

---

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Akli MOHAND OULHADJ-Bouira

Faculté des Sciences & des Sciences Appliquées  
Département de Génie des Procédés



## Mémoire

Présenté par

**KENANE Oussama**

**TEFFAT Mustapha**

Pour l'obtention du diplôme de

## MASTER

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie de l'Environnement



# Optimisation du Traitement de l'Eau de Production Issu de la Fabrication de Résine par Photocatalyse $TiO_2/UV$ Combinée au Peroxyde d'Hydrogène : Une Approche de Surface de Réponse



Soutenu le 21 / 09 / 2023 devant le jury composé de :

Mme. ZAABAR A.	MCA, Univ. Bouira	Présidente du jury
Mme. HADIOUCHE D.	MCB, Univ. Bouira	Encadreur
Mme. GHEBRID N.	MCB, Univ. Bouira	Examineur
Mme. ARBIA L.	MCB, Univ. Bouira	Examineur

Année universitaire 2022/2023



## التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية



انا الممضي اسفله،

السيد (م) تفانت مومطافني..الصفة: طالب ( ماستر / دكتوراه )

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية: 1.2.13.1.32.7.1..والصادرة بتاريخ: 2021/9/15

المسجل (ة) بكلية / معهد العلوم والعلوم التطبيقية قسم هندسة الموائع  
تخصص: هندسة الميكنسة

والمكلف (ة) بإنجاز اعمال بحث (متكففة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها: Optimisation du traitement de l'eau de production Issu de la Fabrication de la résine par photocatalyse TiO<sub>2</sub>/UV combiné au H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> d'une approche de pose

أصح بشر في اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

توقيع المعني (ة)

التاريخ: .....

البويرة في: .....	هيئة مراقبة السرقة العلمية:
الامضاء	النسبة: % <u>14</u>



## التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية

أنا الممضي أسفله،

السيدة (ة) كنا ن ف مسامة الصفة: طالب ( ماستر / دكتوراه )

الحامل (ة) لبطاقة التعريف الوطنية: 4.0.4.6.6.8.7.2.9 والصادرة بتاريخ 2023.02.12

المسجل (ة) بكلية / مؤيد كلية العلوم والعلوم التطبيقية قسم هندسة الطرائق

تخصص: هندسة البيئة

والمكلف (ة) بإنجاز اعمال بحث (مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها: Optimisation du traitement de l'eau de production issu de la

Fabrication de la résine Par photocatalyse  $TiO_2/UV$  combiné au  $H_2O_2$  une  
approche de surface de réponse.

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

توقيع المعني (ة)

التاريخ 19/09/2023

البويرة في: <u>19/09/2023</u>	هيئة مراقبة السرقة العلمية:
	النسبة: <u>% 100</u>

## *Dédicace*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes chers frères pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mon chère ami Khalil*

*A mes chers amis et chers collègues (NAC),*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,*

*A tout ceux qui m'aiment et que j'aime*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

*T. Mustapha*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*  
*À mes parents*

*Oussama*

---

# *Remerciement*

Nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude envers vous pour votre engagement, votre soutien et votre expertise tout au long de notre parcours académique. Votre contribution précieuse a été essentielle pour le développement de notre travail de recherche.

Mme. ZAABAR A., en tant que présidente du jury, nous vous remercions chaleureusement d'avoir accepté de présider ce jury.

.

Mme. HADIOUCHE D., en tant qu'encadrante, nous vous sommes reconnaissants pour votre patience, votre direction, et votre encouragement constant tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Mme. GHEBRID N. et Mme. ARBIA L., en tant qu'examineurs, nous vous remercions pour avoir pris le temps d'évaluer notre travail et pour vos commentaires constructifs qui nous permettront de perfectionner ce mémoire.

Avec toute notre reconnaissance,

# Table des matières

List of Figures	viii
List of Tables	ix
Introduction générale	1
<b>I Etude bibliographique</b>	<b>3</b>
<b>1 Problématique du Traitement des Eaux de Production dans l'industrie des résines</b>	<b>4</b>
1.1 Principes de production de résines alkydes et polyester . . . . .	5
1.1.1 Description des processus de fabrication . . . . .	5
1.1.1.1 Résines alkydes . . . . .	5
1.1.1.2 Résines polyester . . . . .	6
1.2 Principes de processus de fabrication des résines alkydes et polyester . . .	6
1.2.1 Fabrication des résines alkydes . . . . .	7
1.2.2 Fabrication des résines polyester . . . . .	7
1.3 Comparaison des processus de fabrication . . . . .	8
1.4 Caractéristiques des résines alkydes et polyester . . . . .	8
1.4.1 Propriétés chimiques des résines alkydes et polyester . . . . .	8
1.4.1.1 Résines alkydes . . . . .	8
1.4.1.2 Résines polyester . . . . .	9
1.4.2 Propriétés physiques et mécaniques des résines alkydes et polyester	9
1.4.2.1 Résines alkydes . . . . .	9
1.4.2.2 Résines polyester . . . . .	9
1.5 Avantages et inconvénients des résines alkydes et polyester dans diverses applications . . . . .	10
1.5.1 Résines alkydes . . . . .	10
1.5.2 Résines polyester . . . . .	10
1.6 Eaux de production : composants et formation . . . . .	11
1.6.1 Identification des principaux composants présents dans les eaux de production . . . . .	11
1.6.2 Facteurs influençant la composition des eaux de production . . . . .	12

1.6.3	Mécanismes de formation des eaux de production en cours de fabrication	12
1.7	Impact environnemental des eaux de production	13
1.7.1	Effets sur les écosystèmes aquatiques, la qualité de l'air et les sols	14
1.7.2	Conformité réglementaire et normes environnementales applicables	14
1.8	Stratégies de Gestion des Eaux de Production	15
1.8.1	Étude des Approches de Gestion actuelles dans l'industrie	15
1.9	Examen des méthodes de traitement traditionnelles et innovantes	16
1.9.1	Méthodes de Traitement Traditionnelles	16
1.9.2	Méthodes de Traitement Innovantes	16
1.9.3	Évaluation des Avantages et des Inconvénients des Différentes Stratégies	16
1.9.4	Évaluation de l'efficacité et de la faisabilité de ces technologies	17
1.9.5	Optimisation des processus de traitement des eaux de production	18
1.9.5.1	Approches d'optimisation des systèmes de traitement	18
1.9.6	Utilisation de Modèles Mathématiques pour la Prédiction et la Gestion	19
1.10	Conclusion	19

## II Matériels & Méthodes Analytiques 21

<b>2</b>	<b>Matériels &amp; Méthodes Analytiques</b>	<b>22</b>
2.1	Introduction au site de production	22
2.2	Échantillonnage des effluents issus de la production de résine	23
2.2.1	Flux d'effluents	23
2.2.1.1	Mélange de condensation Résine-Eau	23
2.2.1.2	Eaux de lavage des réacteurs	24
2.2.2	Échantillonnage	24
2.2.3	Point de prélèvement	24
2.2.4	Représentativité	24
2.2.5	Conservation	24
2.3	Caractérisation et estimation des principaux paramètres de pollution	25
2.3.1	Le pH	25
2.3.2	Importance de la mesure du pH	25
2.3.3	Matières en Suspension (MES)	26
2.3.4	Conductivité Électrique	26
2.3.5	Turbidité	26
2.3.6	La DCO (Demande Chimique en Oxygène)	27
2.3.6.1	Importance de la DCO	27
2.4	Approche Expérimentale	27
2.5	Méthodologie expérimentale	28
2.6	Optimisation des conditions du traitement par la méthode de surface de réponse	29
2.6.1	Principes de la RSM	29
2.6.2	Plans et domaines expérimentaux	35

<b>III</b>	<b>Résultats &amp; Discussion</b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>Résultats et Discussion</b>	<b>40</b>
3.1	Caractérisation et évaluation des principaux paramètres de pollution de l'échantillon . . . . .	40
3.2	Optimisation des conditions du traitement par photocatlyse $TiO_2/UV$ avec la méthode des surfaces de réponse (RSM) . . . . .	42
3.3	Résumé des caractéristiques de l'étude . . . . .	42
3.3.1	Facteurs étudiés . . . . .	42
3.3.2	Réponse mesurée . . . . .	44
3.3.3	Interprétation des résultats en termes d'efficacité du procédé du traitement . . . . .	44
3.3.4	Analyse statistique des données . . . . .	45
3.3.4.1	Analyse de la variance et validation du modèle . . . . .	45
3.3.4.2	Graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues . . . . .	47
3.3.5	Effet mutuel des paramètres . . . . .	49
3.3.5.1	Effet mutuel du pH-temps . . . . .	49
3.3.5.2	Effet mutuel du pH-masse de $TiO_2$ . . . . .	50
3.3.5.3	Effet mutuel du pH- $H_2O_2$ . . . . .	51
3.3.5.4	Effet mutuel du pH-vitesse d'agitation . . . . .	51
3.3.5.5	Effet mutuel du temps-masse de $TiO_2$ . . . . .	53
3.3.5.6	Effet mutuel du temps- $H_2O_2$ . . . . .	53
3.3.5.7	Effet mutuel du temps-vitesse d'agitation . . . . .	54
3.3.5.8	Effet mutuel du $TiO_2$ - $H_2O_2$ . . . . .	55
3.3.5.9	Effet mutuel du $TiO_2$ -vitesse d'agitation . . . . .	55
3.3.5.10	Effet mutuel du $H_2O_2$ -vitesse d'agitation . . . . .	57

	<b>Bibliographie</b>	<b>60</b>
--	----------------------	-----------

# Table des figures

2.1	Courbe détalonnage . . . . .	28
2.2	Surface de réponse tridimensionnelle (a) et le tracé de contour bidimensionnel (b) pour le modèle du premier ordre. [1] . . . . .	31
2.3	Surface de réponse tridimensionnelle (a) et le tracé de contour bidimensionnel (b) pour le modèle du premier ordre avec interaction. [1] . . . . .	32
2.4	(a) Surface de réponse et (b) tracé de contour pour le modèle de second ordre. [1] . . . . .	33
2.5	Quelques exemples de surfaces définis par le modèle du second ordre pour deux variables $x_1$ et $x_2$ . [1] . . . . .	34
2.6	Plan Box-Behnken (BBD) pour $k$ (nombre de facteur) = 3, avec un point central. [1] . . . . .	36
2.7	Plan central composite (CCD) pour $k$ (nombre de facteur) = 3. [1][2]. . . . .	37
3.1	Graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues . . . . .	48
3.2	Effet du pH et le temps et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	49
3.3	Effet du pH et la masse de $\text{TiO}_2$ et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	50
3.4	Effet du pH et le volume de $\text{H}_2\text{O}_2$ et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	51
3.5	Effet du pH et la vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	52
3.6	Effet du temps-masse de $\text{TiO}_2$ et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	53
3.7	Effet du temps- $\text{H}_2\text{O}_2$ et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	54
3.8	Effet du temps-vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	55
3.9	Effet du temps-vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	56
3.10	Effet du temps-vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	56
3.11	Effet du volume de $\text{H}_2\text{O}_2$ -vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO . . . . .	57

# Liste des tableaux

3.1	Caractéristiques de l'effluent . . . . .	40
3.2	Plan composite centré pour les valeurs codées et réelles avec les réponses expérimentales . . . . .	43
3.3	Résumé des caractéristiques de l'étude . . . . .	44
3.4	Analyse de la variance . . . . .	46

# Introduction

L'industrie des résines alkydes et polyester occupe une place stratégique dans le paysage industriel mondial. Ces polymères, aux propriétés chimiques et mécaniques diversifiées, sont omniprésents dans notre quotidien, contribuant de manière significative à une multitude de secteurs tels que l'automobile, la construction, l'emballage, l'aérospatiale et l'industrie chimique. En raison de leur adaptabilité et de leurs performances, les résines alkydes et polyester sont incontournables pour répondre aux besoins variés de ces industries.

L'ampleur de cette industrie est indéniable, avec des estimations de production mondiale de résines alkydes dépassant 8 millions de tonnes en 2020, et une demande en constante augmentation (Source : Grand View Research, 2021). Cette croissance est stimulée par la recherche continue de matériaux plus performants et durables, en réponse aux demandes des marchés mondiaux.

Cependant, derrière ce succès industriel se cache une préoccupation cruciale : la gestion des eaux de production générées lors du processus de fabrication. Ces eaux, riches en polluants organiques et inorganiques, résultent de réactions chimiques complexes et de la nécessité d'utiliser des solvants, des catalyseurs et des additifs. Les eaux de production contiennent une gamme de contaminants, notamment des solvants aromatiques, des métaux lourds, des résidus de monomères et des produits de décomposition chimique.

L'impact environnemental de ces eaux de production ne peut être sous-estimé. Les solvants organiques volatils (COV) présents dans les effluents contribuent à la pollution atmosphérique et sont des précurseurs de la formation de smog. Les métaux lourds, dont

la toxicité est bien établie, peuvent s'accumuler dans les écosystèmes aquatiques, affectant la biodiversité et la qualité de l'eau. De plus, les composés organiques semi-volatils (COSV) et les composés aromatiques polycycliques (CAP) présents dans les eaux de production posent des risques pour la santé humaine, en particulier pour les populations vivant à proximité des installations industrielles (Source : Rodríguez et al., 2020).

Face à ces préoccupations environnementales et sanitaires, il devient impératif de développer des technologies de traitement des eaux de production innovantes et efficaces pour minimiser les impacts négatifs sur l'environnement. La conformité aux réglementations environnementales strictes est également un enjeu majeur pour les entreprises opérant dans ce secteur.

Dans cette optique, cette étude se propose d'examiner en détail les défis et les opportunités relatifs au traitement de l'effluent issu de l'industrie des résines alkydes et polyester. L'objectif principal de cette étude est de proposer une méthode de traitement de cet effluent tout en optimisant les paramètres de traitement pour réduire les impacts environnementaux tout en maintenant une production de résines efficace.

Première partie

Etude bibliographique

## Chapitre 1

# Problématique du Traitement des Eaux de Production dans l'industrie des résines

Le traitement des eaux de production dans l'industrie des résines alkydes et polyester est une question d'importance capitale, à la fois d'un point de vue environnemental et économique. Cette problématique est complexe et multidimensionnelle, et elle nécessite une attention particulière pour plusieurs raisons essentielles, comme en témoignent diverses études et rapports.

- Diversité des Polluants : Les eaux de production de cette industrie sont souvent contaminées par une multitude de polluants, allant des solvants organiques volatils (COV) aux métaux lourds. Par exemple, des études ont montré que les effluents de l'industrie chimique contiennent fréquemment des composés organiques volatils, tels que le toluène et le xylène, qui sont préoccupants en raison de leur potentiel cancérigène et de leurs effets sur la qualité de l'air.
- Impact Environnemental : Le rejet non traité des eaux de production peut avoir des conséquences graves sur l'environnement, y compris la contamination des eaux souterraines, des rivières et des mers. Les métaux lourds et les produits chimiques organiques peuvent s'accumuler dans les écosystèmes aquatiques, perturbant les chaînes alimentaires et affectant la biodiversité. L'impact négatif sur les ressources en eau douce est particulièrement préoccupant étant donné leur importance vitale.

- Normes et Réglementations : Les gouvernements et les organismes de réglementation imposent des normes strictes concernant les émissions de polluants dans les eaux. Les entreprises doivent se conformer à ces réglementations pour éviter des sanctions sévères. Cette conformité est particulièrement importante dans le contexte actuel de durabilité et de responsabilité sociale des entreprises
- Coûts et Durabilité : La mise en IJuvre de systèmes de traitement efficaces représente un investissement considérable pour les entreprises. Les coûts liés au traitement des eaux de production peuvent affecter la rentabilité des opérations. Par conséquent, il est essentiel de trouver des solutions de traitement économiquement viables tout en maintenant la compétitivité de l'industrie

## 1.1 Principes de production de résines alkydes et polyester

### 1.1.1 Description des processus de fabrication

#### 1.1.1.1 Résines alkydes

Les résines alkydes sont des polymères synthétiques largement utilisés dans diverses applications industrielles. Leur production implique une série de réactions chimiques complexes. Le processus de fabrication des résines alkydes commence généralement par l'estérification, où des acides gras (par exemple, l'acide oléique ou l'acide phtalique) réagissent avec des polyols, tels que le glycérol. Cette réaction est catalysée par des acides forts ou des bases. Elle génère des monoesters et des polyesters [3].

