

**Université KASDI-MERBAH Ouargla**

**Faculté des sciences appliquées**

**Département de Génie des Procédés**



## **Mémoire**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine** : Sciences et Technologies.

**Filière** : Industries Pétrochimiques.

**Spécialité** : Génie Pétrochimique.

Présenté par : **Mammad Walid Et Mihi Mouhamed Amine**

**Thème :**

# Calcul de l'unité de production d'oxyde d'éthylène

Soutenu publiquement le : 13 juin 2022

Devant le jury composé de :

Mr. Akriche.A	MCB	Président	UKM Ouargla.
M <sup>elle</sup> . Zighmi.S	MCB	Examineur	UKM Ouargla.
M <sup>elle</sup> . Hidaya.I	MCA	Rapporteur	UKM Ouargla.

**Année universitaire : 2021/2022**

---

# *Dédicace*

---

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre*

*À cette source de tendresse, de patience et de générosité*

*À ma mère !*

*À tous mes frères : faycel ,aissa.*

*À mes beaux parents et à toute ma famille*

*À tous mes amis et collègues*

*À tous les étudiants de la promotion 2021/2022*

*Option : Génie Pétrochimique*

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer .....*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce*

*Projet soit possible :*

*Notre encadreur Hidaya Izza*

*Je vous dis merci*

***Mammad Walid***

---

# *Dédicace*

---

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,,,  
À cet source de tendresse, de patience et de générosité,,,  
À ma plus belle mère !*

*À tous mes frères et sœurs :fares ,elhadi , alaa  
À mes beaux parents et à toute ma famille*

*À tous mes amis et collègues  
À tous les étudiants de la promotion 2021/2022  
Option : Génie Pétrochimique  
A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de  
continuer .....*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que*

*Ce projet soit possible :*

*Notre encadreur Hidaya Izza*

*Je vous dis merci*

***Mihi Mouhamed Amine***

---

# *Remerciement*

---

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail. La première personne que nous tenons à remercier est notre encadrant **Hidaya izza** pour l'orientation, la confiance, la patience et ses bonnes explications qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions. Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## • Résumé :

L'oxyde éthylène est un éther cyclique et l'époxyde le plus simple. Deux procédés étaient employés pour fabriquer l'oxyde d'éthylène dans les années 1970 Oxydation indirecte de l'éthylène, avec la chlorhydrine comme intermédiaire et Oxydation directe par l'air ou l'oxygène, L'air ou l'oxygène peuvent être utilisés comme agent oxydant pour oxyder l'éthylène. En règle générale, les installations industrielles fonctionnent avec un catalyseur à base d'argent en niveau de réacteur. La température doit être maintenue entre 260 et 290°C pour obtenir le rendement optimal. L'oxyde d'éthylène est l'une des matières premières les plus importantes utilisées à l'échelle industrielle pour la production chimique et à l'échelle non industrielle (domaine médicale).

**Mots clé :** procédé, oxydation, l'éthylène, réacteur.

## • ملخص :

أكسيد الإيثيلين هو إيثر دوري وأبسط إيوكسيد، في عام 1970 تم استخدام طريقتين لتصنيع أكسيد الأثيلين الطريقة الأولى هي عن طريق الأكسدة الغير مباشرة للأثيلين باستخدام الكلور هيدرين كوسيط الطريقة الثانية و هي أكسدة مباشرة للأثيلين حيث أن الهواء أو الأكسجين يمكن أستعمالهم كعامل أكسدة لأكسدة هذا الأخير , كقاعدة عامة تعمل المنشآت الصناعية على مستوى المفاعل بمحفز ذو قاعدة مكونة من الفضة وكما يجب الحفاظ على درجة الحرارة بين 260 و 290 درجة مئوية للحصول على المرود الأمثل.

أكسيد الإيثيلين هو واحد من أهم المواد الخام المستخدمة على المستويالصناعي للإنتاج الكيميائي وعلى المستوى الغير صناعي كالمجال الطبي .

**الكلمات المفتاحية:** طريقة , أكسدة , إيثيلين , مفاعل.

## • Abstract:

Ethylene oxide is a periodic ether and simplest epoxide. Two processes were used to manufacture ethylene oxide in the 1970s indirect oxidation of ethylene, with chlorohydrin as an intermediate oxidation and directly through air or oxygen, air or oxygen can be used as an oxidizing agent for ethylene oxidation as a rule, industrial facilities work with a silver-based catalyst at the reactor level must maintain the temperature between 260 and 290°C for efficiency. Optimization. Ethylene oxide is one of the most important raw materials used on an industrial scale for chemical and non-industrial production (medical field).

**Keywords:** process, oxidation, ethylene, reactor.

---

## *Liste des Tableaux*

---

### **Partie Théorique**

<b>Tableau I.1</b> : propriétés physiques de l'oxyde ethylene[1] .....	5
<b>Tableau I.2</b> : propriétés chimiques et thermochimiques de l'oxyde d'ethylene [1]. .....	6
<b>Tableau III.1</b> :reprenter utilisation par des secteurs industrielle mondiale d'oxyde d'ethylene en 2009 [4].....	18

### **Partie Calcul**

<b>Tableau.I.1</b> :les donnees du procede d'oxydation d'ethylene [5].....	24
<b>Tableau I.2</b> :composition des gaz de purge .....	29
<b>Tableau I.3</b> :composition des gaz de recyclage .....	29
<b>Tableau I.4</b> :composition du melange gaz-air a l'entree de reacteur .....	31
<b>Tableau I.5</b> :composition du gaz de contact .....	31
<b>Tableau II.1</b> :Les données techniques du réacteur d'oxydation[5].....	33
<b>Tableau II.2</b> :calcul moyennes des chaleurs specifiques .....	34
<b>Tableau II.3</b> : bilan thermique .....	35

---

## *Liste des figures*

---

<b>Figure I.1</b> : La molecule de oxyde ethylene[1] .....	4
<b>Figure II.1</b> :Catalyseur d'argent pour la production d'oxyde ethylene (sem x10000) [3] .....	12
<b>Figure.II.2</b> : La production de l'oxyde ethylene par l'oxydation de l'oxygene. Shell proces[2]. .....	15
<b>Figure.II.3</b> : la production de l'oxyde ethylene par l'oxydation de l'air. Scientifique designe process [2].....	16
<b>Figure.III.1</b> : l'oxyde ethylene applications en l'an 2021[4].....	20
<b>Figure.III.2</b> : sterilisateur a l'oxyde d'ethylene (oe)[4]. .....	21

---

## *Liste des abréviations*

---

<b>L'abréviation</b>	<b>La définition</b>	<b>L'unité</b>
Cp	Capacité thermique	kJ/mol
G	Le débit massique	<i>Kg/h</i>
Gi	Le débit massique partiel	<i>kg/h</i>
OE	L'oxyde d'éthylène	-
P	pression	MPa
Pi	Pression partiel	MPa
$Q_{qp}$	Quantité des gaz de purge	$m^3/h$
$Q_1$	Quantité de chaleur fournie par le mélange gaz air	kw
$Q_2$	Quantité de chaleur fournie par la réaction	kw
$Q_3$	Quantité de chaleur fournie par des gaz de contact	kw
$Q_4$	Quantité de chaleur fournie par le condensant	kw
$Q_p$	Perte de chaleur	kw
V	Volume	$m^3/h$
Vi	Volume partielle	$m^3/h$
$V_{tot}$	Volume total	$m^3/h$
Xi	Fraction massique	-
Yi	Fraction molaire	-
$\mu$	Débit des constituants du gaz de contact	$m^3/h$
$\beta O_2$	Débit d'oxygène (massique /volumique)	$(m^3/h) (Kg/h)$
$\Delta H^\circ_{298}$	enthalpie de formation	kJ/mol
$\Sigma$	La totalité	-



---

# *Sommaire*

---

Introduction général : .....1

## **Partie Théorique**

<b>I. Généralités de l'oxyde d'éthylène: .....</b>	<b>4</b>
I.1 Structure moléculaire et propriété de l'oxyde d'éthylène: .....	4
I.1.1 Propriétés physiques de l'oxyde éthylène : .....	5
I.1.2 Propriétés chimiques et thermochimique de l'oxyde d'éthylène : .....	6
<b>II. Procèdes d'obtention de l'oxyde de l'éthylène : .....</b>	<b>9</b>
II.1 Le procédé indirect D'éthylène (chlorhydrine) : .....	9
II.2 Procèdes directe d'oxydation de l'éthylène : .....	9
II.2.1 Considérations théoriques : .....	10
II.2.2 Le Mécanisme cinétique du procédé d'oxydation direct : .....	11
II.2.3 Catalyseurs : .....	11
II.2.4 Matières premières : .....	12
II.2.5 Conditions opératoires : .....	13
II.3 Fabricaion industrielle de l'oxyde ethylene : .....	14
II.3.1 Schémas industriels : .....	14
II.3.2 Procédé Shell: .....	15
II.3.3 Processus de conception scientifique : .....	16
<b>III. Domaine d'utilisation de l'oxyde d'éthylène: .....</b>	<b>18</b>
III.1 Application : .....	18
III.1.1 L'échelle industrielle : .....	19
III.1.2 L'échelle non industrielle : .....	20

