

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère De L'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR
D ' EL OUED
FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département de génie des procédés et la pétrochimie
MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
Présenté pour l'obtention du Diplôme de
MASTER ACADEMIQUE



Domaine : Sciences et Technologies
Filière: Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Thème

Dégradation De phénol par Oxyde de Cobalt

Présenté par :

✚ Gasmi Merou
✚ Talaoui Mebrouka
✚ Laldji Bouthaina
✚ Khadidja Hamouda
✚ Touil Oussama

Soutenu publiquement :05/06/2023

devant le jury composé de:

Dr. RAGHIWAT Abd allah	Univ.El-Oued	Président
Dr. LAMI Nassima	Univ.El-Oued	Examineur
Dr. BOUDIAF Moussa	Univ.El-Oued	Encadreur

Promotion: 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

*En premier lieu, nous remercions ﷻ tout puissant, qui nous a donné le courage,
la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

Nous remercions particulièrement :

*Notre encadreur "Mr MOUSSA BOUDIAF " qui a dirigé ce travail et pour
l'encouragement et les nombreux conseils dont nous ont été bénéfiques.*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury Pour nous avoir fait
l'honneur d'évaluer notre travail.*

*Nous tenons à remercier nos parents car ce travail représente un petit fruit de
leur souffrance et qui sans eux nous ne pouvons traverser ces longues années
d'études et de travail.*

*Nous aimerions exprimer nos sincères remerciements à tous les membres du
Département de génie des procédés et la pétrochimie, et nous voudrions exprimer
notre gratitude et nos remerciements à tous mes collègues pour les promotions
de 2023.*

*Enfin, nous remercions tous ce qui ont contribué de près ou de loin à
l'élaboration de ce travail.*

Dédicaces

*Nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné le courage, la
patience et .la volonté de faire ce travail.*

*À qui m'adresse au ciel les vœux les plus ardents pour la conservation de leur
santé et de leur vie. À mon très cher père "HAIDAR"*

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

À mes chers sœurs et frères

"SAMIA , DOAA, ABDEL RAHMANE, MOHMMED ,SIRAG"

À tous les membres de ma grande famille

"LALDJI ,BEN GUESSOUM"

À tous mes amies et collègues

"MEBROUKA ,MARWA , ,KHADIDJA "

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



BOUTHAINA

Dédicaces

Ce modeste travail je Le Dédie À Mes Très Chers Parents

"GASMI SAAD ", "MALIKA ON'UIS" ,

pour leur amour et leurs sacrifices.

Je prie ALLAH pour qu'il vous prête longue vie et bonne santé.

À mes frères et très chères sœurs

"MOUNIA , SAADA , SAFA, AFNANE, ISMAIL, HADIL"

À tous les membres de ma grande famille "GASMI, ON'UIS"

Et tous mes amies et collègues

"MEBROUKA A , BOUTHAINA , , KHADIDJA "

À toute personne qui me connais.



MARWA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents, ma mère, que Dieu la protège ,

Mon père , que Dieu lui fasse miséricorde

À mes frères et sœurs

À tous mes amis et collègues.

MARWA , BOUTHAINA ,KHADIDJA ,HANAN ,KELTHOUM

MERJEM , AICHA ,AMINA , SALIMA ,YASMINA

MEBROUKA

Dédicaces

Je dédie ma graduation à mes parents, qu'Allah les protège et les préserve, qu'ils soient toujours une source de fierté pour moi. Ils ont attendu pendant des années pour voir leur seul fils réaliser leurs rêves. Je dédie ma graduation à tous mes amis et compagnons de route à travers les différentes étapes de mon parcours scolaire. Je dédie ma graduation à mes enseignants, de l'école primaire au collège, puis au lycée, ainsi qu'à mes professeurs et docteurs à l'université, qui nous ont appris tellement, non seulement en termes de connaissances, mais aussi en termes de valeurs morales, d'amour, de tolérance, de dévouement et de sérieux. Grâce à eux, nous avons pu voir la vie d'un autre point de vue. Ils ont été une source de lumière, nous guidant sur de nombreux chemins dans nos vies.

OUSSMA

Dévouement

Dieu soit loué, avec la grâce duquel les bonnes actions sont accomplies L'histoire est terminée et j'ai levé mon chapeau en disant au revoir aux années passées. Je dédie ma graduation à ceux dont je porte le nom avec fierté, mes parents bien-aimés qui m'ont accompagné en esprit même si leurs corps m'ont quitté.

À ceux à qui Dieu a renforcé mon soutien et ma force dans les épreuves et les épreuves, mes frères Ibrahim Ramzy Fakhr Din et Basma, que Dieu vous protège pour moi soutien et force.

Je vous dédie mes remerciements et mon appréciation, vous apportant mon amour et ma fierté, ma chère tante Fawzia.

Et au sens de l'amour, de la tendresse et du dévouement, et au sourire de la vie et au secret de l'existence, et à celle dont la supplication était le secret de ma réussite, ma très chère bien-aimée, ma grand-mère

Et à ceux qui ont le grand mérite de m'avoir encouragé et motivé, mon cher oncle Zahir et mon oncle Ali m'ont soutenu dans l'achèvement de ma carrière universitaire.

Et mes remerciements particuliers à la personne qui m'a fait voir la beauté de la vie en lui, mon père, avec qui j'accomplirai la moitié de ma religion Aymen.

À mes oncles, et à mes tantes

Et à mes petits poussins, Ahmed Heba Al-Rahman, Rahma Belkis, Tesnime et Wasim

Et à ceux qui portent une chère spéciale dans mon cœur, ma chère cousine Chaima et son fils Ahmed

Et à mes cousins comme mes frères Abde Fouad Asma

Et à toutes les filles et fils de mes oncles, mes tantes, mes oncles et mes tantes

Et à toute ma famille, Hamouda, Maabdi et ma deuxième famille

Et à ceux avec qui j'ai surmonté les difficultés pour arriver à Marwa, Mabrouka, Buthaina et Osama

Et à ceux qui appréciaient la fraternité et se distinguaient par la loyauté et le don, et à ceux qui les accompagnaient dans les chemins heureux et tristes de la vie, j'ai marché, et à ceux qui étaient avec moi sur le chemin du succès et de la bonté, Nasima, Safa, Nesrin, Amina, Rifab, Choubysa, Nada, Shahinaz, , Khansa, Amina.

KHADJJA

Sommaire

Remerciements.....	
Sommaire.....	
Liste Abréviations.....	
Liste des figures.....	
Liste des Tableaux.....	
Introduction Générale:.....	1
Référence.....	

Chapitre I : Généralités sur le phénol et l'oxyde cobalt

I.1 Introduction.....	5
I.2 Généralités sur le phénol.....	5
I.2.1 Historique :.....	5
I.2.2 Définition :.....	6
I.2.3 Classification des phénols :.....	7
I.2.3.1 Phénols simples :.....	7
I.2.3.2 Les poly phénols :.....	8
I.2.4 Propriétés du phénol :.....	8
I.2.4.1 Propriétés physico:.....	8
I.2.4.2 Propriétés chimiques:.....	8
I.2.5 Utilisations du phénol:.....	9
I.2.6 Effets du phénol:.....	10
I.2.6.1 Effet sur l'environnement:.....	10
I.2.6.2 Effet sur les eaux:.....	11
I.2.6.3 Effet sur la santé humaine:.....	11
I.3 Généralités sur le cobalt.....	12
I.3.1 Historique :.....	12
I.3.2 Définition de cobalt :.....	13
I.3.3 Les propriétés physique et chimique du cobalt:.....	14
I.3.3.1 Les propriétés physique :.....	14
I.3.3.2 Les propriétés Chimique :.....	15
I.3.4 Effets de cobalt :.....	16
I.3.4.1 Effets de la santé :.....	16
I.3.4.2 Impact du cobalt sur l'environnement :.....	17

fl.3.5Le oxydes de cobalt :	17
I.3.5.1Monoxyde de cobalt CoO :	18
I.3.5.2Dioxyde de cobalt Co_2O_3 :	18
I.3.5.3Triple oxyde de cobalt Co_3O_4 :	19
I.3.6Utilisations du oxyde de cobalt Co_3O_4 :	20
Référence.....	

Chapitre II : Les méthodes de synthèses & les techniques d'analyse

II.1Introduction.....	28
II.2Les Méthodes de synthèses :	28
II.2.1Le méthode de (sol-gel).....	28
II.2.1.1Définition	28
II.2.1.2Principe :.....	29
II.2.2La méthode de synthèse verte :.....	32
II.2.3Méthode de Synthèse hydrothermale :.....	33
II.2.3.1Définition	33
II.2.3.2Principe :.....	34
II.2.4La méthode de synthèse par Co-précipitation :.....	34
II.2.4.1Définition	34
II.2.4.2Principe :.....	35
II.3Techniques de caractérisation :.....	37
II.3.1Spectrophotomètre UV-Visible :.....	37
II.3.1.1Définition spectrophotomètre UV-Visible :.....	37
II.3.1.2Principe :.....	37
II.3.2Spectromètre IR :.....	38
II.3.2.1Définition Spectromètre IR :.....	38
II.3.2.2Principe :.....	40
II.3.3Diffraction des Rayons X (DRX):.....	41
II.3.3.1Historique Diffraction des rayons X (DRX):.....	41
II.3.3.2Principe :.....	41
II.3.4Microscopie électronique balayag (MEB) :.....	43
II.3.4.1Définition de la microscopie électronique balayag (MEB) :.....	43
II.3.4.2Principe :.....	44
Référence.....	

ChapitreIII : Dégradation de phénols par oxyde de cobalt

III.1 Introduction.....	50
-------------------------	----

III.2 Dégradation de phénols par oxyde de cobalt.....	50
Référence.....	50
Conclusion Générale.....	70
Résumé.....	

Liste des Abréviations

CoO : Monoxyde de cobalt

Co₂O₃ : Dioxyde de cobalt

Co₃O₄ : Triple oxyde de cobalt

[CoH₂O]⁺² : Hexaaquacobalt(II)

NH₄HCO₃ : l'hydroxychlorure d'ammonium

NH₄OH : l'hydroxyde d'ammonium

UV : Ultraviolet

IR : Infrarouge

DRX : Diffraction des rayons X

MEB : Microscope électronique à balayage

GAH : Aérogel de nitrure de carbone graphitique (g-C₃N₄)

CoCl₂6H₂O : mélamine

NP : nanoparticules

Co(NO₃) : le précurseur de sel

XPS : spectroscopie photo électronique à rayons

CCB : un stimulus commercial

EDS : spectrométrie par dispersion d'énergie des rayons

MET : microscopie électronique à transmission

BET : Brunauer–Emmett–Teller

PMS : peroxyde de monosulfite

HPLC : analysée par chromatographie liquide à haute performance

COT : chimique en oxygène

AAS : spectroscopie d'absorption atomique

C400, P400 : composés noirs

MECD : expériences de dégradation catalytique par micro-ondes

AC : charbon actif

TG : analyse thermogravimétrique

DRS : spectroscopie d'absorption UV-visible

Liste des figures

Figure I.1: Phénol pour l'acier et le liquide.....	6
Figure I.2 : structure moléculaire du phénol.....	7
Figure I.3: Structure phénolique simple.	7
Figure I.4: Echantillon de minerai de cobalt	13
Figure I.5: cobalt métallique spécifique.	14
Figure I.6: Cellule de CoO, où les atomes O et Co sont cubique face centré (fcc)	18
Figure I.7: La structure cellulaire unitaire de Co_2O_3	19
Figure I.8: La structure cellulaire unitaire de Co_3O_4	19
Figure I.9: Utilisation du (Co_3O_4), dans l'industrie.....	21
Figure II.1 : Les Méthodes de synthèses	28
Figure II.2: Représentation graphique de l'opération (sol-gel).	29
Figure II.3: Expliquer le principe de la technologie spin-coating	31
Figure II.4: Expliquer le principe de la technologie de Dip-coating.	32
Figure II.5: Le méthode de synthèse par voie de Co-précipitation.....	36
Figure II.6: spectrophotomètre UV-Visible.....	37
Figure II.7: le principe spectrophotomètre UV-Visible.....	38
Figure II.8: Schéma d'une microscopie infra rouge.	39
Figure II.9 : Diagramme montrant la trajectoire du rayonnement à l'intérieur d'un spectromètre de rayonnement rouge pur.....	40
Figure II.10: Absorption infrarouge	40
Figure II.11: Dispositif de saut diffraction des rayons X (DRX) utilisé	41
Figure II.12: Illustration de la loi de Prague montrant la distance entre deux niveaux.	43
Figure II.13: Microscope électronique à balayage	44
Figure II.14: Explique le principe de Microscopie électronique balayage (MEB).....	45
Figure III.1: Evolution de la conversion avec le temps de réaction par CoO_x/CN sous différentes température de pyrolyse	51
Figure III.2: Profils XRD de différents catalyseurs.....	51
Figure III.3: Le profil temps-activité pour l'hydrogénation du phénol sous catalyseur Co_3O_4 et sa fonction différentielle	52
Figure III.4: Images BEM de GC/ Co_3O_4 XT a 500 et b 3000, et Électrodes $\text{Ti}/\text{Co}_3\text{O}_4$ TD c 500 et d 3000.	54
Figure III.5: Modèles DRX du support en titane, étalon de poudre, Co_3O_4 et les électrodes $\text{Ti}/\text{Co}_3\text{O}_4$ TD et GC/ Co_3O_4 XT.....	54
Figure III.6: Profils du spectre UV (a) et leurs dérivés D-sp (b) lors de l'oxydation du phénol sur le Co-frais.....	57
Figure III.7: Profils du spectre UV (a) et leurs dérivés D-sp (b) lors de l'oxydation du phénol sur le Co-frais.....	57
Figure III.8: Modèles XRD de boue rouge et de leurs catalyseurs Co supportés.....	59
Figure III.9: Spectres UV-vis des supports RM et Co/RM-NT et Co/RM_T.....	59
Figure III.10: Images SEM et spectres EDS de Co/RM-NT : (A) détecteur SE, (B) détecteur BSE, (C) spectres EDS avec encart de la source d'image du spectre.....	60
Figure III.11: Images SEM et spectres EDS de Co/RM-T : (A) détecteur SE, (B) détecteur BSE, (C) spectres EDS avec encart de la source d'image du spectre.....	61
Figure III.12: Spectres XRD de: (a) tels que préparés; (b) C400; (c) P400.	63
Figure III.13: Micrographies SEM de : (a) telles que préparées (1 000); (b) tel que préparé (100 000); (c) C400 (50 000); (d) P400 (50 000).....	63
Figure III.14: Spectres IR de : (a) tels que préparés ; (b) C400; (c) P400.	64
Figure III.15 : Spectres XRD de AC et Co/AC	66
Figure III.16 : Images MEB de Co/AC. (a) détecteur SE et (b) détecteur BSE.	66
Figure III.17: Cinétique de dégradation du phénol en présence de catalyseur Co/AC ayant différentes charges de cobalt [Cph : 25 ppm, 2 g/l d'oxone, 0,2 g/l de catalyseur, 25 °C].	67

FigureIII.18:Dégradation du phénol à différentes charges de catalyseur [Cph : 25 ppm, 2 g/l d'oxone,
..... 67

Liste des Tableaux

TableauI.1 :Caractérisation physique et chimique du phénol :	9
TableauI.2:Caractérisation physique et chimique du cobalt.....	16
TableauI.3 :Montre les propriétés d'oxydation oxyde de cobalt principal.....	20

Introduction Générale

Introduction Générale:

Le phénol est un polluant organique toxique et persistant que l'on retrouve fréquemment dans les eaux usées industrielles. Sa présence dans l'environnement peut avoir des effets nocifs tant sur la santé humaine que sur l'écosystème. Diverses méthodes ont été développées pour éliminer le phénol des eaux usées, notamment l'adsorption, la filtration sur membrane et la biodégradation. Cependant, ces méthodes ont leurs propres limites, telles qu'un coût élevé, une faible efficacité et la production de polluants secondaires [1].