Ensuite, intervient la réaction de polymérisation. Les monoesters et les polyesters produits dans l'estérification réagissent avec des anhydrides (par exemple, l'anhydride phtalique) pour former des résines alkydes plus longues et plus complexes. Ce processus de polymérisation peut être contrôlé pour obtenir des résines de différentes longueurs de chaîne et viscosités [4].

Après la polymérisation, les résines alkydes sont souvent modifiées pour répondre aux besoins spécifiques de l'application. Cela peut impliquer l'ajout de siccatifs pour améliorer les propriétés de séchage, l'incorporation d'additifs pour renforcer la résistance aux intempéries ou la dilution avec des solvants pour atteindre la viscosité souhaitée. En

fin de compte, les résines alkydes sont obtenues sous forme liquide ou solide, selon leur utilisation prévue [4].

#### **1.1.1.2 Résines polyester**

Les résines polyester sont également des polymères synthétiques utilisés dans divers domaines, notamment la fabrication de plastiques renforcés de fibres et de composites. Le processus de production des résines polyester repose sur des réactions de polycondensation [5].

Dans la polycondensation, des glycols (tels que l'éthylène glycol et le propylène glycol) réagissent avec des acides dicarboxyliques (comme l'acide téréphtalique et l'acide isophtalique) pour former une chaîne linéaire de polyester. Cette réaction nécessite généralement de la chaleur et l'utilisation de catalyseurs pour accélérer la formation du polyester [5].

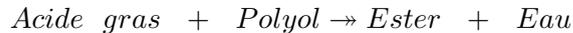
Une fois formées, les résines polyester peuvent être modifiées pour répondre à des besoins spécifiques. Des monomères ou des agents de réticulation peuvent être ajoutés pour améliorer les propriétés mécaniques, tandis que des charges peuvent être incorporées pour renforcer la résine. Ces modifications visent à adapter les résines polyester à leur application finale, que ce soit dans la construction, l'automobile ou d'autres secteurs [5].

## **1.2 Principes de processus de fabrication des résines alkydes et polyester**

Le processus de fabrication des résines alkydes et polyester est une séquence complexe d'étapes et de réactions chimiques. Dans cette section, nous allons détailler ces processus, en mettant en évidence les étapes clés, les réactions chimiques impliquées et les conditions de réaction. Nous effectuerons également une comparaison entre les processus de fabrication des deux types de résines.

### 1.2.1 Fabrication des résines alkydes

1. Estérification : Le processus commence généralement par l'estérification. Dans cette étape, des acides gras (tels que l'acide oléique ou l'acide phtalique) réagissent avec des polyols, généralement du glycérol. Cette réaction est catalysée par des acides forts ou des bases. L'équation générale de cette réaction est :



L'eau est un sous-produit de cette réaction, et elle est souvent retirée du mélange pour favoriser la conversion des réactifs en esters.

2. Polycondensation : Après l'estérification, les esters formés sont soumis à une réaction de polycondensation. Les esters réagissent avec des anhydrides (comme l'anhydride phtalique) pour former des résines alkydes plus longues et plus complexes. Cette réaction est également catalysée et nécessite souvent une élévation de la température. L'équation générale de cette réaction est :



3. Modification : Les résines alkydes obtenues peuvent être modifiées pour répondre à des besoins spécifiques. Cela peut impliquer l'ajout de siccatifs pour améliorer les propriétés de séchage, l'incorporation d'additifs pour renforcer la résistance aux intempéries ou la dilution avec des solvants pour atteindre la viscosité souhaitée.

### 1.2.2 Fabrication des résines polyester

Le processus de fabrication des résines polyester commence également par une polycondensation. Des glycols (tels que l'éthylène glycol et le propylène glycol) réagissent avec des acides dicarboxyliques (comme l'acide téréphtalique et l'acide isophtalique). Cette réaction génère des chaînes linéaires de polyester et libère de l'eau comme sous-produit [6].



Les résines polyester résultant de la polycondensation peuvent être modifiées en fonction des besoins. Cela peut inclure l'ajout de monomères ou d'agents de réticulation pour améliorer les propriétés mécaniques. Des charges peuvent également être incorporées pour renforcer la résine [6].

### 1.3 Comparaison des processus de fabrication

- Les résines alkydes sont généralement obtenues à partir d'estérification suivie de polycondensation, tandis que les résines polyester commencent par la polycondensation.
- Les réactions d'estérification dans la fabrication des résines alkydes nécessitent l'utilisation d'acides gras et de polyols, tandis que la polycondensation des résines polyester implique des glycols et des acides dicarboxyliques.
- Les résines alkydes sont souvent utilisées dans des applications de revêtement et de peinture, tandis que les résines polyester sont couramment utilisées dans la fabrication de composites, de fibres renforcées, et d'autres produits.
- Les modifications des résines alkydes peuvent inclure l'ajout de siccatifs pour le séchage, tandis que les résines polyester peuvent être modifiées en utilisant divers monomères ou agents de renforcement.

### 1.4 Caractéristiques des résines alkydes et polyester

Cette section se penchera sur les caractéristiques des résines alkydes et polyester, en mettant l'accent sur leurs propriétés chimiques, physiques et mécaniques, ainsi que sur les avantages et les inconvénients de chaque type de résine dans diverses applications [7].

#### 1.4.1 Propriétés chimiques des résines alkydes et polyester

##### 1.4.1.1 Résines alkydes

Les résines alkydes sont caractérisées par leur structure chimique comprenant des groupes ester et des chaînes hydrocarbonées. Cette structure les rend compatibles avec une large gamme de solvants et de réactifs.

Les résines alkydes sont réactives avec les oxydants, ce qui les rend appropriées pour des applications de revêtement où le durcissement par oxydation est nécessaire. Elles peuvent être sensibles aux attaques acides ou basiques, ce qui doit être pris en compte dans certaines applications.

#### **1.4.1.2 Résines polyester**

Les résines polyester sont constituées de chaînes polymères linéaires d'esters et d'éthers. Leur structure chimique peut être adaptée par la sélection des glycols et des acides dicarboxyliques. Les résines polyester sont généralement plus résistantes aux attaques chimiques, y compris aux acides et aux bases, par rapport aux résines alkydes [7].

### **1.4.2 Propriétés physiques et mécaniques des résines alkydes et polyester**

#### **1.4.2.1 Résines alkydes**

Les résines alkydes peuvent varier considérablement en viscosité, ce qui permet de les utiliser dans diverses formulations de revêtements, allant des peintures fines aux revêtements plus épais. Les résines alkydes durcissent par oxydation, ce qui leur confère une bonne résistance à l'abrasion et une finition dure. Elles ont une bonne adhérence sur de nombreuses surfaces, ce qui les rend appropriées pour les revêtements de métal, de bois et de plastique [3].

#### **1.4.2.2 Résines polyester**

Les résines polyester sont connues pour leur résistance à la traction élevée, les rendant idéales pour les composites et les applications où la force mécanique est essentielle. Elles sont également rigides, ce qui les rend adaptées à la fabrication de pièces structurales légères. Les résines polyester résistent bien aux conditions extérieures, ce qui en fait un choix courant pour les produits exposés aux éléments [8].

## 1.5 Avantages et inconvénients des résines alkydes et polyester dans diverses applications

### 1.5.1 Résines alkydes

- Avantages :
  - Séchage rapide : Les résines alkydes sont couramment utilisées dans les peintures et les revêtements en raison de leur séchage rapide par oxydation.
  - Adhérence : Elles adhèrent bien à une variété de surfaces, ce qui en fait un choix populaire pour les revêtements de métaux.
- Inconvénients :
  - Sensibilité à l'humidité : Les résines alkydes peuvent être sensibles à l'humidité pendant le processus de durcissement, ce qui peut entraîner des problèmes de séchage.
  - Niveau de COV : Certaines formulations d'alkydes contiennent des composés organiques volatils (COV) qui peuvent contribuer à la pollution de l'air intérieur [8].

### 1.5.2 Résines polyester

- Avantages :
  - Résistance mécanique : Les résines polyester offrent une excellente résistance mécanique, les rendant adaptées aux composites de haute performance.
  - Durabilité : Elles résistent bien aux intempéries, à la corrosion et à la dégradation chimique, ce qui les rend adaptées aux applications extérieures.
- Inconvénients :
  - Temps de durcissement : Le temps de durcissement des résines polyester peut être relativement long, nécessitant une gestion précise du processus de fabrication.
  - Coût : Les résines polyester de haute qualité peuvent être plus coûteuses que d'autres matériaux polymères [9].

Les choix entre les résines alkydes et polyester dépendent des exigences spécifiques de chaque application, de la résistance mécanique requise, de l'environnement d'utilisation et d'autres facteurs. Choisir la résine appropriée est essentiel pour obtenir des performances optimales dans une application donnée [8].

## 1.6 Eaux de production : composants et formation

Cette section explorera les composants des eaux de production générées lors de la fabrication des résines alkydes et polyester, en mettant l'accent sur l'identification des principaux composants, les facteurs influençant leur composition et les mécanismes de formation en cours de fabrication [8].

### 1.6.1 Identification des principaux composants présents dans les eaux de production

Les eaux de production issues de la fabrication de résines alkydes et polyester peuvent contenir une variété de composants en fonction des processus spécifiques et des matières premières utilisées. Les principaux composants qui peuvent être présents comprennent :

1. Solvants Organiques : Les solvants organiques volatils (COV) sont couramment utilisés dans les réactions de synthèse et de nettoyage des équipements. Des solvants tels que le toluène, le xylène, l'acétone et d'autres peuvent être détectés dans les eaux de production.
2. Monomères et Précurseurs : Les résidus de monomères, d'acides, de polyols et d'anhydrides non réagis peuvent être présents dans les eaux de production. Par exemple, des traces d'acides gras ou d'anhydride phtalique non réagis peuvent être détectées.
3. Catalyseurs et Additifs : Certains processus de fabrication nécessitent l'utilisation de catalyseurs ou d'additifs. Des traces de ces produits chimiques peuvent se retrouver dans les eaux de production, par exemple, des sels de cobalt utilisés comme catalyseurs.

Métaux Lourds : Les équipements et les catalyseurs contenant des métaux lourds, tels que le cobalt, le manganèse ou le zinc, peuvent entraîner la présence de ces métaux dans les eaux de production.

4. Composés Organiques Semi-Volatils (COSV) : Certains composés organiques semi-volatils, comme les phtalates, peuvent être libérés pendant la fabrication de résines polyester. Ces composés peuvent être transportés dans les eaux de production.

5. Composés Résiduels : Les résidus de réaction, notamment les esters, les polyesters et les polyols, peuvent être retrouvés dans les eaux de production. Ces résidus peuvent varier en fonction des procédés de fabrication spécifiques.
6. Produits de Décomposition : Les réactions chimiques à haute température peuvent entraîner la décomposition de certains composés, générant ainsi des produits de décomposition organiques ou inorganiques qui peuvent être présents dans les eaux de production.

### **1.6.2 Facteurs influençant la composition des eaux de production**

Plusieurs facteurs peuvent influencer la composition des eaux de production, notamment :

1. Processus de Fabrication : Les différentes étapes du processus de fabrication, y compris les réactifs utilisés et les conditions de réaction, auront un impact sur les composants présents dans les eaux de production.
2. Matières Premières : La qualité et la pureté des matières premières, telles que les acides, les polyols et les anhydrides, joueront un rôle crucial dans la composition des eaux de production.
3. Technologie de Fabrication : Les technologies de fabrication, telles que les méthodes de polymérisation, les catalyseurs et les températures de réaction, influenceront la formation des composants dans les eaux de production.
4. Contrôles de Processus : Les mesures de contrôle de processus visant à minimiser les pertes de matières premières et à optimiser les réactions chimiques auront un impact sur la composition des eaux de production.

### **1.6.3 Mécanismes de formation des eaux de production en cours de fabrication**

Les eaux de production se forment en raison de plusieurs mécanismes, notamment :

- ✓ Réactions Incomplètes : Les réactions de synthèse peuvent être incomplètes, laissant des résidus de réaction et des produits non réagis dans les eaux de production.

- ✓ Évaporation : Certains solvants organiques peuvent s'évaporer pendant la fabrication, créant ainsi des vapeurs qui se condensent en eaux de production.
- ✓ Rinçage et Nettoyage : Les opérations de rinçage et de nettoyage des équipements et des réservoirs peuvent également contribuer à la formation d'eaux de production en entraînant des résidus chimiques.
- ✓ Dégazage : Les procédés de dégazage pour éliminer les gaz dissous dans les matières premières peuvent également produire des eaux de production.

La compréhension de ces mécanismes de formation et des facteurs qui influencent la composition des eaux de production est essentielle pour concevoir des systèmes de traitement appropriés visant à éliminer ou réduire ces composants contaminants.

## 1.7 Impact environnemental des eaux de production

Dans cette section, nous allons explorer l'impact environnemental des eaux de production générées lors de la fabrication des résines alkydes et polyester. Nous analyserons les risques environnementaux associés aux rejets d'eaux de production, les effets sur les écosystèmes aquatiques, la qualité de l'air et les sols, ainsi que la conformité réglementaire et les normes environnementales applicables [? ].

L'analyse des risques environnementaux associés aux rejets d'eaux de production comprend :

- Pollution des Eaux : Les eaux de production peuvent contenir des composants chimiques, tels que des solvants, des monomères non réagis et des métaux lourds, qui, s'ils sont rejetés dans les systèmes aquatiques, peuvent entraîner une pollution des eaux. Cela peut avoir un impact négatif sur la vie aquatique et la qualité de l'eau.
- Impact sur la Faune et la Flore : Les rejets d'eaux de production peuvent perturber les écosystèmes aquatiques en affectant la survie et la santé des organismes aquatiques, y compris les poissons, les invertébrés et les plantes aquatiques.
- Risques pour la Santé Humaine : Si les eaux de production contaminées pénètrent dans les ressources en eau potable, elles peuvent présenter un risque pour la santé humaine en raison de la présence de composants chimiques toxiques.

### **1.7.1 Effets sur les écosystèmes aquatiques, la qualité de l'air et les sols**

Les rejets d'eaux de production peuvent provoquer une diminution de l'oxygène dissous dans les eaux, ce qui peut entraîner des zones mortes où la vie aquatique ne peut pas survivre. De plus, la contamination chimique peut perturber les chaînes alimentaires aquatiques.

Lorsque les eaux de production s'évaporent ou sont aérosolisées, elles peuvent contribuer à la pollution de l'air intérieur ou extérieur, en fonction des conditions de rejet. Les composants volatils, tels que les solvants, peuvent contribuer aux émissions de composés organiques volatils (COV), qui sont préoccupants en raison de leurs effets sur la qualité de l'air et la santé humaine.

Lorsque les eaux de production sont déversées ou infiltrées dans le sol, elles peuvent contaminer les sols et les rendre impropres à certaines utilisations agricoles ou industrielles. Les métaux lourds et les produits chimiques organiques peuvent s'accumuler dans le sol et avoir des effets à long terme sur la fertilité du sol.

### **1.7.2 Conformité réglementaire et normes environnementales applicables**

Les rejets d'eaux de production sont généralement réglementés par des lois environnementales nationales et locales. Les entreprises doivent se conformer à ces lois en ce qui concerne la gestion et le traitement des eaux de production.

Les rejets dans les eaux de surface ou les eaux souterraines doivent respecter les normes de qualité de l'eau établies pour protéger la santé des écosystèmes aquatiques et la santé humaine.

Les émissions atmosphériques provenant de l'évaporation des eaux de production doivent respecter les normes de qualité de l'air pour minimiser les impacts sur la qualité de l'air intérieur et extérieur.

Les eaux de production sont souvent considérées comme des déchets dangereux ou spéciaux, ce qui impose des exigences spécifiques en matière de gestion, d'élimination et de traitement conformément aux normes de gestion des déchets.

En conclusion, les eaux de production générées dans l'industrie des résines alkydes et polyester peuvent avoir un impact environnemental significatif s'ils ne sont pas correctement gérés et traités. Les entreprises doivent être conscientes des risques environnementaux, respecter les normes réglementaires et adopter des pratiques de gestion responsables pour minimiser leur impact sur l'environnement et protéger la santé publique.

## **1.8 Stratégies de Gestion des Eaux de Production**

Différentes stratégies de gestion des eaux de production générées lors de la fabrication des résines alkydes et polyester. Cela comprend l'étude des approches de gestion actuelles, l'examen des méthodes de traitement traditionnelles et innovantes, ainsi que l'évaluation des avantages et des inconvénients de ces différentes stratégies.

