejet ou de son élimination. Cette technique consistant à remonter du produit au procédé et aux intrants de la fabrication industrielle est nettement utile tant aux travailleurs qu'à l'environnement, car si le produit est moins toxique, les procédés qui servent à le fabriquer le seront aussi. On produira moins de déchets toxiques et il y aura moins de substances toxiques auxquelles les travailleurs seront exposés. La ré-conception du produit nécessite une analyse du cycle de vie du produit;
- ✓ La ré-conception ou la modification du procédé (installation de production);
- ✓ L'amélioration de l'exploitation et de l'entretien du matériel et des méthodes de production, notamment par l'amélioration des pratiques de travail, des réglages, des inspections, de l'équipement de gestion et de commande du procédé et de la formation des travailleurs;
- ✓ La réutilisation et le recyclage faisant partie intégrante du procédé de production (par exemple, les méthodes en circuit fermé). Les circuits fermés ne produisent pas de déchet et ne comportent pas d'exposition des travailleurs pendant la production (bien que, pour être pleinement efficaces, ces méthodes doivent avoir une sûreté intégrée et que l'exposition soit habituellement inévitable pendant le démarrage et l'entretien);
- ✓ La simple réduction de l'utilisation, qui consiste à employer le moins possible d'une substance toxique et à atteindre le même résultat de production en recourant à une quantité moindre de substance toxique;
- ✓ La consommation efficace de l'énergie et des ressources. La définition de la prévention de la pollution englobe l'utilisation des matériaux autres que les produits chimiques ainsi que l'utilisation de l'énergie puisque la réduction de celle-ci minimise la production de polluants et de déchets.

Ces méthodes s'inscrivent toutes dans le cadre de la technologie plus propre. Celle-ci comprend le recours à des matières et à des procédés permettant de réduire la pollution et le gaspillage, y compris l'utilisation efficace de l'énergie. Elle comprend aussi l'utilisation de quantités moindres de produits dont le cycle de vie se termine par une évacuation permanente ou qui deviennent des rebuts inutiles.

Une grande partie de l'activité de prévention de la pollution consistera à examiner les pratiques d'achat ainsi que l'utilisation et la manipulation des substances toxiques selon une technique appelée comptabilité des matières.

### **IV.3. Dépollution en aval**

Les mesures prises après la production des déchets ne sont pas considérées comme des mesures préventives.

Les mesures suivantes ne cadrent pas avec les objectifs d'un programme de prévention de la pollution parce qu'elles sont prises après que les déchets soient produits.

#### ✓ ***Recyclage à l'extérieur des lieux de production***

Le recyclage à l'extérieur est infiniment préférable à d'autres méthodes de gestion des déchets, puisqu'il permet de récupérer des matières qu'il faudrait autrement éliminer. Cela dit, il n'est pas aussi efficace que le recyclage en boucle fermée (ou la réutilisation) pour réduire la quantité de déchets résiduels à éliminer. En outre, les matières recyclées à l'extérieur doivent être transportées et doivent subir un traitement, ce qui peut avoir des effets néfastes sur la santé des travailleurs et l'environnement.

#### ✓ ***Traitement des déchets***

Le traitement vise à supprimer, ou du moins à réduire, la toxicité des déchets par des réactions physico-chimiques. La détoxification, l'incinération, la décomposition, la stabilisation, la solidification et l'encapsulation sont quelques-unes des techniques de traitement.

#### ✓ ***Concentration du volume des substances polluantes***

La dessiccation (dessèchement) et d'autres moyens de réduire le volume des déchets sont utiles, mais ne réduisent pas pour autant la toxicité des déchets ainsi traités. Ainsi, la filtration sous pression et la dessiccation des boues résiduaires riches en métaux lourds permettent de réduire considérablement le volume des boues, sans toutefois diminuer la quantité absolue de métaux lourds présents dans les concentras.

#### ✓ ***Dilution des substances toxiques***

Pas plus que la dessiccation, la dilution ne réduit pas la quantité absolue des polluants dérivés des déchets. Du reste, cette méthode de traitement est expressément interdite, sinon nettement déconseillée.

#### ✓ ***Transfert d'un polluant d'un milieu à un autre***

Bien des méthodes de traitement consistent, à l'heure actuelle, à capter les polluants et à les déplacer d'un milieu à un autre. On peut, par exemple, absorber les solvants d'un effluent à l'aide de charbon actif, mais la réactivation du charbon nécessite l'emploi d'un autre solvant ou alors un traitement à la chaleur, ce qui a pour résultat de libérer dans l'atmosphère les

polluants issus de la réactivation. Si le transfert est admis, dans certaines circonstances, comme méthode de traitement c'est, hélas, bien souvent pour transférer un polluant d'un milieu fortement réglementé vers un autre milieu, qui l'est moins, et constitue ainsi une source de pollution secondaire.

#### **IV.4. Les avantages de la prévention de la pollution**

La prévention de la pollution présente des avantages :

- réduit au minimum ou évite la création de polluants;
- évite le transfert des polluants d'un milieu à un autre ;
- accélère la réduction ou l'élimination des polluants;
- réduit au minimum les risques pour la santé;
- assure la promotion des technologies qui réduisent les sources de pollution;
- économise davantage l'énergie, les matières et les ressources;
- réduit au minimum les coûts à engager pour faire respecter la réglementation;
- limite avec plus de certitude la responsabilité ultérieure;
- reconnaît que le coût des résidus peut être réduit;
- évite les coûts élevés de décontamination.

#### **IV.5. Le zéro-rejet**

Toutes les activités industrielles ne peuvent pas avoir de déchet nul (zéro-rejet) mais peuvent avoir des rejets "éco-compatibles».

Les différentes caractéristiques du zéro-rejet polluant aqueux se déclinent donc de la manière suivante :

- Absence totale de métaux et de sels dans l'eau ;
- Les rejets en eau ont les mêmes caractéristiques que celle des eaux d'alimentation prélevées ;
- Les rejets en eau ont les mêmes caractéristiques que le milieu récepteur.

Ces solutions permettent de réduire les consommations en produits chimiques, les consommations en eau, la nocivité et la quantité des rejets, elles évitent la formation de déchets indésirables, permettent de recycler ou régénérer les fluides de travail et de récupérer les produits chimiques auparavant rejetés.



# *CHAPITRE V*



## V. POLLUTION ENGENDREE PAR L'UNITE : DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL

Toute étude concernant les possibilités de traitement des effluents résiduels d'une usine doit être précédée par une enquête approfondie, qui a pour but de préciser les éléments nécessaires à une bonne connaissance de la pollution de l'usine :

- Bilan quantitatif de la production et d'utilisation de l'eau dans l'usine (eau industrielle et/ou déminéralisée) ;
- Recensement des produits chimiques utilisés par atelier ;
- Recensement et localisation des diverses sources de pollution solide et liquide (sources permanentes, périodiques ou accidentelles).

L'eau est au cœur de nombreux processus industriels où elle est utilisée à diverses fins. Elle peut participer au processus industriel proprement dit, être utilisée pour le lavage et l'évacuation des déchets, pour le refroidissement des installations ou pour faire fonctionner les chaudières. Le refroidissement des installations représente l'essentiel de la consommation industrielle.

Nous ferons noter, aussi que les industries de gaz industriels figurent parmi les plus grandes consommatrices d'eau.

Un état des lieux et une analyse de la situation au niveau de Linde Gaz Algérie, nous font constater que pour couvrir ses besoins en eau, cette unité s'alimente du réseau public de distribution (eau de ville) et d'une nappe souterraine (forage) provenant d'un puits qui refoule l'eau d'une profondeur de 50 à 100 m avec une puissance moyenne de 200 à 400 m<sup>3</sup>/h.

Elle utilise au total 53 m<sup>3</sup>/h pour les quatre ateliers.

Une grande quantité de cette eau utilisée est rejetée directement dans le réseau d'évacuation.

### V.1. Etablissement d'un bilan détaillé de la consommation en eau

Nous ferons remarquer que la consommation en eau, pour les quatre ateliers, a été calculée sur la base des données de la production durant la période 2007/2008.

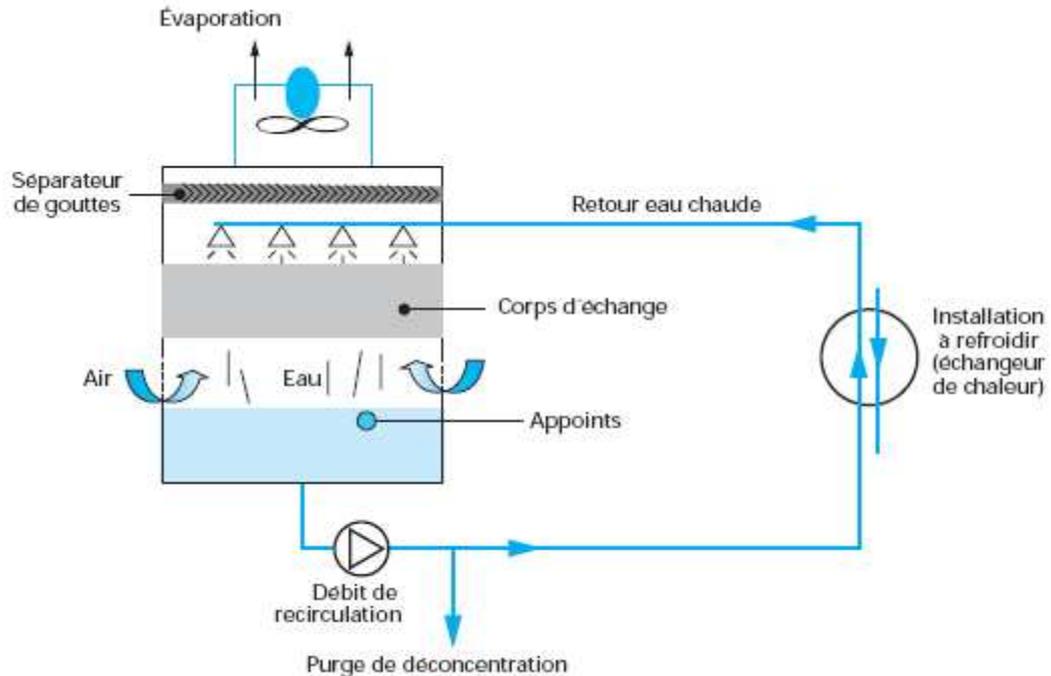
#### *a) Atelier CO<sub>2</sub>*

Dans cet atelier, le circuit de refroidissement est un circuit semi-fermé où la même eau est utilisée de nombreuses fois pour refroidir les échangeurs et les condenseurs. La chaleur soutirée aux fluides du procédé doit être dissipée afin de permettre la réutilisation de l'eau.

La tour de refroidissement constitue le principal moyen utilisé pour dissiper la chaleur du circuit semi-fermé, elle est conçue de manière à procurer un contact eau-air le plus intime possible.

Pour éviter une augmentation importante de la salinité, une partie de l'eau est perdue par des purges (fuites et purges volontaires) et sera compensée par introduction d'eau d'appoint dans le circuit.

La figure 19 présente le schéma de principe du fonctionnement d'un circuit semi-ouvert.



**Figure 19.** Circuit de refroidissement semi – ouvert [62]

La consommation d'eau s'explique par plusieurs utilisations dans le même atelier :

- Eau de refroidissement :  $10 \text{ m}^3/\text{h}$
- Solution d'absorption : Sur une durée de 6 mois, 1887 litre de MEA nécessitent  $20.5 \text{ m}^3$  d'eau

Il est important de faire noter que la solution MEA est actuellement jetée en grandes quantités et sans aucun traitement dans l'écosystème alors que dans les années 80 et en raison de l'interdiction formelle adressée par les autorités, elle était récupérée par NAFTAL.

- Solution d'épuration

La charge complète de solution d'épuration est constituée de 8.5 kg de permanganate de potassium et 8.5 kg de soude caustique pour  $0.4 \text{ m}^3$  d'eau et ceci pour une durée de 15 jours.

La consommation totale est égale à  $10.41 \text{ m}^3/\text{h}$

### ***b) Atelier Gaz de l'air***

Le circuit d'eau principal est un circuit fermé, traversant une tour de réfrigération atmosphérique de type BALTIMOR AIRCOIL (Figure 20).

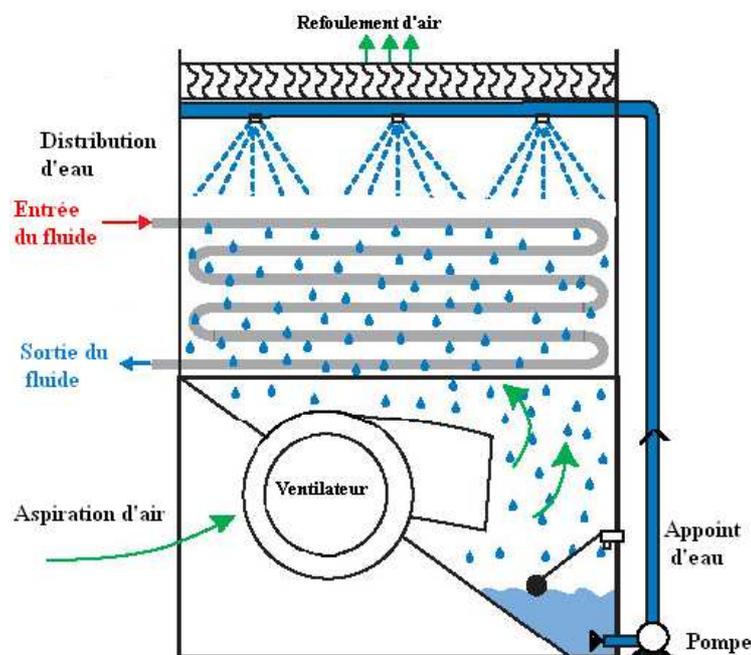
L'eau froide est contenue dans un bassin situé sous le réfrigérant atmosphérique et le retour d'eau chaude refroidie est envoyée à la partie supérieure de la tour de réfrigération.

Le réfrigérant final du compresseur d'air est refroidi directement par l'eau d'appoint cherchant, ainsi, à avoir une température de l'air la plus basse possible.

Le réfrigérant atmosphérique est un aspirant qui traite  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  d'eau.

Le refroidissement de l'eau qui circule de haut vers le bas dans la tour est réalisé à contre courant de l'air aspiré par le ventilateur.

Dans ce genre de circuits, l'eau circule selon un cycle fermé et elle est refroidie et chauffée en alternance sans contact avec l'air. Le refroidissement est assuré par évaporation d'une partie de l'eau dispersée du circuit tour, provenant du bassin de rétention et complétée par l'appoint en eau.



**Figure 20.** Circuit de refroidissement fermé [63]

La consommation totale de cet atelier est de  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  qui correspond à l'eau d'appoint due à l'évaporation de l'eau, aux eaux de purge et aux fuites.