## **Partie Calcul**

<b>I. Bilan matière de l'oxyde d'éthylène : .....</b>	<b>24</b>
I.1 Les données techniques du procédé d'oxydation d'éthylène : .....	24
I.2 Calcul du bilan matière de l'oxyde d'éthylène : .....	24
I.2.1 Les étapes de calcul du bilan de matière : .....	24
I.2.2 Détermination de la composition du mélange air-gaz selon les réactions 1 et 2 : .....	25
<b>II. Bilan thermique de l'oxyde d'éthylène: .....</b>	<b>33</b>
II.1 But du calcul : .....	33
II.1.1 Quantité de chaleur fournie par le mélange gaz air.....	33

II.1.2	Quantité de chaleur fournie par le gaz de contact :.....	34
II.1.3	Quantité de chaleur fournie par la réaction .....	34
II.1.4	Pertes de chaleur $Q_p$ :.....	35
II.1.5	La charge thermique totale à l'entrée réacteur :.....	35
II.1.6	La charge thermique emportée par le condensat :.....	35
II.1.7	Productivité de du réacteur en vapeur d'eau :.....	35
II.1.8	Bilan thermique total :.....	35
	Conclusion général :.....	36
	Bibliographique :.....	37

### Introduction général :

L'Oxyde d'éthylène, ou 1,2-époxyéthane, oxyde de diméthylène, oxacyclopropane ou encore oxirane est un composé organique, le plus simple de la classe des époxydes. C'est un éther cyclique toxique pour les organismes vivants [1].

Il est important pour L'industrie chimique, entre autres dans la production d'éthylène glycol, ainsi que dans les industries pharmaceutique et agroalimentaire.

L'histoire de l'Oxyde d'éthylène débute avec celle du développement de la Chimie organique au milieu du XIXe siècle. C'est le chimiste français Charles Wurtz, qui en 1859, prépara l'Oxyde d'éthylène et constata sa très forte réactivité. Celle-ci sera rapidement mise en application dans de nombreuses synthèses importantes (éthylène-glycol, éthers de glycol, détergents, polymères...)[1].

Il prend vraiment une importance aux yeux des industriels durant la Première Guerre mondiale, où il sert à fabriquer l'éthylène glycol (en tant que réfrigérant) et une arme chimique : le gaz moutarde ou Ypérite.

Pendant des décennies, les principaux dangers de l'Oxyde d'éthylène mis en avant, ont été sa très grande inflammabilité et sa facilité à exploser. Sa toxicité aigüe modérée, surtout de par son pouvoir irritant, rend l'Oxyde d'éthylène, en faible concentration, légèrement agressif. Par contre à forte concentration, c'est un irritant pour le tractus respiratoire et c'est de plus un allergisant et un neurotoxique.

En 1931, Théodore Lefort découvre une autre méthode de synthèse, directement à partir d'éthylène et de dioxygène réagissant grâce à un catalyseur à base d'argent. Depuis les années 1940, c'est cette méthode qui sert à produire quasiment tout l'oxyde d'éthylène industriel [1].

Le but de ce travail consiste à réaliser une étude technique de l'unité de production d'oxyde d'éthylène, qui consiste à déterminer le bilan matière de production de l'oxyde d'éthylène ,calcul de bilan thermique de réacteur d'oxydation en tenant compte des données réelles de l'industrie.

# Partie Théorique

---

# **Chapitre I:**

***Généralités***

***De l'oxyde***

***D'éthylène***

---

### I. Généralités de l'oxyde d'éthylène:

L'oxyde d'éthylène est un composé organique de formule  $C_2H_4O$ . C'est un éther cyclique et l'époxyde le plus simple : un cycle à trois chaînons constitué d'un atome d'oxygène et de deux atomes de carbone. L'oxyde d'éthylène est un gaz incolore et inflammable avec une odeur légèrement sucrée. Parce qu'il s'agit d'un cycle tendu, l'oxyde d'éthylène participe facilement à un certain nombre de réactions d'addition qui entraînent l'ouverture du cycle. L'oxyde d'éthylène est isomère avec l'acétaldéhyde et avec l'alcool vinylique. il est produit industriellement par oxydation de l'éthylène en présence de catalyseur à l'argent[1].

#### I.1 Structure moléculaire et propriété de l'oxyde d'éthylène:

Le cycle époxy de l'oxyde d'éthylène est un triangle presque régulier avec des angles de liaison d'environ  $60^\circ$  et une déformation angulaire importante correspondant à l'énergie de 105 kJ/mol[1].

Structure moléculaire est représenté dans la figure 1.1

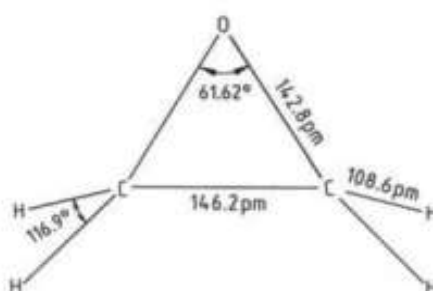


Figure I.1 : La molécule de oxyde éthylène [1]

La relative instabilité des liaisons carbone-oxygène dans la molécule est révélée par la comparaison dans le tableau de l'énergie nécessaire pour rompre deux liaisons C–O dans l'oxyde d'éthylène ou une liaison C–O dans l'éthanol et l'éther diméthylque d'ouverture de cycle.

### I.1.1 Propriétés physiques de l'oxyde éthylène :

Le tableau ci-dessous représente les propriétés physiques de l'oxyde éthylène

**Tableau I.1 :** propriétés physiques de l'oxyde éthylène [1]

Nom Substance	Les valeurs À 25 °C et 1 atm Et 1 ppm = 1,83 mg/m <sup>3</sup>	
Oxyde d'éthylène	Température de fusion	-112 °C
	Température ébullition	10,6 °C
	Solubilité	dans l'eau : miscible
	Densité	0,882
	Température d'auto-inflammation	429 °C
	Point d'éclair	-57 °C
	Moment dipolaire	1,94 D
	Point d'éclair	-57°C(en coupelle fermée)
	Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	Limite inférieure : 3% limite supérieure : 100%

### I.1.2 Propriétés chimiques et thermochimique de l'oxyde d'éthylène :

Les propriétés chimiques et thermochimiques d'oxyde d'éthylène sont représentées dans le tableau ci-dessous

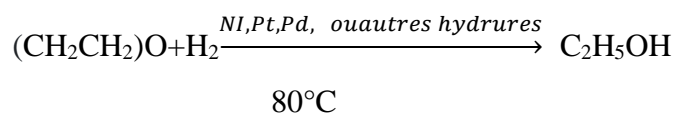
**Tableau I.2 :** propriétés chimiques et thermochimiques de l'oxyde d'éthylène [1].

Les propriétés		Les valeurs à 25 °C et 1 atm Et 1 ppm = 1,83 mg/m <sup>3</sup>
Chimique	Formule	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O
	Masse molaire	44,0526 ± 0,0022 g/mol C 54,53 % H 9,15 % O 36,32 %
	Apparence	gaz comprimé liquéfié incolore, d'odeur caractéristique
Thermochimique	L'entropie molaire standard (état gaz)	243 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
	L'entropie molaire standard (état liquide)	149,45 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
	L enthalpie (état gaz)	-51,08 kJ mol <sup>-1</sup>
	L enthalpie (état liquide)	-96 kJ/mol
	Capacité thermique	86,9 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

L'oxyde d'éthylène réagit facilement avec divers composés avec l'ouverture du cycle Et des réactions plus spécifiques sont décrites ci-dessous.

#### I.1.2.1 Réaction de réduction :

L'oxyde d'éthylène peut être hydrogéné en éthanol en présence d'un catalyseur, tel que le nickel, le platine, le palladium, les boranes , l'hydrure de lithium et d'aluminium et certains autres hydrures .

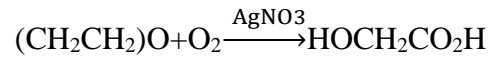




## Chapitre I: Généralités de l'oxyde d'éthylène

### I.1.2.2 Oxydation :

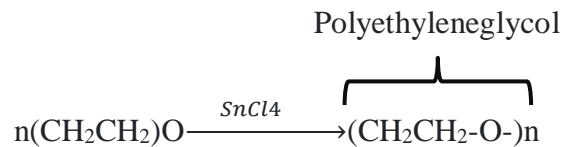
L'oxyde d'éthylène peut en outre être oxydé, selon les conditions, en acide glycolique ou en dioxyde de carbone :



### I.1.2.3 Polymérisation :

L'oxyde d'éthylène liquide peut former des polyéthylèneglycols. La polymérisation peut se dérouler via des mécanismes radicalaires et ioniques, mais seul ce dernier à une large

Application pratique. La polymérisation cationique de l'oxyde d'éthylène est assistée par des acides protiques ( $\text{HClO}_4, \text{HCl}$ ), des acides de Lewis ( $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{BF}_3$ , etc.), des composés organométalliques ou des réactifs plus complexes :



---

# **Chapitre II:**

***Procède***

***D'obtention***

***De l'oxyde***

***De l'éthylène***

---

### II. Procédés d'obtention de l'oxyde de l'éthylène :

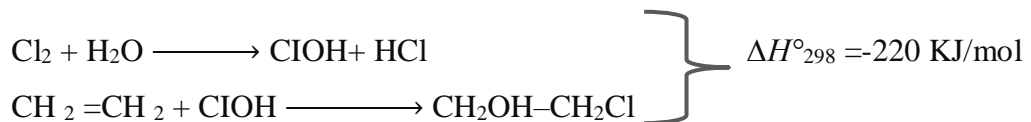
L'oxyde d'éthylène a été synthétisé pour la première fois par Wurtz en 1859, n'a été fabriqué industriellement qu'en 1925 par Union Carbide. Elle connut ensuite un développement considérable et la production américaine, qui était de 7 000 t / an en 1930, dépassa 2 500 000 t / an en 1984 [2].