### **1.8.1 Étude des Approches de Gestion actuelles dans l'industrie**

- Réutilisation Interne : De nombreuses entreprises cherchent à réduire leur empreinte environnementale en réutilisant les eaux de production à l'intérieur de leur processus de fabrication. Cela nécessite souvent le traitement des eaux pour les rendre aptes à la réutilisation.
- Traitement Interne : Certaines entreprises optent pour le traitement interne des eaux de production avant de les rejeter dans le système d'égout ou de les déverser dans l'environnement. Les systèmes de traitement internes peuvent inclure des processus de filtration, de décantation, d'adsorption, de bioremédiation, etc.
- Traitement Externe : Dans certains cas, les entreprises choisissent d'externaliser le traitement de leurs eaux de production à des installations de traitement des eaux municipales ou à des tiers spécialisés dans le traitement des eaux industrielles.

## **1.9 Examen des méthodes de traitement traditionnelles et innovantes**

### **1.9.1 Méthodes de Traitement Traditionnelles**

- Filtration : L'élimination des solides en suspension par des filtres est une méthode courante de traitement des eaux de production.
- Décantation : La décantation permet la séparation des particules solides plus lourdes des eaux.

### **1.9.2 Méthodes de Traitement Innovantes**

- Adsorption : L'adsorption sur des matériaux tels que le charbon actif est efficace pour éliminer les contaminants organiques des eaux de production.
- Bioremédiation : Les microorganismes peuvent être utilisés pour dégrader les composés organiques présents dans les eaux de production.
- Photocatalyse : La photocatalyse à l'aide de catalyseurs photoactifs peut décomposer certains polluants organiques.

### **1.9.3 Évaluation des Avantages et des Inconvénients des Différentes Stratégies**

- Réutilisation Interne

Avantages : Réduction de la consommation d'eau fraîche, économies financières, respect des réglementations environnementales.

Inconvénients : Investissements initiaux élevés pour les systèmes de traitement, besoins en maintenance.

- Traitement Interne

Avantages : Contrôle direct sur le processus de traitement, possibilité d'adapter les systèmes aux besoins spécifiques.

Inconvénients : Coûts opérationnels, nécessité d'expertise en traitement des eaux.

- Traitement Externe

Avantages : Externalisation des contraintes de traitement, accès à des installations spécialisées. Inconvénients : Coûts de transport, perte de contrôle sur le processus de traitement.

- Méthodes de Traitement Traditionnelles

Avantages : Éprouvées, souvent moins coûteuses à mettre en place.

Inconvénients : Peuvent ne pas être efficaces pour certains contaminants spécifiques.

- Méthodes de Traitement Innovantes

Avantages : Efficacité pour éliminer des polluants spécifiques, potentiel de réduction des produits chimiques.

Inconvénients : Coûts de recherche et développement, nécessité d'une expertise spécialisée.

Le choix de la stratégie de gestion et de traitement des eaux de production dépendra des ressources disponibles, des objectifs environnementaux de l'entreprise, de la complexité de la composition des eaux de production et des réglementations locales. Il est essentiel de considérer les avantages et les inconvénients de chaque approche pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des eaux de production.

#### **1.9.4 Évaluation de l'efficacité et de la faisabilité de ces technologies**

- Efficacité : L'efficacité des technologies de traitement dépend du type de contaminant présent dans les eaux de production. Par exemple, l'adsorption est généralement efficace pour éliminer les contaminants organiques, tandis que la bioremédiation peut être plus appropriée pour les polluants biologiques.

- Faisabilité : La faisabilité d'une technologie de traitement dépend de plusieurs facteurs, notamment les coûts d'investissement et d'exploitation, la disponibilité de l'expertise technique, les réglementations environnementales et la complexité de la composition des eaux de production.

- Intégration : L'intégration de ces technologies dans le processus de production global doit être soigneusement planifiée pour minimiser les perturbations et maximiser l'efficacité.

- Surveillance et Contrôle : La surveillance continue et le contrôle des systèmes de traitement sont essentiels pour garantir une efficacité constante et la conformité aux normes environnementales.

- Durabilité : Lors de l'évaluation des technologies de traitement, il est important de considérer leur durabilité à long terme, y compris la gestion des déchets générés par le processus de traitement lui-même.

Le choix de la technologie de traitement dépendra des besoins spécifiques de chaque installation de production, de la composition des eaux de production, des ressources disponibles et des exigences environnementales. Une approche intégrée qui combine différentes technologies peut également être envisagée pour une gestion plus efficace des eaux de production.

### **1.9.5 Optimisation des processus de traitement des eaux de production**

L'optimisation des systèmes de traitement des eaux de production dans l'industrie des résines alkydes et polyester est essentielle pour améliorer l'efficacité, réduire les coûts opérationnels, minimiser la consommation d'énergie et réduire les émissions. Cette section explorera les approches d'optimisation, y compris la réduction des coûts opérationnels, de l'énergie et des émissions, ainsi que l'utilisation de modèles mathématiques pour la prédiction et la gestion des eaux de production.

#### **1.9.5.1 Approches d'optimisation des systèmes de traitement**

- Gestion des Ressources en Eau : L'optimisation commence par une gestion efficace des ressources en eau. Cela inclut la réduction des pertes, la réutilisation des eaux traitées et la minimisation de la consommation d'eau fraîche.
- Sélection de la Technologie Appropriée : Le choix de la technologie de traitement doit être basé sur l'analyse de la composition des eaux de production et des contaminants spécifiques. Les technologies sélectionnées doivent être les plus efficaces pour éliminer les contaminants ciblés.
- Surveillance et Contrôle Continu : L'installation de systèmes de surveillance en temps réel permet de suivre les performances du traitement et d'apporter des ajustements en cas de besoin. Une gestion proactive peut prévenir les problèmes potentiels.
- Formation et Sensibilisation : Former le personnel sur les meilleures pratiques de gestion des eaux de production est essentiel pour optimiser les processus. Les employés doivent être conscients des impacts environnementaux et économiques de leurs actions.

### 1.9.6 Utilisation de Modèles Mathématiques pour la Prédiction et la Gestion

- Modélisation des Processus : Les modèles mathématiques peuvent être utilisés pour simuler les processus de traitement, permettant ainsi de prédire les performances du système dans différentes conditions.
- Optimisation des Paramètres : Les modèles peuvent également être utilisés pour optimiser les paramètres du traitement, tels que les taux de dosage des réactifs ou les temps de résidence, en minimisant les coûts tout en maintenant la qualité du traitement.
- Maintenance Prédictive : Les modèles mathématiques peuvent être utilisés pour la maintenance prédictive des équipements de traitement, ce qui permet de planifier les opérations de maintenance de manière plus efficace.
- Gestion des Stocks : Les modèles peuvent aider à gérer les niveaux de stocks de réactifs et de matières premières, évitant ainsi les surstocks coûteux et les ruptures de stock.

L'optimisation des processus de traitement des eaux de production est un processus continu qui exige une approche holistique, allant de la gestion des ressources en eau à la formation du personnel et à l'utilisation de modèles mathématiques pour la prise de décision. L'objectif ultime est d'améliorer l'efficacité tout en minimisant l'impact environnemental et les coûts opérationnels.

## 1.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré en profondeur l'industrie des résines alkydes et polyester, en mettant particulièrement l'accent sur la gestion et le traitement des eaux de production. Voici un résumé des principales conclusions tirées de cette section :

1. Contexte de l'industrie : L'industrie des résines alkydes et polyester est un secteur clé de la chimie, utilisé dans de nombreuses applications, notamment la peinture, les revêtements et les composites. Cependant, elle génère également d'importantes quantités d'eaux de production qui nécessitent une gestion appropriée.
2. Problématique du traitement des eaux de production : Le traitement des eaux de production est un défi majeur en raison de la diversité des contaminants présents, notamment les contaminants organiques et les métaux lourds. La gestion inadéquate de ces eaux peut avoir un impact environnemental significatif.

3. Principes de production de résines Alkydes et polyester : La fabrication des résines alkydes et polyester implique des processus de polymérisation, d'estérification et de condensation. Les eaux de production sont générées tout au long de ces processus et contiennent divers composants.
4. Caractéristiques des résines alkydes et polyester : Les résines alkydes et polyester ont des propriétés chimiques, physiques et mécaniques spécifiques qui les rendent adaptées à différentes applications. Cependant, elles présentent également des avantages et des inconvénients, notamment en termes de durabilité et de résistance aux UV.
5. Eaux de production : Composants et Formation : Les eaux de production sont principalement composées d'eau, de contaminants organiques tels que les solvants et les monomères non réagis, ainsi que de métaux lourds provenant des catalyseurs et des pigments. Leur composition dépend du processus de fabrication.
6. Impact environnemental des eaux de production : Les rejets d'eaux de production peuvent avoir des conséquences environnementales graves, notamment la pollution de l'eau, la perturbation des écosystèmes aquatiques, la qualité de l'air intérieur et extérieur, ainsi que la contamination des sols.
7. Stratégies de gestion des eaux de production : Les entreprises adoptent diverses stratégies de gestion, notamment la réutilisation interne, le traitement interne et le traitement externe. Le choix dépend des besoins spécifiques de chaque entreprise et des réglementations locales.
8. Technologies de traitement : Les technologies de traitement couramment utilisées comprennent la filtration, la décantation et le traitement chimique. Les méthodes avancées incluent l'adsorption, la bioremédiation, la photocatalyse et d'autres processus innovants.
9. Optimisation des processus de traitement : L'optimisation des systèmes de traitement vise à réduire les coûts opérationnels, la consommation d'énergie et les émissions. Elle peut être réalisée grâce à une gestion efficace des ressources, à la sélection de la technologie appropriée, à la surveillance continue et à l'utilisation de modèles mathématiques.

Deuxième partie

Matériels & Méthodes

Analytiques

## Chapitre 2

# Matériels & Méthodes

## Analytiques

### 2.1 Introduction au site de production

L'usine de production de la résine LORN, stratégiquement située à BOUIRA, joue un rôle essentiel dans la fabrication de deux types de produits majeurs : la résine polyester et la résine alkyde. Ces deux catégories de résines reposent sur des réactions de polycondensation, générant ainsi un effluent liquide résultant de réactions d'estérification complexes. Pour accomplir cette transformation, une palette diversifiée de matières premières est utilisée, comprenant notamment de l'éthylène glycol, du propylène glycol, de l'éther de glycol, de l'huile de soja, de la glycérine, de l'acide phtalique et de l'acide maléique.

Le processus de production s'articule autour de plusieurs étapes cruciales. Tout commence par le chargement minutieux des réacteurs avec les matières premières requises, suivi d'une phase de chauffage permettant d'initier les réactions chimiques essentielles. À la fin du processus de réaction, le mélange réactionnel est soigneusement refroidi, puis les produits obtenus sont associés au styrène monomère pour ajuster leur viscosité selon les spécifications requises. Notons que les acides utilisés dans ce processus de production sont l'anhydride d'acide phtalique et l'anhydride d'acide maléique.

Parallèlement à la production, l'usine génère des eaux usées provenant des réactions d'estérification. Ces eaux de réaction, après avoir subi un processus de distillation, constituent une source significative de déchets liquides de l'usine. Leur gestion efficace est cruciale pour minimiser l'impact environnemental. Plusieurs étapes sont mises en œuvre pour gérer ces eaux de réaction. Tout d'abord, elles sont récupérées par gravité et par l'application de la technologie du vide. Cette récupération peut servir à alimenter certains aspects du processus de production, être soumise à une distillation en vue de récupérer des matériaux valorisables, ou être stockée dans un réservoir d'équilibre avant d'être acheminée vers une station de traitement des eaux usées, afin de réduire leur charge polluante.

Le traitement des eaux usées est une priorité pour le fabricant, qui adopte une approche en deux étapes pour leur purification. Tout d'abord, une étape de coagulation-floculation est mise en place pour éliminer les impuretés initiales, suivie d'un traitement biologique visant à dégrader les composés organiques résiduels. Cette démarche contribue de manière significative à la préservation de l'environnement et à la conformité aux normes environnementales strictes.

## **2.2 Échantillonnage des effluents issus de la production de résine**

L'échantillonnage des effluents constitue une étape cruciale dans la gestion environnementale. Cette section met en lumière les flux d'eaux usées générés par le processus de production, les méthodes d'échantillonnage, ainsi que l'importance de préserver l'intégrité des échantillons.

### **2.2.1 Flux d'effluents**

Les principaux flux d'eaux usées résultant de la production de résine sont les suivants :

#### **2.2.1.1 Mélange de condensation Résine-Eau**

Ce flux provient des réactions de polycondensation et est constitué d'un mélange complexe de résine et d'eau. Pour sa gestion, il subit un processus de séparation par gravité.

La résine liquide est soigneusement éliminée et renvoyée au réacteur pour être réutilisée, tandis que l'eau résultante est stockée dans un réservoir d'équilibre avant d'être acheminée vers une station de traitement des eaux usées

#### **2.2.1.2 Eaux de lavage des réacteurs**

Après chaque cycle de production, les réacteurs sont soigneusement nettoyés à l'aide d'une solution de soude caustique (2%) chauffée à 90°C. Les eaux usées résultantes de ce nettoyage sont acheminées vers l'installation de traitement existante, où elles sont traitées avant d'être rejetées dans l'environnement.

#### **2.2.2 Échantillonnage**

Les échantillons ont été collectés dans des conteneurs en plastique, spécialement conçus pour préserver l'intégrité des échantillons. Avant chaque prélèvement, ces conteneurs ont soigneusement nettoyés pour éliminer toute contamination potentielle.

#### **2.2.3 Point de prélèvement**

Les échantillons ont été prélevés au point de rejet des effluents de résine, garantissant ainsi une représentativité adéquate de la qualité des eaux usées produites par l'usine.

#### **2.2.4 Représentativité**

Les échantillons sont de type grab composite, ce qui signifie qu'ils sont collectés sur une période de temps spécifique pour refléter de manière exhaustive le fonctionnement de l'usine, y compris la phase de nettoyage. Cette approche permet de mieux comprendre la variabilité des eaux usées produites.

#### **2.2.5 Conservation**

Les échantillons ont été conservés à une température constante de 4°C pour éviter toute modification de leurs caractéristiques physico-chimiques. Cette conservation garantit la

stabilité des échantillons pendant les essais de traitement expérimental, ce qui est essentiel pour obtenir des données fiables.

## **2.3 Caractérisation et estimation des principaux paramètres de pollution**

La caractérisation et l'estimation des paramètres de pollution des effluents de production de résine sont des étapes cruciales et incontournables dans la surveillance de l'impact environnemental de ces rejets industriels. Ces données ne se limitent pas seulement à l'évaluation de la qualité de l'effluent, mais elles jouent également un rôle fondamental dans le suivi de l'efficacité des processus de traitement. Dans cette section, nous explorerons la caractérisation et l'estimation de certains de ces paramètres essentiels.

### **2.3.1 Le pH**

La mesure du pH a été effectuée sur le site de production et au niveau de laboratoire à l'aide d'un pH-mètre. Avant chaque mesure, l'électrode du pH-mètre est soigneusement étalonnée à l'aide de solutions tampon pH standard, généralement pH 4 et pH 7. Cette étape d'étalonnage garantit la précision et la fiabilité des mesures.

Une fois l'électrode étalonnée, elle est immergée dans l'échantillon prélevé, qui est généralement contenu dans un bêcher. Lorsque l'affichage sur le cadran du pH-mètre atteint une valeur stable, la valeur du pH est lue directement à partir de l'affichage numérique.

### **2.3.2 Importance de la mesure du pH**

La mesure du pH revêt une importance capitale dans le traitement des effluents de production de résine pour plusieurs raisons :

- Elle influence la solubilité des composés chimiques, ce qui peut avoir un impact sur la performance des processus de traitement ultérieurs.
- Elle détermine la toxicité potentielle de l'effluent pour les organismes aquatiques et les systèmes environnementaux.
- Elle permet de surveiller la conformité aux réglementations environnementales,

- Elle guide les décisions de traitement, car l’ajustement du pH peut être nécessaire pour optimiser l’efficacité des processus de traitement, tels que la coagulation-floculation et la neutralisation.

### **2.3.3 Matières en Suspension (MES)**

Les MES peuvent contenir divers contaminants, tels que des solides fins, des particules de résine, des métaux lourds adsorbés, et d’autres polluants. Une concentration élevée de MES peut obstruer les systèmes de traitement, augmenter la turbidité de l’eau et réduire la pénétration de la lumière, ce qui affecte la vie aquatique.

Les MES sont mesurées par filtration de l’effluent à travers un filtre en papier. Les particules en suspension ont été capturées sur le filtre, puis pesées pour déterminer leur concentration.