### c) Atelier $\text{N}_2\text{O}$

L'eau refroidie est utilisée pour :

- Le condenseur tubulaire refroidi à contre-courant par le circuit d'eau.
- La purification du gaz qui se fait par le lavage dans les cinq tours.

L'eau réchauffée qui retourne dans un bac à eau chaude d'où elle est reprise par une pompe vers la tour de refroidissement.

Dans cet atelier les calculs donnent une consommation de  $17 \text{ m}^3/\text{h}$ .

***d) Atelier Acétylène***

Un kilogramme de carbure de calcium produisant 300 litres d'acétylène nécessite 10 litres d'eau et on obtient comme sous-produits des quantités considérables de boue hydratée de calcium (lait de chaux et chaux hydratée) dans une proportion double à celle du carbure de calcium utilisé.

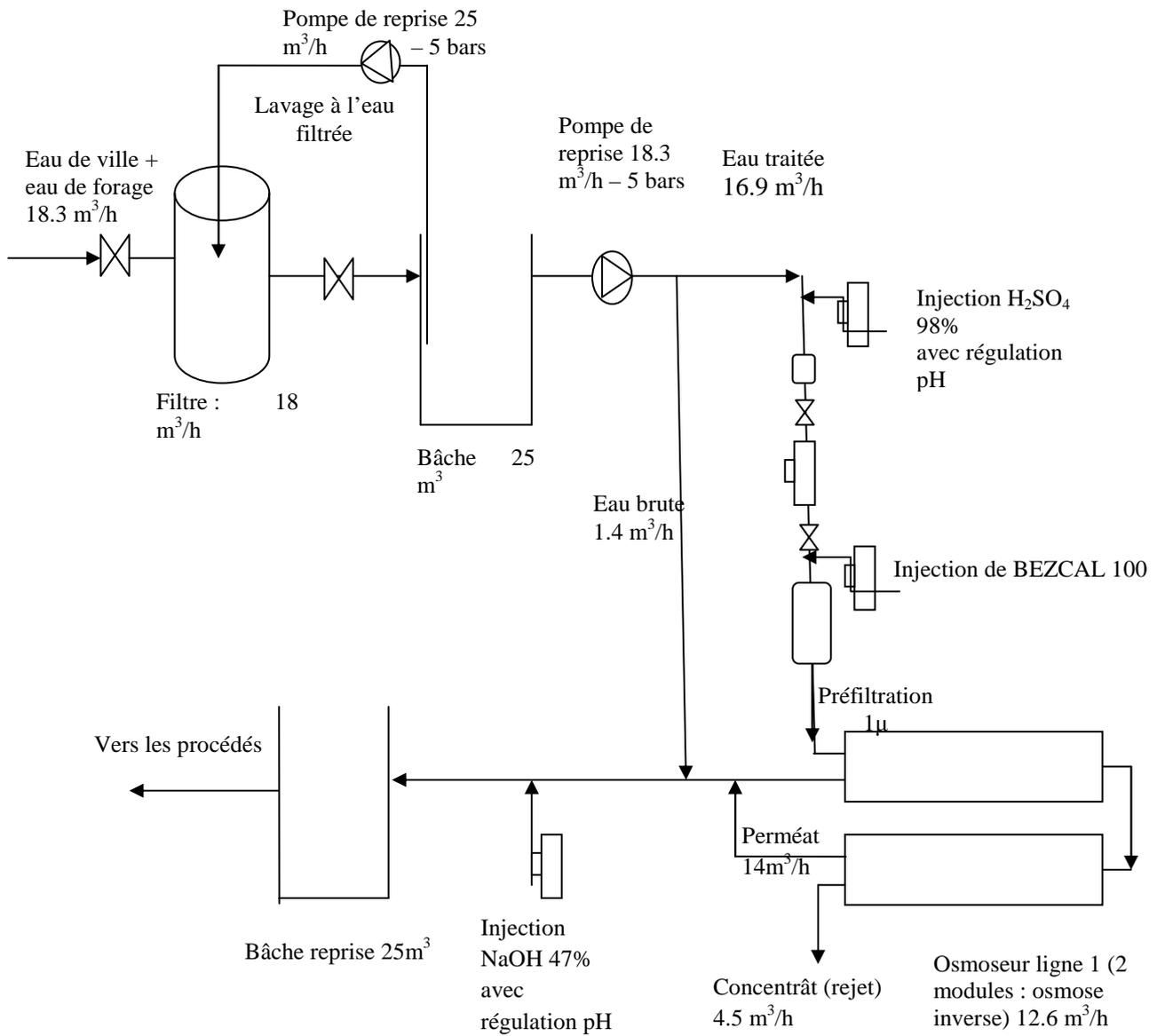
Donc pour une consommation annuelle de carbure de calcium de l'ordre de 572000 Kg/an, l'eau utilisée dans l'atelier est de 0.652 m<sup>3</sup>/h, et la chaux hydratée produite est environ 1144000Kg /an (130.59 Kg/h).

**V.2. Produits utilisés pour le traitement des eaux de procédés**

Les usages de l'eau sont extrêmement variés dans cette industrie ce qui entraîne diverses contraintes de qualité.

Les ressources de l'eau disponible à savoir les eaux souterraines (forage) et les eaux de distributions municipales répondent, malheureusement, rarement à l'ensemble de ces contraintes. L'eau de forage de l'unité, par exemple, possède une dureté très élevée de 49 °F degré Français (1 °F = 10 ppm de CaCO<sub>3</sub>). Cette eau doit être traitée pour être adaptée aux besoins et exigences de chaque procédés de production.

L'unité de gaz industriels possède une installation de prétraitement des eaux d'alimentation des procédés composée d'un osmoseur (deux lignes : 2 modules pour chaque ligne : osmose inverse) et d'adoucisseurs au niveau des ateliers CO<sub>2</sub>, de gaz de l'air et N<sub>2</sub>O (figure 21). Cette installation est fournie par CIBA Spécialité Chimique, France.



**Figure 21.** Installation de prétraitement des eaux de production, Linde Gaz Algérie, Réghaïa

***e) Injection de l'acide sulfurique 98%***

L'acide sulfurique est relativement peu couteux et utilisé pour le traitement des circuits de tours de refroidissement.

Le traitement à l'acide élimine l'alcalinité bicarbonatée de l'eau par suite de la réaction :



Le dioxyde de carbone formé est évacué dans la tour de refroidissement, tandis que le sulfate reste dans l'eau.

L'abaissement du pH par injection d'acide réduit aussi la tendance à la précipitation d'autres espèces sensibles au pH telles que le silicate de magnésium, l'hydroxyde de zinc et le phosphate de calcium.

Dans l'installation de prétraitement et de conditionnement des eaux de procédés industriels de l'usine de Réghaïa, l'eau est acidifiée à raison de 100 mg/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pur (98 mg/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, à 98% (ρ = 1.84 kg/l)) soit une chute de TAC (titre alcalimétrique complet) de l'ordre de 10 degré français °F et nous obtiendrons un pH de l'ordre de 6.7. Cette injection sera régulée par sonde de mesure de pH

Pour un débit d'eau d'alimentation de 16.9 m<sup>3</sup>/h et une pression de 5 bar, la dose d'injection est d'environ 0.9l/h en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%. La consommation journalière est de 22 litres.

***f) Injection de BEZCAL 100***

Une formulation antitartre BEZCAL 100 est injectée dans l'eau ainsi acidifiée à raison de 10 mg/l (ρ =1.15 kg/l). Cette injection est régie au volume par la présence d'un compteur d'eau à tête émetteur d'impulsions. Pour un débit d'eau d'alimentation de 16.9 m<sup>3</sup>/h et une pression de 5 bar, la dose d'injection est d'environ 0.15 l/h en BEZCAL 100.

La consommation journalière est de 3.5 litres.

***g) Injection de la soude 47%***

Le perméat remitigé (pH=6) est alcalinisé à raison de 70 mg/l de NaOH pur ou 155 mg/l de NaOH 47 % (ρ = 1.5 kg/l), soit une montée de TAC de l'ordre de 10 °F. Nous obtiendrons un pH de l'ordre de 7.1.

Cette injection est régulée par sonde de mesure du pH.

Pour un débit de perméat remitigé de 14 m<sup>3</sup>/h, la dose d'injection est d'environ 1.45 l/h en NaOH 47%. La consommation journalière est de 35 litres.

### V.3. Produits chimiques utilisés par atelier

#### a) Atelier CO<sub>2</sub>

✓ *Matière première : Gaz naturel (86.6 % de CH<sub>4</sub>)* fournie par Sonelgaz

Les données d'analyses chromatographiques du gaz naturel distribué à Alger et toute la région centre de l'Algérie, dont l'industrie des gaz de Réghaïa, sont donné dans le tableau 9. Ces analyses ont été effectuées pour un gaz inodore, (dépourvu du tétrahydrothiophène qui se trouve dans le gaz distribué à Alger à un le taux de 20 mg/Nm<sup>3</sup>).

**Tableau 9.** Composition molaire du gaz naturel par chromatographie

Eléments	Pourcentages (%)
N <sub>2</sub>	2.598
CH <sub>4</sub>	85.728
CO <sub>2</sub>	0.866
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	8.714
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.594
NC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.1421
IC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.22
Néo C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0
NC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0362
IC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0379
C6 +	0.017

(Source Sonelgaz: Historique des analyses chromatographiques, du 01/01/2007 à 31/12/2007)

✓ *Alimentation de l'atelier en gaz naturel est de 570 m<sup>3</sup>/h*

**Tableau 10.** Différents produits chimiques utilisés annuellement dans l'atelier de CO<sub>2</sub>

Produits utilisés	Consommation (Kg/an)
EDTA pour régénération	250
Acide sulfurique	6870
BEZCAL 100 (antitartre)	2500
Détartrant	2150
Ferrocid	150
Soude caustique	2100
Carbonate de soude	500
Monoéthanolamine	36960
Permanganate de potassium	1150
Huiles (l/an)	484

## 2. Atelier gaz de l'air

✓ Matière première : air ambiant

**Tableau 11.** Différents produits utilisés annuellement dans l'atelier de gaz de l'air

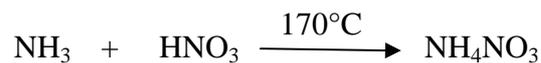
Produits utilisés	Consommation (Kg/an)
Chlorure de potassium en pastilles	116800
Acide sulfurique	250
Detartrant BSz	1450
Nalco 39 LSn (antitartre)	800
Produit ALGICIDE type KEMAZUR	250
Huiles (l/an)	4436

## 3. Atelier N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote)

✓ Matière première : nitrates d'ammonium (923.671 tonnes/an)

La matière première pour la production de protoxyde est le nitrate d'ammonium (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)

obtenu selon la réaction :



L'ammoniac et l'acide nitrique réagissent dans un neutraliseur où le mélange réactionnel est maintenue à 170°C, avec une réaction exothermique à la sortie d'un vaporiseur permet antd'obtenir une solution 99% de pureté en masse de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, on rajoute ensuite à la solution des argiles, le produit obtenu est déshydraté, puis granulé.

**Tableau 12.** Différents produits chimiques utilisés annuellement dans l'atelier de N<sub>2</sub>O

Produits chimiques utilisés	Consommation (Kg/an)
Détartrant BS Z	100
Phosphate d'ammonium monobasique	25
Huiles (l/an)	200
Permanganate de potassium	400
Soude caustique	2100

### V. 2.4. Atelier acétylène :

✓ Matière première : carbure de calcium 572000 kg/an

**Tableau 13.** Différents produits chimiques utilisés annuellement dans l'atelier d'acétylène

Produits chimiques utilisés	Consommation
Huile	62 l/an
Acetone	19690 l/an
Chlorure de calcium	4760 Kg/an

#### ***V.4. Recensement et localisation des points de prélèvement des échantillons***

Nous avons choisi et fixé quatre points de prélèvement :

P1 : Eau d'alimentation des procédés (eau propre à l'unité + eau de ville) ;

P2 : Eau de rejet de l'atelier N<sub>2</sub>O ;

P3 : Eau de rejet de l'atelier acétylène (eau surnageant lors de la décantation de la chaux hydratée).

P4 : Point principal à l'extérieur qui est le collecteur général de toutes les eaux rejetées par les différents ateliers.

Ces quatre points de prélèvements privilégiés sont symbolisés par P1, P2, P3 et P4 sur la figure 22 donnée ci-dessous. Le point de prélèvement qu'on a choisi pour la quantification de la charge polluante générée par ce type d'industrie est la sortie du collecteur principal. En effet, ceci nous permet d'avoir un échantillon représentatif des effluents de tous les ateliers qui existent à l'unité. En plus, le réseau d'évacuation est conçu de manière à ce que les eaux pluviales ne soient pas déversées dans ce collecteur principal, ainsi, aucune dilution supplémentaire due aux eaux de pluies n'est envisageable.

La bonne planification de la campagne d'échantillonnage est nécessaire pour éviter les pertes et les erreurs. Plusieurs éléments doivent être pris en compte lors de la planification d'une campagne d'échantillonnage, on cite les plus pertinents :

- Etablissement d'une liste des paramètres qui devront être analysés,
- Localisation du site du prélèvement,
- Détermination des cycles et des heures de fonctionnement du procédé afin de faire l'échantillonnage pendant ces temps,
- Détermination du type de réseau des rejets (combiné ou séparatif),
- Une visite préliminaire au site pour déterminer les moyens et les conditions de transport des échantillons, l'accessibilité aux rejets, la disponibilité et l'équipement de sécurité requis



Figure 22. Localisation des différents points de prélèvement

#### ***V.4.1. Prélèvement et conservation des échantillons d'eau rejetée***

Le prélèvement d'un échantillon est une opération assez délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats des analyses et leur interprétation.

Un prélèvement correct des échantillons d'eaux résiduaire constitue la condition la plus importante de l'exploitation des résultats d'analyses obtenus en laboratoire et de leur utilisation dans la pratique.

Dans une première étape une visite de l'unité s'impose, afin de répertorier les différents points de rejets des eaux usées, ainsi que les différentes conduites d'égout qui recueillent ces eaux.

Dans une deuxième étape, il y a lieu de choisir les différents points de prélèvement des différents types d'eaux à analyser, et ceci en fonction des conditions d'accès à ces points.

Il faut prendre en considération, le mode d'échantillonnage, qui est important, puisque il permet d'assurer la représentativité des échantillons, sans oublier que certaines analyses peuvent être effectuées sur place alors que d'autres peuvent l'être ultérieurement, en prenant donc soin d'assurer la conservation des échantillons.

On distingue plusieurs modes d'échantillonnage :

-L'échantillonnage ponctuel qui consiste à prélever un seul échantillon et il n'a de sens que si sa composition ne varie pas pendant la période d'analyse.

Un échantillon ponctuel ne peut donner d'indication que sur les substances présentes au moment du prélèvement.

-L'échantillonnage continu qui est généralement associé à une mesure en continu comme celle du pH, de la turbidité ou de la teneur en oxygène dissous.