Deux procédés étaient employés pour fabriquer l'oxyde d'éthylène dans les années 1970:

1. Oxydation indirecte de l'éthylène, avec la chlorhydrine comme intermédiaire.
2. Oxydation directe par l'air ou l'oxygène.

#### II.1 Le procédé indirect d'éthylène (chlorhydrine) :

Cette méthode est aujourd'hui peu utilisée pour synthétiser l'oxyde d'éthylène, mais reste employée pour fabriquer l'oxyde de propylène. Les principales réactions impliquées dans le procédé sont les suivantes :



L'acide hypochloreux ( ClOH ) produit par l'action de la chlore sur l'eau est ajouté à l'éthylène. La chlorhydrine obtenue est ensuite traitée à la chaux pour former de l'oxyde d'éthylène. Malgré un rendement molaire élevé par rapport à l'éthylène ( 80% ) et d'investissement relativement faible, ce procédé présentait des inconvénients majeurs :

- a. Corrosion due à l'utilisation de chlore, entraînant des coûts de maintenance élevés
- b. Coûts d'exploitation élevés, en grande partie dus au prix du chlore.
- c. L'inévitable production de chlorure de calcium largement inutile et, dans une moindre mesure, celle d'un autre sous-produit, le dichlorure de 1,2-éthylène dichlorure

#### II.2 Procédés directe d'oxydation de l'éthylène :

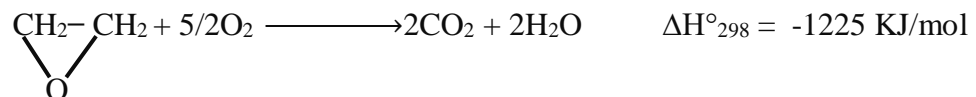
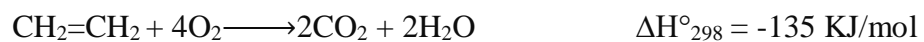
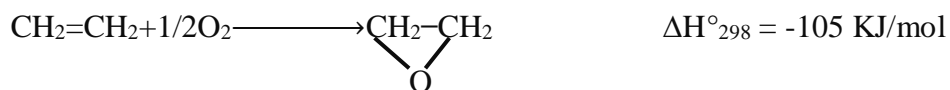
L'oxyde d'éthylène a été fabriqué industriellement pour la première fois par cette voie en 1938 par Union Carbide, qui a acquis les brevets publiés par Lefort en 1931 concernant la synthèse de l'oxyde d'éthylène par oxydation directe. Deux ans plus tard, en 1940

## Chapitre II : Procédés d'obtention de l'oxyde de l'éthylène

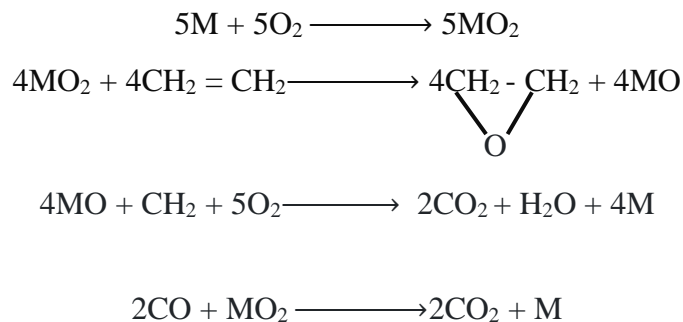
Ce type de procédé représentait 10 % de la capacité totale installée à l'époque aux États-Unis et, depuis 1973, le procédé est utilisé par la quasi-totalité des usines en fonctionnement ou en projet dans le monde.

### II.2.1 Considérations théoriques :

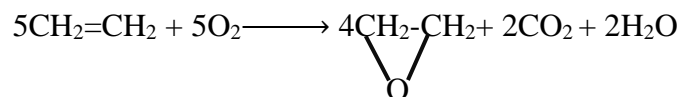
Les principales réactions mises en jeu sont les suivantes :



Toutes ces réactions et notamment les deux dernières, qui correspondent à la combustion complète de l'éthylène et de son oxyde, sont fortement exothermiques et complètes dans les conditions opératoires de la synthèse de l'oxyde d'éthylène. Pour guider la transformation dans le sens de la première réaction, les opérations nécessitent la présence d'un catalyseur métallique. Le catalyseur est généralement considéré comme agissant selon le mécanisme de réaction suivant.



Donnant la réaction globale :



Cette transformation suppose l'adsorption de l'éthylène sur la surface métallique, ainsi que celle de l'oxygène, qui est partiellement ou totalement dissocié en atomes. Il offre également un rendement molaire théorique maximal de 80 %, ce qui peut expliquer l'apparente médiocrité des performances obtenues par les procédés commerciaux.

### II.2.2 Le Mécanisme cinétique du procédé d'oxydation direct :

Formellement, le processus d'oxydation directe est exprimé par l'équation suivante :



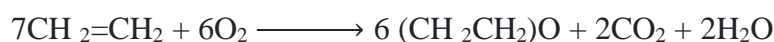
Selon une analyse cinétique de Kilty et Sachtler, les réactions suivantes décrivent la voie menant à l'OE. Dans la première étape, une espèce superoxyde ( $\text{O}_2^-$ ) est formée [3] :



Cette espèce réagit avec l'éthylène :



L'oxyde d'argent résultant oxyde ensuite l'éthylène ou l'oxyde d'éthylène en  $\text{CO}_2$  et en eau. Cette réaction reconstitue le catalyseur d'argent. Ainsi, la réaction globale est exprimée par



Et le degré maximum de conversion de l'éthylène en oxyde d'éthylène est de 85,7%.

Le catalyseur de la réaction est de l'argent métallique déposé sur diverses matrices, notamment de la pierre ponce, du gel de silice, divers silicates et aluminosilicates, de l'alumine et du carbure de silicium, et activé par certains additifs (antimoine, bismuth, peroxyde de baryum, etc.).

La température du processus a été optimisée entre 220 et 280°C. Des températures plus basses réduisent l'activité du catalyseur et des températures plus élevées favorisent l'oxydation complète de l'éthylène, réduisant ainsi le rendement en oxyde d'éthylène.

Une pression élevée de 1 à 3 MPa augmente la productivité du catalyseur et facilite l'absorption de l'oxyde d'éthylène des gaz de réaction.

Alors que l'oxydation par l'air est toujours utilisée, l'oxygène (> 95 % de pureté) est préféré pour plusieurs raisons, telles qu'un rendement molaire plus élevé en oxyde d'éthylène (75 à 82 % pour l'oxygène contre 63 à 75 % pour l'air), une vitesse de réaction plus élevée (pas de dilution gazeuse) et pas besoin de séparer l'azote dans les produits de réaction.

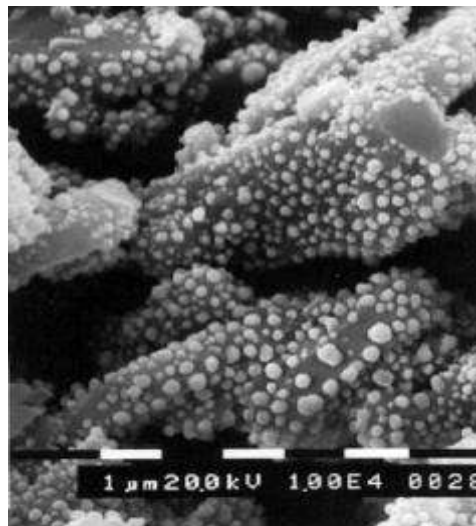
### II.2.3 Catalyseurs :

Tous les systèmes catalytiques industriels actuels sont à base d'argent (Figure II.1) déposé sur un solide peu poreux. Le support le plus largement utilisé est l'alumine, mais la silice-alumine et le carborundum peuvent également être employés.

## Chapitre II : Procèdes d'obtention de l'oxyde de l'éthylène

La surface spécifique du support, sa porosité et la taille des pores exercent une influence considérable sur la répartition des métaux en surface, et par conséquent sur l'activité catalytique. Plusieurs techniques sont également disponibles pour fixer l'argent, soit par imprégnation à partir d'une solution, soit par dépôt à partir d'une suspension.