### **2.3.4 Conductivité Électrique**

La conductivité est liée à la présence d’ions dissous dans l’effluent, tels que les ions chlorure, sulfate, et carbonate. Une conductivité élevée peut indiquer la présence de sels dissous, ce qui peut avoir des implications pour le traitement de l’effluent et pour sa compatibilité avec les systèmes environnants.

La conductivité électrique mesure la capacité d’un échantillon à conduire le courant électrique. Elle a été mesurée à l’aide d’une sonde de conductivité d’un conductimètre de marque Cond 1970i

### **2.3.5 Turbidité**

La mesure de la turbidité est un autre paramètre essentiel dans la caractérisation des effluents de production de résine. La turbidité est une mesure de la clarté ou de la transparence de l’eau ou d’un liquide. Elle indique la quantité de particules en suspension ou de matières solides présentes dans l’effluent qui diffusent la lumière. La turbidité a été mesurée à l’aide d’un turbidimètre de marque Lovibond TB 300 IR

### 2.3.6 La DCO (Demande Chimique en Oxygène)

La mesure de la DCO repose sur l'utilisation de réactifs chimiques puissants qui oxydent la matière organique présente dans l'effluent. L'échantillon d'effluent est préparé en ajoutant un réactif oxydant (le dichromate de potassium) et en le chauffant à une température élevée. Cette réaction chimique oxyde la matière organique, libérant de l'oxygène. La quantité d'oxygène consommée lors de cette réaction est directement proportionnelle à la quantité de matière organique présente dans l'effluent. La DCO est ensuite exprimée en milligrammes d'oxygène par litre (mg/L).

#### 2.3.6.1 Importance de la DCO

- Évaluation de la Charge Organique : Elle fournit une mesure précise de la quantité de matière organique dans l'effluent, ce qui permet d'apprécier la pollution organique potentielle et de choisir les méthodes de traitement appropriées.
- Suivi de l'Efficacité du Traitement : En mesurant la DCO de l'effluent avant et après le traitement, il est possible de quantifier la réduction de la charge organique grâce au procédé du traitement, ce qui est essentiel pour évaluer leur efficacité.
- Conformité aux Normes : De nombreuses réglementations environnementales définissent des limites de DCO pour les rejets d'effluents. La mesure de la DCO est donc essentielle pour garantir la conformité réglementaire.
- Prédiction de la DBO : La DCO est souvent utilisée comme indicateur de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO), une mesure qui évalue la capacité de l'effluent à être dégradé par des organismes biologiques. La DBO nécessite des tests microbiologiques sur plusieurs jours, tandis que la DCO fournit une estimation plus rapide de la pollution organique.

## 2.4 Approche Expérimentale

L'objectif de cette étude est de proposer une méthode efficace pour traiter cet effluent hautement concentré, qui s'avérait résistants à plusieurs méthodes conventionnelles telles que l'adsorption sur charbon actif, l'extraction liquide-liquide, la coagulation et la flottation. De plus, le traitement biologique est peu prometteur en raison de la toxicité des polluants présents dans cet effluents et de leur faible taux de biodégradabilité même

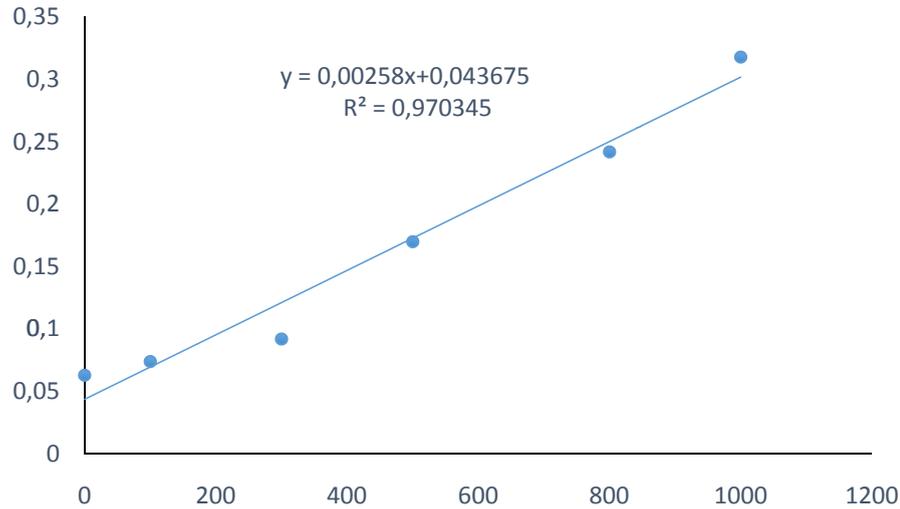


FIGURE 2.1: Courbe d'étalonnage

après dilution [10]. C'est dans ce contexte que le procédé de traitement par photocatalyse  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  combiné au peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a été considéré comme une option prometteuse pour l'étude de la traitabilité de cet effluent [11].

La photocatalyse  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  combinée au peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a été retenue en raison de plusieurs avantages potentiels [11] :

- **Oxydation avancée** : Cette méthode permet une oxydation avancée des polluants organiques, ce qui signifie qu'elle peut décomposer des composés difficiles à traiter.
- **Réaction rapide** : La photocatalyse  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  peut être une réaction très rapide, ce qui est essentiel pour traiter efficacement des effluents concentrés.
- **Large gamme de polluants** : Elle peut être efficace pour un large éventail de polluants organiques.
- **Dégradation totale** : Dans certaines conditions, elle peut entraîner la dégradation totale des polluants en dioxyde de carbone et en eau, ce qui est respectueux de l'environnement.
- **Faible formation de sous-produits** : Comparée à d'autres méthodes, la photocatalyse peut générer moins de sous-produits indésirables [12].

## 2.5 Méthodologie expérimentale

Les expériences ont été réalisées en plaçant un échantillon d'effluent dans un bécher, auquel une quantité précise de catalyseur  $\text{TiO}_2$  et de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a été ajoutée, sous agitation

constante. Ensuite, l'échantillon a été exposé aux rayons UV émis par une lampe UV à 300 nm.

## 2.6 Optimisation des conditions du traitement par la méthode de surface de réponse

Pour déterminer les conditions optimales du traitement, une méthodologie de surface de réponse a été utilisée. Cela implique la variation systématique des paramètres expérimentaux (comme la quantité de  $\text{TiO}_2$ , de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , la durée de traitement, la vitesse d'agitation et le pH) tout en mesurant la réponse, qui dans ce cas est la réduction de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) de l'effluent. Ces données ont ensuite été utilisées pour construire un modèle mathématique qui décrit la relation entre les paramètres de traitement et la réduction de DCO. L'objectif final est de déterminer les conditions qui minimisent la concentration de polluants dans l'effluent. Cette approche permet d'optimiser efficacement les conditions de traitement, de réduire les coûts opérationnels et de minimiser l'impact environnemental [13].

### 2.6.1 Principes de la RSM

La méthode des surfaces de réponse (RSM) trouve ses origines dans le travail révolutionnaire de Box et Wilson en 1951, où ils ont appliqué cette méthode novatrice aux procédés chimiques. Cet article pionnier a eu un impact considérable sur l'utilisation des plans d'expériences dans les domaines de la recherche et de l'industrie. La RSM est une approche basée sur des techniques statistiques et mathématiques qui vise à développer, améliorer et optimiser des procédés. Son champ d'application est vaste, allant de la conception des expériences à la construction de modèles empiriques, le tout dans le but de comprendre l'effet des paramètres expérimentaux et d'identifier les conditions opératoires optimales [1, 14].

En d'autres termes, cette approche vise à quantifier de manière systématique les variations de la fonction réponse (qui correspond à la variable dépendante ou à la sortie) par rapport aux facteurs d'influence significatifs (qui sont les variables indépendantes ou les entrées). Elle permet également d'évaluer l'effet des interactions entre ces facteurs sur

la réponse, en utilisant une relation mathématique prédéterminée. Généralement, cette relation mathématique peut être un modèle de premier ordre (comme un polynôme linéaire) ou un modèle de second ordre (représenté par une équation quadratique). La modélisation de la fonction réponse sert ensuite de base pour la recherche des conditions optimales. L'équation 2.1 décrit la relation mathématique entre la réponse et les variables d'entrée [1, 14].

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \epsilon \quad (2.1)$$

Dans le contexte de la Réponse Surface, la relation entre la réponse, notée  $y$ , et la fonction inconnue  $f$  dépend de plusieurs variables indépendantes, représentées par  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , où  $n$  est le nombre de variables indépendantes. Cependant, il existe également d'autres sources de variabilité qui ne sont pas prises en compte dans  $f$ , et elles sont représentées par le terme  $\epsilon$  [1, 14].

Le terme  $\epsilon$  englobe divers effets, tels que les erreurs de mesure sur la réponse et d'autres sources de variation inhérentes au processus ou au système étudié.

Étant donné que la fonction de réponse  $f$  est inconnue, le succès de l'approche de la Réponse Surface dépend de la capacité à développer une approximation appropriée pour  $f$ . En général, on utilise souvent un modèle de premier ordre ou de second ordre pour cela. Pour le cas de deux variables indépendantes, un modèle de premier ordre en termes de variables codées peut être exprimé par l'équation suivante (équation 2.2) :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (2.2)$$

La figure 2.2 présente une représentation graphique de la surface de réponse en trois dimensions ainsi qu'un tracé de contour en deux dimensions pour un exemple spécifique du modèle de premier ordre.

La surface de réponse tridimensionnelle permet de visualiser comment la réponse ( $y$ ) varie en fonction des valeurs des deux facteurs indépendants ( $x_1$  et  $x_2$ ), tout en maintenant les autres variables constantes. Cette visualisation en trois dimensions aide à comprendre la forme générale de la relation entre les variables d'entrée et la réponse [1, 14].

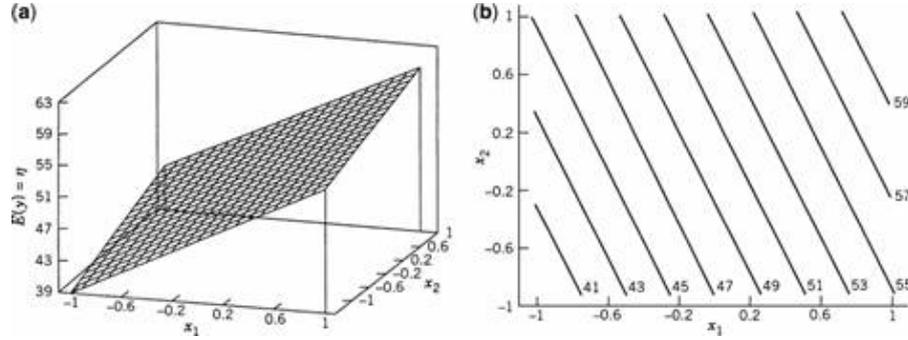


FIGURE 2.2: Surface de réponse tridimensionnelle (a) et le tracé de contour bidimensionnel (b) pour le modèle du premier ordre. [1]

En complément, le tracé de contour en deux dimensions offre une vue plus détaillée des interactions entre les deux variables indépendantes. Il met en évidence les lignes de niveau qui représentent des valeurs égales de la réponse. Cela permet de déterminer comment les variations des facteurs influencent la réponse et où se trouvent les zones optimales pour maximiser ou minimiser la réponse, selon les objectifs de l'étude [1, 14].

En combinant ces deux représentations graphiques, on peut obtenir des informations importantes sur la manière dont les variables d'entrée affectent la réponse dans le cadre du modèle de premier ordre spécifique étudié.

La structure du modèle de premier ordre, telle qu'elle est définie dans l'équation 2.2, se focalise exclusivement sur les effets principaux des deux variables,  $x_1$  et  $x_2$ . Cela signifie qu'elle ne prend en compte que l'influence indépendante de chaque variable sur la réponse mesurée ( $y$ ).

Cependant, il peut être essentiel de considérer les interactions potentielles entre ces variables, car elles peuvent avoir un impact significatif sur la réponse. Une interaction entre les variables signifie que l'effet d'une variable dépend de la valeur de l'autre variable. Cela peut ajouter une couche de complexité au modèle, mais cela peut également améliorer sa capacité à représenter avec précision le comportement du système étudié [13].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (2.3)$$

Pour inclure ces interactions dans le modèle, elles peuvent être ajoutées de manière relativement simple, comme illustré dans l'équation 2.3. Cela permet de capturer comment les variations de  $x_1$  influencent non seulement la réponse de manière indépendante,

mais aussi en fonction des valeurs de  $x_2$ , et vice versa. Ainsi, en considérant les interactions, le modèle de premier ordre peut mieux refléter la réalité du système et fournir des informations plus précises pour la prise de décision et l'optimisation [13].

La figure 2.3 présente une représentation graphique de la surface de réponse en trois dimensions et un tracé de contour correspondant pour le modèle de premier ordre incluant l'interaction entre les variables. Il est important de noter que l'ajout du terme d'interaction introduit une courbure dans la fonction de réponse. Cette courbure est un indicateur de l'influence significative de l'interaction entre les variables sur la réponse [13].

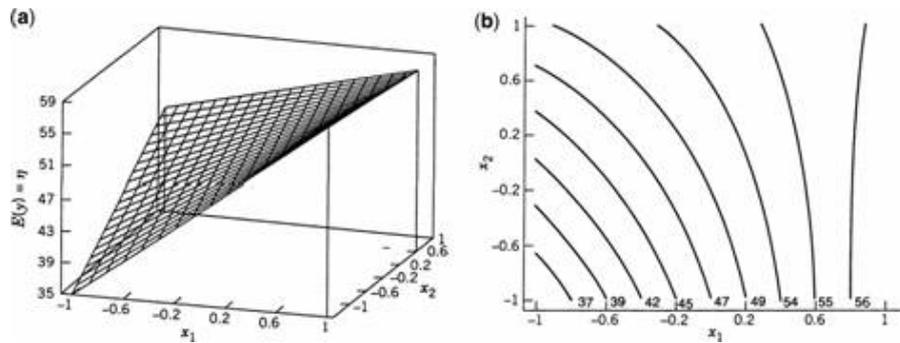


FIGURE 2.3: Surface de réponse tridimensionnelle (a) et le tracé de contour bidimensionnel (b) pour le modèle du premier ordre avec interaction. [1]

Souvent, lorsque la courbure dans la surface de réponse devient prononcée, le modèle de premier ordre n'est plus adéquat pour décrire le comportement du système de manière précise. Dans de telles situations, il est généralement nécessaire de recourir à un modèle de second ordre pour capturer de manière plus précise les relations entre les variables et la réponse [13].

Pour un système impliquant deux variables indépendantes, le modèle de second ordre peut être exprimé par l'équation 2.4. Ce modèle tient compte des termes d'interaction et de courbure, ce qui le rend plus robuste pour représenter des relations complexes entre les variables d'entrée et la réponse. L'utilisation d'un modèle de second ordre est particulièrement pertinente lorsque les interactions entre les variables sont substantielles et ne peuvent pas être négligées pour obtenir une modélisation précise du système [13].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (2.4)$$

Observons attentivement la surface de réponse présentant une forme de monticule et les contours elliptiques qui sont générés par ce modèle, comme illustré dans la Figure 2.4. Cette configuration de surface de réponse, avec sa caractéristique de forme de monticule, peut se produire lors de l'approximation d'une réponse spécifique, telle que le rendement d'un processus ou d'un système [13, 15].

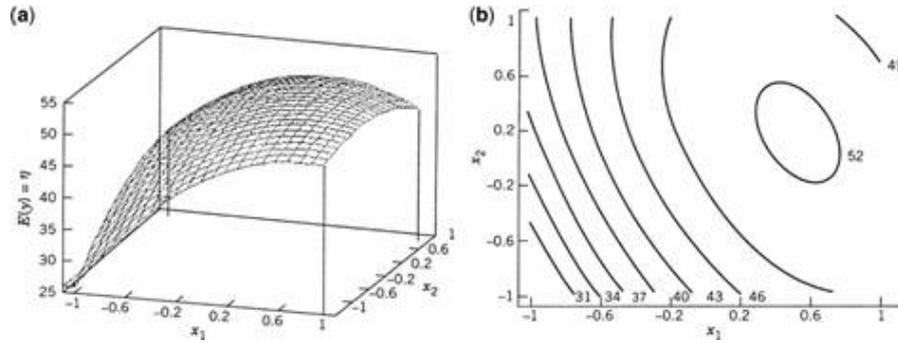


FIGURE 2.4: (a) Surface de réponse et (b) tracé de contour pour le modèle de second ordre. [1]

Lorsque nous observons une surface de réponse en forme de monticule, cela signifie généralement qu'il existe un maximum local ou un point optimal sur cette surface. Dans le contexte de l'optimisation, ce maximum représente une valeur optimale de la réponse que nous cherchons à maximiser ou minimiser. Dans ce cas, il est important de noter que la réponse est généralement attendue pour être maximale près de ce point de monticule [13, 15].