-L'échantillonnage périodique est effectué à différents intervalles de temps. On doit souvent se servir d'un échantillonneur automatique et effectuer par la suite, un grand nombre de mesure.

- L'échantillonnage intégré permet d'avoir un échantillon représentatif des effluents de tous les ateliers qui existent à l'unité.

C'est dernier mode d'échantillonnage a été choisi pour nos prélèvements vu que les conditions au laboratoire ne permettaient pas l'analyse d'un grand nombre d'échantillons.

Selon la disponibilité des laboratoires sollicités et en fonction des appareils et des produits mis à notre disposition, trois séances d'échantillonnage ont été réalisées :

- 1ère séance d'échantillonnage : le 27/02/2008 ;
- 2ème séance d'échantillonnage : le 08/05/2008 ;
- 3ème séance d'échantillonnage : le 14/01/2009, consacrée à l'analyse des rejets au niveau du collecteur principal (échantillonnage intégré) et à l'analyse de la chaux hydratée.

Le mode de prélèvement et de conservation doit faire l'objet d'une attention particulière.

Ainsi, nous avons utilisé des flacons neufs en polyéthylène et en verre avec des bouchons en polyéthylène et en ajoutant 2 ml d'hexane aux échantillons réservés à l'analyse des huiles et graisses. On fera noter que les prélèvements des échantillons ont été réalisés manuellement.

Les flacons ont été rincés au moment du prélèvement trois fois avec l'eau résiduaire puis remplis jusqu'au bord. Les échantillons prélevés, soigneusement étiquetés et conservés à 4°C ont été transportés au laboratoire en un temps ne dépassant pas 24 heures. D'une façon générale le transport des flacons à une température de 4°C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante.

Le tableau qui résume les conditions de conservation selon les caractéristiques recherchées ou l'élément à analyser est dans l'annexe 2 [41, 64].

#### ***V.4.2. Prélèvement et conservation de l'échantillon rejet solide***

A la sortie du générateur d'acétylène, nous avons placé un grand bac pour récupérer une bonne quantité de boue hydratée avant qu'elle passe dans une fosse inaccessible.

Après décantation et élimination de l'eau surnageant, nous récupérons la chaux hydratée.

Nous ferons remarquer qu'au vu de l'hétérogénéité du mélange, plusieurs prélèvements en différents endroits ont constitué notre échantillon à analyser.

Cet échantillon est séché à l'air libre pour éliminer les résidus d'acétylène et de carbure de calcium, puis stocké dans un sachet bien fermé et transporté au laboratoire.

### **V.5. Les différents paramètres de pollution étudiés**

#### ***V.5.1. paramètres mesurés au niveau de l'unité (in situ)***

Plusieurs paramètres ont été mesurés au niveau de l'unité même : température, pH, TA (Titre Alcalimétrique), TAC (Titre Alcalimétrique Complet) et TH (Titre Hydrométrique).

##### **✓ Dureté ou Titre Hydrotimétrique (TH)**

Le titre hydrotimétrique (que l'on appelait autrefois la dureté totale) mesure la totalité de ces minéraux dissous sous forme de sels : carbonates, bicarbonates, sulfates, chlorures et hydroxydes. Pour caractériser les cations responsables de la dureté d'une eau, nous avons utilisé des méthodes complexo-métriques (EDTA).

### ✓ Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique Complet (TA et TAC)

TA : Titre Alcalimétrique qui mesure la concentration globale en  $\text{OH}^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  (qui sont les deux bases les plus fortes dans l'eau). Il se mesure en degré français et  $\text{TA} = 0$  à  $\text{pH} < 8.3$

(L'espèce carbonate et hydroxyde se trouve en quantité négligeable)

TAC : Titre Alcalimétrique Complet qui mesure  $\text{OH}^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  (Annexe 4).

#### ***V.5.2. Paramètres mesurés aux laboratoires***

D'autres paramètres ont été mesurés dans deux laboratoires différents :

- L'analyse des échantillons prélevés durant les deux premières séances d'échantillonnage, a été effectuée au Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau à l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique sur un Colorimètre Portable, de type HACH (DR 890) (Annexe 3).

Les paramètres mesurés au niveau de ce laboratoire sont les nitrates, les sulfates, les phosphates, le cuivre et le fer. Les réactifs contenus dans les gélules de réactifs (par exemple gélule Ver 5 : pour nitrates et Ver 3 : pour nitrites) réagit avec les éléments présents dans l'échantillon pour former un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration du paramètre à doser.

- L'échantillon de rejet liquide au niveau de P4 et un échantillon de rejet solide, les deux prélevés lors de la dernière séance de prélèvement, ont été analysés au niveau du Laboratoire Régional Centre de l'O.N.E.D.D de Ben Aknoun (Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable) suivant des méthodes d'analyses standardisées.

Les tableaux 14 et 15 listent les paramètres mesurés et les méthodes utilisées pour les deux rejets liquide et solide respectivement.

Les résultats obtenus ont permis de faire une analyse quantitative de la charge polluante des rejets liquide et solide.

**Tableau 14. Méthodes standardisées pour l'analyse des effluents liquides**

Type d'échantillon	paramètre	Norme
rejet liquide	Oxygène dissous	Multi paramètres
	salinité	
	DBO <sub>5</sub>	ISO 5815 -1 :2003
	DCO	ISO 6060: 1989
	MES	ISO 11923 :1997
	Huiles et graisse	méthode de Rodier
	Azote kjeldahl	ISO 5663: 1984
	phosphore total	ISO 6878 : 2004
	sulfites	ISO 13358 : 1997
	chlorures	méthode de Rodier
	Pb	ISO 8288 : 1986
	Zn	
	Fe	
	Ni	
	Cd	
	Cr	
	Mn	
Ca		
Cu		
Hg	ISO 8288: 1986	

**Tableau 15. Méthodes standardisées pour l'analyse de rejet solide (Quantification des métaux lourds)**

Type d'échantillon	Paramètre	Norme
rejet solide	Cd	ISO 8288 : 1986
	Cr	
	Co	
	Cu	
	Mn	
	Ni	
	Pb	
	Zn	
	Al	ISO 12020 : 1997
	Mg	ISO 8288 : 1986
	Fe	
	Ca	
	Hg	ISO 5666 : 1999



# *CHAPITRE VI*



## VI. ANALYSES, RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pour pouvoir estimer réellement la pollution de ces rejets, nous avons effectué le prélèvement sur la période où les ateliers travaillent à plein rendement et pendant les heures de rejet de pointe. Pour concrétiser cela, il fallait :

- Une grande coopération des responsables de chaque atelier de production (information sur les heures de rejet de pointe et la durée de rejet par jour et par mois) ;
- Effectuer certaines analyses sur place avec très peu de matériels et d'assistance technique (ingénieurs et techniciens spécialistes).

Dans notre cas il n'y avait que peu de moyens disponibles.

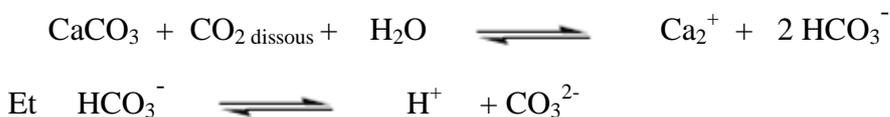
### VI.1. Etude des eaux de procédés au niveau des différents ateliers

#### VI.1.1. Mesure des titres alcalimétriques : TA, TAC et TH

Les eaux utilisées dans les industries doivent répondre à des critères physicochimiques généralement strictement définis qui sont rarement présents dans les eaux naturelles.

Pratiquement tout ou une partie de l'eau dans une usine doit subir un ou plusieurs traitements.

La détermination des valeurs optimales et le type de traitement à appliquer demande une étude complète de l'installation qui doit prendre en compte l'ensemble des caractéristiques de l'eau. L'équilibre calco-carbonique va définir le pouvoir incrustant ou agressif d'une eau industrielle selon l'équation suivante :



Si une eau a tendance à laisser beaucoup de tartre, donc beaucoup de  $\text{CO}_3^{2-}$  on dit que l'eau est incrustante (eau basique).

L'autre possibilité est qu'au contraire, on trouve dans une eau une quantité importante de  $\text{CO}_2$  dissous dans l'eau, cette eau aura tendance à agresser le matériau, on dit alors que cette eau est agressive (eau acide).

Les travaux du professeur W.F. LANGELIER, publiés en 1936, portait sur les conditions d'équilibre entre l'eau et le bicarbonate de calcium. L'équation de LANGELIER permet de prévoir la tendance du carbonate de calcium soit à précipiter, soit à se dissoudre dans des conditions variables. Pour déterminer la qualité de notre eau (agressive/incrustante) on utilise la méthode de LANGELIER qui consiste à déterminer le pH de saturation (pHs) ou d'équilibre en prenant en considération l'alcalinité, le pH, la totalité des sels dissous, la dureté calcique et la température.

De nombreux abaques et diagrammes ont été déterminés pour permettre un calcul rapide.

Selon LARSON et BUSWELL [65] en se basant sur les travaux de LANGELIER, ils ont trouvé une formule simplifiée pour calculer pHs comme suit :

$$\text{pHs} = 9.3 + A + B - (C + D)$$

A : Facteur de totalité des sels dissous.

B : Facteur de température

C : Facteur de dureté du calcium exprimé en °F

D : Facteur d'alcalinité totale TAC exprimé en °F

Les tableaux permettant le calcul du pH de saturation se trouvant en annexe 4.

Une fois le pHs calculé, la comparaison qui s'impose entre ce dernier et le pH réel de l'eau a permis d'établir un index de saturation de LANGELIER  $I_L$ :

$$I_L = \text{pH réel} - \text{pHs}$$

Cette différence permet d'estimer le degré de saturation d'une eau en carbonates de calcium :

$I_L$  positif: tendance à la formation de dépôts de  $\text{CaCO}_3$  (entartrage).

$I_L$  négatif: tendance à la dissolution de  $\text{CaCO}_3$  (agressivité).

Cet index ne donne qu'une indication relative et surtout qualitative, et ne permet pas de savoir si le degré de saturation est suffisant pour donner un dépôt appréciable ou former seulement un film de protection.

De plus, dans le cas d'eaux peu minéralisées, à faible teneur en bicarbonates de calcium, l'utilisation de l'index de LANGELIER est sujette à caution, car il y a des cas où l'index de LANGELIER est positif pour des eaux agressives.

C'est pourquoi, afin d'obtenir des indications plus précises, nous utilisons une notation différente, appelée index de stabilité ou index de RYZNAR  $I_R$ .

$$I_R = 2 \text{ pHs} - \text{pH réel}$$

L'index de RYZNAR permet non seulement de différencier aisément et sans erreur, une eau entartrante d'une eau agressive ou d'une eau stable, mais aussi d'évaluer l'importance de l'entartrage ou de l'agressivité comme le montre le tableau suivant :

**Tableau 16.** Index de RYZNAR

Index de Ryznar (IR)		Caractéristique	
de	à		
<i>inférieur à</i>	<b>4.000</b>	<b>incrustante</b>	fortement
<b>4</b>	<b>6.400</b>		moyennement
<b>6.4</b>	<b>6.600</b>		légèrement
<b>6.6</b>	<b>6.700</b>	stable	
<b>6.7</b>	<b>6.900</b>	<b>corrosive</b>	légèrement
<b>6.9</b>	<b>8.700</b>		moyennement
<i>supérieur à</i>	<b>8.700</b>		fortement

L'utilisation de l'index de saturation et de concert avec l'index de stabilité permet de prévoir avec plus de précision les tendances à l'entartrage ou à la corrosion par l'eau.

Nous avons employé tous les moyens disponibles dans le laboratoire de l'unité pour effectuer le maximum d'analyses qui nous a servi d'étudier ces eaux selon les paramètres de mesure disponibles. Les méthodes utilisées pour déterminer les paramètres physico-chimiques de l'eau sont détaillées dans l'annexe 4.

L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau de forage a donnée les résultats résumés en tableau 17

**Tableau 17.** Résultats d'analyses de l'eau de forage

paramètre	Concentration
Salinité totale	1271 mg/l
pH	7.4
Dureté totale	68.7 °F
Dureté calcique	50 °F
Dureté magnétique	18.5 °F
TAC	29 °F
Chlorures	476 mg/l
Sulfates	99g/l
I <sub>L</sub>	1.3
I <sub>R</sub>	4.8

Les résultats montrent que l'eau de forage est très dure, et que la concentration des sels est élevés ce qui donnent un I<sub>R</sub> = 4.8 et expliquent l'entartrage au niveau des échangeurs. Pour palier à ce problème, une filtration sur tamis, avec une injection de produits antitartre à base de polymère, s'est imposée au niveau de cette unité.

TH : Titre hydrométrique ou dureté totale

TAC : Titre alcalimétrique complet

°F : degré français, avec 1°F=10 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

## 1. Atelier Gaz de l'air

Cet atelier dispose d'une tour de refroidissement (circuit de type fermé) et d'un bassin de récupération des eaux de refroidissement.

Le tableau ci-après regroupe les résultats obtenus lors de l'analyse d'eau de l'atelier de liquéfaction et séparation des gaz de l'air.

**Tableau 18.** *Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'alimentation de l'atelier de gaz de l'air*

Paramètre	Eau de bassin	Eau d'appoint	Eau de tour
pH	7.85	7.33	8.77
T °C	21.5	20.6	31.2
TH °F	39.2	2	3.8
TH Ca <sup>++</sup> °F	28.4	0.2	2.4
TH Mg <sup>++</sup>	10.8	1.8	1.8
TA °F	0	0	1.3
TAC °F	24	23.5	25
Cl <sup>-</sup> mg/l	428.7	426	498.91
Turbidité NTU	0.6	0.64	0.64

✓ **L'eau de bassin**

Le bassin de l'atelier est un bassin de récupération des eaux des purges de la tour de refroidissement.

Nous avons remarqué que ce bassin est plein d'algues et des matières en suspension qui peuvent, par conséquent, influencer sur l'efficacité de l'adoucisseur en provoquant le colmatage et la pollution des résines. Nous proposons d'ajouter un filtre pour retenir les matières organiques (MO) et les matières en suspension (MES).

✓ **L'eau d'appoint (eau adoucie)**

Après le passage de l'eau dans l'adoucisseur, le TH diminue de 68 °F (eau brute) à 2°F cette diminution implique le bon fonctionnement de résine d'échangeur cationique.

Les autres paramètres (TAC, pH, TA, Cl<sup>-</sup>) restent constantes.

✓ **L'eau de la tour**

Les résultats de l'analyse de l'eau de la tour de refroidissement montrent que :

- la température augmente, ceci s'explique par les échanges thermiques avec les circuits de refroidissement traversés par l'eau étudiée ;
- Le pH augmente à cause du gaz carbonique libéré par l'augmentation de la température.
- La valeur de TA est plus grande car le pH est supérieur à 8.3.
- La dureté dans l'eau de la tour a augmenté, cette augmentation résulte par l'évaporation de l'eau pure qui est due à l'élévation de la température et par la suite l'augmentation de la concentration des sels.