Un initiateur, généralement constitué de métaux alcalino-terreux ou alcalins, peut être ajouté au catalyseur, mais d'autres ajouts métalliques ont également été recommandés. Certains dérivés organiques halogénés, comme le dichloro propane, peuvent augmenter la sélectivité à l'état de trace (10 ppm dans la charge), en diminuant les réactions secondaires de combustion. Malgré la variété des systèmes catalytiques proposés, aucun d'entre eux n'offre une sélectivité molaire en oxyde d'éthylène meilleure que 70 %, avec un dégagement de chaleur à raison de 500 kJ/mol d'éthylène converti [3].



**Figure II.1 :** Catalyseur d'argent pour la production d'oxyde éthylène (Sem x10000)[3].

### II.2.4 Matières premières :

Le degré de pureté de la charge d'éthylène n'impose pas de contraintes particulières, tant que les teneurs en acétylène, soufre et monoxyde de carbone ne dépassent pas 2 ppm chacune. L'éthylène produit actuellement par vapocraquage donne parfaitement satisfaction. L'air ou l'oxygène peuvent être utilisés comme agent oxydant, mais il semble que des avantages économiques peuvent être obtenus en utilisant de l'oxygène pur, évitant ainsi une perte de matière trop élevée dans les gaz de dégagement, de sorte que presque toutes les installations modernes utilisent de l'oxygène pure [2].

### II.2.5 Conditions opératoires :

La température doit être maintenue entre 260 et 290°C pour obtenir le rendement optimal. Cette valeur ne doit pas être dépassée pour éviter les réactions de combustion, qui sont de loin les plus exothermiques. Des températures supérieures de 20 à 40°C sont enregistrées à la surface du catalyseur.

Bien que les calculs thermodynamiques montrent que la pression n'a pas d'effet sur la conversion aux températures de réaction, on opère sous 1 à 3.10 Pa absolus pour faciliter l'absorption ultérieure de l'oxyde d'éthylène dans l'eau.

Le rendement par passe atteint un maximum avec un temps de séjour accru, mais, pour maintenir une sélectivité élevée, celui-ci est limité entre 1 et 4 s dans les installations industrielles. Le taux d'oxydation de l'éthylène est proportionnel à la concentration en oxygène. Cela signifie que le rapport air/éthylène a une influence prédominante sur la conversion et le rendement.

Pour des raisons pratiques, cependant, la concentration optimale d'éthylène est déterminée par les limites d'inflammabilité des mélanges avec de l'oxygène ou de l'air, et par la perte d'oléfines dans les gaz de dégagement.

Ainsi, dans des conditions ambiantes, le mélange air/éthylène présente une plage d'auto-inflammation comprise entre 2 et 28,6 % en volume d'éthylène.

La limite inférieure est sensiblement la même lorsque la température augmente, tandis que la limite supérieure est augmentée.

Pour les mélanges d'air et d'oxyde d'éthylène, la limite inférieure est de 2,5 à 3 % en volume d'oxyde et la limite supérieure est proche de 100 %. Pour rester en dessous de 3 % volume dans les deux cas, il est nécessaire d'utiliser des diluants inertes.

La présence de dioxyde de carbone, qui peut également résulter du recyclage des produits des réactions de combustion, peut contribuer à réduire l'inflammabilité zone.

On utilise de plus en plus des procédés utilisant de l'oxygène avec une retenue de méthane, dont la capacité calorifique et la conductivité thermique sont supérieures à celles de l'azote [2].

### II.3 Fabrication industrielle de l'oxyde éthylène :

En règle générale, les installations industrielles fonctionnent avec un catalyseur à base d'argent dans un lit fixe que nous recyclons de l'éthylène non converti. Ils comprennent deux sections principales, la thèse de l'oxyde d'éthylène et la purification. Les premiers procédés utilisaient l'air comme oxydant (Distillers, IG Farben, Science Design, Union Carbide). Les usines modernes sont presque toutes alimentées en oxygène (Chemische Werke-Hüls, Japan Catalytique. Scientifique Design second version, Shell, ). La principale préoccupation de toutes ces installations est l'évacuation efficace de la chaleur produite lors de la réaction. Ceci est réalisé par un fonctionnement avec un faible taux de conversion d'éthylène, un recyclage de produit froid et un refroidissement externe du lit de catalyseur [2].

#### II.3.1 Schémas industriels :

Le mélange d'alimentation (éthylène, oxygène et inertes) est introduit dans une série de réacteurs tubulaires montés en parallèle, après avoir été préchauffé par échange thermique avec les gaz de sortie. Les tubes, dont plusieurs milliers peuvent exister par virole, sont en acier inoxydable.

Ils varient de 12 à 50 mm de diamètre intérieur et mesurent jusqu'à 12 m de long. Le kérosène ou la tétraline circule autour d'eux et évacue la chaleur dégagée par la réaction. La condensation des vapeurs de ce fluide caloporteur dans une chaudière externe permet d'exploiter au maximum la chaleur récupérée par la production de vapeur.

La sortie gazeuse du réacteur est refroidie dans des échangeurs de chaleur et subit un traitement à contre-courant dans des colonnes d'absorption à l'eau déminéralisée, remplies d'anneaux de Raschig et fonctionnant sous pression. Une grande partie du gaz sortant en tête de la colonne d'absorption et contenant de l'éthylène non converti est recyclé. La purge continue sert à empêcher l'accumulation de gaz inertes (principalement du dioxyde de carbone).

La solution aqueuse riche en oxyde d'éthylène est envoyée en purification. Il traverse une colonne d'épuisement, qui opère sous vide et sépare l'oxyde d'éthylène en tête. L'effluent aqueux sortant en pied est recyclé vers l'étape d'absorption. Il peut être traité dans une unité auxiliaire pour récupérer le glycol qu'il contient.

L'effluent de tête qui contient, outre du gaz carbonique, des traces d'acétaldéhyde et d'hydrocarbures, est envoyé vers deux colonnes de distillation en série, l'une pour la déshydratation (20 plateaux), et la seconde pour l'épuration (50 plateaux). Ces colonnes



## Chapitre II : Procédés d'obtention de l'oxyde de l'éthylène

produisent de l'oxyde d'éthylène de haute pureté avec une très faible teneur en acétaldéhyde. Le produit est stocké sous forme liquide dans des réservoirs sous pression d'azote [2].

Les principaux processus Procédé Shell et Processus de conception scientifique présentent les caractéristiques suivantes :

### II.3.2 Procédé Shell:

Dans cette technique commercialisée depuis 1958, les matières premières sont de l'oxygène à une pureté de 95 à 100 % volume et de l'éthylène qui peut contenir jusqu'à 10 % volume de méthane. Il représente environ 35 % de toutes les installations en service aujourd'hui. Le rapport molaire entre ces deux composants peut varier de 7 à 1, et les gaz d'alimentation contiennent de 10 à 40 % d'éthylène.

Cette forte teneur en oléfine produit un mélange réactionnel toujours au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité dans les conditions opératoires. La température est d'environ 250 à 270°C, et la pression de fonctionnement d'environ  $1.2 \times 10^6$  Pa absolu.

La sélectivité molaire atteint 72 % avec un taux de conversion à passage unique de 18 % et le rendement total est d'environ 65 % molaire. La présence d'un modérateur (dichlorure d'éthylène ajouté à hauteur de 5 ppm dans la charge) permet d'atteindre ces performances. Les réacteurs sont alimentés par un mélange d'éthylène, d'oxygène et de gaz de recyclage jouant le rôle de diluants.

Le flux de recirculation est dissous dans une solution de carbonate de potassium pour réduire la teneur en dioxyde de carbone. Dans ce procédé, caractérisé par une circulation en circuit fermé des gaz inertes, la purge et donc les pertes d'éthylène (0,5 % de la quantité introduite) sont minimales [2].

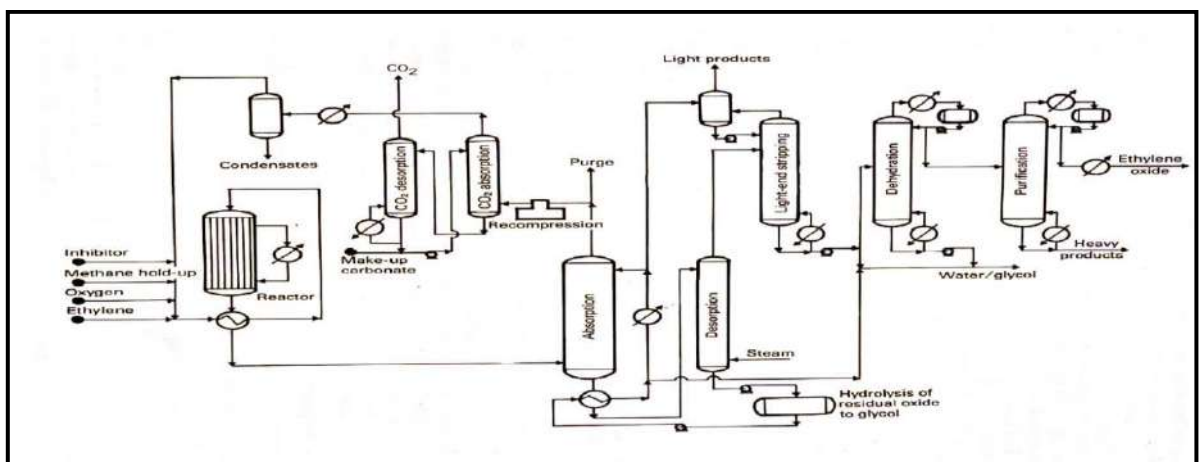


Figure.II.2 : La production de l'oxyde éthylène par l'oxydation de l'oxygène. Shell  
procès [2].