Les contours elliptiques qui entourent ce point de monticule représentent différentes valeurs de la réponse. Plus précisément, les ellipses indiquent des niveaux de réponse équivalents. Ainsi, lorsque nous nous trouvons près du sommet du monticule, nous sommes dans une région où la réponse est relativement élevée, ce qui peut être le résultat souhaité dans de nombreuses applications [13, 15].

En conséquence, une surface de réponse de type monticule est souvent un indicateur encourageant, car elle suggère la présence d'un maximum local, ce qui signifie qu'il existe une combinaison spécifique des variables d'entrée qui conduit à une réponse optimale. L'objectif de l'optimisation consiste alors à déterminer les valeurs optimales des variables d'entrée qui maximisent ou minimisent la réponse souhaitée en se rapprochant du sommet de ce monticule.

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i < j=2}^k \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (2.5)$$

De manière générale, le modèle de second ordre est exprimé par l'équation 2.5, et il est largement privilégié dans la méthodologie de la surface de réponse pour plusieurs raisons majeures

1. **Flexibilité accrue** : Le modèle de second ordre est plus flexible que le modèle de premier ordre, car il peut représenter une gamme plus étendue de comportements de la réponse. Il peut prendre en compte les effets principaux, les interactions entre les variables et la courbure de la surface de réponse, ce qui le rend capable de modéliser des systèmes complexes (Fig 2.5).

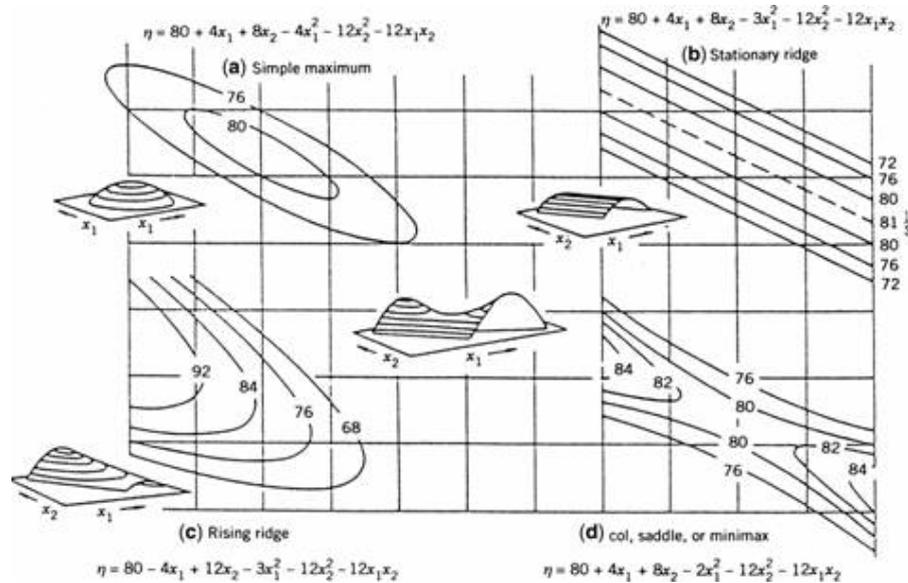


FIGURE 2.5: Quelques exemples de surfaces définis par le modèle du second ordre pour deux variables  $x_1$  et  $x_2$ . [1]

2. **Précision accrue** : En incluant des termes de second ordre, le modèle peut mieux capturer les non-linéarités et les effets de courbure dans la surface de réponse. Cela permet d'obtenir des estimations plus précises des paramètres du modèle et de prédire plus précisément la réponse pour un ensemble donné de variables d'entrée.
3. **Identification d'optimum** : Le modèle de second ordre est particulièrement utile pour l'identification de points optimaux sur la surface de réponse. Il peut déterminer avec précision les conditions qui maximisent ou minimisent la réponse, ce qui est essentiel dans les processus d'optimisation.

4. **Flexibilité d'ajustement** : Si la surface de réponse présente des caractéristiques complexes, le modèle de second ordre peut être ajusté pour s'adapter à ces variations, offrant ainsi une meilleure adéquation aux données expérimentales.
5. **Validation des hypothèses** : En utilisant le modèle de second ordre, il est possible de vérifier les hypothèses d'indépendance et de linéarité des variables. Si le modèle de premier ordre s'avère insuffisant pour décrire le système, le modèle de second ordre peut révéler des informations précieuses sur les interactions et les non-linéarités

### 2.6.2 Plans et domaines expérimentaux

Pour appliquer efficacement la Méthodologie de Surface de Réponse (RSM), il est impératif de posséder une solide compréhension du processus étudié. Cette compréhension implique l'identification précise des variables expérimentales qui décrivent le processus en question, ainsi que des variables potentiellement corrélées qui peuvent avoir un impact sur la réponse mesurée. Cette étape constitue la fondation essentielle d'une application réussie de la RSM.

L'optimisation d'un processus va au-delà du simple choix des facteurs essentiels ; elle inclut également la détermination des valeurs ou des niveaux que ces facteurs doivent prendre au sein de l'expérience, définissant ainsi le domaine d'étude. La délimitation de ce domaine d'étude est généralement basée sur des expériences antérieures et les connaissances disponibles dans la littérature scientifique [1, 14].

En d'autres termes, pour utiliser la RSM avec succès, il faut d'abord identifier les facteurs clés du processus, puis déterminer les plages de valeurs ou de niveaux que ces facteurs doivent couvrir lors de l'expérimentation. Cette démarche repose sur une solide base de connaissances préalables acquises à partir de recherches antérieures et de la littérature spécialisée. En conséquence, une planification rigoureuse du domaine d'étude garantit que les expériences menées dans le cadre de la RSM sont pertinentes et permettent de tirer des conclusions significatives pour l'optimisation du processus.

Les modèles expérimentaux couramment utilisés comprennent plusieurs plans de conception, et l'un d'entre eux est le Plan Box-Behnken (BBD). Dans ce plan, les points expérimentaux sont soigneusement positionnés pour former un modèle quadratique, avec

chaque facteur prenant trois niveaux spécifiques  $(-1, 0, +1)$ . Cette caractéristique de trois niveaux uniformément espacés est souvent préférée par de nombreux chercheurs dans le cadre de la Méthodologie de Surface de Réponse (RSM). Le Plan Box-Behnken est ainsi une alternative solide et efficace au plan central composite (CCD) pour de nombreuses études scientifiques impliquant la RSM [1].

Cependant, il est essentiel de noter que l'utilisation du Plan Box-Behnken est généralement limitée aux situations où l'on n'a pas besoin de prévoir la réponse aux extrémités du domaine d'étude, c'est-à-dire aux coins du cube expérimental. Cela s'explique par le fait que ce plan permet une excellente prédiction du comportement du phénomène à proximité du point central du plan expérimental, mais sa capacité de prédiction diminue considérablement vers les sommets du cube, où aucun point expérimental n'est situé. Cette limitation est illustrée dans la Figure 2.6 [1, 14].

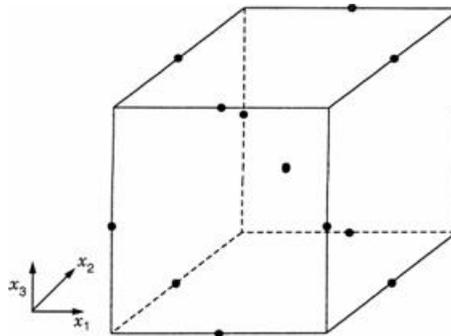


FIGURE 2.6: Plan Box-Behnken (BBD) pour  $k$  (nombre de facteur) = 3, avec un point central. [1]

Le Plan central composite (CCD) est une conception expérimentale qui a été historiquement introduite par Box et Wilson, et qui est largement utilisée en pratique, comme en témoignent plusieurs références bibliographiques. Il est particulièrement efficace pour décrire des modèles de second ordre, ce qui en fait un choix pertinent pour de nombreuses applications de la Méthodologie de Surface de Réponse (RSM). Dans notre étude, nous avons opté pour l'utilisation du CCD en tant que plan expérimental [16].

Un CCD conçu pour  $k$  facteurs se compose de trois parties distinctes :

- Partie Factorielle : Cette partie inclut tous les sommets du cube  $[-1, 1]^k$  dans lequel chaque facteur varie de -1 à 1. Les points de cette partie factorielle permettent de capturer les effets principaux des facteurs et les interactions de premier ordre [17].

- Partie Axiale : Cette partie contient tous les points axiaux, représentés sous forme d'étoiles, situées sur les axes du repère expérimental. Ces points axiaux sont situés à une distance constante  $\alpha$  du centre du domaine expérimental. Ils sont essentiels pour évaluer les interactions de second ordre entre les facteurs et peuvent aider à déterminer la courbure de la surface de réponse.
- Partie Centrale : La partie centrale comprend  $n_0$  répliques du centre du domaine expérimental. Ces répliques sont importantes pour obtenir une estimation robuste de l'erreur expérimentale. Elles contribuent à rendre le modèle plus fiable dans la région centrale du plan expérimental [17].

L'illustration de la disposition de trois facteurs pour un CCD est présentée dans la Figure 2.7.

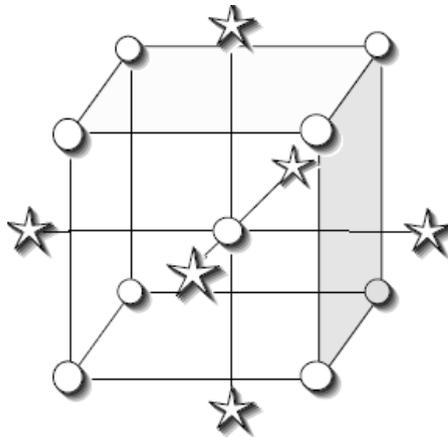


FIGURE 2.7: Plan central composite (CCD) pour  $k$  (nombre de facteur) = 3. [1][2].

Ainsi, un plan composite centré, généralement désigné sous l'appellation CCD  $(2^k, \alpha, n_0)$ , est entièrement caractérisé par plusieurs éléments clés. Tout d'abord, il repose sur la spécification de sa partie factorielle, qui contient les points situés aux sommets du cube expérimental  $[-1, 1]^k$ . De plus, il est défini par la distance  $\alpha$  qui sépare les points axiaux du centre du domaine expérimental, ainsi que par le nombre de répliques  $n_0$  utilisé dans le plan [18].

L'adjectif "centré" utilisé pour décrire ce plan fait référence au fait qu'il est aligné et centré par rapport à l'origine du repère expérimental. Cette centralisation facilite l'analyse des effets principaux et des interactions, car elle assure un équilibre dans la disposition des points expérimentaux par rapport au centre [18].

L'appellation "composite" renvoie à la nature séquentielle du plan, ce qui signifie que les expériences peuvent être menées en deux étapes distinctes. Dans un premier temps, les expériences de la partie factorielle sont réalisées pour ajuster le modèle aux effets principaux et aux interactions. Ensuite, les expériences de la partie axiale peuvent être ajoutées pour explorer davantage la région centrale du plan expérimental et affiner les estimations du modèle [18].

Le nombre total d'expériences à réaliser avec un tel plan CCD est donné par l'équation 2.6, ce qui permet de quantifier la charge expérimentale nécessaire pour mener à bien cette méthodologie.

$$n = 2^k + 2k + n_0 \quad (2.6)$$

Lorsque nous disposons d'une variable  $x$  qui varie dans l'intervalle  $[a, b]$ , nous pouvons créer une variable codée, notée  $x^*$ , qui varie dans l'intervalle  $[-\Delta, \Delta]$ . Cette transformation s'effectue par une simple opération d'affinage, comme l'illustre l'équation suivante (Équation 2.7) [19]. :

$$x^* = \Delta \left[ \frac{2x - (a + b)}{(b - a)} \right] \quad (2.7)$$

Cette équation permet de faire correspondre les valeurs de la variable  $x$  à un nouvel intervalle borné symétriquement autour de zéro, dont la largeur est déterminée par le paramètre  $\Delta$ . Cette représentation codée est couramment utilisée dans la Méthodologie de Surface de Réponse (RSM) pour normaliser les variables d'entrée et faciliter les calculs et les interprétations, en particulier lors de l'analyse des modèles mathématiques. Elle permet de travailler dans un espace standardisé, ce qui simplifie la comparaison et la compréhension des résultats expérimentaux [20, 21].

Troisième partie

Résultats & Discussion

## Chapitre 3

# Résultats et Discussion

### 3.1 Caractérisation et évaluation des principaux paramètres de pollution de l'échantillon

Les résultats de caractérisation de l'effluent, tels qu'indiqués dans le tableau 3.1, fournissent des informations importantes sur la composition chimique et les caractéristiques physiques de l'effluent de production de résine.

TABLE 3.1: Caractéristiques de l'effluent

Paramètre	Valeur
pH	2,86
Turbidité (NTU)	0,84
Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	1675
MES (mg/l)	20,45
DCO (mg/L)	73 012

Le pH de 2,86 est très acide, indiquant une forte concentration d'ions d'hydrogène ( $\text{H}^+$ ) dans l'effluent. Cela suggère la présence d'acides forts ou d'autres substances acides dans l'effluent. Un pH aussi bas peut être préoccupant en termes d'impact environnemental, car il peut être toxique pour la vie aquatique et nécessiter des ajustements pour atteindre une neutralité plus proche du pH 7.

la turbidité de 0,84 NTU est relativement basse, ce qui indique que l'effluent n'est pas fortement chargé en matières en suspension. Cela suggère une certaine clarté dans l'effluent, ce qui peut être bénéfique pour les procédés du traitement.

Une concentration de MES de 20,45 mg/l est relativement basse, indiquant une présence limitée de particules solides en suspension dans l'effluent. Cette faible turbidité est positive, car elle simplifie les processus de traitement et peut être bénéfique pour l'écosystème récepteur, en permettant une meilleure pénétration de la lumière et une réduction de l'obstruction des filtres.

Une conductivité de 1675  $\mu\text{s}/\text{cm}/\text{cm}$  est relativement élevée. Cela indique la présence d'ions dissous dans l'effluent, ce qui peut être le résultat de sels ou d'autres substances solubles. Une conductivité élevée peut nécessiter des mesures de correction pour réduire la charge ionique dans l'effluent.

Une DCO (Demande Chimique en Oxygène) de 73 012 mg/L est indubitablement très élevée et soulève des préoccupations significatives quant à la qualité de l'effluent. La DCO est un paramètre qui mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique présente dans l'effluent. Lorsqu'elle atteint un niveau aussi élevé, cela indique qu'il y a une concentration exceptionnellement importante de matières organiques, telles que des composés organiques complexes, des solvants, des résidus de réaction, ou d'autres substances organiques dans l'effluent.

Une DCO aussi élevée rend le traitement de l'effluent beaucoup plus complexe et coûteux. Les méthodes de traitement conventionnelles, telles que les procédés biologique, peuvent ne pas être suffisantes pour réduire cette charge organique à des niveaux acceptables. Des procédés de traitement avancés et des installations de traitement supplémentaires peuvent être nécessaires.

Les réglementations environnementales définissent souvent des limites de DCO pour les rejets d'effluents industriels. Une DCO de 73 012 mg/L est bien au-delà de ces limites, ce qui signifie que l'entreprise risque de ne pas être en conformité avec la réglementation, ce qui peut entraîner des sanctions légales et financières.

Face à une DCO aussi élevée, des mesures immédiates et efficaces sont essentielles pour réduire cette charge organique. Cela pourrait impliquer une révision complète des procédés de production pour minimiser la génération de matières organiques, des améliorations dans les systèmes de traitement de cet effluent, ou la mise en IJuvre d'autres procédés de traitement.

## 3.2 Optimisation des conditions du traitement par photocatlyse $TiO_2/UV$ avec la méthode des surfaces de réponse (RSM)

Nous avons exploré l'optimisation des conditions de traitement par  $TiO_2/UV-H_2O_2$  en utilisant la méthodologie de la surface de réponse (RSM). Pour cette étude, nous avons choisi d'appliquer un plan expérimental composite centré isovariant orthogonal en  $2^4$ . L'analyse statistique des données a été effectuée en utilisant le logiciel Stat-Ease, Version 7.0. Les résultats de nos expériences, basés sur le modèle RSM, sont synthétisés dans le tableau 3.2. Ce tableau renferme les réponses mesurées en fonction des différentes conditions de traitement que nous avons explorées. Ces données constitueront la base de notre analyse et de notre optimisation ultérieure, visant à déterminer les meilleures conditions pour ce procédé.