Récemment, l'utilisation de catalyseurs hétérogènes dans la dégradation des polluants organiques a fait l'objet d'une attention particulière en raison de leur potentiel de traitement efficace, rentable et respectueux de l'environnement de l'eau contaminée. Parmi ces catalyseurs, l'oxyde de cobalt a montré des résultats prometteurs dans la dégradation du phénol [2].

L'objectif de ce mémoire est d'étudier la dégradation du phénol par l'oxyde de cobalt, d'étudier le mécanisme de ce processus et d'évaluer l'efficacité de la dégradation dans diverses conditions. Pour cela, différentes méthodes de synthèse, telles que la synthèse sol-gel, l'hydrothermale, la co-précipitation et la synthèse verte, sont utilisées pour synthétiser l'oxyde de cobalt. Ensuite, le catalyseur synthétisé est caractérisé à l'aide de diverses techniques analytiques, notamment la diffraction des rayons X (XRD), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et la microscopie électronique à balayage (SEM). Finalement, l'oxyde de cobalt est utilisé comme catalyseur pour la dégradation du phénol et son efficacité de dégradation est évaluée dans différentes conditions [3].

Le chapitre 1 fournit des informations générales sur le phénol et l'oxyde de cobalt, y compris leurs propriétés, leurs sources et leurs impacts environnementaux. Le chapitre 2 décrit les méthodes de synthèse de l'oxyde de cobalt savoir la sol-gel , vert, Co-déposition et hydrothermale. Ainsi que les techniques utilisées pour analyser et caractériser le matériau synthétisé comme DRX, FTIR , SEM....etc.

Chapitre 3 porte sur la dégradation du phénol par l'oxyde de cobalt. Il présentera le montage expérimental et la méthodologie utilisée pour mener les expériences de dégradation proposées par différents groupes de recherche. L'objectif

Introduction Générale:

est d'évaluer les effets de différents paramètres afin de déterminer leur influence sur l'efficacité de la dégradation. La cinétique du processus de dégradation et les voies de réaction possibles seront explorées pour élucider les mécanismes sous-jacents impliqués dans la dégradation du phénol par l'oxyde de cobalt.

Les résultats de ces recherches contribueront à la compréhension du mécanisme de dégradation du phénol en utilisant l'oxyde de cobalt comme catalyseur. Ce chapitre porte sur la dégradation du phénol par l'oxyde de cobalt, il présentera le montage expérimental et la méthodologie utilisée pour mener les expériences de dégradation proposées par différents groupes de recherche. L'objectif est d'évaluer les effets de différents paramètres afin de déterminer leur influence sur l'efficacité de la dégradation [3]. Les connaissances acquises aideront à optimiser les conditions d'une élimination efficace du phénol des eaux usées et faciliteront le développement de méthodes de traitement respectueuses de l'environnement et rentables. De plus, la caractérisation détaillée des nanoparticules d'oxyde de cobalt synthétisées compréhension de leurs relations structure-propriété, guidant la conception et la synthèse de matériaux catalyseurs améliorés.

En faisant progresser les connaissances dans le domaine de la dégradation du phénol à l'aide de catalyseurs à base d'oxyde de cobalt, ce mémoire vise à attirer l'attention au développement de solutions durables pour le traitement des eaux usées. Les résultats de recherche ont le potentiel de relever les défis associés à la pollution par le phénol, conduisant à la mise en œuvre de stratégies efficaces et efficientes pour l'élimination du phénol et d'autres polluants organiques des sources d'eau contaminées[4] .

Référence

[1] _ Tadjer, A. (2014). Le phénol: toxicité et voies de dégradation (Doctoral dissertation).

[2] _ Cherifi, Y. (2019). Elaboration et caractérisation de nano-composites et leurs applications environnementales pour traitement des eaux.

[3] _ Abd al-Rahman, Naghaq, Othman, Ben Ali, Abd al-Hakim et Qarfi. (2022). Synthèse de nanoparticules à base d'oxyde de zinc pour des applications photocatalytiques.

[4] _ Ben Mbarek, W. (2018). Synthèse, caractérisation et application d'allégeance à base Mn-XY (X=Al; Y=Fe, Co) et Ca-Al dans la dégradation de la couleur azoïque "Black 5" utilisation en industrie textile

Chapitre I: Généralités sur le phénol et l'oxyde de cobalt

I.1 Introduction

En raison de l'importance du phénol et du cobalt dans notre vie quotidienne, nous examinons tous les sujets suivants dans ce chapitre : définition des phénols et du cobalt, la période pendant laquelle ils ont été découverts, leurs caractéristiques physiques et chimiques importantes, les différents types et domaines d'utilisation du phénol et du cobalt dans notre vie quotidienne, ainsi que les effets de leur utilisation sur l'environnement et la santé humaine.

I.2 Généralité sur le phénol

I.2.1 Historique :

Johann Rudolf Glauber, un scientifique allemand, a découvert la forme pure du phénol en 1650 après avoir distillé du goudron de houille. Il l'a décrit comme "une huile rouge vif vivante qui attaque et guérit tous les ulcères humides". Environ deux siècles plus tard, le phénol a été isolé avec succès pour la première fois par Friedrich Ferdinand Runge en 1834, et il l'a nommé "acide carbolique" (Karbolsäure). En 1841, Auguste Laurent, un chimiste français, est devenu le premier à créer du phénol pur. Il est connu sous le nom d'acide phénolique. Le chimiste français Charles Frédéric Gerhardt a créé le terme "phénol" en 1843, qui est un peu similaire au terme "acide phénique". Le terme "phénol" est conforme à la nomenclature officielle [1].

Pendant la Première Guerre mondiale, le phénol a été produit pour des applications militaires. Il a été utilisé dans la synthèse de réactifs et a depuis fait l'objet de nombreuses études et applications. Il participe à un certain nombre de processus utilisés pour créer divers composés, y compris des produits pharmaceutiques, des colorants et des sous-produits du raffinage du pétrole [2].

**Phénol solide****phénol liquide****Figure I.1:** Phénol pour l'acier et le liquide

I.2.2 Définition :

Le phénol est un composé organique aromatique constitué de benzène et lié à un groupe hydroxyle ($-OH$). Bien qu'ayant une fonction alcoolique, le phénol n'est pas classé comme substance alcoolique car il possède des propriétés distinctes.

Le groupe hydroxyle est relié à un atome de carbone dans le cycle du benzène (**figure I.1**). Plusieurs plantes différentes contiennent du phénol. En laboratoire, il est utilisé comme produit chimique à diverses fins. Il peut être obtenu directement comme réactif commercial ou bien préparé dans le cadre d'un mélange en laboratoire.

De nos jours, la méthode Höck est généralement utilisée pour oxyder l'isopropylbenzène par le dioxygène de l'air afin de produire du phénol. Le propanone, un produit important qui est également un sous-produit de la réaction, est une autre application de cette méthode. Ensuite, le phénol et l'acétone sont séparés[3].

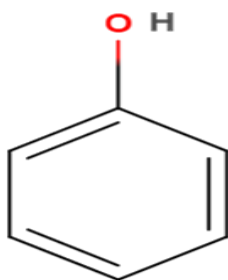


Figure I.2 : structure moléculaire du phénol

I.2.3 Classification des phénols :

"Les grands groupes de composés phénoliques peuvent être classés en fonction du nombre d'atomes de carbone dans la chaîne, de leur structure, du nombre d'anneaux aromatiques et des éléments associés. Cette classification englobe une dizaine de familles, mais nous la limiterons à deux grands groupes."

I.2.3.1 Phénols simples :

Les phénols simples sont des composés constitués d'un cadre (ou noyau) de benzène (C₆) auquel est attaché un ou plusieurs groupes hydroxyle (-OH), y compris le phénol lui-même[4]. La forme (03) montre quelques exemples de phénols simples.

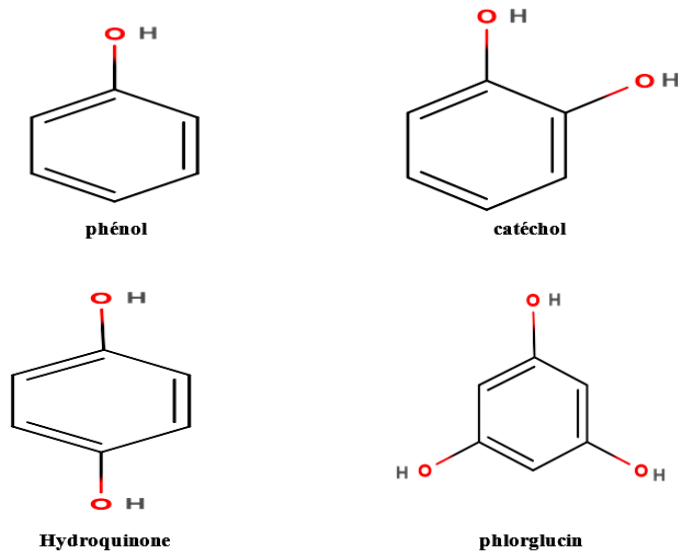


Figure I.3: Structure phénolique simple.

I.2.3.2 Les poly phénols :

Il s'agit de tous les composés constitués d'un noyau aromatique contenant au moins un groupe hydroxyle. Le terme "composés phénoliques" désigne tous les produits chimiques dont la structure est constituée d'un noyau aromatique contenant un ou plusieurs groupes hydroxyles. Ils sont composés d'un phénol et de deux boucles d'essence associées à un cycle hétérocyclique. Ces derniers peuvent être distingués les uns des autres par les deux noyaux, la nature et le nombre de molécules de sucre associées, ainsi que par la nature de la liaison congénitale [5].

I.2.4 Propriétés du phénol :

I.2.4.1 Propriétés physico:

À une température de 20°C, le phénol pur se présente sous la forme d'une masse de cristaux clairs ou d'aiguilles incolores, avec une odeur caractéristique douce et terreuse (limite olfactive : 0,05 ppm). Cependant, en présence d'impuretés ou en raison de l'humidité, de la lumière, de l'air et de certains catalyseurs tels que le cuivre et le fer, ce produit peut se colorer en jaune, marron ou rouge. La solubilité du phénol dans l'eau augmente de 8,7 % à une température de 25°C et est soluble en toutes proportions à 66°C. À 20°C, il se dissout dans l'eau à une proportion de 90g/l. En outre, il est très soluble dans de nombreux solvants organiques tels que l'éthanol, l'éther, le n-octanol et l'oxyde de diéthyle[6].

I.2.4.2 Propriétés chimiques:

- ▶ Le phénol se décompose irréversiblement en dioxyde de carbone, en hydrogène et en carbone lorsqu'il est chauffé à 800°C.
- ▶ Il peut réagir fortement avec des oxydants forts.
- ▶ Le benzène est produit lors de la réduction du phénol en présence de zinc.
- ▶ De nombreuses réactions de condensation sont possibles avec le phénol, en particulier avec des aldéhydes et des cétones. Ces réactions peuvent être agressives, notamment lors de l'utilisation de formaldéhyde.
- ▶ Le phénol liquide attaque les métaux aluminium, magnésium, plomb et zinc lorsqu'il est chauffé[6].

Tableau I.1.Caractérisation physique et chimique de phénol [3-7] :

Détails	
Etat physique	Solide
Mass molaire	94.11g/mol
Point de fusion	40,9°C
Point d'ébullition	181,8°C
Pression de vapeur	0,2hPa à 20°C 3,5hPa à 50°C 54hPa à 100°C
Point d'éclaire	79°C (encoupelefermée)
Limite minimale d'inflammabilité (LEL)	1,5
Limite maximale d'inflammabilité (UEL)	8,6
Température d'auto-ignition Phénol	715°C
Densité	1,07
Densité gaz /vapeur	3,24
Viscosité	3,44mPa.s
Coefficient de partage n-octane /eau (log POW)	1,47
Surface tension	713 m N/m à 20°C (0,118% solution aqueuse)
Solubilité	84 g/l à 20°C
Constante de dissociation	PKa = 9,89 à 20°C

I.2.5 Utilisations phénol:

Le phénol est utilisé comme anti-inflammatoire et antioxydant pour participer à la prévention de maladies telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et les troubles neurologiques [8]. Ces conditions incluent le stress oxydatif, le vieillissement cellulaire, les maladies cardiovasculaires et l'ostéoporose. Il réduit la perméabilité capillaire, augmente la résistance et est utilisé en génie génétique et en modification pour exprimer le métabolisme sous forme de plantes génétiquement modifiées [8].

Le phénol est très important pour les humains car il est utilisé pour établir des normes de qualité, de nutrition, de technologie alimentaire et de taxonomie chimique. D'autres aspects importants de la vie végétale comprennent la fonction de la lignine, la façon dont les plantes interagissent avec leur environnement physique, chimique et biologique, ainsi que les interventions humaines dans la physiologie des plantes, comme la germination du pollen et la croissance [9].

Le phénol est utilisé dans la fabrication d'huiles, de xylènes, de plastiques, de médicaments, d'explosifs, de colorants et d'insecticides. Il est également présent dans le raffinage de l'huile et dans la préservation du bois et du cuir [10].