L'unité utilise au niveau du système de refroidissement (circuit et bassin) des produits chimiques antitartres qui servent à retarder ou empêcher des précipitations:

Un complexe formulé pour permettre de traiter les phénomènes de l'entartrage et d'encrassement en circuit de refroidissement au niveau de l'eau d'appoint. Il a une formulation

liquide à base d'organophosphorés de polyacrylates et de surfactants non moussants. Il permet de disperser les anciens dépôts minéraux existants dans l'installation, a une action dispersante sur les matières solide formées par précipitation, par coagulation ou en suspension sous forme colloïdale.

Il est indispensable d'effectuer des contrôles et des essais pour s'assurer de la bonne application et de l'efficacité du conditionnement et aussi il faut élaborer un programme de traitement détaillé contre la corrosion et la formation des dépôts de toute nature.

Il est possible de déterminer indirectement si une eau est incrustante ou corrosive grâce à différents indices, indice de LANGELIER et indice de RYZNAR.

**Tableau 19.** Calcul de l'index de LANGELIER et de RYZNAR pour L'Atelier gaz de l'air

paramètre	Eau de Bassin	Eau d'appoint	Eau de tour
A	0.2	0.2	0.2
B	1.9	2	1.8
C	2.4	0.9	1.2
D	2.6	2.6	2.6
pH	7.85	7.33	8.77
pHs	6.4	8	7.5
I <sub>L</sub>	1.45	- 0.67	1.27
I <sub>R</sub>	4.95	8.67	6.23

D'après les résultats, on remarque que l'eau du bassin et l'eau de la tour ont un indice de Langelier positif, ce qui signifie que le pH de l'eau mesuré est supérieur au pH<sub>S</sub> de saturation, donc l'eau a tendance à laisser beaucoup de tartre, CaCO<sub>3</sub>, elle est incrustante (eau basique).

Par contre l'eau d'appoint a un indice de LANGELIER I<sub>L</sub> négatif, avec une quantité importante de CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau, cette eau peut agresser les matériaux.

Et d'après RYZNAR nous remarquons que :

- I<sub>R</sub> < 6 pour l'eau de bassin, l'entartrage augmente et la tendance à la corrosion diminue.
- I<sub>R</sub> dépasse la valeur 8 pour l'eau d'appoint, alors les risque de corrosion augmente (eau moyennement agressive).
- I<sub>R</sub> est dans l'intervalle 5.8 - 6.9, pour l'eau circulant dans la tour est en équilibre, avec une tendance a précipitation du carbonate de calcium vu à la valeur de l'indice I<sub>L</sub> (positive).

D'après ces résultats il est indispensable de procéder au nettoyage des tours de refroidissement BALTIMORE afin de mieux refroidir le fluide.

Nous avons remarqué un entartrage très prononcé il ya lieu de commencer par une action manuelle mécanique pour enlever le tartre et procéder par la suite par un nettoyage chimique.

## 2. Atelier CO<sub>2</sub>

L'eau alimentant la tour de refroidissement est tout d'abord filtrée puis osmosée.

Les analyses effectuées aux différentes étapes ont donné les résultats résumés dans le tableau 20

**Tableau 20.** *Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'alimentation de l'atelier CO<sub>2</sub>*

Paramètre	Eau filtrée	Eau osmosée	Tour de refroidissement
pH	7.8	6.7	8.83
T °C	21.1	21.6	30.3
TH °F	48	0.4	4
TH Ca <sup>++</sup> °F	31.5	0	3
TH Mg <sup>++</sup>	16.5	0.4	1
TA °F	0	0	2.5
TAC °F	29.5	2	11
Cl <sup>-</sup> mg/l	419	101.5	156.5
Turbidité NTU	0.60	0.63	1.43

### ✓ L'eau filtrée (filtre à sable)

Après le passage de l'eau brute dans le filtre, les matières en suspension sont diminuées.

Elle passe ensuite dans l'osmoseur pour réduire sa dureté.

### ✓ L'eau osmosée

La dureté (TH) diminue de 48°F à 0.4°F, car les membranes de l'osmoseur ont retenu les ions Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup>, ainsi que les ions Cl<sup>-</sup> dont la teneur a fortement diminué

### ✓ L'eau de la tour de refroidissement

- Les eaux de la tour de refroidissement ont une température élevée ce qui provoque une évaporation de CO<sub>2</sub> entraînant l'augmentation du pH à une valeur supérieure à 8.3 et par conséquent à l'augmentation de TA.

- La valeur élevée du pH peut, aussi être expliquée par l'addition de NaOH dans l'eau osmosée (pour corriger le pH après le traitement par l'acide sulfurique dans l'osmoseur).

- L'augmentation de la dureté, de la salinité et des chlorures est due à l'évaporation de l'eau.

- L'unité possède une installation de prétraitement et de conditionnement des eaux des procédés, et utilise au niveau du système de refroidissement des produits chimiques (différents antitartres) qui servent à retarder le phénomène d'entartrage.

Comme nous l'avons vu précédemment l'agressivité et le pouvoir incrustant d'une eau sont évalués par les indices de LANGELIER et RYZNAR. Les résultats pour cet atelier sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 21.** Calcul de l'indice de LANGELIER et de RIZNAR pour l'Atelier CO<sub>2</sub>

paramètre	Eau filtrée	Eau osmosée	Eau de refroidissement
A	0.2	0.1	0.1
B	2	1.9	1.8
C	2.5	0.6	1.2
D	2.7	1.3	2
pH	7.8	6.7	8.83
pHs	6.3	9.4	8
I <sub>L</sub>	1.5	- 2.7	0.83
I <sub>R</sub>	4.8	12.1	7.17

D'après les résultats nous remarquons que :

L'eau filtrée, ne subissant aucun prétraitement, a un indice de RYNZAR entre 4 et 5 et peut donc provoquer un important entartrage.

L'indice de saturation négatif indique que l'eau a tendance à dissoudre le tartre dans l'osmoseur et devient très agressive, c'est pourquoi elle est mélangée avec l'eau brute avant d'être utilisée dans le procédé.

Il est indispensable d'élaborer un programme de lutte contre l'entartrage, l'encrassement et la corrosion par un mélange eau osmosée-eau filtrée adéquat.

### 3. Atelier de N<sub>2</sub>O

Cet atelier a un bassin de récupération de l'eau, une partie est recyclée et l'autre rejetée dans les égouts.

**Tableau 22.** Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de bassin d'atelier N<sub>2</sub>O

Paramètre	Valeur Moyenne
pH	7.64
T °C	21.6
TH °F	51
TH Ca <sup>++</sup> °F	31
TH Mg <sup>++</sup>	16
TA °F	0
TAC °F	29.5
Cl <sup>-</sup> mg/l	>400
Turbidité NTU	-

L'eau de bassin a une dureté élevée, elle cause des problèmes d'entartrage ou de la corrosion dans les appareils, d'où il faut la traiter.

Par ailleurs, nous avons remarqué que lorsque l'adoucisseur tombe en panne, l'eau entre dans les circuits sans traitement (TH = 51 °F), comme c'est le cas de l'atelier N<sub>2</sub>O.

**Tableau 23** .Calcul de l'index de LANGELIER et de RIZNAR pour L'Atelier N<sub>2</sub>O

paramètre	Eau du bassin
A	0.2
B	2
C	2.5
D	2.7
pH	7.64
pHs	6.3
I <sub>L</sub>	1.34
I <sub>R</sub>	4.96

L'eau de l'atelier N<sub>2</sub>O est entartrante : on propose d'alimenter cet atelier avec de l'eau adoucie pour éviter la formation des dépôts durs, adhérent et isolants.

L'intérêt pratique de ces analyses est évident, car elles permettent de prévoir et donc d'éviter les ennuis dus à l'entartrage ou à la corrosion en préconisant la solution la plus efficace et la plus économique : emplois de mélanges d'agents stabilisant et de dispersants organiques contre l'entartrage et d'inhibiteurs contre la corrosion.

Il est préconisé d'éviter l'utilisation des antitartres à base de phosphore pour éviter le problème des algues. Tout programme d'inhibition de la corrosion ou de l'entartrage doit prendre appui sur des mesures de lutte contre l'encrassement biologique, et, dans certains cas, pense à l'injection d'agents complémentaires adaptés à des contaminants précis.

## VI.2. Etude des eaux de rejets

### VI.2.1. Mesure des débits de rejets

La connaissance des différents débits est importante pour pouvoir quantifier la pollution industrielle.

Les résultats mesurés et calculés au niveau de chaque atelier ont donné les valeurs suivantes :

**Tableau 24.** Valeur de débit de rejet des différents ateliers

Atelier	Débit moyen de rejet (m <sup>3</sup> /h)
Atelier CO <sub>2</sub>	5
Atelier gaz de l'air	11
Atelier N <sub>2</sub> O	17
Atelier acétylène	0.652
Rejet osmoseur : 2 lignes	9

Ces résultats donnent un débit total de rejet égal à 42.652 m<sup>3</sup>/h

Cette quantité totale, rejetée dans la nature, est considérable, et il est très important de faire noter qu'il n'existe ni station de prétraitement avant l'évacuation de ces rejets ni même un bassin de collecte pour contrôler ces eaux.

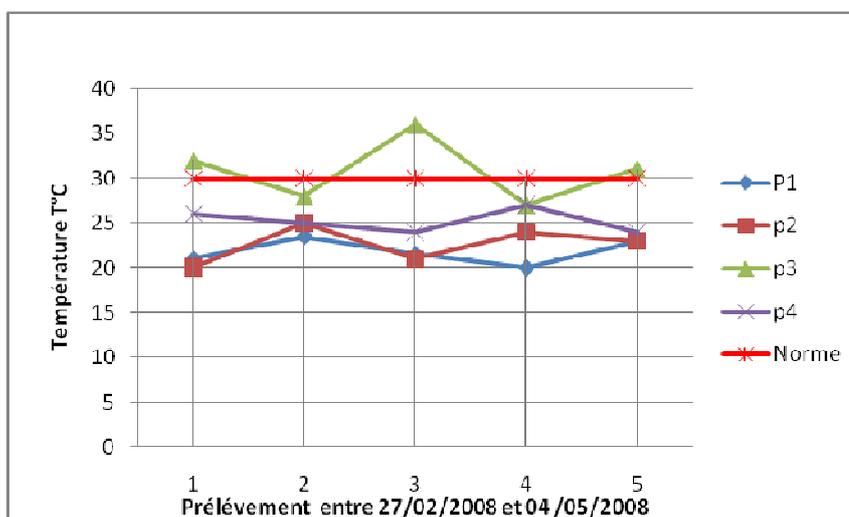
### VI.2.2. Résultats d'analyse des rejets liquides

La quantification de la pollution dans les différents rejets a été réalisée par le suivi et l'analyse de plusieurs paramètres physiques et chimiques de l'eau au niveau de 4 points de la région de notre étude.

#### 1. La température (°C) :

L'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et qui joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique et surtout bactérienne, est la température. Au niveau des quatre points de prélèvement P1, P2, P3 et P4, L'eau est déversée directement dans les réseaux d'évacuation puis dans le milieu naturel.

La figure 23 montre les résultats obtenus pour cette grandeur étudiée.

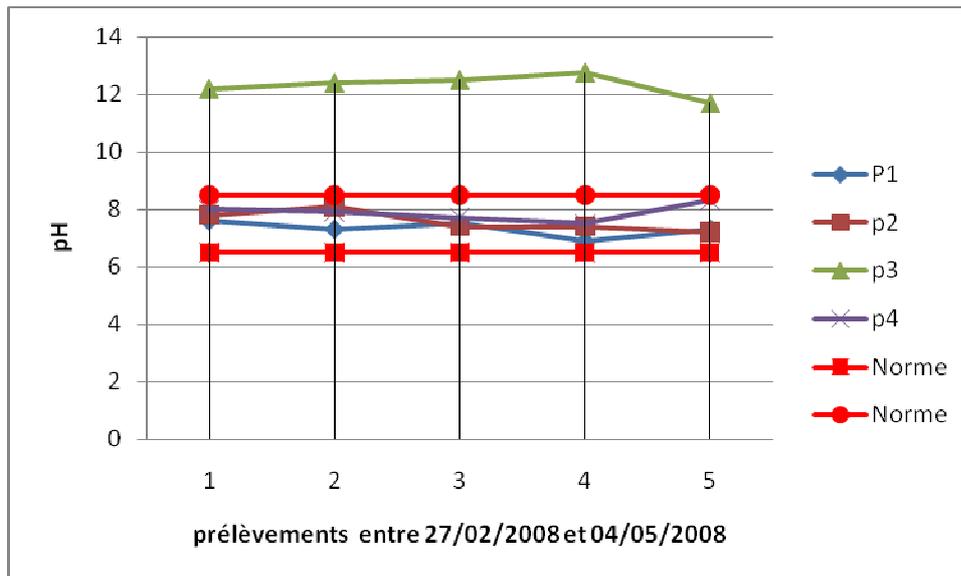


**Figure 23.** Evolution de la température au niveau des quatre points de prélèvement

La température est comprise entre 20 et 23,5°C pour le point P1, entre 20 et 25°C pour P2 et 24 à 27° C pour P4. Ces valeurs de température répondent à la norme algérienne de rejet industriel qui est de 30°C [58]. Toutefois, la variation de la température au niveau P3 présente des valeurs de température comprise entre 27°C et 34 °C. Cette élévation de température est due aux eaux chaudes lors de la réaction exothermique de la production d'acétylène à partir du carbure de calcium

## 2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les résultats obtenus sont résumés en figure 24.



**Figure 24.** Evolution du pH dans le temps sur les quatre points de prélèvement

Les valeurs mesurées du pH aux différents points et pendant les différents prélèvements montrent que les valeurs se trouvent dans l'intervalle de la norme de rejet pour les points P1, P2 et P4. Mais le pH mesuré au point P3, compris entre 11.7 et 12.75, est très loin de l'intervalle des normes de rejets.

L'effluent généré au P3 se présente sous forme d'une eau de chaux, fortement alcaline, et provoque, dans le réseau d'évacuation, des précipitations de carbonates et des boues. Il nécessite un traitement primaire pour régler le pH.

Une telle valeur de pH est nuisible à l'environnement, et aura, aussi, une conséquence néfaste pour la faune et la flore aquatique dont le pH de croissance se situe entre 6 et 7,2 [35].

## 3. Paramètres chimiques étudiés

L'ensemble des analyses effectuées sert à identifier et quantifier la pollution générée aux différents points de rejet.

Les échantillons des deux premières séances de prélèvement ont subi une série d'analyses et pour certains paramètres, les valeurs dépassaient les limites de mesure de l'appareil utilisé. Nous avons, alors, effectué plusieurs dilutions, et les résultats étaient toujours supérieurs aux valeurs limites de l'appareil. Nous n'avons pas pu diluer plus, car la quantité de produits nécessaires aux analyses, mise à notre disposition, s'est épuisée.