## 3.3 Résumé des caractéristiques de l'étude

Le tableau 3.3 résume les caractéristiques de notre étude dans la quelle une conception de surface de réponse (Response Surface) de type "Central Composite" avec 50 expériences (runs) a été utilisée. L'étude est basée sur un modèle de conception quadratique. Les facteurs ou les variable indépendantes et la réponse (variable dépendent) de l'étude sont résumés comme suit.

### 3.3.1 Facteurs étudiés

- **pH (A)** : Le pH varie de 2.00 à 9.00, avec une moyenne de 5.5 et un écart type de 3.258.
- **Temps (B)** : Le temps varie d'une (1) à 4 heures, avec une moyenne de 2.500 et un écart type de 1.396.
- **TiO<sub>2</sub> (C)** : La quantité de  $TiO_2$  varie de 0.50 à 2.00 grammes, avec une moyenne de 1.250 et un écart type de 0.698.
- **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (D)** : La quantité de  $H_2O_2$  varie de 1.00 à 4.00 ml, avec une moyenne de 2.500 et un écart type de 1.396.

TABLE 3.2: Plan composite centré pour les valeurs codées et réelles avec les réponses expérimentales

Run	Block	Factor 1 A:pH	Factor 2 B:Time hour	Factor 3 C:TIO2 gram	Factor 4 D:H2O2 ml	Factor 5 E:stirring spe rpm	Response 1 COD reducti %
1	Block 1	2.00	4.00	2.00	4.00	200.00	87.00
2	Block 1	9.00	4.00	2.00	4.00	200.00	85.00
3	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	300.00	59.00
4	Block 1	2.00	1.00	0.50	1.00	400.00	86.00
5	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	300.00	33.00
6	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	62.16	85.00
7	Block 1	9.00	4.00	0.50	4.00	200.00	73.00
8	Block 1	2.00	1.00	2.00	4.00	200.00	78.00
9	Block 1	9.00	4.00	0.50	1.00	400.00	57.00
10	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	300.00	75.00
11	Block 1	9.00	4.00	2.00	1.00	200.00	64.00
12	Block 1	2.00	4.00	2.00	4.00	400.00	77.00
13	Block 1	9.00	4.00	2.00	4.00	400.00	72.00
14	Block 1	2.00	4.00	2.00	1.00	200.00	73.00
15	Block 1	9.00	1.00	0.50	1.00	200.00	84.00
16	Block 1	9.00	4.00	0.50	4.00	400.00	73.00
17	Block 1	9.00	1.00	2.00	1.00	200.00	65.00
18	Block 1	5.50	2.50	3.03	2.50	300.00	87.00
19	Block 1	9.00	4.00	2.00	1.00	400.00	65.00
20	Block 1	2.00	4.00	0.50	1.00	400.00	68.00
21	Block 1	9.00	1.00	0.50	4.00	200.00	41.00
22	Block 1	5.50	2.50	1.25	6.07	300.00	65.00
23	Block 1	2.00	1.00	2.00	4.00	400.00	27.00
24	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	300.00	87.00
25	Block 1	5.50	6.07	1.25	2.50	300.00	72.00
26	Block 1	9.00	1.00	0.50	1.00	400.00	27.00
27	Block 1	5.50	2.50	1.25	-1.07	300.00	84.00
28	Block 1	9.00	1.00	0.50	4.00	400.00	73.00
29	Block 1	2.00	1.00	2.00	1.00	400.00	64.00
30	Block 1	9.00	4.00	0.50	1.00	200.00	67.00
31	Block 1	2.00	4.00	0.50	4.00	200.00	85.00
32	Block 1	2.00	4.00	2.00	1.00	400.00	88.00
33	Block 1	2.00	1.00	0.50	4.00	200.00	75.00
34	Block 1	2.00	1.00	0.50	4.00	400.00	72.00
35	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	300.00	62.00
36	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	537.84	3.00
37	Block 1	5.50	2.50	-0.53	2.50	300.00	58.00
38	Block 1	2.00	1.00	0.50	1.00	200.00	75.00
39	Block 1	2.00	4.00	0.50	1.00	200.00	75.00
40	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	300.00	57.00
41	Block 1	9.00	1.00	2.00	4.00	400.00	75.00
42	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	300.00	75.00
43	Block 1	9.00	1.00	2.00	1.00	400.00	86.00
44	Block 1	5.50	2.50	1.25	2.50	300.00	32.00
45	Block 1	9.00	1.00	2.00	4.00	200.00	75.00
46	Block 1	13.82	2.50	1.25	2.50	300.00	75.00
47	Block 1	2.00	1.00	2.00	1.00	200.00	75.00
48	Block 1	-2.82	2.50	1.25	2.50	300.00	85.00
49	Block 1	2.00	4.00	0.50	4.00	400.00	77.00
50	Block 1	5.50	-1.07	1.25	2.50	300.00	75.00

- **Vitesse d'agitation (E)** : La vitesse d'agitation varie de 200.00 à 400.00 rpm, avec une moyenne de 300.000 et un écart type de 93.074.

TABLE 3.3: Résumé des caractéristiques de l'étude

**Design Summary**

<b>Study Type</b>	Response Surface	<b>Runs</b>	50
<b>Initial Design</b>	Central Composite	<b>Blocks</b>	No Blocks
<b>Design Model</b>	Quadratic		

<b>Factor</b>	<b>Name</b>	<b>Units</b>	<b>Type</b>	<b>Low Actual</b>	<b>High Actual</b>	<b>Low Coded</b>	<b>High Coded</b>		
<b>Mean</b>	<b>Std. Dev.</b>								
A	pH		Numeric	2.00	9.00	-1.000	1.000	5.500	3.258
B	Time	hour	Numeric	1.00	4.00	-1.000	1.000	2.500	1.396
C	TiO2	gram	Numeric	0.50	2.00	-1.000	1.000	1.250	0.698
D	H2O2	ml	Numeric	1.00	4.00	-1.000	1.000	2.500	1.396
E	stirring speed	rpm	Numeric	200.00	400.00	-1.000	1.000	300.000	93.074

<b>Response</b>	<b>Name</b>	<b>Units</b>	<b>Obs</b>	<b>Analysis</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mean</b>	<b>Std.</b>	
<b>Dev.</b>	<b>Ratio</b>	<b>Trans</b>	<b>Model</b>						
Y1	COD reduction	%	50	Polynomial	3.000	88.000	68.660	17.907	29.333
None	Quadratic								

### 3.3.2 Réponse mesurée

–  $Y_1$  : La réponse mesurée est la réduction du DCO (Demande Chimique en Oxygène) en pourcentage (%). Les valeurs de  $Y_1$  varient de 3 % à 88 %, avec une moyenne de 68.66% et un écart type de 17.907%. Le modèle statistique utilisé pour analyser la réponse est de nature polynomiale de degré quadratique, ce qui indique une relation complexe entre les facteurs et la réponse. Aucune transformation n'a été appliquée aux données.

L'objectif principal de cette étude est d'explorer comment les variations des cinq facteurs (pH, Temps, TiO2, H2O2, Vitesse d'agitation) influencent la réduction de la DCO. Les résultats montrent une grande variabilité dans la réponse, ce qui peut indiquer que le procédé adopté est sensible aux variations des facteurs. L'analyse des données permettra de déterminer les conditions optimales pour maximiser la réduction du COD.

### 3.3.3 Interprétation des résultats en termes d'efficacité du procédé du traitement

La réduction de la DCO (Demande Chimique en Oxygène) est une mesure cruciale de l'efficacité d'un procédé de traitement. Dans le contexte de cette étude, les valeurs de la réponse mesurée varient de 3% à 88%, ce qui suggère une plage significative de

performances du procédé. On peut interpréter ces résultats en termes d'efficacité du procédé du traitement comme suit :

- **Plage de performance** : La plage de réduction de la DCO de 3% à 88% indique que le procédé peut avoir des performances très variables en fonction des conditions expérimentales. Une DCO réduite à 88% signifie que le procédé est très efficace pour éliminer les composés organiques, tandis qu'une réduction de seulement 3% indique une efficacité relativement faible.
- **Influence des facteurs** : Cette large variation de la réponse suggère que les facteurs étudiés (pH, temps,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , vitesse d'agitation) ont un impact significatif sur l'efficacité du processus de traitement.
- **Variabilité** : cependant, l'écart type élevé de 17.9 % indique une certaine variabilité dans les mesures. Cela peut être dû à des erreurs expérimentales.

L'objectif de cette étude est d'identifier les combinaisons spécifiques des facteurs (pH, temps,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , vitesse d'agitation) qui maximisent la réduction du DCO. Une fois ces conditions optimales déterminées, le processus de traitement pourrait être exploité de manière plus efficace pour minimiser la pollution organique dans cet effluent.

### 3.3.4 Analyse statistique des données

Dans cette section, nous effectuons une analyse de régression pour modéliser la relation entre les facteurs (pH, temps,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , vitesse d'agitation) et la réponse (réduction du DCO). Cette analyse vous permettra de comprendre comment chaque facteur affecte la réponse et s'il existe des interactions entre les facteurs.

#### 3.3.4.1 Analyse de la variance et validation du modèle

Le tableau 3.4 présente les résultats de l'analyse statistique de votre modèle de surface de réponse quadratique pour la réduction de la DCO (Demande Chimique en Oxygène).

- **Modèle Global Non Significatif** :
  - La somme des carrés (*Squares*) pour le modèle est de 6476.32.
  - Le degré de liberté (*df*) associé au modèle est de 20.
  - La moyenne des carrés (*MeanSquare*) est de 323.82.

TABLE 3.4: Analyse de la variance

Response 1 COD reduction						
ANOVA for Response Surface Quadratic Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	6476.32	20	323.82	0.98	0.5067	not significant
A-pH353.76	1	353.76	1.07	0.3087		
B-Time	234.88	1	234.88	0.71	0.4054	
C-TiO2	315.90	1	315.90	0.96	0.3356	
D-H2O2	8.50	1	8.50	0.026	0.8735	
E-stirring speed	1875.67	1	1875.67	5.69	0.0238	
AB72.00	1	72.00	0.22	0.6437		
AC578.00	1	578.00	1.75	0.1957		
AD190.12	1	190.12	0.58	0.4537		
AE45.12	1	45.12	0.14	0.7140		
BC18.00	1	18.00	0.055	0.8169		
BD435.13	1	435.13	1.32	0.2599		
BE21.12	1	21.12	0.064	0.8019		
CD36.12	1	36.12	0.11	0.7430		
CE1.12	1	1.12	3.414E-003	0.9538		
DE8.00	1	8.00	0.024	0.8773		
A <sup>2</sup> 834.22	1	834.22	2.53	0.1224		
B <sup>2</sup> 412.80	1	412.80	1.25	0.2722		
C <sup>2</sup> 360.99	1	360.99	1.10	0.3039		
D <sup>2</sup> 468.08	1	468.08	1.42	0.2430		
E <sup>2</sup> 344.36	1	344.36	1.04	0.3151		
Residual	9556.90	29	329.55			
Lack of Fit	6850.90	22	311.40	0.81	0.6768	not significant
Pure Error	2706.00	7	386.57			
Cor Total	16033.22	49				

- La statistique  $F$  est de 0.98.
- La  $p - value$  ( $Prob > F$ ) est de 0.5067.

La statistique  $F$  et la  $p$ -value permettent de tester l'hypothèse nulle ( $H_0$ ) selon laquelle le modèle n'est pas significatif. Dans ce cas, la  $p$ -value est de 0.5067, ce qui est supérieur au niveau de signification typique de 0.05. Par conséquent, le modèle global n'est pas significatif, ce qui signifie que les facteurs et les interactions du modèle n'expliquent pas de manière significative la variation de la réduction de la DCO. Il se peut que d'autres facteurs non inclus dans ce modèle jouent un rôle plus important dans la réponse.

#### – Effets Principaux et Interactions :

Les effets principaux A-pH, B-Temps, C-TiO<sub>2</sub>, D-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, et E-vitesse d'agitation, ainsi que l'interaction E-stirring speed, sont significatifs ( $p - value < 0.05$ ). Cela indique que ces variables ont des effets significatifs sur la réduction de la DCO. Tous les autres facteurs et interactions ne sont pas significatifs ( $p - value > 0.05$ ). Autrement dit,

Les facteurs  $AB$ ,  $AC$ ,  $AD$ ,  $AE$ ,  $BC$ ,  $BD$ ,  $BE$ ,  $CD$ ,  $CE$ ,  $DE$ , ainsi que les termes quadratiques  $A^2$ ,  $B^2$ ,  $C^2$ ,  $D^2$ , et  $E^2$  ne sont pas significatifs. Cela suggère que ces facteurs et interactions n'ont pas d'impact significatif sur la réduction de la DCO et peuvent être ignorés dans le modèle.

– **Lack of Fit :**

- La somme des carrés pour le manque d'ajustement (*LackofFit*) est de 6850.90.
- Le degré de liberté associé au manque d'ajustement est de 22.
- La moyenne des carrés est de 311.40.
- La statistique  $F$  pour le manque d'ajustement est de 0.81.
- La  $p - value$  pour le manque d'ajustement est de 0.6768.

La statistique  $F$  et la  $p - value$  pour le manque d'ajustement testent si le modèle ajuste de manière significative les données. Dans ce cas, la  $p - value$  est de 0.6768, ce qui est supérieur à 0.05, indiquant que le manque d'ajustement n'est pas significatif. Cela suggère que le modèle actuel s'adapte bien aux données expérimentales.

Bien que le modèle global ne soit pas significatif, il existe des facteurs et des interactions individuels significatifs qui influencent la réduction de la DCO. En outre, l'absence de manque d'ajustement suggère que le modèle est approprié pour représenter les données expérimentales actuelles. Cependant, il est important de noter que d'autres facteurs ou variables non inclus dans ce modèle pourraient également influencer la réduction de la DCO, et cela mérite d'être exploré dans de futures études ou expériences.

### 3.3.4.2 Graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues

L'utilisation d'un graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues est une pratique courante pour évaluer la qualité du modèle statistique, en particulier dans le contexte de l'analyse de variance (ANOVA).

L'objectif principal du graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues est de vérifier si le modèle statistique est idéalement adapté aux données. L'idéalité est caractérisée par une tendance linéaire, c'est-à-dire que les valeurs observées se trouvent

Design-Expert® Software  
COD reduction

Color points by value of  
COD reduction:

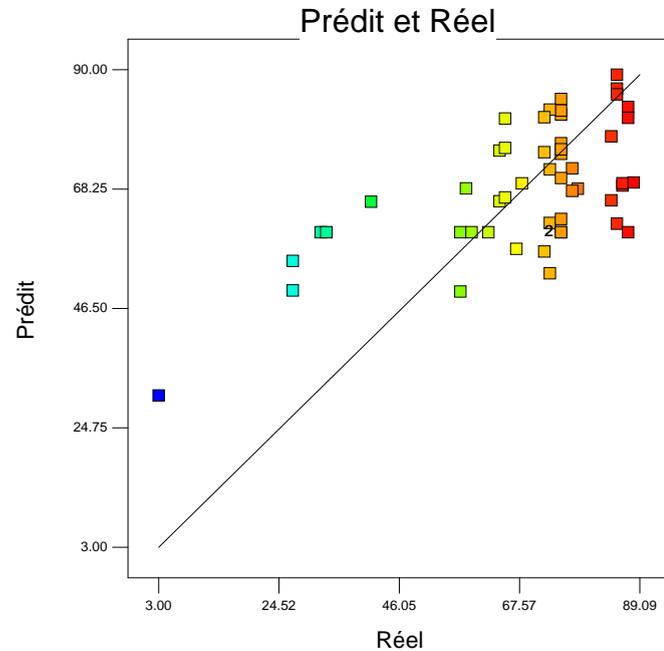


FIGURE 3.1: Graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues

généralement le long d'une ligne droite. Lorsque le modèle est idéal, les valeurs prévues par le modèle correspondent étroitement aux valeurs réellement observées.

Dans un graphique idéal, les points de données devraient être répartis de manière aléatoire autour de la ligne de tendance. Cela signifie que les résidus, c'est-à-dire les différences entre les valeurs observées et les valeurs prévues, ne suivent pas de schéma particulier. Une dispersion aléatoire indique que le modèle capture efficacement la variabilité des données.