I.2.6 Effets du phénol:

I.2.6.1 Effet sur l'environnement:

Le composé phénol est largement utilisé dans une variété de secteurs mondiaux, y compris la production de slimicides, la désinfection, la médecine pour le mal de gorge, l'extraction d'huile d'olive, etc. Les composés phénoliques deviennent un polluant de plus en plus important dans les cours d'eau en raison de leurs nombreuses applications. Ces produits chimiques phénoliques sont toxiques pour tous les êtres vivants, même à de faibles concentrations [11]. Par conséquent, ils posent un risque grave pour la vie humaine et pour d'autres êtres vivants [12].

En raison de la toxicité des composés phénoliques dans la vie quotidienne, leur introduction dans l'environnement peut causer plusieurs problèmes en contaminant les eaux naturelles. Par conséquent, les procédures d'analyse de l'eau pour déterminer la concentration et la proportion de phénols et de leurs dérivés sont très importantes [13].

Il n'est pas toujours possible de fournir l'environnement idéal pour la décomposition des composés phénoliques présents dans le sol. Les scientifiques ont découvert que le type de sol, sa composition minérale, sa teneur en matières organiques et son pH jouent tous un rôle important dans la façon dont les composés phénoliques dangereux affectent l'activité microbienne du sol [14]. Mrozik a remarqué que les sols ayant de faibles niveaux de matière organique sont plus nocifs en raison des phénols qui ne se décomposent pas facilement [15].

Cependant, il a été noté qu'il y avait une absorption accrue de composés phénoliques dans le sol lorsque la dégradation du phénol était moins importante [16].

I.2.6.2 Effet sur les eaux:

Avec l'augmentation des polluants dans l'eau potable et les maladies qui en résultent dans divers pays du monde, cette question pousse les États à prêter attention à étudier la bonne façon d'éliminer ces contaminants de diverses sources d'eau. Le phénol et les composés phénoliques substitués sont parmi les polluants les plus importants qui contaminent l'eau, et ils sont considérés comme des substances toxiques et dangereuses pour la vie environnementale [17]. Les scientifiques ont intensifié leurs efforts pour éliminer ces polluants des eaux usées en raison de l'augmentation récente des toxines dans l'eau potable, en particulier le phénol[17]. Le phénol est l'une des formes les plus dangereuses de contamination de l'eau dans le monde. Étant donné que les composés chimiques du phénol interagissent avec l'eau et interfèrent avec de nombreux processus naturels et fonctions biologiques essentiels, même de très faibles concentrations de phénol sont dangereuses et entravent l'utilisation appropriée des eaux résiduaires [18].

Le danger du phénol toxique augmente lorsque les composés phénoliques existent dans l'eau depuis longtemps et interagissent avec d'autres éléments, produisant de nombreux composés phénoliques substitués tels que les composés halogénés (par exemple, le chlorophénol), nitrés (par exemple, le 2-nitrophénol) et alkylés (par exemple, le 2,4-diméthylphénol). De nombreux composés phénoliques, en particulier le chlorophénol, sont connus pour leur toxicité et leur caractère cancérigène [19].

I.2.6.3 Effet sur la santé humaine:

Les phénols sont effectivement absorbés par le corps des plantes, des animaux et des êtres humains de différentes manières, mais ils peuvent également causer des maladies telles que des maux de tête, des évanouissements, des vertiges et des troubles mentaux [20].

Les personnes dont la peau est exposée à de grandes quantités de phénol peuvent souffrir de brûlures cutanées, de lésions hépatiques, d'urines foncées, de battements irréguliers de l'ouïe et même mourir. En plus des dommages que le

phénol peut causer aux organismes vivants, il peut également provoquer la corrosion de certains matériaux et être irritant pour l'homme [21].

Les composés phénoliques peuvent avoir de graves conséquences sur la santé humaine à long terme, en particulier en cas d'inhalation de substances volatiles ou de contact avec la peau, les yeux ou les muqueuses. L'exposition cutanée peut également avoir des effets néfastes sur la santé. Parmi les autres effets négatifs résultant de l'exposition au phénol, on peut citer les maux de tête, les étourdissements, la fatigue, les évanouissements, la faiblesse, les nausées, les vomissements et la perte d'appétit.

Une exposition chronique au phénol chez l'être humain peut entraîner une irritation gastro-intestinale, une modification de la tension artérielle et des dommages au système nerveux [22].

"Le Dr Ahwaz a souligné que l'empoisonnement aux phénols sera plus important chez les enfants, de sorte que les jeunes sont plus sensibles aux dommages et aux impacts que les adultes"[23].

I.3 Les Généralités sur le cobalt

I.3.1 Historique :

Le cobalt est connu depuis l'Antiquité pour ses propriétés colorantes qui donnent au verre une teinte bleu foncé. Au 18ème siècle, le nom "cobalt" (parfois orthographié "kobold") désignait le minéral contenant cet élément.

Georg Brandt (1694-1768), un chimiste suédois, extrait un nouveau "semi-métal" appelé "cobalt" de cette mine en 1735. En 1745, il démontre que le cobalt est responsable de la couleur bleue que les mines de cobalt partagent avec les verres, après l'avoir précédemment attribuée au bismuth, au fer et à l'arsenic. John Livingood et Glenn Seaborg découvrent la radioactivité du cobalt en 1938. La figure (I.4) représente l'une des formes probables d'extraction du cobalt [24].



Figure I.4: Echantillon de minerai de cobalt [24].

I.3.2 Définition de cobalt :

Le cobalt est un élément magnétique relativement rare, aux propriétés similaires à celles du fer et du nickel. Les deux cas de solidarité sont le cobaltus et les premiers sont les échelles les plus utilisées dans l'industrie chimique. Le cobalt est présent dans la nature principalement sous forme d'arsenic, d'oxydes et de sulfures. Le processus de production de cobalt comprend la forme métallique utilisée dans la formation de super-alliages de cobalt. Le terme "métal solide" fait référence aux composés contenant du carbure de tungstène (5-20%) et du nickel (0-5%). L'exposition au cobalt se produit uniquement pendant la production de poudres de cobalt [25]. Dans d'autres expositions industrielles (par exemple, le polissage au diamant de "métal solide"), des facteurs supplémentaires (comme le tungstène) peuvent modifier la toxicité du cobalt [25].



Figure I.5: cobalt métallique spécifique.

I.3.3 Les propriétés physicochimique du cobalt:

I.3.3.1 Les propriétés physiques :

► Bien que le cobalt soit ductile, il est quelque peu moins malléable. La ductilité se réfère à la capacité des métaux à être étirés en fils fins, tandis que la malléabilité se réfère à leur capacité à être façonnés en feuilles minces [26].

► Le cobalt est l'un des trois minéraux ferromagnétiques naturels. Lorsqu'il est combiné avec un autre métal pour fabriquer un alliage, les propriétés magnétiques de cet alliage sont plus prononcées que celles du cobalt métallique individuel [26].

► Le cobalt solide cristallise sous une forme hexagonale compacte avec une taille de réseau de $a=2,51 \text{ \AA}$. Le cobalt représente 0,00023 % du poids de la croûte terrestre et se classe au trente-et-unième rang en termes de prévalence [27].

► Le cobalt se distingue par sa grande durabilité, son lustre, sa température élevée et son point d'ébullition, ainsi que par une variété d'autres propriétés. C'est également un matériau exceptionnellement magnétique. Le tableau ci-dessous montre plusieurs propriétés physiques [28].

I.3.3.2 Les propriétés Chimique :

► Le cobalt est un élément chimique de transition important présent dans la nature. Il fait partie du groupe du fer qui comprend le fer (Fe) avec $Z=26$ et le nickel (Ni) avec $Z=28$ [28].

► Le cobalt est un élément assez réactif. Il réagit avec l'oxygène présent dans l'air, mais il ne s'enflamme ni ne brûle tant qu'il n'est pas sous forme de poudre [29].

► "Le cobalt a la capacité de réagir avec la plupart des acides pour produire de l'hydrogène gazeux à température ambiante [29]. Cependant, le cobalt ne réagit pas avec l'eau à température ambiante."

► L'ion le plus simple que le cobalt forme en solution est l'ion hexaqua cobalt(II) rose $[Co(H_2O)_6]^{+2}$. Le chlorure de cobalt(II) est souvent utilisé comme indicateur d'humidité car sous sa forme sèche, il est de couleur bleue, mais lorsqu'il est exposé à l'humidité, il devient rose [29].

Tableau I.2: Caractérisation physique et chimique de cobalt [30.31]:

Propriétés	Valeurs
Formule moléculaire	Co
état physique	Solide
Densité	8,83(g/cm ³)
point de fusion	1495°C
point d'ébullition	2927°C
T évaporation	1530°C
masse atomique	58,9332 g/mol
Rayon ionique	0.58 Å
Abondance dans la croûte terrestre	25 à 29 ppm
Résistivité électrique à 20°C sous un bar	6.24 μΩ.cm
Fonction de travail électronique	5 Ev
Comportement magnétique	ATC=1121°C, transition Ferromagnétique paramagnétique
Moment magnétique	μ _{ferr} = 1.72 μB (hps) μ _{ferr} = 1.85 μB (cfc) μ _{para} = 3.13 μB (T > T _c)

I.3.4 Effets de cobalt :

I.3.4.1 Effets de cobalt sur la santé :

Le cobalt est un oligo-élément dont le corps humain n'a besoin qu'en petites quantités. L'absence de métaux traces dans un régime alimentaire peut causer des problèmes de santé. Les animaux utilisent les oligo-éléments pour fabriquer des enzymes essentielles qui fonctionnent comme des catalyseurs. Ces enzymes accélèrent les changements qui se produisent dans le corps humain et sont

nécessaires au bon fonctionnement des cellules vivantes. Par exemple, le cobalt est nécessaire à la production naturelle de vitamine B-12. Les vitamines B-12 assurent la production d'une quantité suffisante de globules rouges dans le corps humain. Le cobalt peut également affecter la santé des autres animaux en raison de son absence dans le sol. Par exemple, des moutons en Australie sont infectés par une maladie appelée maladie de la côte, causée par une carence en cobalt. Un excès de cobalt peut également entraîner des problèmes de santé. Les personnes qui travaillent avec du cobalt peuvent inhaler sa poussière, ce qui peut provoquer des vomissements, de la diarrhée ou des problèmes respiratoires. Si le cobalt entre en contact avec la peau, cela peut causer une irritation et une éruption cutanée [32].

I.3.4.2 Impact du cobalt sur l'environnement :

Le cobalt est présent partout dans l'environnement. Lorsqu'il n'est pas lié au sol ou aux sédiments, il peut s'accumuler dans les plantes et les animaux, en raison d'une exposition accrue. Les particules de cobalt peuvent être transportées par le vent et se déposer dans l'air et l'eau, puis finir par se déposer sur le sol. Le ruissellement des eaux de pluie à travers les terres et les roches contenant ce métal peut également introduire du cobalt dans les eaux de surface. De petites quantités de cobalt sont également libérées dans l'atmosphère lors de la combustion du charbon et de l'extraction de minéraux contenant du cobalt, ainsi que lors de la fabrication et de l'utilisation de produits chimiques à base de cobalt [33].

I.3.5 Le oxydes de cobalt :

L'oxyde de cobalt a trois états de phase bien connus : l'oxyde de cobalt (II) (CoO), l'oxyde de cobalt (III) (Co_2O_3) et l'oxyde de cobalt (II, III) (Co_3O_4). La phase la plus stable dans le système d'oxyde de cobalt est le composé à valence mixte $[\text{Co(II)}+\text{Co(III)}+4\text{O}(-2)]$ avec la structure de spinelle ordinaire [27].

Oxyde de cobalt il existe trois formes d'oxyde de cobalt :

I.3.5.1 Monoxyde de cobalt CoO :

CoO (monoxyde de cobalt) a un comportement antiferromagnétique à la température de Néel de 290K. Néanmoins, la valeur de T_N dans les structures de film varie légèrement avec l'épaisseur de l'oxygène CoO . Sa structure cristallographique est du type fcc (structure $NaCl$) et apparaît comme une interpénétration des réseaux Co^{+2} et O_2 . Le paramètre maille de cette structure CoO est 4.26, La configuration électronique du CoO est $Co\ 3d^7\ O\ 2p^6$. Pourtant, des expériences ont révélé que CoO est un isolant avec une bande interdite de 2,5 eV[34].

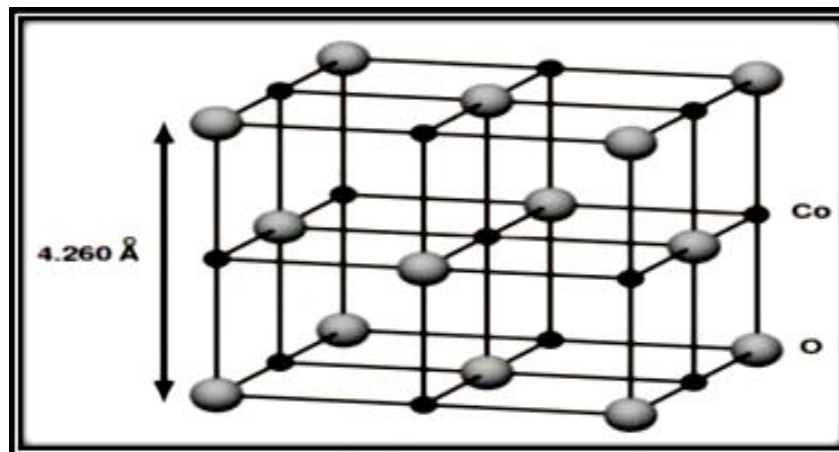


Figure I.6: Cellule de CoO , où les atomes O et Co sont cubique face centré (fcc)[34]

I.3.5.2 Dioxyde de cobalt Co_2O_3 :

Bien que ce type d'oxyde soit très métastable, sa présence sous forme solide reste à confirmer. Dans la littérature, le Co_2O_3 est considéré comme étant dans un état structural hexagonal hcp avec des paramètres de maille $a=4.640$ et $c=5.750$ [35]. Brundle et ses collègues ont étudié l'interaction de l'oxygène et de l'air avec des surfaces de cobalt en utilisant la spectroscopie XPS et n'ont pas pu démontrer l'existence d'un tel alliage Co_2O_3 [36].

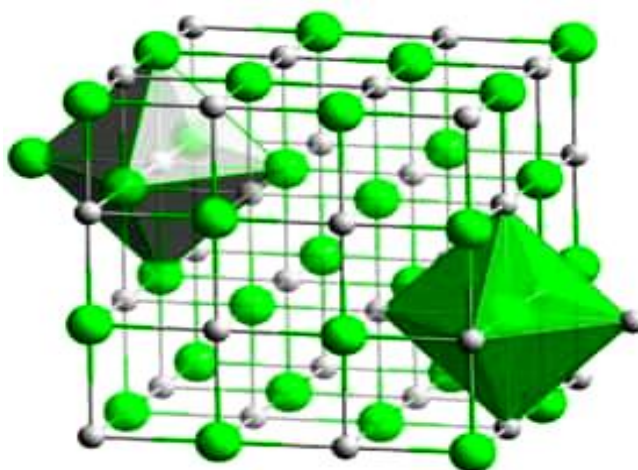


Figure I.7: La structure cellulaire unitaire de Co_2O_3 .