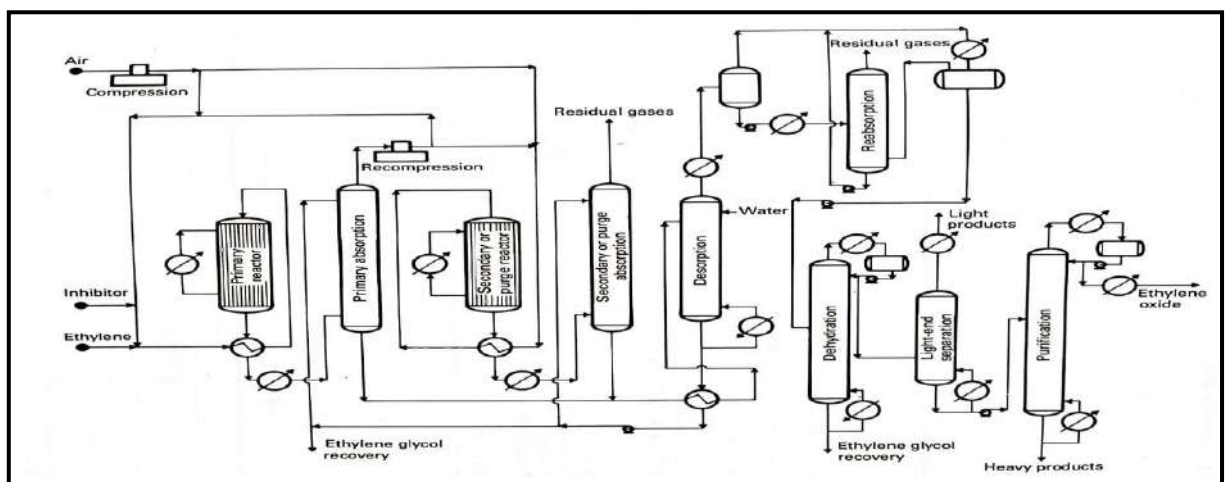
### II.3.3 Processus de conception scientifique :

La nécessité d'opérer en présence de diluants suggère l'utilisation de l'air comme oxydant. Cependant, après l'étape de réaction, cette méthode nécessite d'évacuer tous les inerts introduits dans une purge, entraînant une perte importante d'éthylène non converti (4 à 4,5%). Pour réduire ce gaspillage inutile de matière première, Scientific Design, dont la première unité est mise en service en 1953, réalise l'oxydation dans deux séries de réacteurs, les réacteurs étant placés en parallèle dans chacun d'eux. La première série est alimentée avec un mélange d'air et d'éthylène dans un rapport molaire de 10/1, et avec des Recyclage des gaz qui réduisent le rapport de l'air au C, H, plus les inerts dans le gaz d'alimentation à 7 à 8/1.

Ces réacteurs fonctionnent à faible taux de conversion (25 à 30 %) et donc avec une sélectivité molaire élevée (70 %). La sortie, qui contient jusqu'à 2 % en volume d'oxyde et 2 à 3 % d'éthylène, est refroidie à 40 °C par échange de chaleur avec les gaz de recyclage. Après passage dans l'absorbeur primaire, 60 % de la sortie du réacteur sont recyclés.

Le reste, auquel on ajoute de l'air pour amener le rapport air sur éthylène à 8/1, est envoyé vers la deuxième série de réacteurs, dite série de purge, qui fonctionnent à un taux de conversion élevé (75 à 80 %) et une faible sélectivité molaire (50 %).

Un deuxième absorbeur est utilisé pour extraire l'oxyde d'éthylène avec de l'eau. Les températures du réacteur vont de 200 à 315°C et la pression de 0,85 à 1,2x10<sup>6</sup> Pa absolu. Le rendement molaire total est de 60 à 65 %. Scientific Design propose également une autre version de son procédé utilisant de l'oxygène, qui s'apparente à la Ces deux systèmes représentent 55 % de toutes les unités actuellement en service aujourd'hui [2].



**Figure.II.3 :** La production de l'oxyde éthylène par l'oxydation de l'air. Scientific Design process[2].

---

# **Chapitre III:**

***Domaine***

***D'utilisation de***

***L'oxyde d'éthylène***

---

### III. Domaine d'utilisation de l'oxyde d'éthylène:

#### III.1 Application :

L'oxyde d'éthylène est l'une des matières premières les plus importantes utilisées dans la production chimique à grande échelle. La majeure partie de l'oxyde d'éthylène est utilisée pour la synthèse d'éthylène glycols, dont le diéthylène glycol et le triéthylène glycol, qui représentent jusqu'à 75 % de la consommation mondiale. D'autres produits importants comprennent les éthers d'éthylène glycol, les éthanolamines et les éthoxylates. Parmi les glycols, l'éthylène glycol est utilisé comme antigel, dans la production de polyester et de polyéthylène téréphtalate (PET – matière première pour bouteilles en plastique), de liquides de refroidissement et de solvants. Le tableau I.3 représente l'utilisation par des secteurs industrielle mondiale d'oxyde d'éthylène[4].

**Tableau III.1 :** représenter utilisation par des secteurs industrielle mondiale d'oxyde d'éthylène en 2009[4].

Secteur	Part de demande (%)
Agrochimie	7
Produits chimiques pour champs pétrolières	dix
Détergents	25
Textile	35
Soins personnels	dix
Médicaments	8
Autres	5
Total de l'Ans 2009	5,2 Mt

Les polyéthylène glycols sont utilisés dans les parfums, les cosmétiques, les produits pharmaceutiques, les lubrifiants, les diluants pour peinture et les plastifiants. Les éthers d'éthylène glycol font partie des liquides de frein, des détergents, des solvants, des laques et des peintures. Autres produits d'oxyde d'éthylène.

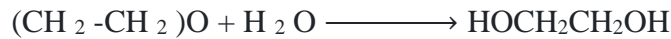
Les éthanolamines sont utilisées dans la fabrication de savons et de détergents et pour la purification du gaz naturel. Les éthoxylates sont des produits de réaction de l'oxyde d'éthylène avec des alcools supérieurs, des acides ou des amines. Ils sont utilisés dans la fabrication de détergents, de tensioactifs, d'émulsifiants et de dispersants.

Alors que la synthèse d'éthylène glycols est l'application majeure de l'oxyde d'éthylène, son pourcentage varie fortement selon les régions : de 44% en Europe occidentale, 63% au Japon et 73% en Amérique du Nord à 90% dans le reste de l'Asie et 99 % en Afrique [4].

### III.1.1 L'échelle industrielle :

#### III.1.1.1 Production d'éthylène glycol :

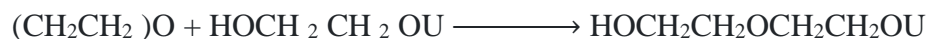
L'éthylène glycol est produit industriellement par hydratation non catalytique d'oxyde d'éthylène à une température de 200 °C et une pression de 1,5 à 2 MPa



Les sous-produits de la réaction sont le diéthylèneglycol, le triéthylèneglycol et des polyglycols avec un total d'environ 10 %, qui sont séparés de l'éthylèneglycol par distillation sous pression réduite [4].