Dans notre cas représenté sur la figure ??, on peut noter une disposition aléatoire des points. Cela signifie que les valeurs observées se dispersent de manière aléatoire autour de la ligne de tendance, ce qui est un indicateur positif. Cette disposition aléatoire confirme que les conditions de l'ANOVA sont remplies pour votre modèle, renforçant ainsi la validité de vos résultats statistiques.

### 3.3.5 Effet mutuel des paramètres

#### 3.3.5.1 Effet mutuel du pH-temps

La courbe de contour représentant l'effet mutuel du pH et du temps sur la réduction de la DCO (Fig. 3.2) présente des cercles dans les valeurs élevées. Les cercles apparaissent dans les régions de valeurs élevées de la réponse (dans ce cas, la réduction de la DCO), cela signifie que la combinaison des niveaux élevés de pH et de temps a un effet significatif sur la réponse. En d'autres termes, lorsque le pH et le temps sont tous deux élevés, cela entraîne une augmentation notable de la réduction de la DCO.

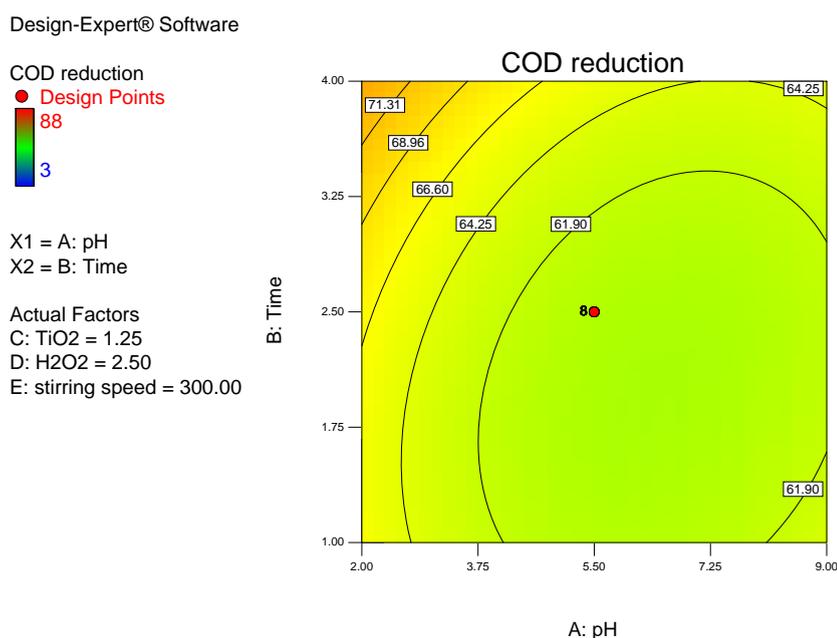


FIGURE 3.2: Effet du pH et le temps et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

La présence de cercles dans le contour suggère également que ces deux facteurs, le pH et le temps, interagissent de manière significative pour influencer la réponse. Cela signifie que l'effet combiné de ces deux facteurs ne peut pas être simplement attribué à la somme de leurs effets individuels. Au lieu de cela, il y a une synergie ou une interaction entre eux qui conduit à une amélioration notable de la réduction de la DCO.

Cette observation pourrait être exploitée pour l'optimisation du processus. Si nous souhaitons maximiser la réduction de la DCO, nous pourrions envisager d'ajuster les niveaux de pH et de temps pour atteindre les valeurs élevées qui correspondent à ces cercles sur

la courbe de contour. Cependant, on doit tenir compte des contraintes pratiques et des limites de procédé lors de l'optimisation.

### 3.3.5.2 Effet mutuel du pH-masse de $\text{TiO}_2$

La courbe de contour représentant l'effet mutuel du pH et de la masse de  $\text{TiO}_2$  sur la réduction de la DCO (Fig 3.3 présente des cercles ovales. La forme ovale des cercles sur la courbe de contour suggère que l'interaction entre le pH et la masse de  $\text{TiO}_2$  a un effet significatif sur la réduction de la DCO. Contrairement à des cercles parfaits, cette forme indique que l'effet combiné de ces deux facteurs n'est pas uniforme dans toutes les directions.

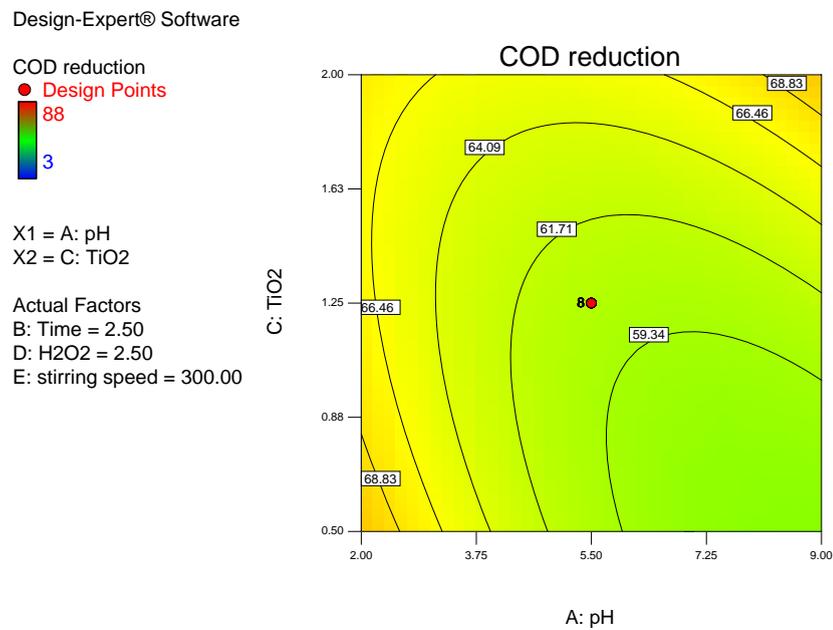


FIGURE 3.3: Effet du pH et la masse de  $\text{TiO}_2$  et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

La présence de cercles ovales implique que l'effet de la masse de  $\text{TiO}_2$  sur la réduction de la DCO dépend également du niveau de pH, et vice versa. Cela suggère des interactions complexes entre ces deux facteurs. Par exemple, il se peut que l'effet de la masse de  $\text{TiO}_2$  soit plus prononcé à un certain niveau de pH et moins prononcé à un autre niveau.

Ces interactions complexes peuvent être exploitées pour optimiser le processus. Nous pourrions envisager d'ajuster à la fois le pH et la masse de  $\text{TiO}_2$  pour atteindre les conditions qui maximisent la réduction de la DCO.

### 3.3.5.3 Effet mutuel du pH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

La courbe de contour représentant l'effet mutuel du pH et du volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sur la réduction de la DCO (Fig.3.4) présente une forme similaire à celle de la courbe précédente avec des cercles ovales, cela indique une tendance similaire en termes d'interaction entre les facteurs.

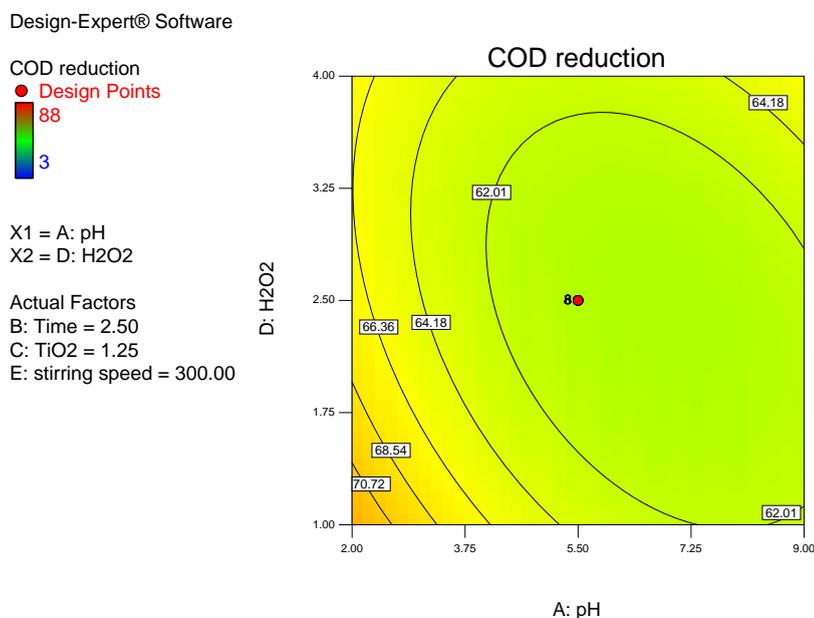


FIGURE 3.4: Effet du pH et le volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

La forme ovale des cercles sur cette courbe de contour suggère une interaction significative entre le pH et le volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tout comme dans le cas précédent avec le pH et la masse de TiO<sub>2</sub>. Cela signifie que les deux facteurs, le pH et le volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, interagissent de manière complexe pour influencer la réduction de la DCO.

Comme précédemment, la présence de cercles ovales indique que l'effet combiné du pH et du volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> n'est pas uniforme dans toutes les directions. Il est possible que l'effet de ces facteurs dépende des niveaux spécifiques de l'autre facteur. Par exemple, une combinaison particulière de pH et de volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> peut avoir un impact plus significatif sur la réduction de la DCO que d'autres combinaisons.

### 3.3.5.4 Effet mutuel du pH-vitesse d'agitation

La courbe de contour représentant l'effet mutuel du pH et de la vitesse d'agitation sur la réduction de la DCO présente des cercles horizontaux (Fig.3.5).

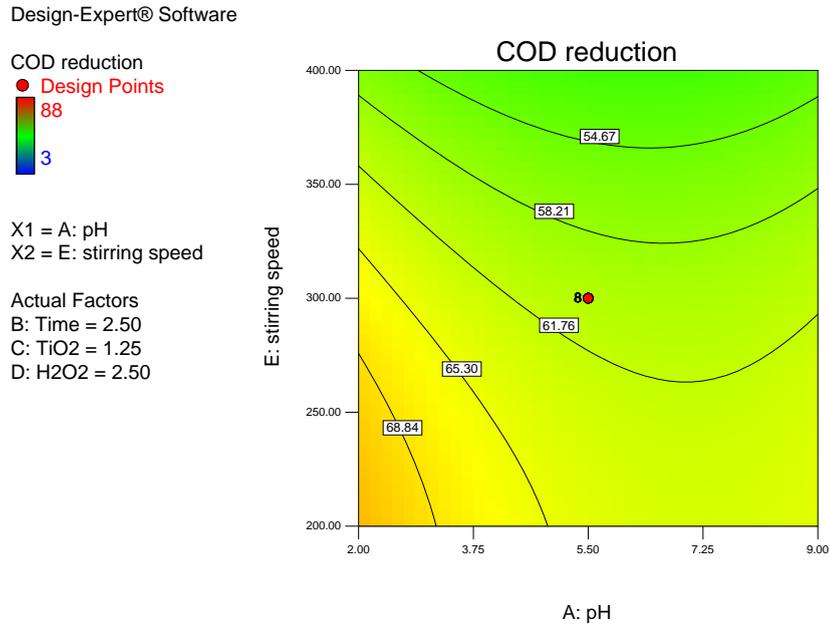


FIGURE 3.5: Effet du pH et la vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

La présence de cercles horizontaux sur la courbe de contour suggère que l'interaction entre le pH et la vitesse d'agitation n'a pas d'effet significatif sur la réduction de la DCO. En d'autres termes, quel que soit le niveau de pH ou de vitesse d'agitation, la réduction de la DCO reste relativement constante.

Cette observation suggère que le pH et la vitesse d'agitation ne semblent pas interagir de manière significative pour influencer la réduction de la DCO. Chacun de ces facteurs peut être ajusté indépendamment sans que cela ait un impact majeur sur l'efficacité du processus de réduction de la DCO.

Les cercles horizontaux indiquent également que, dans une certaine plage de niveaux de pH et de vitesse d'agitation, la réduction de la DCO reste stable. Cela peut être considéré comme un résultat positif si la stabilité des performances du processus est souhaitée.

Lorsque les cercles horizontaux apparaissent, cela peut signifier que d'autres facteurs ou interactions sont plus déterminants pour la réduction de la DCO. Par conséquent, pour optimiser le processus, il peut être plus judicieux de se concentrer sur d'autres facteurs ou de mener des expériences supplémentaires pour identifier les conditions optimales.

### 3.3.5.5 Effet mutuel du temps-masse de $\text{TiO}_2$

La courbe de contour représentant l'effet mutuel du temps et de la masse de  $\text{TiO}_2$  sur la réduction de la DCO présente des caractéristiques similaires au premier cas, mais avec des cercles concentrés sur le côté droit de la figure (Fig.3.6).

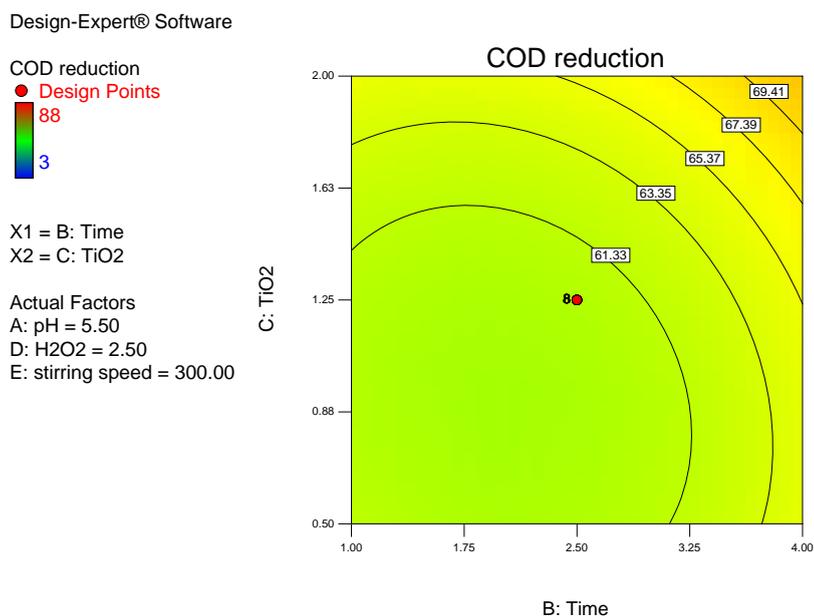


FIGURE 3.6: Effet du temps-masse de  $\text{TiO}_2$  et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

La concentration des cercles sur le côté droit de la figure suggère que, dans ce domaine particulier de valeurs élevées du temps et de la masse de  $\text{TiO}_2$ , la réduction de la DCO est significativement améliorée. En d'autres termes, lorsque le temps et la masse de  $\text{TiO}_2$  sont augmentés simultanément, cela a un impact positif sur la réduction de la DCO.

L'observation de cercles concentrés sur le côté droit indique une opportunité d'optimisation du procédé. Nous pourrions envisager d'ajuster le temps et la masse de  $\text{TiO}_2$  pour atteindre ces valeurs élevées qui correspondent aux cercles concentrés. Cela pourrait permettre d'obtenir une réduction de la DCO maximale.

### 3.3.5.6 Effet mutuel du temps- $\text{H}_2\text{O}_2$

La courbe de contour représentant l'effet mutuel du temps et du volume de  $\text{H}_2\text{O}_2$  sur la réduction de la DCO présente des caractéristiques similaires au dernier cas, cela suggère une tendance similaire en termes d'interaction entre ces facteurs (Fig.3.7).

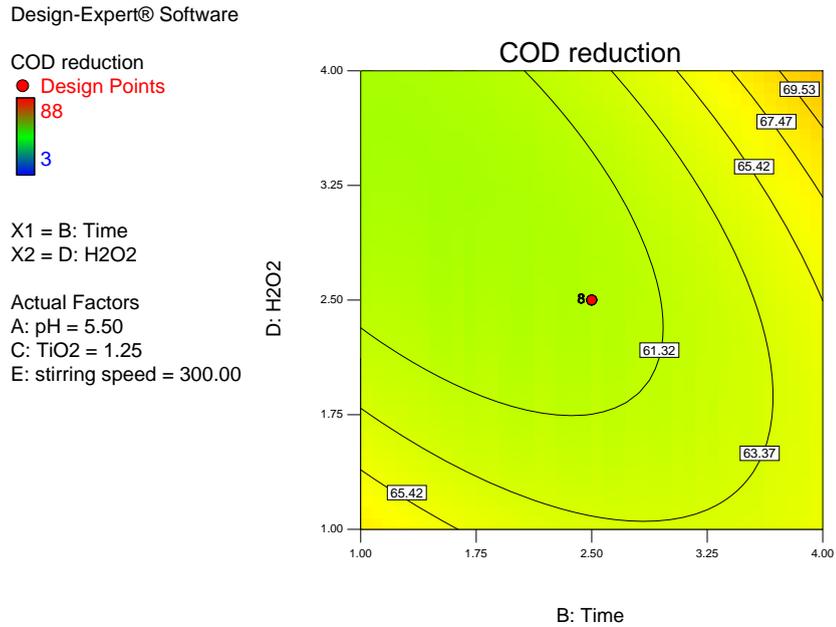


FIGURE 3.7: Effet du temps- $H_2O_2$  et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

La similitude des caractéristiques avec le dernier cas indique que l'interaction entre le temps et le volume de  $H_2O_2$  a également un impact significatif sur la réduction de la DCO. Comme précédemment, cette interaction est marquée par des cercles concentrés, cette fois-ci sur le côté droit de la figure.