I.3.5.3 Triple oxyde de cobalt Co_3O_4 :

est un tétraoxyde de tricobalt qui cristallise dans la même structure spinelle cubique que Fe_3O_4 . Le paramètre de maille est de 8,080 [34]. Cet oxyde de cobalt est un semi-conducteur de type p à deux bandes interdites (directe de 2,10 eV et indirecte de 1,60 eV) à température ambiante. Les oxydes de métaux de transition sont considérés comme de bons candidats pour les matériaux d'électrode [37]. Cependant, en dessous d'une température d'ordre (Néel) égale à $T_N = 40K$, Co_3O_4 présente une propriété antiferromagnétique, due le plus souvent à un faible couplage entre les ions voisins Co^{+2} . Néanmoins, il n'y aura pas d'interaction antiferromagnétique entre les tétraédriques (Co^{+2}) et les octaédriques (Co^{+3}) [34].

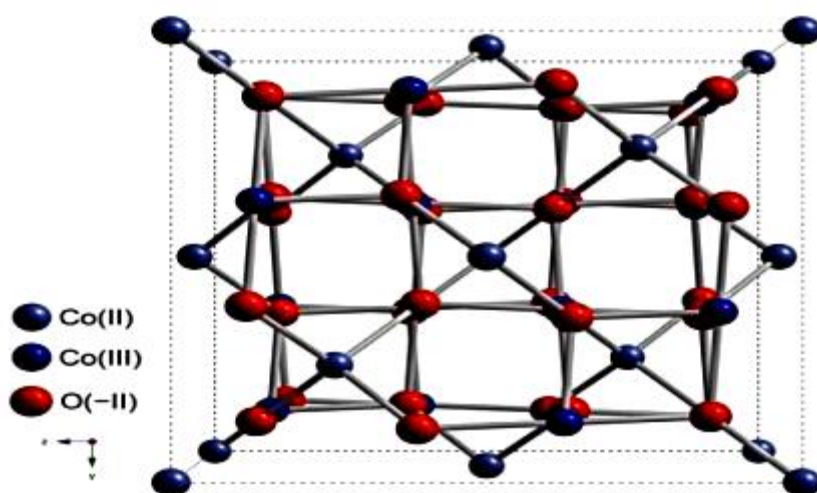


Figure I.8: La structure cellulaire unitaire de Co_3O_4 [38].

Tableau I.3 : les propriétés d'oxydation d'oxyde de cobalt [39],[40].

Les oxydes	Structure	Constante de réseau($\text{\AA}$)	La densité (g/cm^3)	Poids moléculaire(g/mol)	Point de fusion($^{\circ}\text{C}$)
CoO	Cfc	4.26	6.45	74.9326	1935
Co_2O_3	Hcp	a=4.640 c=5.750	5.2	165.863	895
Co_3O_4	Spinelle	8.084	6.2	250.8	900-950

I.3.6 Utilisations d'oxyde de cobalt Co_3O_4 :

Parmi les oxydes de métaux de transition, l'oxyde de cobalt (Co_3O_4), un important semi-conducteur magnétique de type p, a fait l'objet d'une attention considérable ces dernières années en raison de son application potentielle dans divers domaines technologiques tels que la catalyse hétérogène, le matériau anodique dans les batteries rechargeables au lithium [41],[42], les capteurs, les dispositifs électrochromiques, les absorbeurs d'énergie solaire, etc. [34].

Néanmoins, contrôler la synthèse de Co_3O_4 par la morphologie est un défi important pour la science des matériaux, car ses propriétés physiques et chimiques dépendent fortement de sa taille et de sa forme. De ce fait, plusieurs études sont menées pour développer des approches de synthèse rationnelles, simples et respectueuses de l'environnement capables de mieux contrôler la composition et les nanostructures.

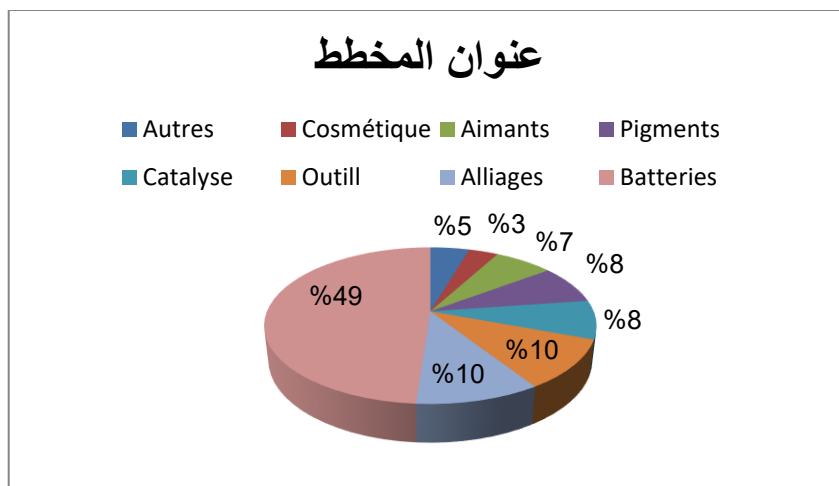


Figure I.9: Utilisation du (Co_3O_4) , dans l'industrie[44].

Référence

- [1]-z. Rappoport, “the chemistry of phenols”, john wiley & sons ltd, chichester, england (2003).
- [2]- m. Ehtash, “purification des eaux polluées par du phénol dans pertracteur à disquestournants”, thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées de rouen, france(2011).
- [3]-ineris, “ phénol fiche de données toxicologiques et environnementales des substanceschimiques. Institut national de l'environnement industriel et des risques ineris–drc-01-25590-01dr021. N°2-1 (2005) 1-47.
- [4]_ خضرة عزري.دراسة الليبيدات والفينولات في بعض انواع التمر المحلي.مذكرة تخرج لنيل شهادة الماجستير في الكيمياء , تخصص الكيمياء العضوية وفيزيوكيميائية الجزيئات. جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2013).
- [5]- brice-profeta, s.; arrio, m.-a.; tronc, e.; menguy, n.; letard, i.; cartier dit moulin, c.; noguès, m.; chanéac, c.; jolivet, j.-p. Saintavit, ph. J. Magn. Magn. Mater. 2005, 228, 354.
- [6]-c. Saima , “etude de l’adsorption du phénol par le charbon du bois brut et active” ,mémoire magister,université ibn khaldoun tiaret.2004.
- [7]-e. Nkhili, “polyphénols de l’alimentation: extraction, interactions avec les ions du fer et du cuivre, oxydation et pouvoir antioxydant,” free radic. Biol. Med., vol. 52, pp. 1075– 1085, 2006.
- [8]-b. Leila, “étude des composés phénoliques en tant que marqueurs de biodiversité chez les céréales,” mémoire magister,université mentouri de constantine, p. 119, 2008.
- [9]-j. J. Macheix, “les composés phénoliques des végétaux: quelles perspectives à la fin du xxème siècle?,” acta bot. Gall., vol. 143, no. 6, pp. 473–479, 1996.
- [10]-a. Lallement et al., “potential for phenol biodegradation in cloud waters,” biogeosciences, vol. 15, no. 18, pp. 5733–5744, 2018.

[11]-patterson . J, wastewater treatment technology .ann arbor science publishers , ann arbour, mi. U.s.a,(1980).

[12]-hori .t.s. , avilez . L.m., inoue. K.l., and moraes .g., metabolic changes induced by chronic phenol exposure in *matrinxabryconcephalus* (teleostei: teleostei) juveniles, comparative biochemical. *Physiol*143,(2006),67_72.

[13]-comon .v., and moldovan .z., rp-hplc method for the separation of the separation of some phenol derivatives using gradient elution and uv detection , J. High resol chromatog,23, (12),(2003),699-701.

[14]-welp.g. And brummer . G .w ., effecte of organic pollutants on soil microbial activity : the influence of sorption , solubility, and speciation , ecotoxicology and environmental safety ,43,(1999),83-90.

[15]-mrozik. A.,piotrowska-seget. Z. And labuzek.s., fames profiles of phenol-degrading *pseudomonas stutzeri* introduced into soil ,international biodeterioration and biodegradation ,62,(2008),319-324.

[16]-ipcs,1994 phenol .environmental health criteria document 161.geneve: international programme on chemical safety . Available from :<http://www.inchem.org/documents /ehc/ehc/ehc 161.htm> [accessed june 2009].

[17]-bhatnagar .a. And minocha .a .k ., adsorptive removal of 2,4-dichlorophenol from water utilizing *punicagranatum* peel waste and stabilization with cement ,

j . Hazard . Mat., 168,(2009),(2-3)1111-1117.

[18]-dadrowski . A., podkoscielny .p., hubcik. Z., and barczak . M., adsorption of phenolic compounds by activated carbon- a critical review, *chemosphere*,58,(2005),1049-1070.

[19]-penalver .a., pocurull. E., borull. F, marce. R.m, solid-phase microextraction coupled to high-performance liquid chromatography to determine phenolic compounds in water samples , *j chrom . A* , 953,(2002), 79-87.

[20]-i r e gosselin et al,williams& wilkins, clinical toxicology of commercial products, 5th .edition,1984.

[21]-ecb,european union risk assessment report . Phenol.volume 64.eur 22522 en/1.luxembourg:office for official publications of the european communities.2006.

[22]-environmental protection agency (epa), manual report for list of chemical priority,usa,(2002).

[23]-agency for toxic substances and disease registry (atsdr).2008. Toxicological profile for phenol. Atlanta, ga:u.s. Department of health and human services, public health service.

[24]_ abbas djeradi. Etude et caracterisation d'une interface (depot substrat) d'un revetement a base de stellite sur un acier ordinaire. Memoire magiste. Université houari boumediene (2014).

[25]_ donald. G. Barceloux& dr. Donald barceloux «cobalt» journal clinicaltoxicology volume 37, - issue 2 pages 201-216 (1999).

[26]_ newton, david. Chemical elements. 2008-04, 2008. Print.

[27] _ معافي شيماء . موسي سناء. تحضير ودراسة تأثير اللانثانوم على خصائص الشرائح الرقيقة لأكسيد الكوبالت Co_3O_4 . مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر, تخصص فيزياء الطاقة المتجددة, جامعة محمد خيضر بسكرة (24/06/2021).

[28] _ ص. بوعشة -م. بن طالب " دراسة الخصائص التريية والصرة لأغشة أكسيد النيكل (nio)المطعمة النحاس (cu) والكواليت . مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر , تخصص فيزياء المواد جامعة محمد خضر بسكرة (25/09/2020).

[29]_ "magnetism from the atom to the bulk in iron, cobalt, and nickel clusters -- billas et al. 265 (5179): 1682 -- science." science/aaas | scientific research, news and career information. Web. 02 june 2010.

[30]_s .haffas m .berak, « caractérisation des couches minces Co_3O_4 : cu élaborée par la technique spray pneumatique», mémoire de master, univ- medkhider- biskra, (2020).

[31]_a.-s. Audion, c. Hocquard, j.-f. Labbé et j.-j. Dupuy, panorama 2013 du marché du cobalt.

[32]_"highly active iron and cobalt catalysts for the polymerization of ethylene - journal of the american chemical society (acs publications)." acs publications - cookie absent. Web. 02 june 2010. .

[33]_boudouara karima, synthèse et caractérisation de matériaux minéraux argileux. Etude de l'amélioration des propriétés adsorbantes , doctorat, université mustapha stambouli mascara, le 14 /10 /2021

[34]_s. Derradji, « etude de l'influence des conditions de synthèse sur les propriétés des oxydes de la structure spinelle NiFe_2O_4 », mémoire de magister, université mohamed kheider biskra, 2010

[35]_c.r. Brundle, t.j. Chuang, and d.w. Rice. Surface science, 60(2) :286, 1976.

[36]_m. Molina ruiz ,growth and characterization of cooultra thin films, universit at autònoma de barcelona escola d'enginyeria ,

[37]_g. Salek, « élaboration et caractérisation de films minces absorbants de lumière à partir de dispersions colloïdales de nanoparticules d'oxydes $\text{Mn}_{3-x}\text{Co}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 3$) et Cu_2O », these de doctorat, université toulouse iii- paul sabatier, (2013).

[38]_a. Bejaoui, « capteurs à base des couches minces d'oxyde de cuivre(ii) (cuo) optimisation et modilisation en vue de la détection de gaz », thèse de doctorat, université de carthage insat , (2013).

[39] _kh. Habchi, « effect of substrate temperature on the properties of Co_3O_4 thin films élaborated by spray pneumatic», mémoire de master, univ-med khider-biskra, (2017).[40]_n.guesmia, « l'effet de la molarité sur les propriétés des couches minces de Co_3O_4 élaborées par spray pneumatique », mémoire de master, univ-med khider biskra, (2017).

[41]_a. Louardi, t. Chtouki, a. Rmili, b. Elidrissi, h. Erguig, int. J. Appl. Eng. Res. 11(2), 1432–1435 (2016).

[42]_h. Che, a. Liu, j. Hou, j. Mu, y. Bai, s. Zhao, x. Zhang, h. He, j. Mater. Sci.: mater. Electron. 25, 3209–3218 (2014).

[43]_p.n. Shelke, y.b. Kholam, k.r. Patil, s.d. Gunjal, s.r. jadkar, m.g. takwale, k.c. mohite, j. Nano-electron. Phys. 3(1), 486–498 (2011).

[44] _ adem, « élaboration par pulvérisation pyrolytique et caractérisation de couches minces semi-conductrices et transparentes d'oxyde de zinc : perfectionnement du système de dépôt », mémoire de magister, université d'oum el-bouaghi,(2007).

ChapitreII : Les méthodes de synthèse& les techniques d'analyse

II.1 Introduction

Dans cette partie nous avons tenté de résumer brièvement les méthodes utilisées et proposées par les chercheurs lors de la synthèse des matériaux base dioxyde de cobalt, ainsi que les techniques de caractérisation structurale et morphologiques de ces derniers.