#### III.1.1.2 Production d'éthers de glycol :

Les principaux esters industriels de mono-, di- et triéthylène glycols sont les éthers de méthyle, d'éthyle et de butyle normal, ainsi que leurs acétates et phtalates. La synthèse implique la réaction de l'alcool approprié avec de l'oxyde d'éthylène :



La réaction des monoesters avec un acide ou son anhydride conduit à la formation des esters :



#### III.1.1.3 Production d'éthanolamines:

Dans l'industrie, les éthanolamines (mono-, di- et triéthanolamines) sont produites en faisant réagir de l'ammoniac et de l'oxyde d'éthylène en milieu anhydre à une température de 40 à 70 °C et à une pression de 1,5 à 3,5 MPa :

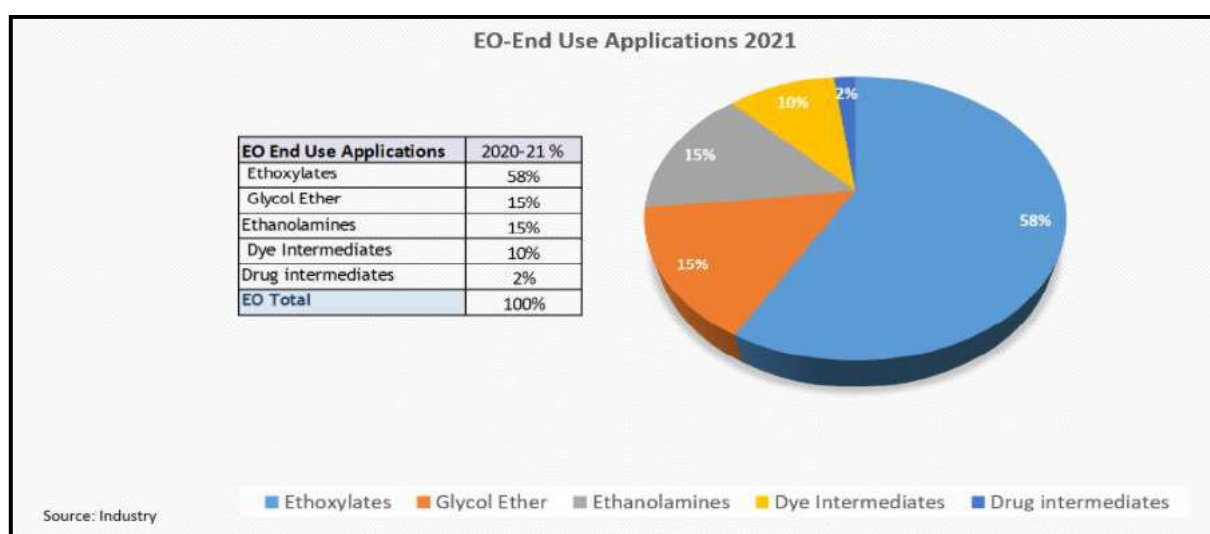


Les trois éthanolamines sont produites dans le processus, tandis que l'ammoniac et une partie de la méthylamine sont recyclés. Les produits finaux sont séparés par distillation

Sous vide [4].

### III.1.1.4 Production d'éthoxylates :

La production industrielle d'éthoxylates est réalisée par une réaction directe d'alcools supérieurs, d'acides ou d'amines avec de l'oxyde d'éthylène en présence d'un catalyseur alcalin à une température de 120 à 180 °C (250 à 360 °F). Les usines modernes produisant des éthoxylates sont généralement basées sur la technologie des réacteurs BUSS LOOP, qui est basée sur un processus continu en trois étapes. Dans la première étape, l'initiateur ou le catalyseur de la réaction et la charge d'alimentation sont introduits dans le conteneur, où ils sont mélangés, chauffés et séchés sous vide. Ensuite, la réaction est effectuée dans un réacteur isolé spécial dans une atmosphère inerte (azote) pour éviter une éventuelle explosion d'oxyde d'éthylène. Enfin, le mélange réactionnel est neutralisé, dégazé et purifié [4].



**Figure.III.1 :**L'oxyde éthylène applications en l'an 2021[4].

### III.1.2 L'échelle non industrielle :

#### III.1.2.1 Stérilisant de santé :

L'oxyde d'éthylène est l'une des méthodes de stérilisation les plus couramment utilisées dans l'industrie de la santé en raison de ses effets non dommageables pour les instruments et appareils délicats qui nécessitent une stérilisation, et pour sa large gamme de compatibilité matérielle. Il est utilisé pour les instruments qui ne tolèrent pas la chaleur, l'humidité ou les produits chimiques abrasifs, tels que l'électronique, l'équipement optique, le papier, le caoutchouc et les plastiques. Il a été développé dans les années 1940 comme stérilisant par l'armée américaine, et son utilisation comme stérilisant médical remonte à la fin des années 1950, lorsque le procédé McDonald a été breveté pour les dispositifs médicaux. Le système

## Chapitre III : Domaine d'utilisation de l'oxyde d'éthylène

Anprolene a été breveté dans les années 1960 par Andersen Product, et il reste le système le plus couramment utilisé dans plusieurs marchés de niche, notamment le marché vétérinaire et certains marchés internationaux. Elle repose sur l'utilisation d'une chambre de stérilisation flexible et d'une cartouche Et pour la stérilisation de petits volumes, et lorsque des considérations environnementales et/ou de portabilité imposent l'utilisation d'un faible dose. On parle donc deux méthode de "stérilisation en chambre flexible" ou de méthode de "stérilisation par diffusion gazeuse"[4].



**Figure.III.2** : Stérilisateur à l'oxyde d'éthylène (OE)[4].

### III.1.2.2 Utilisations de niche :

L'oxyde d'éthylène est utilisé comme fongicide et comme accélérateur de maturation des feuilles de tabac. L'oxyde d'éthylène est également utilisé comme composant principal des armes thermo barriques (explosifs air-carburant).

L'éthylène est utilisé dans la synthèse du 2-butoxyéthanol, qui est un solvant utilisé dans de nombreux produits.

# **Partie**

# **Calcul**



---

# **Chapitre I:**

***Bilan matière***

***De***

***L'oxyde d'éthylène***

---

**I. Bilan matière de l'oxyde d'éthylène :**

**I.1 Les données techniques du procédé d'oxydation d'éthylène :**

Les données techniques sont représentées dans **le tableau (.I.1)** .

**Tableau.I.1 :** Les données du procédé d'oxydation d'éthylène [5].

Les données techniques		
Capacité de production	150000 t/an	
Volume horaire	8000 h/an	
Taux de conversion	42%	
Sélectivité	60%	
Quantité des gaz de purge D'oxyde d'éthylène	7000 m <sup>3</sup> /t	
L'accès (O <sub>2</sub> )	24,40%	
Composition O <sub>2</sub> et N <sub>2</sub> dans l'air	21% O <sub>2</sub> et N <sub>2</sub> 79%	
Composition des gaz de purge % :	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,4
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	0,016
	CO <sub>2</sub>	7,9
	N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>	89,6840
Pression : (Mpa)	Dans le réacteur 0,016	
Température : °C	A l'entrée du réacteur	220
	A la sortie du réacteur	265 °

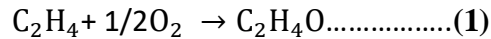
**I.2 Calcul du bilan matière de l'oxyde d'éthylène :**

**I.2.1 Les étapes de calcul du bilan de matière :**

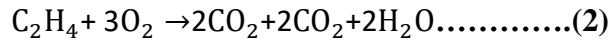
1. déterminer la composition du mélange air-gaz selon les réactions 1 et 2.
2. calcul du débit d'air et d'éthylène frais et du gaz de recyclage.
3. déterminer la composition du mélange air-gaz à l'entrée du réacteur et la composition du gaz de contact.
4. établir un bilan matière du stage d'obtention de l'oxyde d'éthylène.

**I.2.2 Détermination de la composition du mélange air-gaz selon les réactions 1 et 2 :**

**A. la réaction principale :**



**B. La réaction secondaire :**



**I.2.2.1 Capacité horaire de production de l'oxyde d'éthylène :**

$$G_{OE} = \frac{150000 \times 10^3}{8000} = 18750 \text{ Kg/h}$$

$$V_{OE} = \frac{18750 \times 22,4}{44} = 9545,45 \text{ m}^3/\text{h}$$

**I.2.2.2 Détermination de la composition du gaz-air selon les réactions principales et secondaires :**

**a. Selon la réaction principale :**

- Débit d'éthylène :

$$G_{Eth} = \frac{V_{ox} \times M_{et}}{22,4} = \frac{9545,45 \times 28}{22,4} = 11931,8 \text{ kg/h}$$

- Débit d'oxygène :

$$V_{O_2} = 1/2 V_{eth} = 4772,72 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$G_{O_2} = \frac{V_{ox} \times 32}{22,4} = 6818,17 \text{ kg/h}$$

- En tenant compte de la sélectivité :

$$G_{Eth} = \frac{11931,82}{0,6} = 19886,36 \text{ kg/h}$$

**b. Selon la réaction secondaire :**

- Quantité d'éthylène :

$$G_{Eth} = 19886,36 - 11931,82 = 7954,54 \text{ kg/h}$$

$$V_{Eth} = \frac{7954 \times 22,4}{28} = 6363,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Quantité d'oxygène :**

$$VO_2 = 3.V_{Eth} = 3 \times 6363,63 = 19090,89 \text{ m}^3/h$$

$$GO_2 = 27272,7 \text{ kg/h}$$

- **Quantité de  $CO_2$  et  $H_2O$  formés :**

$$VCO_2 = VH_2O = 2.V_{Eth} = 2 \times 6363,63 = 12727,26 \text{ m}^3/h$$

$$GH_2O = 10227,26 \text{ kg/h}$$

$$GCO_2 = 24999,97 \text{ kg/h}$$

- **Débit d'éthylène en tenant compte du taux de conversion :**

$$G''_{Eth} = \frac{G'_{Eth}}{0,42} = \frac{19886,36}{0,42} = 47348,48 \text{ kg/h}$$

Pour déterminer le débit d'éthylène frais et d'oxygène on doit calculer la quantité des gaz de purge ainsi que leur composition.