Comme dans le cas précédent, l'observation de cercles concentrés sur le côté droit offre des opportunités pour l'optimisation du processus. Nous pourrions envisager d'ajuster le temps et le volume de  $H_2O_2$  pour atteindre ces valeurs élevées qui correspondent aux cercles concentrés, dans le but d'obtenir une réduction de la DCO maximale.

### 3.3.5.7 Effet mutuel du temps-vitesse d'agitation

La courbe de contour représentant l'effet mutuel du temps et de la vitesse d'agitation sur la réduction de la DCO présente des lignes horizontales (Fig.3.8).

La présence de lignes horizontales sur la courbe de contour suggère que l'interaction entre le temps et la vitesse d'agitation n'a pas d'effet significatif sur la réduction de la DCO. En d'autres termes, quelle que soit la combinaison de temps et de vitesse d'agitation, la réduction de la DCO reste relativement constante.

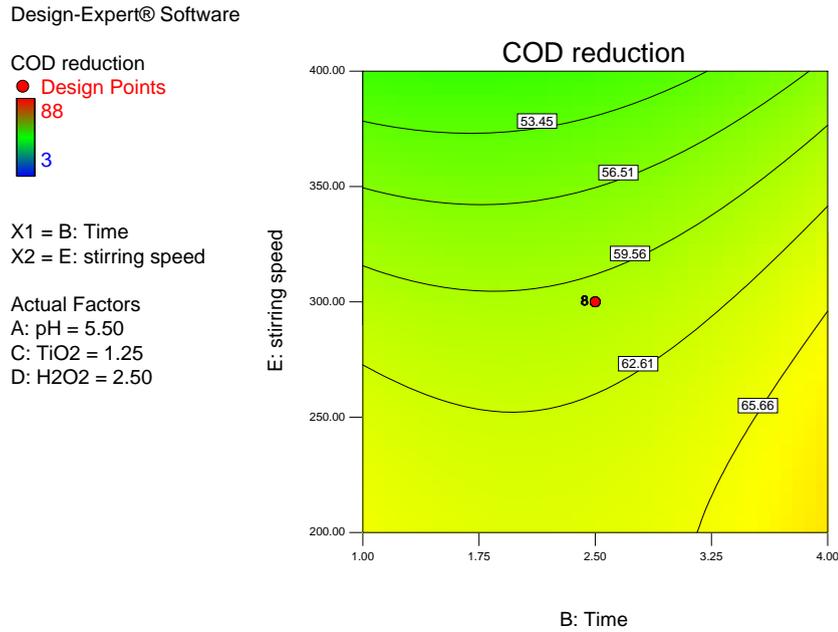


FIGURE 3.8: Effet du temps-vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

Cette observation suggère que le temps et la vitesse d'agitation semblent agir indépendamment l'un de l'autre en ce qui concerne leur influence sur la réduction de la DCO. Chacun de ces facteurs peut être ajusté indépendamment sans que cela ait un impact majeur sur l'efficacité du processus de réduction de la DCO.

### 3.3.5.8 Effet mutuel du TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

La courbe de contour représentant l'effet mutuel de TiO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sur la réduction de la DCO présente des cercles concentrés sur le côté droit de la figure (Fig.3.9).

La concentration des cercles sur le côté droit de la figure suggère que, dans ce domaine particulier de valeurs élevées de TiO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, la réduction de la DCO est significativement améliorée. En d'autres termes, lorsque la concentration de TiO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est augmentée simultanément, cela a un impact positif sur la réduction de la DCO.

### 3.3.5.9 Effet mutuel du TiO<sub>2</sub>-vitesse d'agitation

La courbe de contour représentant l'effet mutuel de TiO<sub>2</sub> et de la vitesse d'agitation sur la réduction de la DCO présente des lignes droites horizontales (Fig.3.10).

Design-Expert® Software

COD reduction  
● Design Points  
88  
3

X1 = C: TiO2  
X2 = D: H2O2

Actual Factors  
A: pH = 5.50  
B: Time = 2.50  
E: stirring speed = 300.00

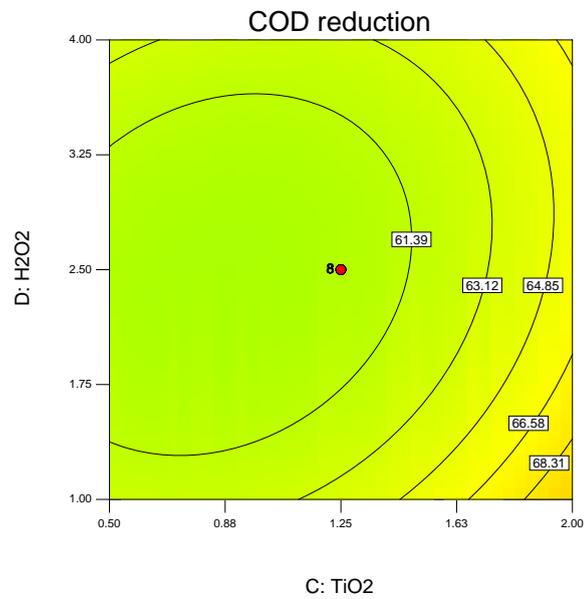


FIGURE 3.9: Effet du temps-vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

Design-Expert® Software

COD reduction  
● Design Points  
88  
3

X1 = C: TiO2  
X2 = E: stirring speed

Actual Factors  
A: pH = 5.50  
B: Time = 2.50  
D: H2O2 = 2.50

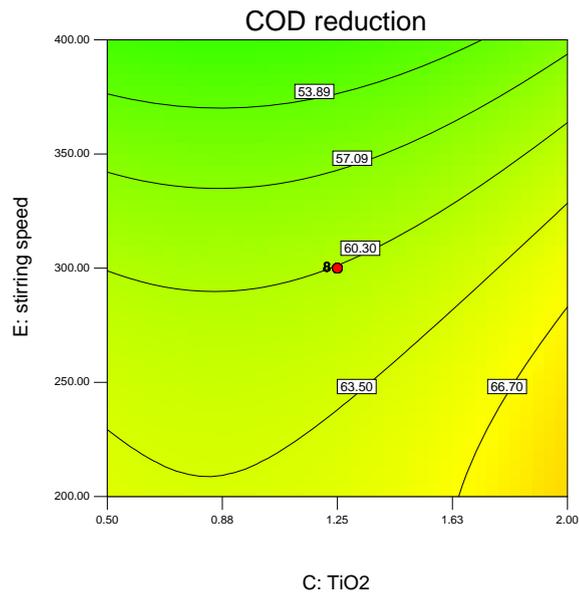


FIGURE 3.10: Effet du temps-vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

La présence de lignes droites horizontales sur la courbe de contour suggère que l'interaction entre le  $\text{TiO}_2$  et la vitesse d'agitation n'a pas d'effet significatif sur la réduction de la DCO. En d'autres termes, quelle que soit la combinaison de  $\text{TiO}_2$  et de vitesse d'agitation, la réduction de la DCO reste relativement constante. Cela peut signifier que d'autres facteurs ou interactions sont plus déterminantes pour la réduction de la DCO.

### 3.3.5.10 Effet mutuel du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-vitesse d'agitation

La courbe de contour représentant l'effet mutuel de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et de la vitesse d'agitation sur la réduction de la DCO présente des demi-cercles droits horizontaux (Fig.3.11).

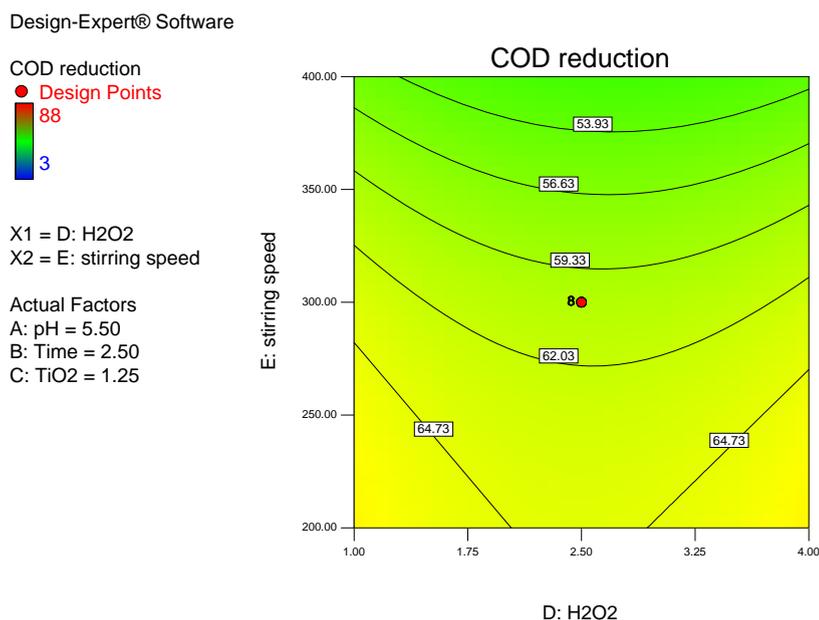


FIGURE 3.11: Effet du volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-vitesse d'agitation et leur interaction sur le taux d'abattement de la DCO

La présence de demi-cercles droits horizontaux sur la courbe de contour suggère une relation complexe entre le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et la vitesse d'agitation par rapport à la réduction de la DCO. Cette tendance indique que des combinaisons spécifiques de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et de vitesse d'agitation peuvent conduire à une réduction significative de la DCO, tandis que d'autres combinaisons peuvent avoir peu d'effet.

Les demi-cercles droits horizontaux indiquent une interaction complexe où certaines valeurs élevées de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> peuvent compenser des niveaux de vitesse d'agitation plus faibles, et vice versa, pour obtenir une réduction de la DCO significative. Cela peut suggérer une synergie entre ces deux facteurs dans certaines conditions, ce qui signifie qu'ils se renforcent mutuellement. Cette complexité suggère qu'il peut exister plusieurs combinaisons de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et de vitesse d'agitation qui conduisent à une réduction de la DCO optimale.

# Conclusion

Cette étude a exploré la réduction de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) l'eau de production, un effluent résultant du processus de fabrication de résine par le biais d'un procédé de traitement basé sur la photocatalyse  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  combinée au peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Le processus a été évalué à l'aide d'une méthodologie de Surface de Réponse (RSM) avec un plan d'expérience composite centré (CCD) pour étudier les interactions entre les facteurs clés du traitement.

Les résultats de cette étude ont permis de tirer plusieurs conclusions importantes :

- Les facteurs étudiés, tels que le pH, le temps, la quantité de  $\text{TiO}_2$ , la quantité de  $\text{H}_2\text{O}_2$  et la vitesse d'agitation, ont tous montré une influence significative sur la réduction de la DCO. Ces facteurs jouent un rôle essentiel dans l'efficacité du processus de traitement.
- Les courbes de contour générées ont révélé des zones d'optimisation où des combinaisons spécifiques de facteurs conduisent à une réduction maximale de la DCO. Cela ouvre la porte à l'optimisation du processus pour améliorer son efficacité.
- Les interactions entre les facteurs ne sont pas toujours linéaires. Certaines combinaisons de facteurs montrent des relations complexes, notamment des interactions synergiques ou de compromis.

En conclusion, cette étude a démontré l'efficacité du traitement de l'eau de production, issue de la fabrication de résine, par photocatalyse  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  combinée au  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Elle a souligné l'importance cruciale de l'optimisation des facteurs opérationnels pour maximiser la réduction de la DCO, tout en mettant en évidence la complexité des interactions entre ces facteurs. Cette recherche fournit une base solide pour le développement futur

de processus de traitement de l'eau de production, en mettant l'accent sur l'efficacité, la durabilité et la compréhension approfondie des réactions en jeu, tout en répondant aux défis spécifiques liés à l'effluent provenant de la production de résine.

# Bibliographie

- [1] Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery, and Christine M. Anderson-Cook. *Response surface methodology : process and product optimization using designed experiments*. Wiley, 3 edition, 2009.
- [2] Khuri A. I. ; Cornell J. A. *Response Surfaces : Designs and Analyses*. CRC Press., 1996.
- [3] T.W. Abraham and R. HÄüfer. 10.03 - lipid-based polymer building blocks and polymers. In Krzysztof Matyjaszewski and Martin MÄüller, editors, *Polymer Science : A Comprehensive Reference*, pages 15–58. Elsevier, Amsterdam, 2012.
- [4] Chapter 5 - alkyd resins. In Stanley R. Sandler and Wolf Karo, editors, *Polymer Syntheses*, volume 29 of *Organic Chemistry*, pages 140–170. Elsevier, 1977.
- [5] In Sabu Thomas and Cintil Jose Chirayil, editors, *Applications of Unsaturated Polyester Resins*. Elsevier, 2023.
- [6] Divya Susan Philips and Ajalesh B. Nair. 2 - unsaturated polyester resins and their classification. In Sabu Thomas and Cintil Jose Chirayil, editors, *Applications of Unsaturated Polyester Resins*, pages 17–24. Elsevier, 2023.
- [7] Trevor F. Starr. Polymerisation. In Trevor F. Starr, editor, *Data Book of Thermoset Resins for Composites*, pages 5–6. Elsevier, Oxford, 1993.
- [8] V.I. Nikitina, M.I. Izmailova, A.M. Kurguzova, and A.N. Pudovik. Nucleophilic additions to unsaturated polyesters. *Polymer Science U.S.S.R.*, 6(12) :2374–2377, 1964.

- [9] Trevor F. Starr. Unsaturated polyester resins. In Trevor F. Starr, editor, *Data Book of Thermoset Resins for Composites*, pages 27–100. Elsevier, Oxford, 1993.
- [10] S. Meric ; I. Kabdash ; O. Tunay ; D. Orhon. Treatability of strong wastewaters from polyester manufacturing industry. *Wat. Sci. Tech.*, 39(10-11) :1–7, 1999.
- [11] Harish Kuruva, Veda Sri Bai Khavala, B.R. Mishra, K. Murugan, Tiju Thomas, and B.S. Murty. Photocatalytic degradation of multi-organo-sulfur industrial wastewater using tio<sub>2</sub> produced from modified sulfate process. *Journal of Water Process Engineering*, 53 :103805, 2023.
- [12] Leonor C. Ferreira, JosÁl R. Fernandes, J. RodrÁnguez-Chueca, JosÁl A. Peres, Marco S. Lucas, and Pedro B. Tavares. Photocatalytic degradation of an agro-industrial wastewater model compound using a uv leds system : kinetic study. *Journal of Environmental Management*, 269 :110740, 2020.
- [13] Ibham Veza, Martin Spraggon, I.M. Rizwanul Fattah, and Muhammad Idris. Response surface methodology (rsm) for optimizing engine performance and emissions fueled with biofuel : Review of rsm for sustainability energy transition. *Results in Engineering*, 18 :101213, 2023.
- [14] Walter Tinsson. *Plans d’expérience : constructions et analyses statistiques*. Springer, 2010.
- [15] Vikrant Singh, Anuj Bansal, and Anil Kumar Singla. Response surface methodology (rsm) based analysis on slurry erosion behavior of laser textured and ptfе sprayed vc+tic coating deposited via hvof. *Materials Today Communications*, 36 :106843, 2023.
- [16] Myers R. H. ; Montgomery D. C. ; Anderson-Cook C. M. *Response Surface Methodology : Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. John Wiley & Sons, 2016.
- [17] Box G. E. ; Hunter J. S. ; Hunter W. G. *Statistics for Experimenters : Design, Innovation, and Discovery*. John Wiley & Sons., 2005.
- [18] Anderson M. J. ; Whitcomb P. J. *DOE Simplified : Practical Tools for Effective Experimentation*. CRC Press., 2005.
- [19] Montgomery D. C. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons., 2017.

- [20] Cornell J. A. *Experiments with Mixtures : Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data*. John Wiley & Sons., 2002.
- [21] Khedekar P. B. ; Khedekar R. *Response Surface Methodology : Concepts and Applications*. CRC Press., 2018.