II.2 Les Méthodes de synthèses :

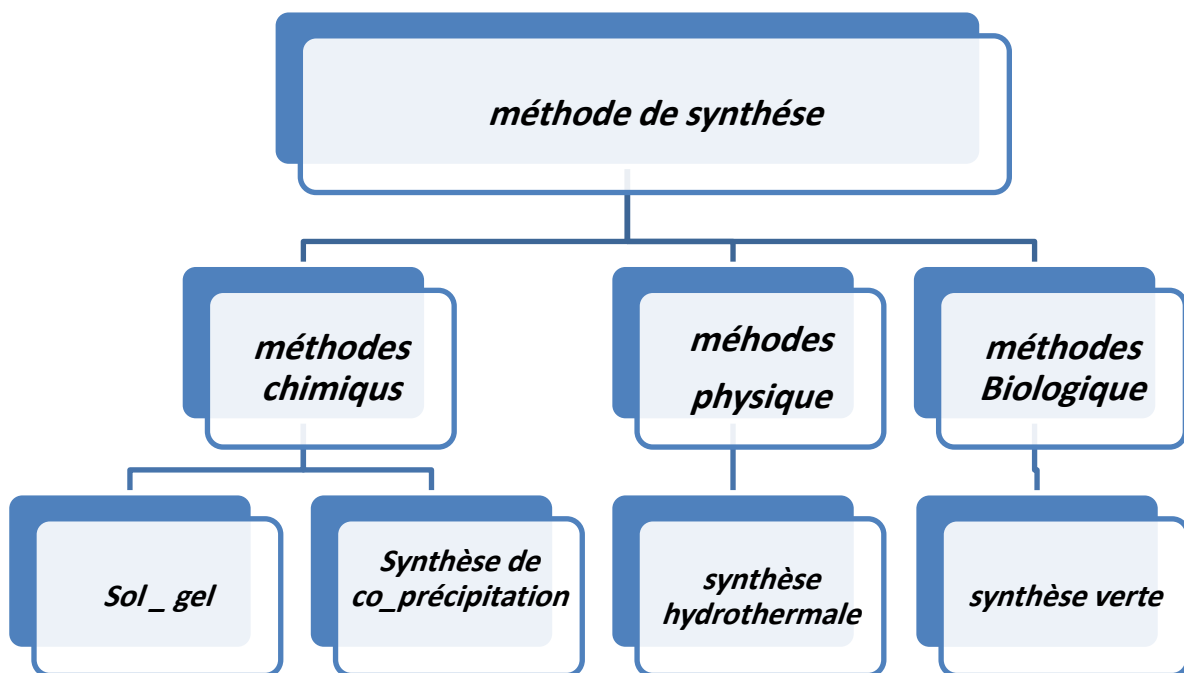


Figure II.1: Les Méthodes de synthèses

II.2.1 Le méthode de synthèse (sol _ gel)

II.2.1.1 Définition:

Seules trois des méthodes disponibles pour déposer des films sol-gel peuvent être utilisées pour créer des films à épaisseur contrôlée. Les approches employées comprennent.

Les processus de "spin-coating", "dip-coating" et "meniscus-coating". Cette dernière méthode, moins connue, permet l'application de couches sur des surfaces planes de taille industrielle. Selon le terme "gélification en solution", l'idée fondamentale derrière le procédé sol-gel est la suivante : à l'aide d'une série de

réactions chimiques du type de celles impliquées dans la polymérisation à température ambiante, une solution liquide à base de précurseurs est convertie en un solide. Trois étapes composent le procédé sol-gel.

- 1) Préparation de la solution de déposition.
- 2) Formation des couches minces par la méthode de trempage ou bien par la méthode de tournette.
- 3) Traitement thermique. [1]

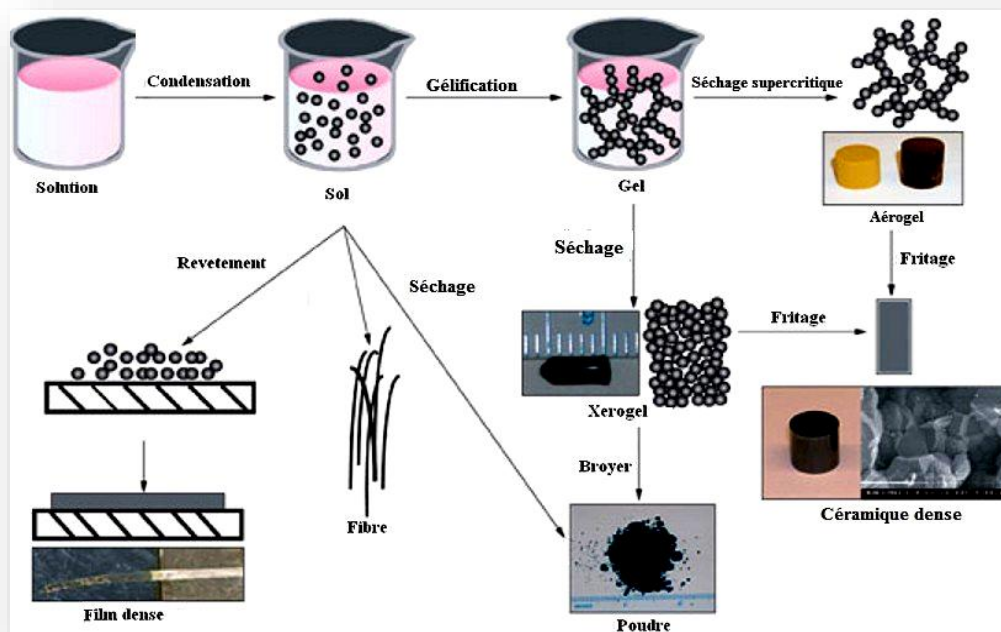


Figure II.2 : Représentation graphique de l'opération (sol-gel)[2].

II.2.1.2 Principe :

A. Spin- coating :

Cette technique consiste à centrifuger une solution en excès et à la déposer sur un substrat. Pour des investissements modérés, elle a l'avantage d'être simple à mettre en œuvre. Elle produit des résultats exceptionnels sur des substrats avec des plans d'une taille d'environ un cm², mais les canapés qui en résultent ont des porosités beaucoup plus élevées.

Cette méthode de dépôt peut être divisée en quatre étapes dont chacune est schématisée :

1. Le dépôt de la solution.

2. Au début de la rotation, le liquide s'échappe du substrat au fur et à mesure que la rotation s'accélère.

3. La rotation constante permet une réduction constante de l'épaisseur du film et l'éjection uniforme de l'excès de liquide sous forme de gouttelettes.

4. Les solvants les plus volatils s'évaporent, ce qui met en évidence la diminution de l'épaisseur du film.

Il est possible de déterminer l'épaisseur de la couche appliquée en contrôlant les paramètres de rotation : Meyerhofer a publié un modèle qui prend en compte les facteurs qui interviennent lors du dépôt : La relation suivante est alors utilisée pour obtenir l'épaisseur (**h**) :

$$h = c \left(3 \frac{e}{2\rho\omega^2} \right)^{1/3} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

c : une constante.

e : la vitesse d'évaporation.

ω : la vitesse de rotation.

ρ : la densité de la solution.

Il est ainsi envisageable pour une solution dont la viscosité est connue de contrôler l'épaisseur des couches en fixant la vitesse de rotation [3].

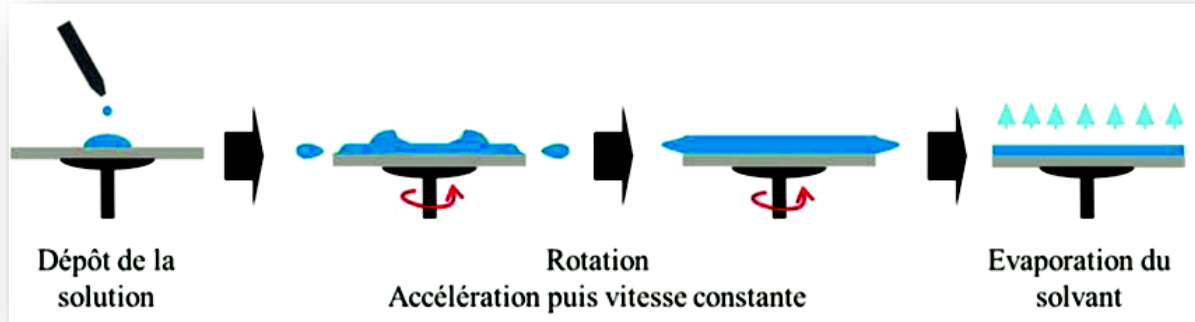


Figure II.3: Expliquer le principe de la technologie spin-coating [4].

B.Dip _ coating :

Cette technique est la plus populaire et semble être la plus rentable pour placer des canapés sur de grandes surfaces des deux côtés du substrat en une seule action. Dans cette méthode, un substrat de verre bien nettoyé et poli est utilisé avec un dispositif de tremblement [5].

Sec, il est secoué dans une solution de dépôt. Le premier principe de la méthode est d'immerger le substrat dans une solution contenant le précurseur.

Le substrat est séché et réchauffé en présence d'air ou d'oxygène après chaque tremblement ; ce processus est répété plusieurs fois pour produire des feuilles minces d'une épaisseur pratique.[6]

La relation suivante peut être utilisée pour calculer l'épaisseur de la couche mince obtenue :

$$h = c(v_0\eta/\rho g)^{1/3} \quad (\text{II.2})$$

Ou :

v_0 : est la vitesse de tirage.

ρ : la densité de solution

g : la constante de gravité.

c : est une constante qui est égale à 0.8 pour les liquides considérés comme newtoniens [7].

η : la viscosité de la solution.



Figure II.4 : Expliquer le principe de la technologie de Dip-coating[8].

II.2.2 La méthode de synthèse verte :

Récemment, des études sur la synthèse de nanoparticules à partir de produits biologiques naturels, tels que des plantes, ont été menées. Ces produits sont utilisés sous forme d'extraits ou d'huiles essentielles solubles. La principale raison de l'intérêt pour ce domaine de recherche est la disponibilité de produits naturels et respectueux de l'environnement. Les extraits de plantes sont considérés comme des antioxydants et ont la capacité de fonctionner à la fois comme agents stabilisants et réducteurs.

Plusieurs nanoparticules ont été produites par cette méthode de synthèse au cours des dernières années :

Par exemple, la mélasse naturelle a été utilisée par D. Philip et al. (2009) pour créer la synthèse de nanoparticules de minerai vert. Le fructose dans le mel est un réducteur potentiel, et les protéines du mel sont chargées de le stabiliser.

S. Yallappa et al. (2013) ont utilisé l'extrait de corne de T. Arjuna comme agent réducteur et stabilisant pour créer des nanoparticules de cuivre sphériques d'une taille approximative de 23 nm à l'aide d'une irradiation par micro-onde. En environ 8 minutes, la réduction complète des ions Cu^{+2} est produite. Gholamhoseinpoor, F

Al. (2015) ont produit des nanoparticules d'argent d'une taille moyenne de 20 nm à température ambiante à partir d'un extrait végétal de *Z. tenuior*. (Zt). Dans le temps de réaction de 35 minutes, la croissance des nanoparticules d'argent est stoppée.

La réduction simultanée des ions dor et d'argent a conduit à la création de l'alliage lorsque M. Meena Kumari et al. (2015) ont synthétisé des nanoparticules bimétalliques ou/argent à température ambiante en utilisant du jus de grenade [9–10].

II.2.3 Méthode de Synthèse hydrothermale :

II.2.3.1 Définition:

La technique de synthèse hydrothermale utilise des réactions homogènes ou hétérogènes en milieu aqueux à hautes températures et pressions pour cristalliser directement des matériaux céramiques anhydres à partir de liquides [11].

Les procédés industriels de dissolution de la bauxite et de création d'aluminosilicates (zéolithes) reposent fortement sur des procédés hydrothermaux.

Cette méthode de synthèse évite l'étape de calcination et conduit directement à des poudres d'oxydes avec une dispersion granulaire serrée à basse température (350 °C).

Elle présente d'autres avantages supplémentaires tels que des coûts d'instrumentation, de précurseurs et d'énergie réduits. Les poudres produites possèdent une bonne homogénéité chimique et géométrique ; elles sont très peu agglomérées, ce qui facilite leur mise en suspension pour l'étalement des films épais. Malheureusement, certains précurseurs non solubles ne peuvent pas être utilisés, ce qui limite le choix des compositions des poudres. De plus, le maintien d'une pression est un inconvénient majeur de ce procédé. Récemment, cette méthode a été utilisée pour synthétiser des poudres nanocristallines d'oxydes, notamment d'aluminate de zinc [12].

Actuellement, elle est utilisée uniquement pour l'eau propre et une solution saline simple. Ainsi, un mécanisme entièrement développé n'a pas encore été présenté, et les études actuelles présentent plusieurs incohérences. De plus, les mécanismes hydrothermaux varient d'un cas à l'autre dans de nombreux autres domaines.

II.2.3.2 Principe :

Cette procédure peut être considérée comme une méthode de synthèse de monocristaux ; la cristallisation a lieu dans un appareil appelé autoclave. L'avantage de la méthode hydrothermale par rapport aux autres procédures de cristallisation est sa capacité à produire une phase cristallisée sans nécessiter de calcination [13]. La méthode hydrothermale utilise de l'eau sous pression et à une température supérieure à son point normal d'ébullition afin d'accélérer le processus de cristallisation [14]. Les deux principaux avantages de la synthèse hydrothermale de poudres céramiques sont l'élimination ou la minimisation de toutes les étapes à haute température, ainsi que l'utilisation efficace des matières premières.

II.2.4 La méthode de synthèse par Co-précipitation :**II.2.4.1 Définition :**

L'une des méthodes les plus couramment utilisées dans la synthèse des oxydes mixtes est la co-précipitation. Cette méthode a démontré une amélioration significative des propriétés des matériaux obtenus, notamment en ce qui concerne les propriétés magnétiques et la supraconductivité.

Le processus de co-précipitation implique la formation de composés solubles qui, normalement, ne précipitent pas dans les conditions spécifiées par le réactif utilisé. Ces composés solubles peuvent être des sels métalliques ou des précurseurs des oxydes.

Il existe deux formes courantes de co-précipitation :

A. Co-précipitation interne :

En raison du fait que les ions qui se sont adsorbés à la surface des cristaux de précipité au fur et à mesure de leur croissance et qui n'ont pas encore quitté cette surface au fil du temps, se retrouvent séparés de la solution après le dépôt de nouvelles couches de précipité, il est possible de trouver des éléments précipitants à l'intérieur des fissures et des micro-capillaires (adsorption interne).

B. Co-précipitation isomorphe :

Dans ce processus, les co-précipitants se combinent avec le précipitant pour générer des cristaux mixtes. Ces cristaux sont formés par la cristallisation de deux

substances ou plus. Les substances isomorphes sont celles qui peuvent former ces cristaux mixtes.