Les résultats sont résumés dans les deux tableaux suivants :

**Tableau 25.** Résultats d'analyse pour la première séance de prélèvement

	pH	T °C	Nitrates mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Sulfates mg/l	phosphate mg/l PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cu µg/l	Fe mg/l
P1	7,75	20	8	>80	0,33	<0,1	0,09
p2	6,3	20,2	>35	>80	0,55	8,2	0,1
p3	12,5	34	0	>80	2,75	0,168	>3,3
p4	8	25	>35	>80	0,28	<0,1	0,07

**Tableau 26.** Résultats d'analyse pour la deuxième séance de prélèvement

	pH	T °C	Nitrates mg/l	Sulfates mg/l	phosphate mg/l	Cu µg/l	Fe mg/l
P1	7,6	21	6	>80	-	<0,1	0,09
p2	6,3	21	17,2	>80	-	46,6	0,1
p3	12,75	32	2,5	>80	-	0,15	>3,3
p4	6,88	23	32	>80	-	<0,1	0,06

Nous donnons, aussi, dans les tableaux 27 et 28, les résultats de l'analyse effectuée au laboratoire de l'ONEDD et ceci pour le collecteur principal.

Ces résultats vont permettre aussi une quantification de la pollution engendrée par cette unité parce que le collecteur principal regroupe tous les rejets liquides des différents ateliers.

Nous discutons les premiers résultats obtenus et présentés dans le tableau 27 et nous les confrontons aux valeurs limites données par la législation algérienne.

**Tableau 27.** Résultats d'analyse au niveau du collecteur principal

paramètres	Unités	Résultats	Valeurs limites
Oxygène dissous	mg/l	7,5	-
DBO5	mg/l	200	40
DCO		230	130
MES		8	40
Huiles et graisse		11	30
Azote kjeldahl		19	35
phosphore total		0,37	10
chlorures		980	-

- **Les nitrates**

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates en passant par un processus d'oxydation biologique. Les concentrations moyennes mesurées aux points P2 et P4 sont nettement supérieures à la norme qui est de 30

mg/l et sont justifiées par l'utilisation du nitrate d'ammonium comme matière première dans la production du protoxyde d'azote.

D'autre part, l'analyse par colorimétrie des ions de nitrates présents en forte concentrations dans les échantillons peuvent être perturbé par d'autres matières contenus dans cette eau résiduaire.

- **Les sulfates**

La plupart des sulfates sont solubles dans l'eau et peuvent être réduits en sulfures, soit volatilisés dans l'air en sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), soit précipités en sel insoluble ou encore assimilés par des organismes vivants. Les valeurs obtenues sont toutes supérieures à 80 mg/l.

L'origine de la concentration des sulfates vient de leur teneur élevé de 99 mg/l dans l'eau de forage ainsi qu'à l'utilisation de bisulfite de soude pour la dé-chloration de l'eau de forage.

Les eaux en provenance de tour de lavage des gaz pourraient être aussi la cause de ces fortes concentrations de sulfates.

- **Les phosphates**

Les différentes concentrations enregistrées en  $PO_4^-$  sont inférieures à 10mg/l, valeur considérée comme valeur limite acceptable d'un rejet direct dans le milieu récepteur.

- **L'oxygène dissous**

Les résultats obtenus montrent une teneur en oxygène de 7.5 mg/l.

La présence de matière organique réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique.

- **Demande Biochimique en Oxygène (DBO) et Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

Les résultats d'analyse montrent une forte charge exprimée en  $DBO_5$  et DCO dont les matières oxydables MO (définies selon la formule :  $MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$ ) sont de 210 mg/l. Il est à noter que ces valeurs sont élevées par rapport aux eaux usées domestiques et peuvent être classées comme eaux usées de type urbain fortement polluées.

Les valeurs trouvées en  $DBO_5$  et DCO permettent d'avancer que la charge polluante est fortement organique.

Pour juger les chances de réussite de l'épuration d'eau résiduaire par un procédé biologique, on se sert de la relation  $DCO / DBO_5$ .

Le rapport  $DCO/DBO_5$  est de 1,15, inférieur à 3, et permet de dire que l'effluent est facilement biodégradable. Un traitement biologique est capable d'éliminer l'essentiel de la pollution.

Ce sont donc des eaux résiduaires susceptibles d'être facilement traité biologiquement.

Selon Meinck et al [35], la forte teneur en  $DBO_5$  est due au forte teneur en composées phénoliques, et que la plus part des eaux résiduaires d'usine à gaz sont des eaux phénoliques. Dans les eaux résiduaires à gaz, la teneur des composées phénoliques atteint des chiffres de l'ordre 2 à 4 mg/l.

- **Matière en suspension MES :**

Les résultats du tableau montrent que pour l'eau prélevée du collecteur principal, les MES sont de 8 mg/l. Cette quantité est très faible et est inférieure à la norme.

- **Les huiles et les graisses**

L'utilisation industrielle des huiles et graisses d'origines minérales conduit à des pollutions instantanées lors de la purge des compresseurs et d'autres appareils.

Dans les eaux résiduaires, les teneurs supérieures à 30 mg/l peuvent gêner considérablement l'exploitation des stations de traitement; l'analyse de ce paramètre au niveau du collecteur principal donne des valeurs inférieures à la norme.

- **Azote Kjeldahl**

L'azote peut se présenter sous différentes formes : azote organique, azote ammoniacal, nitrites et nitrates.

Cette analyse permet de mesurer simultanément l'azote organique et l'azote ammoniacal représenté par l'azote Kjeldahl (total) noté NTK d'où :  $NTK = N \text{ organique} + N \text{ ammoniacal}$ .

L'azote Kjeldahl ne présente pas la totalité de l'azote mais seulement l'ensemble des formes réduites organiques et ammoniacales. Leur valeur, 19 mg/l, est inférieure à la norme de rejet.

- **Phosphore total**

Les eaux résiduaires peuvent contenir d'orthophosphates solubles, de polyphosphates, ou encore de phosphore non dissous lié à des molécules organiques ou contenu dans les matières en suspension.

L'analyse de rejet nous donne une valeur très faible de 0.37 mg/l et même les résultats des premières analyses effectuées par colorimétrie montrent que la teneur des phosphates est très faible par rapport à la norme de rejet qui est de 10 mg/l.

Les teneurs en azote et en phosphore sont également des paramètres très importants. Les rejets excessifs de phosphore et d'azote contribuent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau. Ce phénomène se caractérise par la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous, ce qui détruit la faune et la flore des eaux superficielles.

- **Chlorure**

Les résultats nous donnent une concentration de chlorure de 980 mg/l dans le collecteur général. Les quantités élevées de chlorures rejetées sont justifiées par:

- l'utilisation de Chlorure de potassium en pastilles dans l'adoucisseur qui ne fonctionne pas bien et entraîne, donc, le colmatage et la pollution des résines, et aussi à l'utilisation de l'acide chlorhydrique pour le détartrage des condenseurs des réfrigérants.

- l'évaporation de l'eau pure pendant leur utilisation dans les tours de refroidissement semi ouvertes. Cette eau brute comprend aussi de l'eau de forage avec une concentration en chaleur de 476 mg/l (voir tableau 17).

-L'utilisation du chlore pour désinfecter et combattre le dépôt biologique dans les tubes des condenseurs des circuits de refroidissement et dans les circuits de prise d'eau, et pour enrayer la croissance des algues dans les tours de refroidissement.

- **Les métaux lourds**

Concernant les métaux lourds les éléments que nous avons analysés sont : Fe, le Zn, Pb, Ni, Cd, Cr, Mn, Ca, Cu et Hg.

Les résultats de cette partie de notre étude sont donnés dans le tableau 28 ou nous remarquons, leurs présences dans le rejet par une teneur inférieur à la norme.

**Tableau 28.** Résultats d'analyses des métaux lourds dans les rejets liquides

paramètres	Unités	Résultats	Valeurs limites
Pb	mg/l	<0,2	0,75
Zn		<0,03	5
Fe		<0,2	5
Ni		<0,2	0,75
Cd		<0,03	0,25
Cr		0,36	0,75
Mn		0,11	1,5
Ca		170	-
Cu		<0,1	1
Hg		µg/l	6,1

### ***VI.3. Résultats d'analyse du rejet solide : la chaux hydratée***

Après dégazage du carbure à l'eau pour produire l'acétylène, on recueille un lait de chaux avec un aspect gris blanc à gris cendré selon les impuretés découlant du mode de fabrication du carbure, composées de soufre, d'azote, de phosphore, ainsi que d'arsenic et qui, en partie, se manifestent également par leur odeur.

Du point de vue composition, la chaux de carbure diffère de la chaux commerciale par la taille et la forme de ses grains, par sa couleur, et par la nature et la quantité des impuretés dans la matière première.

Selon Al-Sayed et *al.*, 1991 [66], une analyse chimique de la chaux hydratée générée lors de la fabrication d'acétylène à Bahreïn, dans les mêmes conditions que celle de Réghaïa, donne les résultats suivants :

**Tableau 29.** Résultats de l'analyse chimique de la chaux hydratée de l'unité de Bahreïn

Paramètre	%
SiO <sub>2</sub>	< 0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 1.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
CaO	65.05
MgO	0.97
Cl	< 0.02
Carbone C	1.30
Sulfure	0.64

Notre analyse des métaux lourds a donné les résultats que nous trouvons dans le tableau 30.

**Tableau 30.** Résultats de l'analyse de la chaux hydratée de l'unité de Réghaïa

Paramètre	Unité	Résultat
Cd	mg/kg	< 15
Cr		178
Co		< 100
Cu		< 50
Mn		60
Ni		< 100
Pb		< 100
Zn		23
Al		2600
Mg		530
Fe	g/kg	2,3
Ca		23
Hg	µg/kg	65

Ces derniers résultats montrent que le rejet solide est caractérisé par une forte charge polluante avec des valeurs en Aluminium et magnésium très élevées.

L'état des lieux de cette unité et le bilan détaillé des différents produits chimiques utilisés nous conduisent à dire que les fortes teneurs en aluminium et magnésium viennent principalement des impuretés contenus dans le carbure de calcium.

Selon Murat, 1981 [32], la chaux peut présenter une certaine toxicité compte tenu de la présence d'impuretés dans la matière première :

-Dans la chaux de départ CaO : présence de phosphate qui conduisent à la formation de phosphure de calcium  $\text{Ca}_3\text{P}$  générateur du vinyle phosphine.

-Dans le coke (C) : présence d'arsenic, de soufre des scories, qui conduisent à la formation d'arséniures ( $\text{Ca}_3\text{As}_2$ ) et de (CaS), les quels s'hydrolysent en libérant des gaz toxiques ( $\text{H}_3\text{As}$  et  $\text{H}_2\text{S}$ ).

## VI.4. Recommandations et solutions proposées

### VI.4.1. Problème des purges

Le tableau suivant présente toutes les purges de l'unité.

**Tableau 31.** Différents purges de l'unité

	Atelier $\text{CO}_2$	Atelier $\text{N}_2\text{O}$
Eléments rejetés	-Carbonate de sodium + sulfite de sodium -Permanganates de potassium	-Permanganate de potassium+ soude caustique -Acide sulfurique

#### Atelier $\text{CO}_2$

- Purge tous les 15 jours pour le permanganate de potassium
- Environ toutes les semaines pour les carbonates + les sulfites
- purge MEA tous les six mois

#### Atelier $\text{N}_2\text{O}$

Purge des cinq tours de purification

- Purge de la tour 1et 5 : 150 l d'eau, toutes les 8 heures
- Purge des tours 2 et 3 :  $\text{KMnO}_4$  + NaOH, toutes les 45 heures (solution 10% NaOH +1%  $\text{KMnO}_4$ ).

En raison de la nocivité engendrée par le sulfite de sodium, notamment en raison de son affinité pour l'oxygène dissous, il serait indiqué de l'oxyder par l'élément contenu dans l'autre purge qui est le permanganate de potassium.

Pour une prévention de la pollution par ces purges, nous proposons d'implanter un bassin d'attente.

-Permanganate de potassium	$C = 800 \text{ mg/l}$	} Atelier $\text{CO}_2$
	$V = 900 \text{ l/quinzaine}$	
-Sulfite de sodium	$C = 26.8 \text{ mg/l}$	
	$V = 900 \text{ l/semaine} = 1800 \text{ l/quinzaine}$	

-Permanganate de potassium	C = 10 g/l	}	Atelier N <sub>2</sub> O
-Soude caustique	C = 100 g/l		
	V = 2250 l /quinzaine		

Les masses respectives des matières de purge pour l'atelier CO<sub>2</sub> sont (par quinzaine) :

$$\begin{aligned} \text{KMnO}_4 : m &= 800 \text{ mg/l} \times 900 \text{ l} \\ &= 0.72 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{SO}_3 : m &= 26.78 \text{ mg/l} \times 1800 \text{ l} \\ &= 0.048 \text{ kg} \end{aligned}$$

Les masses respectives des matières de purge pour l'atelier N<sub>2</sub>O (par quinzaine) :

$$\text{KMnO}_4 : m = 1.5 \text{ kg} ; \text{NaOH} : m = 15 \text{ kg}$$

D'autre part la réaction d'oxydation du sulfite de sodium par le permanganate, en milieu basique met en jeu 3 moles de sulfites et 2 moles de KMnO<sub>4</sub> d'après la réaction :



Soit 378 g de sulfite et 316 g de KMnO<sub>4</sub>.

La masse de KMnO<sub>4</sub> est largement suffisante pour oxyder le sulfite de sodium.

La masse de KMnO<sub>4</sub> qui n'aura pas servi n'apportera pas de nuisances à l'environnement.

#### ○ Dimensionnement d'un bassin d'attente

Le bassin d'attente doit être susceptible de contenir le volume des purges.

Soit par quinzaine, 900 litres de KMnO<sub>4</sub>, 1800 litres de sulfite et 2250 litres de solution KMnO<sub>4</sub> (1%) + NaOH (10%). Le volume total est de 4.95 m<sup>3</sup>.

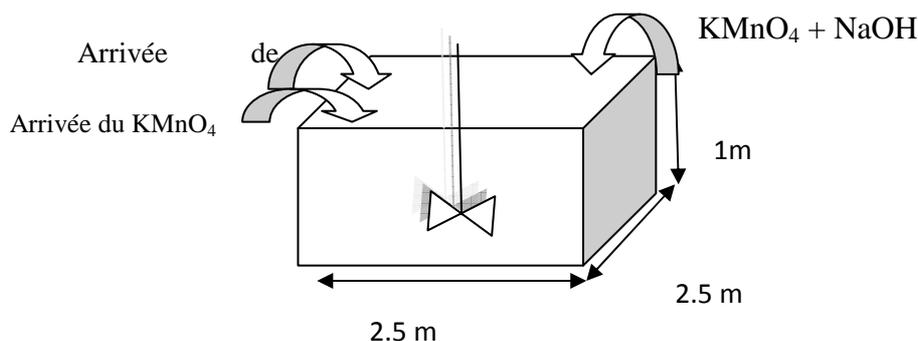
Un surdimensionnement de 6.25 m<sup>3</sup> du bassin est nécessaire car :

-Une agitation se fera au moment de la présence simultanée des trois composés chimiques (une fois tous les 15 jours).