- **Quantité d'oxygène total réagit :**

$$V_{tot(O_2)} = 19000,89 + 4772,72 = 23863,61 \text{ m}^3/h$$

### I.2.2.3 Calcul débit d'air introduit, on tient compte à l'excès d'air 24% :

- **Pour l'oxygène :**

$$L'excès (O_2) = 0,24 \times 23863,61 = 5823,56$$

$$V_{O_2} = 23863,61 + 5823,56 = 29687,17 \text{ m}^3/h$$

$$GO_2 = 42410,24 \text{ kg/h}$$

- **Pour l'azote :**

$$G_{N_2} = 139604,06 \text{ kg/h} \quad V_{N_2} = 111683,25 \text{ m}^3/h$$

- **Quantité d'air :**

$$V_{air} = 29687,17 + 111683,25 = 141370,42 \text{ m}^3/h$$

$$G_{air} = 182014,3 \text{ kg/h}$$

- Fraction volumique de la vapeur d'eau dans l'air :

$$y_{H_2O} = \frac{0,00323 \times 100}{1,20} = 0,269\%$$

- Ou 0,00323 pression partielle de la vapeur a 25°C (Mpa) 1,20 pression de l'air à l'entrée (Mpa) :
- Quantité de la vapeur dans l'air :

$$V_{va} = V_{O_2} \times y_{H_2O} / 100 - y_{H_2O}$$

$$V_{va} = 381,312 \text{ m}^3/\text{h}, G_{ve} = 306,41 \text{ kg}/\text{h}.$$

#### I.2.2.4 Quantité des gaz de purge :

$$Q_{qp} = \frac{V \times G_{ox}}{100} = \frac{7000 \times 18 \times 750}{1000} = 13125000 \text{ m}^3/\text{h}$$

La teneur en vapeur d'eau dans les gaz de purge est déterminée selon les paramètres d'absorptions a la pression de 0,8 MPa et a 10°C de température, la teneur volumique de la vapeur d'eau dans les gaz d'absorption (et dans les gaz de purge) est :

$$y \% Ve = 100 \cdot Pi / Pa$$

$Pi$  : Pression partielle de la Ve a 10°C = 0,00125 Mpa

$$y \% Ve = 100 \cdot 0,00125 / 0,8 = 0,156 \%$$

La Fraction volumique de L'  $O_2$  et  $N_2$  dans les gaz de purges

$$y\% = 100(0,016 + 2,4 + 7,9 + 0,156) = 89,53 \%$$

Les teneurs volumique de l'oxygène et de l'azote sont trouvée en fonction de la composition de l'air atmosphérique sec et le débit des constituants entrant dans le procédé d'obtention de l'oxyde d'éthylène

#### I.2.2.5 Détermination des débits d'éthylène frais d'air et des gaz recyclage :

- Débit totale d'air frais :

$$V_{airfrais} = V_{ve} + V_{airsec} = 381,312 + 141370,42 = 141751.732 \text{ m}^3/\text{h}$$

## Chapitre I: Bilan matière de l'oxyde d'éthylène

- **Débit d'éthylène frais :**

Il doit compenser la consommation selon les 2 réactions et les pertes d'entraînement par les gaz de purge

$$V_{eth} = 19886,36 + 3937,5 = 23823,86 \text{ Kg/h} = 19059,08 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Débit des gaz de recyclage :**

Considérons 2.4% d'éthylène purgé

$$V_{gr} \cdot Y_{et} = V_t - V_{eth}$$

$$V_{gr} = (34584,97 - 19059,08) / 0,024 = 64,6911 \text{ m}^3/\text{h}$$

La quantité d'azote contenu dans l'air frais et passant avec les gaz de purge ( $V_{gp} \cdot Y_{N2}$ ) pour le rapport volumique  $N_2/O_2$  :

$$79 / 21 : V_{gp} \cdot Y_{N2} / (V_{O2} + V_{gp} \cdot Y_{O2}) = 79 / 21$$

$$Y_{N2} = \frac{79 (23863,61 + 131,250,00) \cdot Y_{O2}}{21 \cdot 131250,00}$$

$$Y_{N2} = 0,683982 + 3,761904 \cdot Y_{O2}$$

$$Y_{N2} = 0,89528 - 1 Y_{O2}$$

$$Y_{O2} = \frac{0,89528 - 0,683982}{4,761904} = 0,04437 \text{ Ou } 4,437\%$$

$$Y_{N2} = 0,85092 = 85,092\%$$

## Chapitre I: Bilan matière de l'oxyde d'éthylène

- La composition du gaz de purge est représentée dans **le tableau (I.2)** .

Tableau I.2 : composition des gaz de purge

Constit	Masse molaire Mi	Fraction molaire Yi %	Débit volumique Vi m <sup>3</sup> /h	Débit massique Gi Kg/h	Fraction massique Xi %
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	2,4	3150	3937,5	2,283
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44	0,016	21	41,25	0,024
N <sub>2</sub>	28	85,092	11168,25	139604,06	80,960
O <sub>2</sub>	32	4,437	5823,56	8319,37	4,827
CO <sub>2</sub>	44	7,9	10368,75	20367,18	11,81
HO <sub>2</sub>	18	0,156	204,75	164,52	0,095
£	–	100,0	131250,0	172433,82	100,0

La composition du gaz de recyclage est représentée dans **le tableau (I.3)**

Tableau I.3:Composition des gaz de recyclage

Constit	Fraction molaire Yi %	Débit volumique Vi m <sup>3</sup> /h	Débit massique Gi Kg/h	Fraction massique Xi %
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,4	15525,88	19407,35	2,283
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	00,016	103,506	203,315	0,0239
N <sub>2</sub>	85,09	550457,21	688071,512	80,95
O <sub>2</sub>	4,44	28722,88	41032,7	4,827
CO <sub>2</sub>	7,9	51106,03	100386,84	11,81
H <sub>2</sub> O	0 ,156	1009,18	810,95	0,95
£	100,0	646911,75	849912,66	100,0

### I.2.2.6 Composition d'un mélange gaz-air à l'entrée du réacteur ;

- **Composition du gaz de contact :**

**Reste d'éthylène dans le gaz de contact :**

$$G_{\text{eth}} = 43231,22 - 19886,36 = 23344,86 \text{ Kg/h}$$

$$V_{\text{eth}} = 18342,39 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Débit d'oxygène suivant les réactions 1et2 :**

$$\beta O_2 = 4772,72 + 19090,89 = 23863,61 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\beta O_2 = 34090,87 \text{ Kg/h}$$

- **Débit des constituants du gaz de contact :**

$$\mu O_2 = VO_2 - BO_2 = 58410,05 - 23863,61 = 34546,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mu O_2 = 493552,057 \text{ Kg/h}$$

$$\mu C_2H_4O = 103,506 + 9545,45 = 9648,956 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mu C_2H_4O = 18953,3 \text{ Kg/h}$$

$$\mu CO_2 = 51106,03 + 12727,26 = 36833,29 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mu CO_2 = 125386,82 \text{ Kg/h}$$

$$\mu \text{ve} = 1555,012 + 12727,26 = 14282,27 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mu \text{ve} = 11476,82 \text{ Kg/h}$$



## Chapitre I: Bilan matière de l'oxyde d'éthylène

- Les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau (I.4)** .

**Tableau I.4:** composition du mélange gaz-air à l'entrée de réacteur

Constit	Fraction Molaire $Y_i$ %	Débit volumique $V_i$ $m^3/h$	Débit massique $G_i$ $Kg/h$	Fraction massique $X_i$ %
$C_2H_4$	5,294	43231,22	54039,025	5,0645
$C_2H_4O$	0,01267	103,506	203,315	0,019055
$N_2$	81,0904	662140,46	827675,575	77,5705
$O_2$	7,1533	58410,05	83442,9	7,82035
$CO_2$	6,2588	51106,03	100386,84	9,40835
$H_2O$	0,19043	1555,012	12495,63	1,1711
£	100	816546,278	1066997,22	100

- Les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau (I.5)**

**Tableau I.5:** composition du gaz de contact

Constit	Fraction molaire $Y_i$ %	Débit volumique $V_i$ $m^3/h$	Débit massique $G_i$ $Kg/h$	Fraction Massique $X_i$ %
$C_2H_4$	2,285	18342,39	22927,9875	2,17932
$C_2H_4O$	0,98353	9648,956	18953,3064	1,795
$N_2$	85,6631	662140,46	827675,575	78,395
$O_2$	3,52135	34546,44	49352,057	5,6745
$CO_2$	6,5066	63833,29	125386,82	11,8763
$H_2O$	1,456	14282,27	11476,82	1,087054
£	100	802793,806	1055772,566	100

---

# **Chapitre II:**

***Bilan***

***Thermique***

***De l'oxyde***

***D'éthylène***

---

### II. Bilan thermique de l'oxyde d'éthylène:

#### II.1. Les données techniques du réacteur d'oxydation :

Les données techniques du réacteur sont présentées dans le **tableau II.1**

**Tableau II.1** :Les données techniques du réacteur d'oxydation [5].

Les données techniques du réacteur d'oxydation	
A l'entrée : mélange gazeux = $816546,278 / 4 \cdot 3600 = 56,7046 \text{ m}^3 / \text{s}$	
A la sortie du gaz de contact = $802793,806 / 4 \cdot 3600 = 55,75 \text{ m}^3 / \text{s}$	
Température à l'entrée	220 °C
Température de la sortie	265 °C

#### II.1 But du calcul :

La réaction d'oxydation est une réaction fortement exothermique qui n'nécessité l'élimination de la chaleur pour maintenir la température de réaction.