La méthode de base consiste à mélanger les matières premières, généralement du sel, avec de l'eau. Ensuite, les précurseurs sont précipités à un pH spécifique, généralement sous forme d'oxalate et/ou d'hydroxydes. Après des étapes intermédiaires de décantation, rinçage et filtration, le précipité est broyé pour réduire les agglomérats. Le dernier processus de production de la poudre implique la décomposition thermique du précipité.

- Control du pH
- Temps d'agitation
- Ordre d'introduction des réactifs dans la solution du précipitant (l'acide oxalique).

II.2.4.2 Principe :

1) _ La Co-précipitation : est une méthode de chimie douce qui consiste à réaliser une précipitation de poudre. Cette méthode permet soit la production directe du mélange d'oxygène souhaité, soit la production de précurseurs constitués d'hydroxydes ou de métaux qui se combinent avec le mélange d'oxygène souhaité.

Pour cela, plusieurs cations métalliques sont utilisés en combinaison avec un agent précipitant, qui est souvent soit l'hydrox chlorure d'ammonium (NH_4HCO_3), soit l'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH), abrégé AW. L'utilisation de NH_4HCO_3 comme agent précipitant permet la création de poudres moins agglomérées que l'AW ou l'urée [15,16].

Applications de la méthode de Co-précipitation:

Par voie directe: ajout d'une solution d'agent précipitant dans la solution de sels métalliques.

Par voie inverse: ajout de la solution de sels métalliques dans la solution d'agent précipitant.

*) La méthodologie de la co-déposition inverse est préférable à la méthode directe, car elle permet une meilleure cohérence des dépôts pendant l'interaction des catégories.

*) Après avoir mélangé les deux solutions contenant des cations métalliques, il est important de mesurer le pH pour suivre le développement du dépôt conjoint après la dissolution d'une quantité suffisante d'oxyde métallique. Les solutions sont ensuite mélangées et diluées progressivement.

*) La co-déposition peut se produire à froid ou à chaud, à un certain pH.

*) La température et le pH du milieu de réaction sont des facteurs importants pour la plupart des réactions, car ils déterminent la nature des dépôts obtenus.

*) La dépendance du mécanisme de réaction au pH rend extrêmement difficile d'obtenir une mesure chimique spécifique, ce qui constitue un inconvénient majeur lors de la synthèse.

2)- Traitement thermique:

Le traitement thermique est effectué une ou plusieurs fois afin d'éliminer les résidus industriels qui se sont accumulés à la surface du grain, et ainsi obtenir le composé nécessaire.

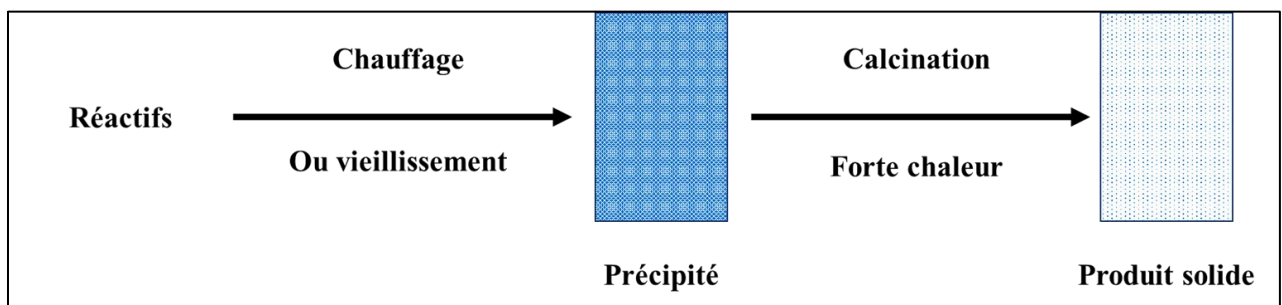


Figure II.5 : La méthode de synthèse par voie de Co-précipitation

II.3 Techniques de caractérisation :

II.3.1 Spectrophotomètre UV-Visible :

II.3.1.1 Définition spectrophotomètre UV-Visible :

La technologie du spectrophotomètre ultraviolet permet la détection de composés organiques et de substances dans la gamme ultraviolette en permettant à la lumière de les traverser. Selon la longueur d'onde de la lumière dans la gamme de (300 à 2500) nanomètres, le rayonnement lumineux interagit avec les matériaux dans la gamme visible et ultraviolette, avec des longueurs d'onde spécifiques.

Ce phénomène implique souvent la transition d'un niveau d'énergie inférieur à un niveau supérieur. L'énergie du rayonnement électromagnétique qui est absorbée par les atomes et les molécules est égale à la différence entre ces niveaux d'énergie [17].



Figure II.6: spectrophotomètre UV-Visible

II.3.1.2 Principe :

La base de repose sur l'interaction de la lumière avec l'échantillon analysé, ce qui entraîne l'absorption d'une partie du faisceau incident à travers l'échantillon. Lorsque le matériau absorbe la lumière dans la plage ultraviolette et visible, l'énergie

absorbée provoque des changements dans la structure électronique du film mince, ce qui entraîne le déplacement des électrons d'un niveau d'énergie à un autre.

Ces transitions électroniques se produisent dans les gammes visible et ultraviolette (350-800 nm et 200-350 nm respectivement). Le principe de fonctionnement du spectromètre utilisé dans cette méthode est illustré dans la figure suivante. La longueur d'onde du rayonnement est dirigée par une source lumineuse dans le visible et l'ultraviolet, puis elle est séparée en deux faisceaux à l'aide de réflecteurs. L'un de ces faisceaux est dirigé vers l'échantillon tandis que l'autre est éloigné. Un dispositif intermédiaire reçoit ensuite les deux faisceaux et les calibre en fonction de la longueur d'onde du faisceau initial grâce à un programme informatique [18].

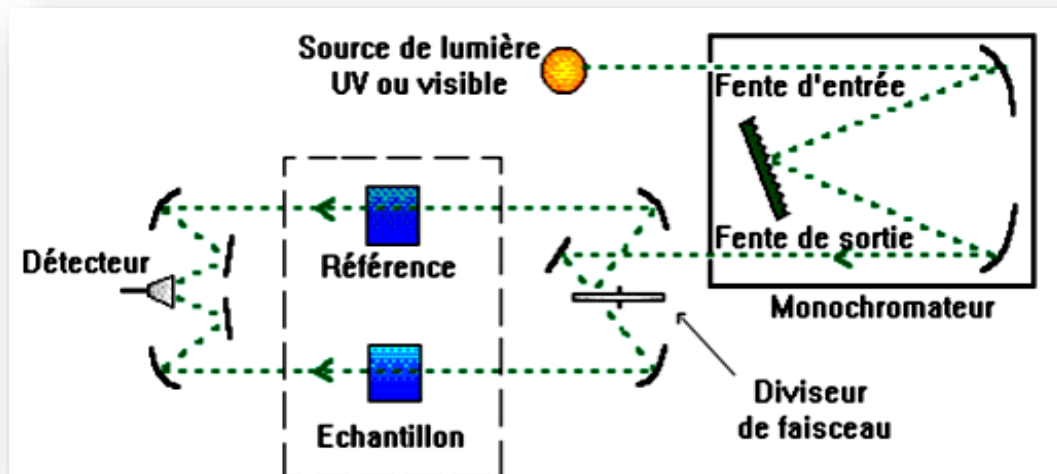


Figure II.7: le principe spectrophotomètre UV-Visible [19].

II.3.2 Spectromètre IR :

II.3.2.1 Définition Spectromètre IR :

Le rayonnement infrarouge est un type de rayonnement électromagnétique découvert par Sir William Herschel en 1800 [20]. Son absorption entraîne une augmentation du mouvement vibratoire des atomes constituant les molécules. Le rayonnement infrarouge se situe après le rayonnement visible et avant les micro-ondes en termes de niveaux d'énergie vibrationnelle et rotationnelle des particules [21].

Chapitre II : Les méthodes de synthèse & les techniques d'analyse

Le rayonnement infrarouge est divisé en trois régions :

L'infrarouge proche (14000-4000 nm): utilisé pour l'analyse des vibrations harmoniques.

L'infrarouge moyen (400-4000 nm) : utilisé pour étudier les vibrations fondamentales, la structure de rotation et les petites vibrations.

L'infrarouge lointain (10-400 nm) : utilisé pour la détection des vibrations à grande échelle [20].

Un spectromètre infrarouge comprend une source de lumière multicolore. Il est équipé d'un détecteur qui mesure l'intensité du rayonnement émis par la source. Ce signal est ensuite utilisé pour obtenir un spectre infrarouge.



Figure II.8: Schéma d'une microscopie infra rouge [22].

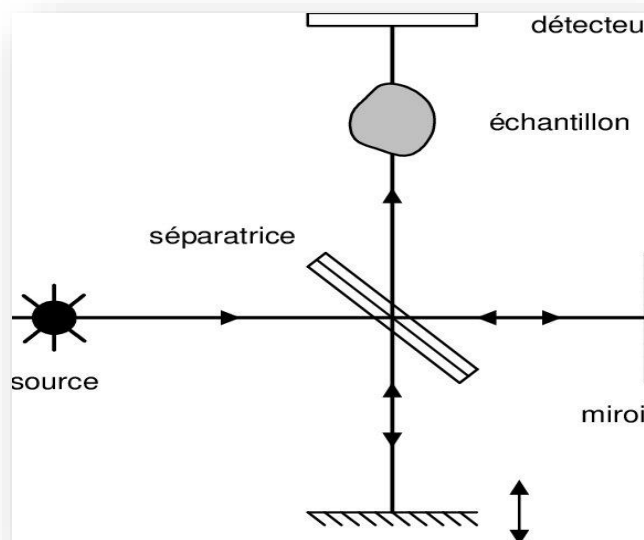


Figure II.9 : Diagramme montrant la trajectoire du rayonnement à l'intérieur d'un spectromètre de rayonnement rouge pur

II.3.2.2 Principe :

Le principe de la spectroscopie radiométrique est basé sur l'énergie cinétique des molécules ainsi que sur l'énergie potentielle et l'énergie cinétique qu'elles possèdent en raison de leurs vibrations moléculaires. Lorsqu'il y a un changement dans la polarisation de la lumière incidente et que l'énergie des photons correspond à l'énergie de transition de la molécule, cette énergie est absorbée. Cela permet à la molécule de passer d'un état d'énergie basse à un état d'énergie excité, et ensuite de convertir cette énergie en énergie vibratoire, comme décrit par la formule [23].

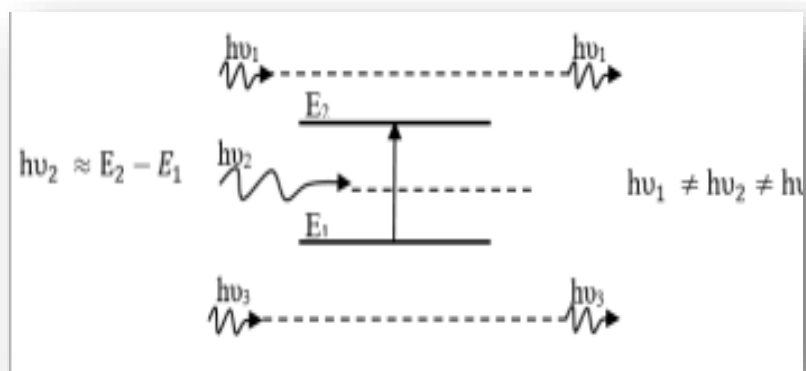


Figure II.10: Absorption infrarouge [23].

II.3.3 Diffraction des Rayons X (DRX):

II.3.3.1 Historique Diffraction des rayons X (DRX):

Le physicien Max von Laue a découvert la diffraction des rayons X par les cristaux en 1912, et Wilhelm Röntgen a découvert les rayons X en 1895 [24]. Les rayons X sont des ondes électromagnétiques invisibles avec une courte longueur d'onde et une haute énergie, variant généralement de 0,01 nm à 10 nm. Ils ont été utilisés dans divers domaines, tels que la médecine et l'industrie.

La diffraction des rayons X est une méthode non destructive largement utilisée pour étudier la nature et la structure des objets cristallisés. Elle permet de mesurer les distances entre les atomes constitutifs de ces objets [25].



Figure II.11: Dispositif de diffraction des rayons X (DRX) utilisé [26].

II.3.3.2 Principe :

La technique de diffraction des rayons X dépend de la détermination de la structure et de la conservation de la structure cristalline de l'échantillon. Lorsque les rayons X interagissent avec l'échantillon étudié, on obtient un modèle de diffraction. Cette technique repose sur la projection de l'échantillon en utilisant des rayons X monochromatiques, et ce rayonnement est dévié de sa trajectoire après avoir pénétré

Chapitre II : Les méthodes de synthèse & les techniques d'analyse

dans l'échantillon [25]. Le problème de la neutralisation des pics de diffraction des rayons X est également pris en compte dans cette technique [27].

Les méthodes les plus importantes d'analyse proactive diffraction des rayons X :

_ Méthode en poudre :

Utilisé dans la méthode de poudre couleur unique et $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ [28]. longueur d'onde X rayonnement.

Il existe deux méthodes de base utilisant le spectre Arraj :

Méthode 1 : Connaissiez la méthode des étincelles Depay et enregistrez le spectre sur film.

Un capteur est placé dans une pièce connue sous le nom de salle Depay.

Méthode 2 : Soyez précis dans vos informations et enregistrez-les à l'aide d'un compteur.

Lorsqu'il est connecté à un dispositif graphique qui dessine le schéma de l'araj, la quantité de rayonnement doit être égale à l'angle de Prague (2θ) [28].

_ Loi de(Bragg) :

La loi stipule que lorsque des ondes de rayons X tombent sur la surface de cristallisation et sont réfléchies, les niveaux atomiques parallèles sont régulièrement inversés et la neutralisation se produit uniquement à partir de niveaux parallèles. Cela se produit lorsque les paquets réfléchis se chevauchent de manière constructive [28].

$$\lambda n = 2d \sin \theta \quad (\text{II.3})$$

Où :

n : Numéro correct

λ : longueur d'onde

D : Distance entre les niveaux de cristaux calculée à partir de la loi de Prague

θ : angle de chute des rayons X) qui peut être extrait du schéma qui

Donnez-lui l'enregistreur de neutralisation [29].