-Une dilution par la purge de la tour 5, qui utilise uniquement de l'eau avec une quantité journalière de 450 l/jour

- Les boues d'oxydation et des matières en suspension à évacuer périodiquement.

Un surdimensionnement de 6.25 m<sup>3</sup> du bassin ne sera pas coûteux.



**Figure 25.** Bassin d'attente des rejets

### ***VI.4.2 Rejet solide***

#### **Etude de la possibilité de réutiliser ce rejet solide dans les traitements des rejets industriels**

La chaux offre une solution économique et efficace dans le domaine de la protection de l'environnement, notamment pour le traitement des eaux. La généralisation de l'utilisation de ce sous-produit en traitement des eaux lui assurerait un très large débouché et permettrait simultanément une double action favorable à l'environnement : l'élimination d'un déchet et le traitement des eaux.

Les résultats obtenus dans l'étude d'Ayeche et al [67], effectué par la chaux résiduaire de l'atelier de production d'acétylène d'Annaba (Filiale de Linde Gaz Algérie), montre que la dose optimale de chaux nécessaire pour l'épuration des eaux urbain est de 650 mg/l.

Le rendement optimal obtenu pour cette dose est de 99.51 % pour l'enlèvement de l'élimination de la turbidité.

Toutefois, selon ces travaux la chaux résiduaire présente d'excellentes performances pour l'épuration des eaux usées.

D'autre part d'après Murat, 1981 [32], la chaux intervient à deux niveaux dans les procédés de traitement des effluents :

- Comme agent de neutralisation des effluents liquides ou gazeux ;
- Comme complément au sulfate ferreux dans les opérations d'épurations d'élimination des cyanures, de l'acide fluorhydrique, du chrome VI, des métaux lourds et des matières organiques.

La validité d'un traitement économique de détoxification par le couple  $\text{FeSO}_4 / (\text{CaOH})$  peut être liée à la présence voisine d'une source de sulfate ferreux résiduaire (sous produit provenant essentiellement de la fabrication du bioxyde de titane et de décapage des aciers) et de la chaux résiduaires.

- ***Etude de la possibilité de réutiliser ce rejet solide dans l'épandage des sols acides***

Avant de commencer cette étude de valorisation, nous introduisons quelques notions de base.

- **Acidité du sol (pH)**

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la quantité (ou concentration) d'ions d'hydrogène présents dans le sol. Cet élément-clé de la composition chimique du sol détermine la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et les microorganismes du sol. Un sol

neutre a un pH de 7.0 il est ni trop acide ni trop alcalin. A mesure que la concentration des ions d'hydrogène augmente, le sol devient plus acide (exprimé d'une façon scientifique, cela signifie que le chiffre du pH diminue). A un pH de 5.0, ce qui est plutôt acide, la disponibilité des éléments nutritifs majeurs diminuent de plus de la moitié.

Les sols sont naturellement acides pour plusieurs raisons:

- Le lessivage du calcium qui sera fonction principalement du niveau des précipitations.
- Les engrais; ceux-ci entraînent une augmentation du rendement et de plus libèrent des ions dans le sol.
- Les pluies acides qui accentuent légèrement le phénomène d'acidification naturel.

#### ○ **Amender un sol acide**

L'application de la chaux apporte du calcium au sol, et aussi une portion importante de magnésium. La chaux a un pH supérieur à 12 ce qui élève le pH des sols. La chaux (en grain ou en poudre) peut être mélangée au sol ou épandue, en se référant aux dosages indiqués par l'analyse du sol. La chaux en poudre se dégrade relativement lentement.

#### ○ **Combien de chaux faut-il?**

Pour augmenter le pH d'un point, de 5.5 à 6.5, dans un sol loameux, il faut 4 à 5 tonnes de chaux par hectare. Dans le cas de petites surfaces, ceci équivaut à:

- ½ kg par mètre carré
- 50 kg par 100 mètres carrés

On estime que la chaux s'incorpore au rythme de 13 mm par an dans un sol loameux. (La chaux s'incorpore plus rapidement dans un sol sableux et plus lentement dans un sol argileux ou un sol limoneux).

Autrement dit, il peut prendre entre 10 et 15 ans pour changer le taux d'acidité jusqu'à une profondeur de 15 cm, si on utilise l'épandage de surface.

Le tableau suivant nous montre les effets favorables d'un pH plus élevé sur la disponibilité des nutriments (NPK) et sur le rendement des engrais.

**Tableau 32.** *Effet du pH sur les nutriments et le rendement des engrais*

pH du sol	Efficacité de l'azote	Efficacité du Phosphore	Efficacité du potassium	Engrais gaspillé
pH=7.0	100 %	100 %	100 %	0 %
pH=6.0	89 %	52 %	100 %	20 %
pH=5.5	77 %	48 %	77 %	33 %
pH=5.0	53 %	34 %	62 %	54 %
pH=4.5	30 %	23 %	33 %	71%

Le rendement optimal de l'engrais se réalise à un pH de 7.0, cependant, maintenir ce niveau, requiert de larges quantités de chaux.

Étant donné que le pH de 6.5 est idéal et qu'à ce niveau les pertes de nutriments sont minimales, un pH de 6.5 est généralement recommandé.

Une recherche bibliographique sur la réutilisation de la chaux résiduelles a permis de trouver un rapport autorisant une société Linde Gaz (Allasac de France) [68] à épandre sur des terrains agricoles de Corrèze (France) du lait de chaux (partiellement déshydraté) produit par l'unité de fabrication d'acétylène.

### 1. Notre proposition

Comme le lait de chaux est fortement basique, il revêt donc un intérêt majeur dans le domaine de l'agriculture, où on l'emploie pour combattre l'acidité des sols.

Ce produit permet donc d'élever le pH des sols à un niveau qui assure la précipitation des métaux lourds sous forme d'hydroxydes.

Nous avons comparé le lait de chaux rejeté par l'unité de Réghaïa à celui de l'unité Linde Gaz d' Allasac de France qui a effectué des analyses de son stockage de chaux.

Cette étude comparative est basée sur un rapport autorisant cette société française à épandre, sur des terres agricoles de Corrèze (France), le rejet de lait de chaux partiellement déshydraté. Le rapport, cité ci-dessus, tient compte de l'article 39 de l'arrêté ministériel du 2 février 1998 (léislation française) et conformément à ce dernier, le lait de chaux doit satisfaire différents critères pour être épandable. Le tableau 33 synthétise les résultats des différentes analyses et les compare aux valeurs limites fixées pour l'épandage des boues provenant des stations d'épuration, industries agroalimentaires, sidérurgiques, de l'élevage, ...

**Tableau 33.** Comparaison des analyses de la chaux

	Lait de chaux Linde Allasac, France	Lait de chaux Linde Réghaïa, Algérie	Valeurs limites mg/kg (léislation française)	Norme NF U44-095 mg/ kg
Cd	0.35	< 15	10	3
Cr	8.95	178	1000	120
Cu	20.62	< 50	1000	300
Hg	<0,23	0.065	10	2
Ni	94.94	<100	200	60
Pb	5.54	<100	800	180
Zn	8.17	23	3000	600
Mg	972.76	530	-	-
Co	3.31	<100	-	-
Fe	2334.63	2300	-	-

La norme NF U 44-095 est relative aux composts contenant des matières d'intérêt agronomique.

Pour que le lait de chaux soit épandable, les teneurs en certains éléments doivent rester inférieures aux valeurs limites en éléments traces métalliques et composés traces organiques indiqués dans le tableau ci-dessus.

Pour les deux rejets, et comme le mettent en évidence les résultats d'analyses présentés dans le tableau ci-dessus les teneurs des différents éléments recherchés sont toutes très inférieures aux valeurs; limites fixées par l'arrêté ministériel du 2 février 1998 précité. Par comparaison avec la norme NF U 44-095, il ressort que seul l'élément nickel dépasserait les valeurs fixées par cette norme.

La société Linde Gas d' Allasac propose d'épandre au maximum quatre tonnes de lait de chaux par hectare.

Il convient de noter que les essais d'écotoxicité ont été réalisés, par LINDE de France à partir de prélèvements de sols après épandage.

○ **Essai d'écotoxicité :**

A la dose d'épandage considérée (au maximum 4 t/ha), les résultats des essais effectués sur 6 échantillons peuvent être synthétisés de la manière suivante:

- du point de vue de la croissance racinaire, le pourcentage d'inhibition de croissance oscille de -2,4 % à 4,9 % ;
- du point de vue de la toxicité vis à vis des vers de terre, le pourcentage de mortalité après 14 jours varie de 0 % (4 échantillons) à 5 % (1 échantillon).

Ainsi, les essais d'écotoxicité ne montrent pas d'effets statistiquement significatifs à la dose d'épandage prévue (au maximum 4 tonnes de chaux brute par hectare), que ce soit pour la croissance racinaire ou pour la toxicité aiguë vis à vis des vers de terre.

En conclusion, l'épandage du lait de chaux issu de l'unité de fabrication d'acétylène de Réghaïa sur des sols acides devrait permettre d'élever le pH de ces derniers à un niveau assurant la précipitation des métaux lourds sous forme d'hydroxydes.

Le lait de chaux, de par ses caractéristiques chimiques, est plutôt considéré comme un rectificateur de pH qu'un fertilisant (amendement calcique), parce que les résultats d'analyses mettent en évidence que le lait de chaux renferme de faibles teneurs en éléments fertilisants (N, P et K).

D'après l'analyse bibliographique, Lippert et al., 1999 , et l'étude comparative, nous proposons trois alternatives d'utilisation de la chaux :

-Epannage du lait de chaux en une seule application de 50 kg/100 m<sup>2</sup> sans reconduction.

D'après Beckie et al., 1995 , un seul épandage d'amendement effectué en 1963, à des doses de 4 et 6 tonnes par hectare, et plus de 30 ans après, a donné des pH respectivement 0,5 et 1,1 unités supérieures à ceux des terres non amendées. Ils n'ont, par ailleurs, plus observé aucune différence dans les concentrations de fertilisants assimilables dans le sol ni dans les rendements des cultures.

-Epannage en deux applications 25 kg / 100 m<sup>2</sup> reconduit à un intervalle de 10 ans à 15 ans.

-Epannage en plusieurs applications : 5 kg / 100 m<sup>2</sup> renouvelable tout les 5 ans. Cette dernière approche peut s'avérer plus efficace car elle peut assurer l'obtention d'un taux d'acidité plus uniforme jusqu'aux zones des racines.

On fera noter que la chaux peut s'appliquer, à n'importe quel moment de la saison, mais elle s'incorpora plus rapidement au sol, lorsqu'elle est appliquée avant une période de précipitation abondante.



*CONCLUSION*

*GENERALE*



## CONCLUSION GENERALE

Tous les processus industriels consomment de grande quantité d'eau et de produits chimiques et rejettent des eaux résiduaires et des rejets solides dépendant de plusieurs facteurs : la taille de l'entreprise, les méthodes et la gamme de production, l'activité saisonnière,....

Ces rejets industriels ont des impacts non seulement sur l'environnement, mais aussi sur la santé humaine, avec des conséquences économiques non négligeables.

C'est dans un souci de prévenir une pollution engendrée par les rejets solide et liquide que s'inscrit notre étude qui s'est effectuée au niveau de l'unité de production de gaz industriels, sous le nom de "Linde Gaz Algérie", implantée dans la zone industrielle de Réghaïa.

L'objectif de cette étude est de montrer comment il convient d'aborder un problème de pollution industrielle sur le plan stratégique et méthodologique pour évaluer le degré de pollution des rejets liquide et solide de l'unité étudiée.

Nous considérons que la résolution des problèmes de pollution industrielle conduit à intervenir aux différentes étapes de génération de la pollution au niveau du procédé industriel par la collecte des effluents et leurs traitements pour éliminer ou valoriser les déchets qui en résultent.

La filière de traitement choisie doit être le résultat d'une optimisation technico-économique de l'ensemble collecte, traitement, élimination ou valorisation des déchets.

Cette opération n'est possible que par la réalisation d'études sérieuses sur les différentes étapes du procédé industriel concerné.

L'exploitation de tous les résultats, que nous avons obtenus par une évaluation qualitative et quantitative de la pollution engendrée, permet de dégager les conclusions suivantes :

- Les valeurs moyennes trouvées en  $DBO_5$  et DCO permettent d'avancer que la charge polluante est essentiellement organique. Elle est représentative d'une eutrophisation possible du milieu aquatique récepteur (oued et lac de Réghaïa). Des études complémentaires sur l'analyse microbienne, la faune et la flore confirmeraient davantage cette eutrophisation.

La charge polluante étant fortement organique, nous pourrions penser à traiter ces rejets d'une façon à peu près identique à celle des eaux d'égouts, c'est à dire par voie biologique.

- L'unité génère des effluents salins, puisqu'ils contiennent une forte proportion en sels tels que les sulfates, les chlorures et le sodium.

L'existence d'effluents organiques et salins en mélange et en teneur très élevés est complexe à traiter parce que les technologies de traitement, actuellement utilisées, sont souvent performantes pour une nature particulière de polluants saline ou organique.

La présence de sels peut donc perturber fortement le fonctionnement des procédés biologiques appliqués aux effluents organiques.

Dans ce cas, nous pensons à combiner un traitement physico-chimique (épuration par ajout de réactifs) et un traitement biologique en utilisant des supports (billes en polystyrène, par exemple) où sont fixés des micro-organismes.

- Pour les rejets en zone sensible d'eutrophisation (valeur limite de 10 mg/l pour l'azote total et 1mg/l pour le phosphore total), nous proposons, suite aux résultats obtenus, d'implanter une installation de dénitrification au niveau de l'atelier protoxyde d'azote pour diminuer les teneurs en azote
- Nous proposons, également un prétraitement avant rejet des eaux résiduaires au niveau de chaque atelier (neutralisation du pH, enlever les huiles et les graisses à l'aide d'un déshuileur).
- Des mesures de protection des canalisations du réseau d'évacuation doivent être prises en considération vis-à-vis des éléments agressifs, en particulier des acides et des sels.
- Pour minimiser l'effet de ces eaux résiduaires sur le milieu récepteur et les stations d'épuration, on peut penser au recyclage par réutilisation de ces effluents comme source d'eau brute pour d'autres procédés, par exemple, comme une eau d'alimentation pour l'atelier de fabrication de l'acétylène qui n'exige pas de caractéristiques spécifiques pour cette eau.
- Utiliser le lait de chaux (unique rejet solide de cette unité) comme amendement en agriculture pour les sols acides.



*REFERENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Rapport annuel «ENGI»,** (2002).
- [2] **Häring H. - W.,** Industrial Gases Processing; Edition WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2008.
- [3] **L’AIR LIQUIDE :** division scientifique, *Encyclopédie des gaz*, Edition Elsevier, Paris, 1976.
- [4] **Aston H.,** *Index of technical description 285 kg/h production plant*, ASCO Carbone dioxide LTD, New Zealand, 2008.
- [5] **Mcketta J., Cunningham W. A.,** Calcination Equipement to catalysis, *In : Encyclopedia of chemical processing and design*, volume 6, pages 280 – 291, Edition Marcel Dekker, New York, 1978.
- [6] **Booth N.,** industrial gases, 1<sup>ère</sup> Edition, Pergamon press Ltd, India, 1973.
- [7] **ASCO CO2 Production and dry ice plants,** Notice de l’atelier *CO<sub>2</sub>:1000 Kg/h*, Nouvelle-Zélande, 2001.
- [8] **Dang H. et Rochelle G. T.,** *CO2 Absorption Rate and Solubility in Monoethanolamine /Piperazine/Water*, First National Conference on Carbon Sequestration, Washington, 2001.
- [9] **Downie N.A.,** industrial gases, Edition Kluwer Academic Publisher, United States of America, 2002.
- [10] **Mcketta J. et Cunningham W. A.,** Natural gaz liquids to offshore process piping *In : Encyclopedia of chemical processing and design*, volume 31, pages 205-235 Edition Marcel Dekker, New York, 1978.
- [11] **Hersh D.J. et Abrardo J.M.,** Air séparations plant design, CRYOGENICS, p 383-387, 1977.
- [12] **Document AIR LIQUID,** Procédé de liquéfaction de l’air de l’unité de production de Réghaia, Edition AIR LIQUID, Paris, 1976.

- [13] **SOCSIL-INTER SA**, Notice de l'usine de production de protoxyde d'azote (100 Kg.h-1) : Type S 100, Suisse, 1987.
- [14] **Miller S. A.**, Acetylene its proprieties, manufacture and use, volume 1, Edition Ernest Benn limited, London, 1965.
- [15] Acetylene in : **ULMANN'S**, *encyclopedia of industrial chemistry*, volume 1, pages 215- 265, 6<sup>ème</sup> Edition, Wiley-VCH, Germany, 2003.
- [16] **WELMAC**, Manuel mise en place et utilisation de l'installation acétylène ENGI de type WELMAC 1500/125/BP/TV
- [17] **Bortman M., Brimblecombe P., Cunningham M. A., Cunningham W. P., and Freedman W.** ; pollution In : *Environmental Encyclopedia*, Volume 2, Third Edition, Gale Group, Inc., a division of Thomson Learning, Inc.USA, page1106, 2003.
- [18] **Ramade F.**, Dictionnaire encyclopédique des polluants, EDISCIENCE international, Paris, 2000.
- [19] **Marquita K. H.**, Understanding Environmental Pollution, Second Edition, Cambridge University Press , New York ,2004.
- [20] **Peirce J. J., Vesilind P. A. et Weiner R. F.**, Environmental Pollution and Control, Elsevier Science & Technology Books,4<sup>ème</sup> edition ,1997.
- [21] **Bliefert C., Perraud R.**, chimie de l'environnement (traduit de l'allemand), De Boeck,Paris, 2001.
- [22] **Pepper I. L., Gerba C. P., et Brusseau M. L.**, The Extent of Global Pollution. In *Environmental & Pollution Science*, 2<sup>ème</sup> Edition, Elsevier, USA, page 3-23, 2006.
- [23] **Wong J. M., Hung Yung-Tse**, Treatment of Oilfield and Refinery Wastes, In : *Waste Treatment in the Process Industries*, Edition Taylor & Francis Group, USA, page 235- 306, 2006.
- [24] **Ramade F.**,écotoxicologie ,2<sup>ème</sup> éd., Masson, paris 1979.
- [25] **Lawrence K. W.**, Treatment of Power Industry Wastes, In : *Waste Treatment In the Process Industries*, Edition Taylor & Francis Group, USA, page 581- 621, 2006.

- [26] **Merrington G., Winder L., Parkinson R. et Redman M.**, Agricultural pollution : Environmental problems and practical solutions, Edition Spon Press, 2002, London.
- [27] **Ramade F.**, Eléments d'écologie appliquée .Dunod, Paris ,3<sup>e</sup> édition, 2003.
- [28] **Barcelo .D, Hennion M.C.**, Trace determination of pesticides and their degradation products in water. Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry, vol. 19,Elsevier, Amsterdam, 1997, p. 542
- [29] **Couillard D.**, Sources et caractéristiques des eaux usées issues des différents procédés de l'industrie des pates et papiers, *The Science of the Total Environment*, 12 (1979) 169-197, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.
- [30] **Järup L.**; Hazards of heavy metal contamination ; *British Medical Bulletin*, 68 pages 167–182, 2003.
- [31] **Gaujous d.** La pollution des milieux aquatiques: aide mémoire, Edition Lavoisier, 1993.
- [32] **Murat M.**, Valorisations des déchets et des sous produits industriels, Edition Masson, Paris, 1981.
- [33] **NAVARRO A.**, Approche systémique des déchets, *Techniques de l'ingénieur*, G 2 000, 2003.
- [34] **Nag A., Vizayakumar K.**, Environmental education and solid waste management, Ed. New Age International Publishers, New Delhi, 2005.
- [35] **Meinck.F., Stoof H. et Kohlschuter H.**, Eaux résiduaires industrielles, Edition Masson ,2eme édition, Paris, 1977.
- [36] **Boeglin, J. C.**, Pollution industrielle de l'eau : Caractérisation, classification, mesure, Technique de l'ingénieur : traité Génie industriel,G 1 210, 2003.
- [37] **Degrémont**, Mémento technique de l'eau, Edition Technique et Documentation, Paris 1989.

- [38] **Koller E.**, Traitement des pollutions industrielles, Edition Dunod, Paris, 2004.
- [39] **C.E.A.E.Q** : CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Détermination de la demande chimique en oxygène dans les effluents : MA. 315 - DCO 1.0, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006.
- [40] **C.E.A.E.Q** : CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Détermination de la demande biochimique en oxygène dans les effluents : méthode électrométrique, MA. 315 – DBO 1.1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006.
- [41] **Rodier J.**, L'analyse de l'eau, 8<sup>ème</sup> édition, DUNOD, 2005.
- [42] **Edwards J. D.**, Industrial wastewater treatment : a guidebook, Edition CRC Press, Florida(USA), 1995.
- [43] **Welch E.B.**, ecological effects of wastewater, 2<sup>ème</sup> Edition, Taylor & Francis e-Library, UK, 2004.
- [44] **Lawrence A.**, Effects of Pollution on Fish : molecular effects and population, Edition Blackwell Science, UK, 2003.
- [45] **Spellman Ph.D, Frank R.**, The Science of Environmental Pollution, Edition Taylor & Francis Routledge, USA, 1999
- [46] **Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., Pojer K.**, Pollution toxique et écotoxicologie : notions de base, *Guide technique numéro 7*, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2002.
- [47] **Capblancq J., Decamps H.**, L'eutrophisation des eaux continentales : Questions à propos d'un processus complexe, *NSS : Natures Science Société*, vol. 10, n°2, pages 6-17, Editions scientifiques et médicales Elsevier, 2002.
- [48] **Vézie L., Brient L., Berthru G.**, évaluation des efflorescences à cyanobactéries dans les cours d'eau et les plans d'eau, université de Rennes 1, (2001)
- [49] **Doumont D., Libion F.**, Impact sur la santé des différents polluants : quels effets à court, moyen et long terme ? Dossier technique 06-38, Unité RESO, Education pour la Santé, Faculté de Médecine, Université Catholique de Louvain 1, 2006.

- [50] **Wesley W. E.**, industrial water pollution control, third edition , Edition McGraw-Hill Companies, 2000.
- [51] **Rodriguez G. A.**, Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux : Applications spécifiques. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France, pages 12-15, 2004.
- [52] **Sincero A. P., Sincero G. A.**, Physical–chemical treatment of water and wastewater, Edition CRC Press, Florida(USA), 2003.
- [53] **Sharon B.**, Environmental principles and policies : an interdisciplinary introduction , Edition Earthscan, New Zealand, 2006.
- [54] **Kettab A.**, Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision, *Desalination* 136 pages 25–33, 2001.
- [55] **Ainouz L., Bendjeddou S.**, Le marché de l’environnement en Algérie, Missions Economiques d’Alger : Fiche de synthèse, Ambassade de France en Algérie, Alger, 2005.
- [56] Université de **Sherbrooke**,  
<http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMListeStatSpecifique?codetheme=1>,  
(Consulté le 02 février 2009).
- [57] **Hadef R., Hadef A.**, Le déficit d'eau en Algérie: une situation alarmante, *Desalination* 137 pages 215-218, 2001.
- [58] **Journal Officiel** de la République Algérienne., disponible sur : [www.joradp.dz](http://www.joradp.dz)  
- Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006  
- La loi du 01-02 du 19 juillet 2001  
- L’ordonnance N°96-13 du 15 juin 1996 modifiant la loi N°83-17 du 16 juillet 1983  
- Décret exécutif N° 93 – 160 du 10 juillet 1993  
- La loi N°91-25 du 18 décembre 1991
- [59] **Higgins T. E.**, Pollution prevention Handbook, CRC Press, USA, 1995.

- [60] **Shen T.**, Industrial pollution prevention, Edition Springer- Verlag, Berlin, Germany, 1995.
- [61] **Martin D.**, Manuel pour la prévention de la pollution, Congrès du travail du Canada, Canada, 1998.
- [62] **MORAN F.**, Inhibiteurs de corrosion et d'entartrage. Biocides, *Techniques de l'Ingénieur*, W 9 010, 2007.
- [63] **Hantz D.**, Les différents procédés de refroidissement d'eau dans les installations Industrielles: Guide technique, CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES AÉRAULIQUES ET THERMIQUES, France, 2005
- [64] **Shneider W., Fresenius W.**, Technologie des eaux résiduaires, Edition SpringerVerlag, Paris, 1990.
- [65] **BETZ**, Conditionnement des eaux industrielles selon BETZ, 9ème editions, BETZ Inc, Canada, 1993.
- [66] **Al-Sayet M<sup>ed</sup> H., Ismail M. Madany**, Properties of asphaltic paving mixes containing hydrated lime waste, *Waste, Management & Research* (1992) 10, pages 183-194.
- [67] **Ayeche R., Hamdaoui O.**, Le Traitement d'épuration des eaux usées urbaine (ville de Annaba) par la chaux éteinte résiduaire de l'ENGI ; séminaire international « ville et santé », 02-03 décembre 2007 UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE
- [68] **Linde gaz Allasac**, rapport autorisant l'épandage de lait de chaux: Conseil de département d'hygiène, France, 2005.
- [69] **Lippert B., Mitchell C., Kidder J.**, Soil Acidity and Liming, a multi-state internet training, March 22 - April 2, Clemson University, USA, 1999.
- [70] **Beckie H. J., Ukrainetz H.**, Lime-amended acid soil has elevated pH 30 years later, *Canadian Journal of Soil Science*, 76 pages: 59–61, 1995.

❧

*ANNEXES*

❧

## Annexe 1

## Propriétés physico chimiques des gaz industriels

1. Le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>:Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques de CO<sub>2</sub> à d'état gazeux

Formule chimique	CO <sub>2</sub>
Masse molaire	44.011 g/mole
Dimension moléculaire	5.1-3.5 °A
Masse volumique du gaz	1.977 kg.m <sup>-3</sup>
Conductivité thermique (25 °C, 1 bar)	1.64 · 10 <sup>-2</sup> W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Viscosité (gazeux, 20°C)	20.3 · 10 <sup>6</sup> Pa.s

Tableau 2 : Propriétés physico-chimiques du CO<sub>2</sub> à l'état liquide

<b>Point critique :</b>	
Température critique	31.06 °C
Pression critique	73.75 bar
<b>Point triple :</b>	
Température	-56.57 °C
Pression	5.18 bar
Chaleur latente de fusion	46.97 kcal.kg <sup>-1</sup>
Masse volumique (-50°C)	1152.6 kg.m <sup>-3</sup>
<b>Point de sublimation (CO<sub>2</sub> solide) (1 atm)</b>	
Température	-78.5 °C
Chaleur latente	136.40 kcal.kg <sup>-1</sup>
Masse volumique (solide)	1300 à 1562 kg.m <sup>-3</sup>
Masse volumique (vapeur)	2.814 kg.m <sup>-3</sup>

D'où 1Kg de solide libère 845 litres de gaz (détente à 15°C, 1bar)

## 2. Les gaz de l'air

Tableau 3: Propriétés physico-chimiques de l'air

<b>Point critique</b>	
Température critique	-146.95 °C
Pression critique	33.999 bar
Masse volumique	314.03 kg .m <sup>-3</sup>
<b>Point triple</b>	
Température	-210.002 °C
Pression	0.1253 bar
Chaleur latente de fusion	6.15 kcal.kg <sup>-1</sup>
<b>Point d'ébullition (1 atm)</b>	
Température	-195.803°C
Chaleur latente	47.459 Kcal .Kg <sup>-1</sup>
Masse volumique liquide	808.607 kg .m <sup>-3</sup>
Masse volumique vapeur	4.614 kg .m <sup>-3</sup>

Tableau 4 : Propriétés physico-chimiques de l'azote et de l'oxygène

Azote		Oxygène	
Formule chimique	$N_2$	Formule chimique	$O_2$
Dimension moléculaire	3 - 4.1 °A	Dimension moléculaire	4.2 – 2.8 °A
Masse Molaire	28.0134 g/mol	Masse Molaire	31,99 g/mole
Masse volumique du gaz	1.25053 kg.m <sup>-3</sup>	Masse volumique du gaz	1.4289 kg.m <sup>-3</sup>
Point critique		Point critique	
Température critique	-146.95 °C	Température critique	-118.574 °C
Pression critique	33.999 bar	Pression critique	50.43bar
Masse volumique	314.03 kg .m <sup>-3</sup>	Masse volumique	436.1 kg .m <sup>-3</sup>
Point triple		Point triple	
Température	-210.002°C	Température	-218.799 °C
Pression	0.1253 bar	Pression	0.00152 bar
Chaleur latente de fusion	6.15 kcal.kg <sup>-1</sup>	Chaleur latente de fusion	3.322 kcal.kg <sup>-1</sup>
Point d'ébullition (1 atm)		Point d'ébullition (1 atm)	
Température	-195.803°C	Température	-182.97 °C
Chaleur latente	47.459 Kcal .Kg <sup>-1</sup>	Chaleur latente	50.869 Kcal .Kg <sup>-1</sup>
Masse volumique liquide	808.607 kg .m <sup>-3</sup>	Masse volumique liquide	1141.0 kg .m <sup>-3</sup>
Masse volumique vapeur	4.614 kg .m <sup>-3</sup>	Masse volumique vapeur	4.475 .m <sup>-3</sup>

### 3. Le protoxyde d'azote $N_2O$

Tableau 5 : Propriétés physico-chimiques du  $N_2O$ .