La chaleur excès est récupérée en produisant de la vapeur d'eau.

Détermination de la charge thermique et de la productivité de la vapeur d'eau

Equation de bilan thermique :  $Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_p$

- $Q_1$  quantité de chaleur fournie par le mélange gaz air (kw)
- $Q_2$  quantité de chaleur fournie par la réaction (kw)
- $Q_3$  quantité de chaleur fournie par des gaz de contact (kw)
- $Q_4$  quantité de chaleur fournie par le condensant (kw)
- $Q_p$  quantité de chaleur perte (kw)

#### II.1.1 Quantité de chaleur fournie par le mélange gaz air

La quantité de chaleur est déterminée à la température de réaction 220°C

$$Q_1 = G_1 \cdot C_p \cdot T_1 = 56,7046 \cdot 1,4059 \cdot 220 = 18037,62 \text{ Kw}$$

## Chapitre II: Bilan thermique de l'oxyde d'éthylène

### II.1.2 Quantité de chaleur fournie par le gaz de contact :

La quantité de chaleur est déterminée à la température 220°C de sortie de réacteur

$$Q_3 = G_3 \cdot C_p \cdot T_3 = 55,75 \cdot 1,4708 \cdot 265 = 2179,2315 \text{ Kw}$$

Le calcul des valeurs moyennes des chaleurs spécifiques du mélange gaz- vapeur a

$T_1 = 220 + 273 = 493 \text{ K}$  et du gaz de contact  $T_2 = 265 + 273 = 538 \text{ K}$  sont représentées dans le **tableau II.2**.

**Tableau (II.2) :** calcul moyennes des chaleurs spécifiques

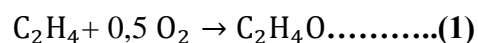
Constit	Fraction Molaire $Y_i$ %	T=220 + 273 =493 K		Fraction Molaire $Y_i$ %	T= 265 + 273 =583 K	
		$C_p$	$C_p Y_i$		$C_p$	$C_p Y_i$
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5,294	62,26	0,14714	2,28482	65,99	0,06731
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	0,01267	74,06	0,00042	1,202	79,22	0,04251
N <sub>2</sub>	81,0904	29,98	1,085	82,48	30,18	1,1113
O <sub>2</sub>	7,1533	31,58	0,10089	4,3033	31,98	0,06144
CO <sub>2</sub>	6,2588	45,09	0,126	7,9514	46,05	0,16346
H <sub>2</sub> O	0,19043	35,4	0,003	1,78	35,85	0,0285
$\Sigma$	100	/	1,4459	100	/	1,4708

### II.1.3 Quantité de chaleur fournie par la réaction

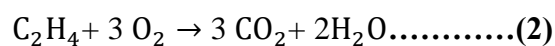
$Q_2$  détermine chaleur du a l'exothermique de la réaction d'après l'équation :

**Détermination de  $Q_2$  a partir des réactions 1 et 2 :**

$$H^\circ_{298} = H^\circ_{298} (fin) - H^\circ_{298} (ini)$$



$$-52,63 - 52,30 = - 104,90 \text{ Kj/mol}$$



## Chapitre II: Bilan thermique de l'oxyde d'éthylène

$$2(-393,53) + (-241,81) - 52,30 = 1322,94 \text{ Kj/mol}$$

$$Q_2 = [100/(4 \cdot 3600 \cdot 22,4)](9545,45 \cdot 104,90 + 6363,63 \cdot 1322,94)$$

$$Q_2 = 29203,926 \text{ Kw}$$

### II.1.4 Pertes de chaleur $Q_p$ :

Les pertes sont estimées à 3% de la chaleur thermique total :

$$Q_p = 0,03 \cdot 47241,546 = 1417,2464 \text{ Km}$$

### II.1.5 La charge thermique totale à l'entrée réacteur :

$$Q_{entree} = Q_1 + Q_2 = 18037,62 + 29203,926 = 47241,54 \text{ Kw}$$

### II.1.6 La charge thermique emportée par le condensat :

L'excès de chaleur due à l'exothermique de réaction est récupère par l'eau condensé

$$Q_4 = Q_{entree} - Q_3 - Q_{perte} = 47241,1462179,2315 - 1417,2464$$

$$Q_4 = 24095,0681 \text{ Kw}$$

### II.1.7 Productivité de du réacteur en vapeur d'eau :

$$G_{ve} = 24095068,1 / 1855000 = 12,9825 \text{ kg/s}$$

$$G_{ve} = 12,9825 \cdot 10^{-3} \text{ t} \cdot 3600 = 46,76132 \text{ t/h}$$

1855000 – chaleur d'évaporation à  $p = 2,4 \text{ MPa}$

### II.1.8 Bilan thermique total :

Le bilan thermique total du réacteur est représenté dans le tableau II.3

**Tableau (II.3) : Bilan thermique**

Entrée	Kw	%	sortie	kw	%
$Q_1$	18037,62	38,1817	$Q_3$	21729,2315	45,996
$Q_2$	29203,926	61,82	$Q_4$	24095,0681	51,004
$\Sigma$	47241,546	100	$Q_p$	1417,2464	3,00
			$\Sigma$	47241,546	100

### Conclusion générale :

L'oxyde d'éthylène s'obtient industriellement à partir de deux procédés : la chlorhydrène et le procédé direct (oxydation de l'éthylène en présence de l'oxygène) ce dernier a connu un essor considérable dans l'application industrielle.

A la base des données techniques disponibles, l'équation principale et secondaire et selon les résultats des tableaux qui composent le bilan de matière, Nous avons pu déterminer le débit massique d'éthylène et d'air ( $N_2, O_2, H_2O$ ) qui est considérés comme l'une des matières premières à l'entrée du réacteur, estimé à 23 823,86 kg/h et 182 321,25 kg/h, respectivement.

Nous avons également obtenu le débit massique d'oxyde d'éthylène qui est considéré comme le produit souhaité à la sortie du réacteur Et estime à 18177,632 kg/h

Nous avons remarqué une perte de gaz éthylène et de gaz oxyde d'éthylène estimée respectivement à 2,4% et 0,016%, cela est dû à un processus de purge de l'azote gazeux car sa présence à l'intérieur du réacteur provoque un ralentissement du processus d'oxydation, ce qui conduit à une inactivité au niveau de la production.

A partir de l'utilisation de les données techniques du réacteur d'oxydation et l'équation de bilan thermique, ce qui nous a permis de calculer les quantités de chaleurs qui formant le bilan thermique Nous avons constaté la quantité de chaleur à l'entrée du réacteur, estimée à 47241,546 kw, et la quantité de chaleur à la sortie du réacteur, estimée à 45824,29 kw Et en fonction de ces deux derniers la perte de la quantité de chaleur  $Q_p$  est mesuré d'une valeur de 3 % .

La réaction d'oxydation est considérée comme une réaction exothermique, l'excès de chaleur est éliminé du réacteur pour maintenir la réaction.

Pour des raisons liées au rendement et au coût, les industries modernes ont eu tendance à utiliser la méthode d'oxydation directe dans la production d'oxyde d'éthylène. L'air ou l'oxygène peuvent être utilisés comme agent oxydant , mais il semble que des avantages économiques peuvent être obtenus en utilisant de l'oxygène pur, évitant ainsi une perte de matière trop élevée dans les gaz de dégagement, de sorte que presque toutes les installations modernes utilisent de l'oxygène pure et bon nombres d'industries de production de l'oxyde d'éthylène se sont converti vers ce procédés directe, vu les avantages qu'il présent.

Des recherches incessant dans le domaine du génie des procédés ont présent d'élaborée un nouveau procédés d'obtention de l'oxyde d'éthylène qui se développe de plus en plus (l'oxydation de l'éthylène en acétaldéhyde en présence de palladium).

### **Bibliographique :**

[1] : Union internationale de chimie pure et appliquée. Nomenclature de la chimie organique (2014).vol (1). p17-23.

[2] :A.Chauvel, G.Lefebvre. Petrochemical Processes .éthylène oxyde. 2eme édition. technip ;(1989).

[3] :B.Kilty , P. Sachtler .Le mécanisme de l'oxydation sélective de l'éthylène en Oxyde d'éthylène. Revues de catalyse. 1<sup>er</sup> édition .Science et ingénierie ;(1974).

[4] : CPMA Chemical & petrochemicals manufacturers association, éthylène oxide uses ; (2021).

[5] : Manuel opératoire de production d'oxyde d'éthylène. Production. p61-63, p87-88. (1985).