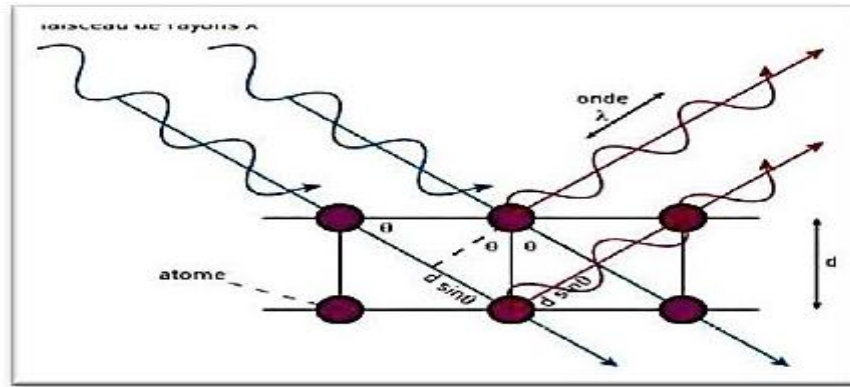


Figure II.12: Illustration de la loi de Prague montrant la distance entre deux niveaux [30].

II.3.4 Microscopie électronique balayag (MEB) :

II.3.4.1 Définition de la microscopie électronique balayag (MEB) :

En 1935, le scientifique Knoll a proposé et développé le principe du microscope électronique à balayage (MEB). En 1939, il est rapidement devenu opérationnel [31]. Le MEB est une technique de microscopie qui permet de capturer des images de surface des particules avec une résolution nanométrique supérieure à celle du microscope optique. Il fournit également des informations sur les particules dans le domaine de la science des matériaux. C'est un outil puissant dans lequel l'état de surface de l'échantillon revêt une importance particulière. Cette technique nettoie la surface d'un échantillon avec un faisceau d'électrons de quelques nanomètres de diamètre. La technologie permet également un fort grossissement, une plus grande profondeur de champ, l'affichage des caractéristiques morphologiques, ainsi qu'une analyse chimique grâce au système de détection des rayonnements (EDS : spectroscopie à dispersion d'énergie) [32].

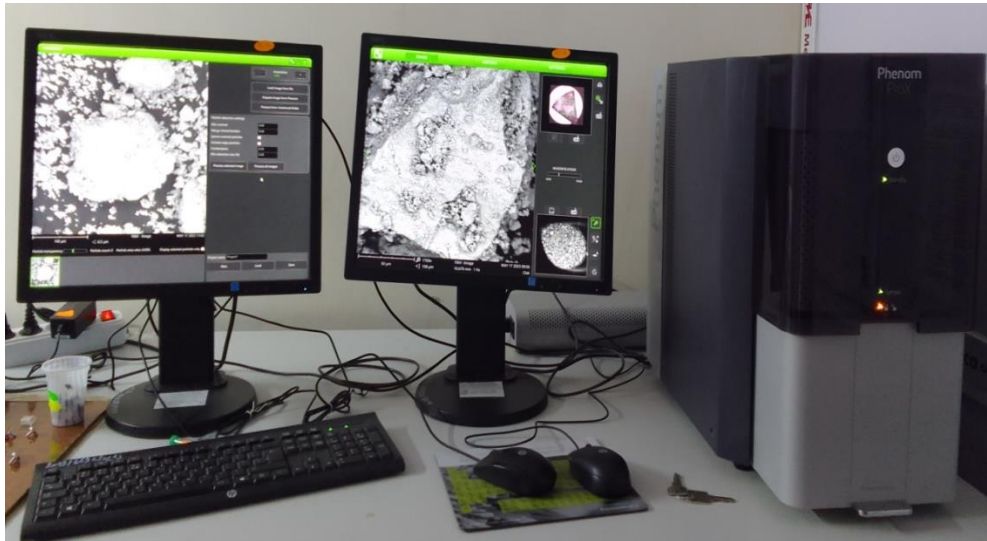


Figure II.13: Microscope électronique à balayage

II.3.4.2 Principe :

1/_ Les électrons résultent de l'émission thermique des fils de chauffage en tungstène. Ensuite, ces électrons seront accélérés sous l'effet d'une haute tension pouvant atteindre 40 kV.

2/_ Les électrons passent à travers le canal de vide dans le microscope et sont concentrés.

3/_ En utilisant des lentilles électromagnétiques, les électrons sont guidés le long du canal pour vérifier l'affichage du faisceau d'électrons.

4/_ Dans la chambre à vide du microscope électronique à balayage (MEB), les électrons entrent en collision avec l'échantillon, ce qui entraîne l'émission d'électrons secondaires et d'électrons dispersés. Cela permet d'obtenir une image en trois dimensions de la surface de l'échantillon. De plus, les rayons X jouent un rôle dans l'analyse qualitative et quantitative

5/_ Chaque signal est détecté par un détecteur, puis il est analysé et traité pour afficher une image correspondant à chaque signal (nanoélectrons et électrons émis), ou une image spectrale pour les rayons X. [33].

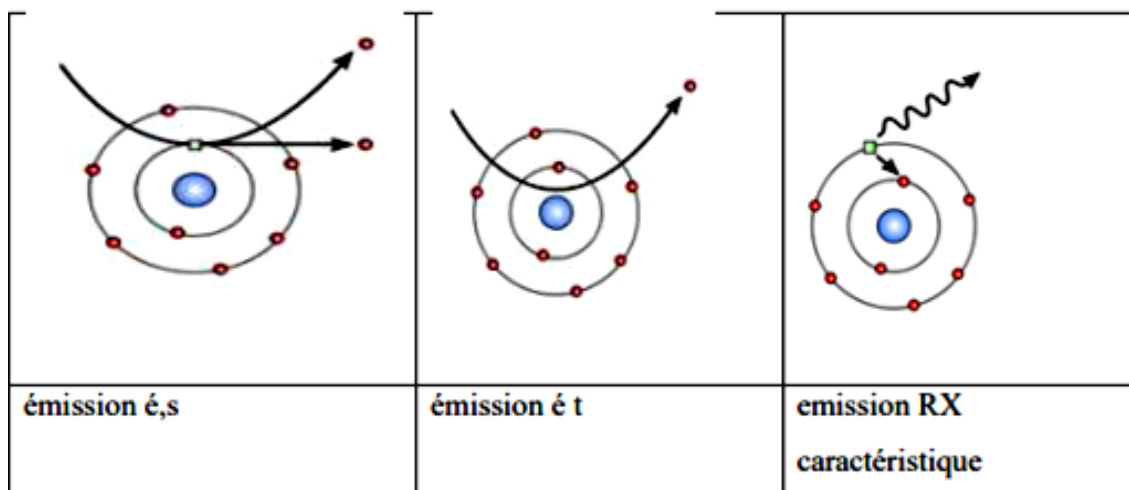


Figure II.14 : Explique le principe de Microscopie électronique balayage (MEB).

Référence

- [1]_J Kardoud préparation par électrochimie et CVD ultrasonore de couche de Tio₂ en vue de la depollution de l'eau étude cristallographique et électrochimique.memoiremajister .université mentouriconstantine(2005).
- [2]_C. Teichert, "Self-organization of nanostructures in semiconductor heteroepitaxy," Physics Reports, vol. 365, pp. 335-432, 2002.
- [3]_M. Attallah, élaboration et caractérisation des couches minces d'oxyde de silicium, obtenues par voie sol-gel. , memoire de magister, universite mentouriconstantine.(2010).
- [4]_O. Benkhetta, «effet de la concentration de la solution sur les propriétés des couches minces de dioxyde de titane déposées par spray pyrolyse ultrasonique», mémoire de master, université med khider- biskra,(2019).
- [5]_R. Mechiakh, r. Bensaha .Ceramics Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, Mentouri University of Constantine.(2006).
- [6]_ R. Azouani , élaboration de nouveaux nanomatériaux photocatalytiques actifs sous rayonnement visible,la thèse de doctorat, universite paris 13. (2009).
- [7]_ G.W. Sherer, J. Of Am. Ceram. Soc. 73 (1990) 3.
- [8]_Z.daas . Contribution à l'étude des propriétés de films tio₂. Mémoiremajistere .universitémentouri –constantine(2010).
- [9]_ N. J. Reddy, d. N. Vali, m. Rani, and s. S. Rani, "evaluation of antioxidant, antibacterial and cytotoxic effects of green synthesized silver nanoparticles by piper longum fruit," materials science and engineering: c, vol. 34, pp. 115- 122, 2014
- [10]_ B. Sadeghi and f. Gholamhoseinpoor, "a study on the stability and green synthesis of silver nanoparticles using ziziphoratenuior (zt) extract at room temperature," spectrochimica acta part a: molecular and biomolecular spectroscopy, vol. 134, pp. 310-315, 2015..
- [11]_R. E. Riman, W. L. Suchanek, and M. M. Lencka, "Hydrothermal crystallization of ceramics," in Annales de Chimie Science des Materiaux,(2002), pp. 15-36.

[12]_M. Zawadzki and J. Wrzyszczyk, "Hydrothermal synthesis of nanoporous zinc aluminate with high surface area," Materials research bulletin, vol. 35, pp. 109-114, 2000

[13]_K. Ariga, Manipulation of Nanoscale Materials: An Introduction to Nanoarchitectonics: Royal Society of Chemistry, (2012).

[14]_A. R. West, Solid state chemistry and its applications: John Wiley & Sons, (2014)

[15]_J.-g. Li, t. Ikegami, j.-h. Lee, t. Mori, and y. Yajima, "co-precipitation synthesis and sintering of yttrium aluminum garnet (yag) powders: the effect of precipitant," journal of the european ceramic society, vol. 20, pp. 2395-2405, 2000.

[16]_X. Li, H. Liu, J. Wang, X. Zhang, and H. Cui, "Preparation and properties of YAG nano-sized powder from different precipitating agent," Optical Materials, vol. 25, pp. 407-412, (2004).

[17]_H. Benamra, « l'effet de la température du substrat et de la molarité sur les propriétés des couches minces de sulfure de zinc déposées par spray ultrasonique », Mémoire de magister. Université Biskra. (2013).

[18]_B. Kheira, "Optimisation des conditions d'élaboration (molarité et pression) des films minces de (zno) par spray", Univ Mohamed Kheider, Biskra(2003).

[19]_R. Achour. Elaboration des verres conducteurs par déposition de zno sur des verres ordinaires .mémoire magister. Université el-wad. 2013.

[20]_T. Theophanides, introduction to Infrared spectroscopy, materials science engineering and technology, (2012)1-9.

[21] _رحيم امحد علي تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية الغشائية (cro-cd) الرقيقة –كلية العلوم – جامعة ديالى، رسالة ماجستير(2014) .

[22]_م. ص. كروش، دراسة خصائص أكسيد الحديد الثلاثي ($\alpha - Fe_2O_3$)، المطعم بالكوبالت (CO) مذكرة ماستر، جامعة حمه لخضر الوادي، (2018).

[23]_B. Kheira, "Optimisation des conditions d'élaboration (molarité et pression) des films minces de (ZnO) par spray", Univ Mohamed Kheider, Biskra(2003).

- [24] _خ، مشري، دراسة الخصائص الفيزيائية للأغشية الرقيقة لأوكسدة الزنك (ZnO) (المطعم باللانثانوم (La) والمرسبة بتقنية ترذاذ الانحلال الحراري، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة، (2016) .
- [25] _A. Mosbah, Elaboration et caractérisation de couches minces d'oxyde de Zinc, thèse doctorat, Université de Constantine1, Constantine, 2009
- [26] _ج. بوصبيح صالح، ص. لبيهيات، دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد النيكل (NiO) المطعمة بالنحاس (Cu)، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة الوادي، الجزائر، (2018)
- [27] _A. Mosbah, Elaboration et caractérisation de couches minces d'oxyde de Zinc, thèse doctorat, Université de Constantine1, Constantine, (2009).
- [28] _سمرة كزيز، ليندة بولخرفان، دراسة تأثير إستبدال الكوبالت على بعض الخصائص الفيزيائية لطور الهمايت (αFe_2O_3)، تخصص فيزياء المواد، جامعة العربي بن مهيدي أم البواقي
- [29] _د. جليل كريم أحمد ؛ نبأ ستار راضي، "الطلاء بسبيكة أساس ($Ni-Zn$) لحماية الفولاذ "التاكل الكربوني The Iraqi Journal for Mechanical and Material Engireering, Vol 11, No.1, (2011)"
- [30] _Taupin, D., Théorie dynamique de la diffraction des rayons X par les cristaux déformés. Bulletin de Minéralogie, 1964. 87(4): p. 469-511.
- [31] _<http://W.W.W arabency.com> (version 17mai 2012).
- [32] _Beaunier, L., et al., Etude electrochimique, et par microscopie electronique a balayage, du fer recouvert de peinture. Surface Technology, 1976. 4(3): p. 237-254.
- [33] _<http://www.saudicnt.org> (version 14 Avril 2012)

**Chapitre III: Dégradation de phénols
par oxyde de cobalt**

III.1 Introduction

La dégradation des phénols par l'oxyde de cobalt est une méthode catalytique utilisée pour traiter les eaux contenant des phénols toxiques. Cette méthode repose sur l'oxydation du phénol en utilisant des catalyseurs à base d'oxyde de cobalt. Différents paramètres tels que la concentration de phénol, la quantité et la nature du catalyseur, la température et le pH de la solution peuvent influencer l'efficacité de ce processus. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer cette méthode et son application à grande échelle.

III.2 Dégradation de phénols par oxyde de cobalt

Un groupe de scientifiques ont tenter doudi en 2018 [1], a étudié l'hydrogénation du phénol en cyclohexanol par transition chimique en utilisant des catalyseurs hétérogènes à base d'oxyde de cobalt. Ils ont synthétisé et caractérisé des catalyseurs hybrides CoOx@CN pour cette réaction. Les catalyseurs ont été préparés en pyrolysant un mélange de GAH ("aérogel de nitrure de carbone graphitique (g-C₃N₄)"), de mélamine et de $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ à 800 °C. La microstructure de CoOx@CN a été caractérisée à l'aide de diverses techniques, notamment la microscopie électronique à transmission (MET), les isothermes d'adsorption d'azote, la diffraction des rayons X (DRX) et la spectroscopie électronique à rayons X (XPS). Les résultats ont montré que la phase principale de CoOx@CN était CoO, qui se composait de nanotubes de carbone à parois multiples et de couches de graphite. Les nanoparticules (NP) de CoOx étaient uniformément dispersées sur le support de carbone avec une taille moyenne de 13,8 nm et une teneur en cobalt de 27 % en poids.

Les performances catalytiques de CoOx@CN ont été évaluées pour l'hydrogénation du phénol, et les effets du solvant, de la température et de la pression d'hydrogène ont été étudiés. Les résultats ont montré que l'eau était le meilleur solvant et que le catalyseur fonctionnait mieux dans les solvants protiques que dans les solvants non protiques. Il a été constaté que la conversion du phénol était sensible à la température et à la pression d'hydrogène, les meilleures performances étant obtenues à 150 °C et 3 MPa H_2 . Les chercheurs ont également trouvé un moyen de synthétiser des hybrides CoOx@CN en utilisant de la biomasse,

du $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ et de la mélamine. Le matériau résultant avait une surface élevée et des nanoparticules bien dispersées, qui se sont avérées être les sites actifs pour l'hydrogénation sélective du phénol en cyclohexanol.