Protoxyde d'azote	
Formule chimique	$N_2O$
Masse molaire	44,013 g.mol <sup>-1</sup>
Masse volumique du gaz	1.25053 kg.m <sup>-3</sup>
Point critique	
Température critique	36.41 °C
Pression critique	72.45 bar
Masse volumique	452 kg .m <sup>-3</sup>
Point triple	
Température	-90.81 °C
Pression	0.878 bars
Chaleur latente de fusion	35.5 kcal.kg <sup>-1</sup>
Point d'ébullition (1 atm)	
Température	-88.47°C
Chaleur latente	89.84 Kcal .Kg <sup>-1</sup>
Masse volumique liquide	1222.8 kg .m <sup>-3</sup>
Masse volumique vapeur	3.16 kg .m <sup>-3</sup>

## 4. L'acétylène :

Tableau 6 : propriétés physiques du  $C_2H_2$ 

Acétylène	
Formule chimique	$C_2H_2$
Masse molaire	26.038 $g.mol^{-1}$
Masse volumique du gaz	1.1747 $kg.m^{-3}$
Point critique	
Température critique	308.33K (35.18 °C)
Pression critique	61.91 bar
Masse volumique	230.8 $kg .m^{-3}$
Point triple	
Température	192.60 K (-80.55 °C)
Pression	1.282 bars
Chaleur latente de fusion	23.04 $kcal.kg^{-1}$
Point de sublimation (1 atm)	
Température	189.35 K (-83.80 °C)
Chaleur latente	191.53 $Kcal .Kg^{-1}$
Masse volumique liquide	729 $kg .m^{-3}$ (à T= 183.15 K)
Masse volumique vapeur	1.729 $kg .m^{-3}$

Source : [2], [3], [5], [14]

## Annexe 2 : Tableau de conservation des échantillons

PARAMETRES ETUDIÉS	AGENT DE CONSERVATION	NATURE DE CONTENANT	VOLUME (l)	DÉLAI DE CONSERVATION
Acidité	N	P, T, V	0,2	14 jours
Alcalinité	N	P, T, V	0,2	14 jours
Azote Kjeldahl	AS	P, T, V	0,1	28 jours
Chlorures	N	P, T, V	0,1	28 jours
Chrome	N	P, T, V	0,1	24 heures
Cyanures	NaOH	P, T, V	0,5	14 jours
DBO	N	P, T, V	1,0	48 h à 4°C/180 jours à -15 °C (1)
DCO	AS	P, T, V	0,1	28 jours
Mercuré	Filtration (2) + AN	P, T, V	0,1	28 jours
Métaux dissous	Filtration (2) + AN	P, T, V	0,1	6 mois
Nitrates	N	P, T, V	0,1	48 heures
pH	N	P, T, V	0,1	24 heures
Phosphore total	AS	P, T, V	0,1	28 jours
MES	N	P, T, V	1,0	7 jours
Sulfates	N	P, T, V	0,1	28 jours
Sulfites	EDTA	P, T, V	0,2	14 jours
Turbidité	N	P, T, V	0,1	48 heures
Huiles et graisses	AS	VA ou VT	1,0	28 jours

(1) Pour la DBO, l'échantillon peut être congelé pour une période de 6 mois

(2) La filtration doit se faire dans les 24 heures après l'échantillonnage. Par la suite préserver avec acide nitrique.

### LÉGENDE

Agents de conservation	
AN	HNO <sub>3</sub> jusqu'à pH <2
AS	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> jusqu'à pH <2
EDTA	1 ml EDTA 0,25 M par 100 ml d'échantillon
N	Aucun agent de conservation requis.
NaOH	NaOH 10N jusqu'à pH >12
Type de contenant	
P	Les bouteilles et les revêtements des bouchons sont composés des plastiques suivants : polyéthylène de basse ou haute densité, polypropylène, polystyrène, ou téflon
T	Les bouteilles et les revêtements des bouchons sont composés des types de téflon suivants : polytétrafluoroéthylène (PTFE), fluoroéthylène-polypropylène (FEP)....
V	Bouteille en verre clair ou ambré.
VA	Bouteille en verre clair ou ambré avec joint en aluminium ou en téflon
VT	Bouteille en verre clair ou ambré avec joint de téflon.

**Source :** CEAEQ, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Modes de conservation pour l'échantillonnage de rejets liquides : DR-09-04, 2009

### Annexe 3 : Colorimètre Portable à Mémorisation de Données DR/890

Le colorimètre série DR/800 HACH illustré à la Figure 1 est un photomètre à filtre avec source DEL, commandé par microprocesseur pour l'analyse colorimétrique au laboratoire ou sur le terrain. L'appareil est pré-calibré pour les mesures colorimétriques courantes et permet de créer facilement des étalonnages supplémentaires pour des méthodes créées par l'opérateur ou pour les méthodes HACH futures.

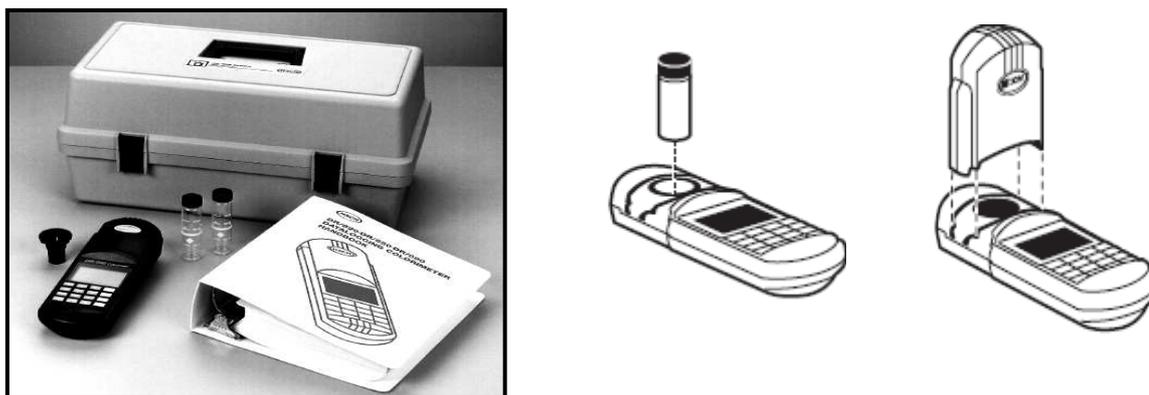


Figure 1 : Colorimètre série DR/890

L'analyse colorimétrique avec les étalonnages pré-programmés peut être divisée en quatre phases générales :

#### 1. Préparation du colorimètre

La préparation de l'appareil pour utiliser un programme Hach commence par la sélection du numéro de programme souhaité.

Les numéros de programmes se trouvent dans chaque méthode individuelle.

Pour utiliser un programme différent, presser la touche **PRGM** et entrer le numéro de programme souhaité au clavier numérique.

#### 2. Préparation de l'échantillon

La solution à blanc et le ou les échantillons sont préparés à ce moment. Généralement, la préparation d'échantillon consiste à ajouter le contenu d'un sachet de réactif pré-mesuré à un petit volume d'échantillon.

Il est important d'observer la période d'attente spécifiée dans la technique d'analyse pour que la réaction du ou des réactifs avec l'analyte se développe complètement.

#### 3. Réglage du zéro de l'appareil

Le zéro de l'appareil doit être réglé pour chaque analyse ou série d'analyses pour établir un zéro de référence pour la mesure. Ceci est effectué en plaçant une solution à blanc dans le

puits de mesure, en couvrant l'échantillon avec le capot de l'appareil et en pressant la touche **ZERO**. L'écran affiche des zéros et le message **READ** s'allume. L'appareil est maintenant prêt pour prendre la première lecture d'échantillon.

#### 4. Mesure de l'échantillon préparé

Pour effectuer la lecture de l'échantillon, placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure.

-Placer le capot de l'appareil (pare-lumière) sur la cuvette d'échantillon et presser la touche **READ**. Après une courte pause, les résultats sont affichés.

-Afficher les valeurs d'absorbance ou de pourcentage de transmission en pressant plusieurs fois la touche **ABS %T**.

-Presser la touche **CONC** pour revenir à l'affichage de la concentration.

Les actions successives sur la touche **CONC** basculent entre les différentes formes chimiques, si disponibles.

**Tableau 1 :** Paramètres et gammes utilisés dans notre travail, HACH, DR 890

Paramètre	Gamme de mesure mg/l	Programme N°
Cuivre	0 - 210 µg/l	22
Fer total	0 - 3,00	33
Nitrate	0 - 30,	50
Phosphore total	0 - 2,5	79
Sulfate	0 - 70	91

**Source :** Manuel de Colorimètre Portable à Mémoire de Données, Série DR/800, Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau à l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique.

## Annexe 4 : mesure de TA, TAC et TH

TA : Titre d'Alcalinité, mesure la concentration des hydroxydes et la moitié des carbonates.

$$\text{TA} = [\text{CO}_3^{2-}] / 2 + [\text{OH}^-].$$

TAC : Titre d'Alcalinité Complet, mesure la concentration des hydroxydes, carbonates et bicarbonates.  $\text{TAC} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-].$

TH : Titre Hydrométrique, mesure les sels de la dureté (calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ )

TH total : Ca + Mg

TH Ca (dureté calcique) : Ca seul

TH temporaire : sels de Ca ou Mg associés au  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$

TH permanent : sels de Ca ou Mg associés à d'autres sels que carbonate ou bicarbonate.

### Détermination de TA et TAC

#### ✓ Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

#### ✓ Réactifs

- Acide chlorhydrique ou sulfurique N /50
- Solution phénol phtaléine dans l'alcool à 0.5%
- Solution de méthylorange à 0.5 %
- Eau distillée

#### ✓ Mode opératoire

##### Détermination de TA :

- Prélève 100 ml d'eau à analyser dans une erlen Meyer ,
- Ajouter 2 à 3 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine ;
- Une couleur rose doit apparaître
- Dans le cas contraire, le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8.3
- Verser ensuite goutte à goutte l'acide dans le mélange à l'aide d'une burette
- Agiter constamment, jusqu'à décoloration complète de la solution
- Consigner le nombre de millimètres d'acide utilisés pour obtenir le virage de la phénolphtaléine et attribuer à cette valeur la lettre V

##### Détermination de TAC

Nous utilisons l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas de coloration ;

- Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange
- Ajouter goutte à goutte le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé. (pH=4.3)
- Consigner le nombre de millimètres d'acide versé depuis le début du dosage et attribuer à cette valeur la lettre V'
- Retrancher de ce volume 0.5 ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte du bicarbonate

### Expression des résultats

TA = V, V exprime le titre alcalimétrique en degré français, 1°F = 10 mg CaCO<sub>3</sub>

TAC= V' – 0.5, V' exprime le titre alcalimétrique en degré français

1°F = M / 5 x e mg/l

M : masse molaire (en grammes)

e: valence de l'espèce qui réagit (nombre de charges portées ou mises en jeu dans la réaction).

### Mesure de TH : Titre Hydrométrique

#### ✓ Principe

Formation des complexes ions calcium Ca<sup>2+</sup> et magnésium Mg<sup>2+</sup> avec une solution titrée de sel disodique de l'acide éthylènediaminetetraacétique (EDTA) en milieu tampon pH = 10

#### ✓ Réactifs

- Solution tampon pH= 10
- Indicateur coloré Noir ériochrome T
- Solution EDTA N/50

#### ✓ Mode opératoire

- Prélever 50 ml de l'échantillon à analyser dans une erlen Meyer de 250 ml
- Ajouter, à l'aide d'une pipette, 2 ml de solution tampon
- Ajouter 2 à 4 gouttes de Noir ériochrome T et agiter pour mélanger, si l'eau à analyser est dure, elle vire au rose
- Titrer goutte à goutte avec l'EDTA jusqu'à l'apparition de la couleur vert
- Noter le volume de l'EDTA versé

#### ✓ Expression des résultats

TH = 2 x V<sub>EDTA</sub> (°F)

## Tableau des facteurs de calcul de pHs

$$\text{pHs} = 9,3 + A + B - (C + D)$$

A : Facteur de T.D.S (totalité des sels dissous)

B : Facteur de température

C : facteur de dureté du calcium exprimé en °F.

D : Facteur d'alcalinité totale TAC exprimé en °F.

Ainsi, directement à partir d'une analyse de l'eau, les tables suivantes permettent le calcul du pH de saturation :

VALEUR DE B facteur de température		VALEUR DE C facteur de dureté du calcium		VALEUR DE D facteur de l'alcalinité totale	
°C	B	TH en °f	C	TAC en °f	D
0 à 1	2,6	1 à 1,1	0,6	1 à 1,1	1,0
2 à 5,5	2,5	1,2 à 1,3	0,7	1,2 à 1,3	1,1
6,5 à 9	2,4	1,4 à 1,7	0,8	1,4 à 1,7	1,2
10 à 13,5	2,3	1,8 à 2,2	0,9	1,8 à 2,2	1,3
14,5 à 16,5	2,2	2,3 à 2,7	1	2,3 à 2,7	1,4
17,5 à 21	2,1	2,8 à 3,4	1,1	2,8 à 3,5	1,5
22 à 26,5	2	3,5 à 4,3	1,2	3,5 à 4,4	1,6
27,5 à 31	1,9	4,4 à 5,5	1,3	4,5 à 5,5	1,7
32 à 36,5	1,8	5,6 à 6,9	1,4	5,6 à 6,9	1,8
37,5 à 43,5	1,7	7,0 à 8,7	1,5	7 à 8,8	1,9
44,5 à 50	1,6	8,8 à 11	1,6	8,9 à 11	2
51 à 56	1,5	11,1 à 13,8	1,7	11,1 à 13,9	2,1
56,5 à 63,5	1,4	13,9 à 17,4	1,8	14 à 17,6	2,2
64,5 à 71	1,3	17,5 à 22	1,9	17,7 à 22,2	2,3
72 à 81	1,2	23 à 27	2	23 à 27	2,4
82 à 89	1,1	28 à 34	2,1	28 à 35	2,5
90 à 96	1	35 à 43	2,2	36 à 44	2,6
96 à 100	0,9	44 à 55	2,3	45 à 55	2,7
		56 à 69	2,4	56 à 69	2,8
		70 à 87	2,5	70 à 88	2,9
		88 à 100	2,6	89 à 100	3

### Source:

- **BETZ**, Conditionnement des eaux industrielles selon BETZ, BETZ Inc, Canada, 1993.

- - **PROTEC**, **PROTEC traitement des eaux, Indexe de stabilité des eaux : guide technique**, [www.protec-traitement.com](http://www.protec-traitement.com).