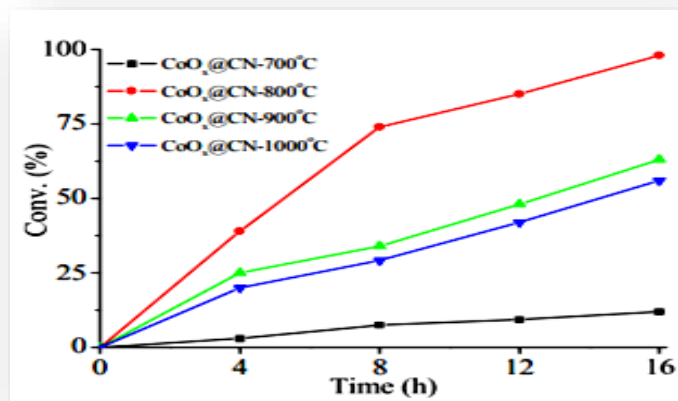


Figure III.1: Evolution de la conversion avec le temps de réaction par $\text{CoO}_x\text{@CN}$ sous différentes température de pyrolyse

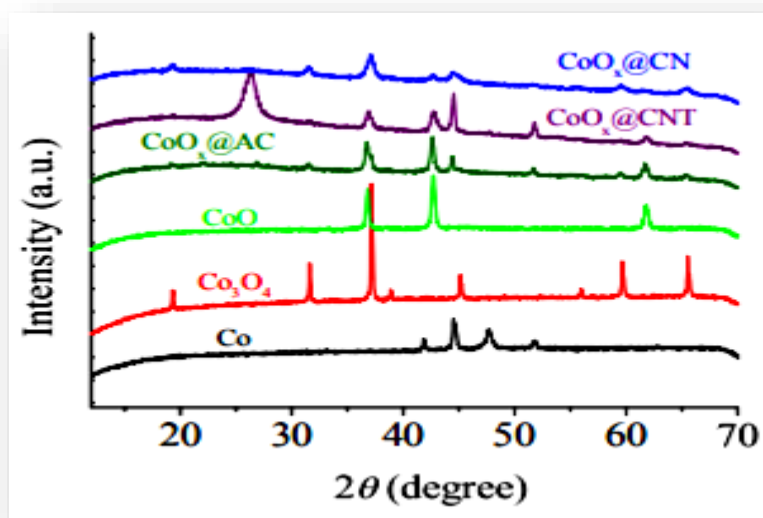


Figure III.2: Profils XRD de différents catalyseurs

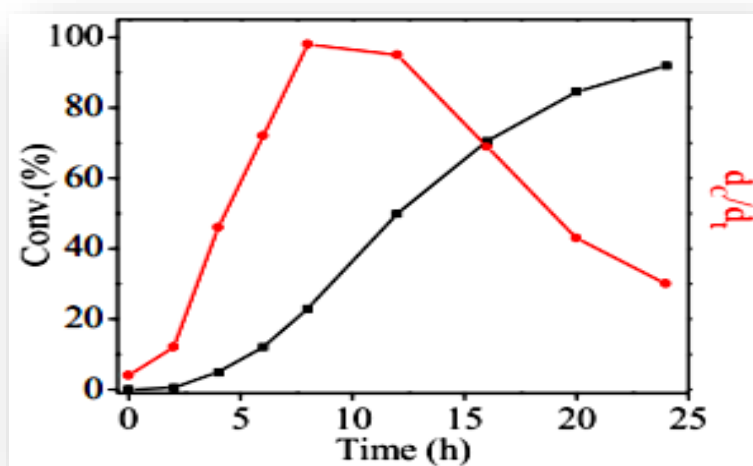


Figure III.3: Le profil temps-activité pour l'hydrogénation du phénol sous catalyseur Co_3O_4 et sa fonction différentielle

D'une autre manière, R. Berenguer en 2008 a étudié l'oxydation du cyanure et du phénol sur des électrodes nanostructurées en Co_3O_4 préparées de différentes manières. Des nanoparticules de Co_3O_4 ont été préparées et décrites, puis déposées sur différents substrats pour préparer les électrodes (Co_3O_4XT , Co_3O_4TD). Deux méthodes de synthèse différentes ont été utilisées pour préparer les nanoparticules, à savoir la voie Nanocasting et la méthode de décomposition thermique. Dans la méthode Nanocasting, un xérogel de silice commercial a été utilisé comme modèle solide sacrificiel, tandis que dans la méthode de pyrolyse, le précurseur de sel Co (NO_3)₂ • 6H₂O a été utilisé. Les électrodes ont été préparées par dépôt de nanoparticules de Co_3O_4 sur des tiges de carbone vitreux et des feuilles de Ti à l'aide de suspensions téflon-eau. La texture de surface et la structure cristalline des électrodes ont été étudiées en utilisant la microscopie électronique à balayage (MEB), la diffraction des rayons X (DRX) et la microscopie électronique à transmission (MET). La spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) a également été utilisée pour obtenir des spectres. Les résultats de ces analyses ont été utilisés pour déterminer la taille moyenne des cristaux et les paramètres cellulaires des nanoparticules de Co. Les chercheurs ont conclu que les deux matériaux présentaient une structure cristalline similaire et une composition chimique similaire, mais des différences de forme de surface ont été observées, avec Co_3O_4XT montrant une surface plus poreuse et une taille de particules plus petite que Co_3O_4TD .

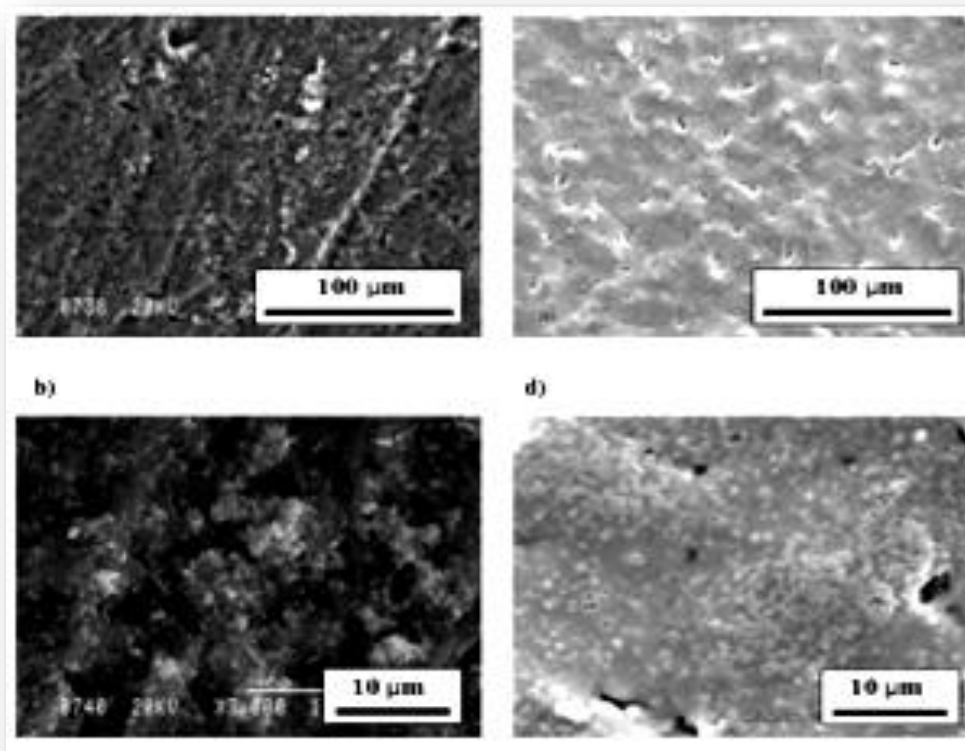


Figure III.4: Images BEM de GC/ Co_3O_4 XT a 500 et b 3000, et Électrodes Ti/ Co_3O_4 TD c 500 et d 3000.

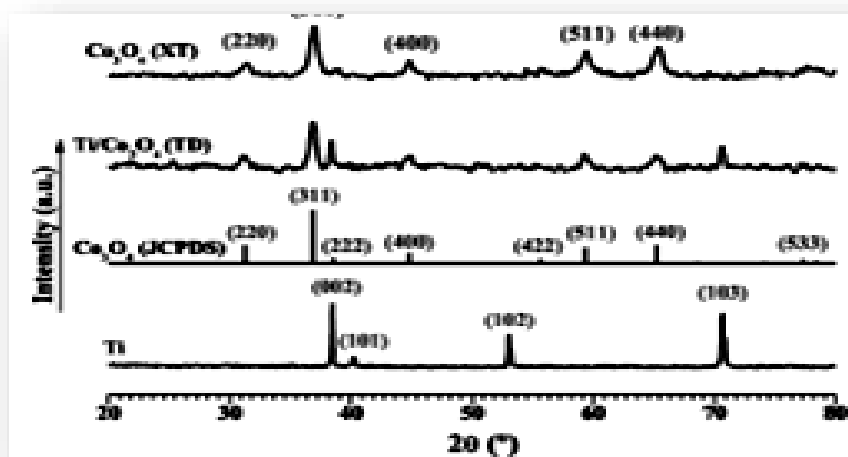


Figure III.5: Modèles DRX du support en titane, étalon de poudre, Co_3O_4 et les électrodes Ti/ Co_3O_4 TD et GC/ Co_3O_4 XT.

Alors qu'en générale 1976 D. Pope, D. S. Walker, et R. L[3]. Moss ont mené une étude sur l'évaluation de l'efficacité de divers stimuli d'oxyde de cobalt pour l'oxydation des composés organiques dans l'air, en particulier les composés organiques malodorants. L'étude a testé différentes formes d'oxyde de cobalt, telles que Co, O Motivar (CCB 58), les pastilles CCB 96, un stimulus commercial, un stimulus O (ICI), CO, O, soutenu sur des copeaux d'oxyde de cobalt en alumine et de la turquoise minérale cobalt oxydée.

Les stimuli ont été testés dans un réacteur en verre tubulaire, où la concentration requise de composé organique a été obtenue en injectant une petite quantité de matériau saturé à une température connue dans le flux d'air global. Les concentrations de composé organique ont été mesurées directement en utilisant la chromatographie en phase gazeuse, et la sortie a été surveillée en continu pour le dioxyde de carbone par analyse I.R. Le sulfure de méthyle a été mesuré par une échelle d'optique de flamme, tandis que le dioxyde de soufre a été analysé par absorption dans le peroxyde d'hydrogène et étalonné avec des quadruples de sodium.

L'objectif de l'étude était d'évaluer l'efficacité des différents stimuli d'oxyde de cobalt pour l'oxydation des composés organiques malodorants. L'utilisation de CO s'est avérée efficace pour l'oxydation des composés organiques malodorants, mais elle a également indiqué que l'oxydation du sulfure de méthyle peut entraîner l'incorporation de soufre par le catalyseur, ce qui peut réduire son efficacité. L'utilisation de stimuli moins restrictifs peut être une solution à ce problème.

En 2000[3] , un système d'oxyde de cobalt modifié à basse température a été mis au point pour l'oxydation catalytique du phénol en phase aqueuse. Le système d'oxyde de cobalt modifié au fer a été préparé à température ambiante et pression atmosphérique. Différentes techniques spectroscopiques telles que l'infrarouge, la diffusion angulaire des rayons X et l'analyse chimique ont été utilisées pour déterminer les caractéristiques structurales du catalyseur. L'efficacité de l'oxydation catalytique du système d'oxyde de cobalt modifié par le fer a été étudiée dans la réaction d'oxydation du phénol à basse température. Ces expériences ont été réalisées dans un réacteur thermostatique contenant une solution de 100 cm³. Avant l'ajout de phénol aqueux (taille des particules dans la plage de 0,6-1,0 μm = 1), les substances de la solution ont été aspirées pendant une demi-heure (pH initial = 7,0). La quantité souhaitée de catalyseur a été mise en suspension dans la solution et agitée en continu à l'aide d'une barre magnétique, tandis que de l'air était continuellement aspiré pendant le fonctionnement de l'expérience.

Nous avons conclu que l'ajout de fer comme modificateur dans la composition de l'échantillon augmente la mobilité de l'oxygène (dans les huit coordinations des ions Fe^{+3}) et conduit à l'émergence de nouveaux sites actifs, ce qui rend l'échantillon plus efficace dans les réactions d'oxydation complète à basse température.

Enfin, les résultats de l'étude ont montré que le système d'oxyde de cobalt modifié au fer étudié présente une activité catalytique élevée et une transmissivité élevée pour l'oxydation complète du phénol à une température aussi basse que la température ambiante. Une oxydation pratiquement complète du phénol en dioxyde de carbone et en acides carboxyliques a lieu sur (CO_F_fresh) dans un milieu aqueux équilibré en air en 20 minutes à pH 7,0.

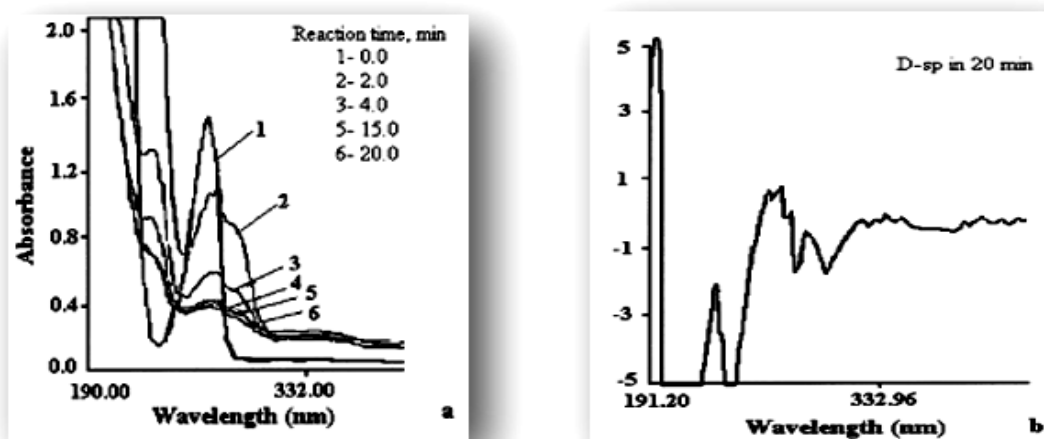


Figure III.6: Profils du spectre UV (a) et leurs dérivés D-sp (b) lors de l'oxydation du phénol sur le Co-frais.

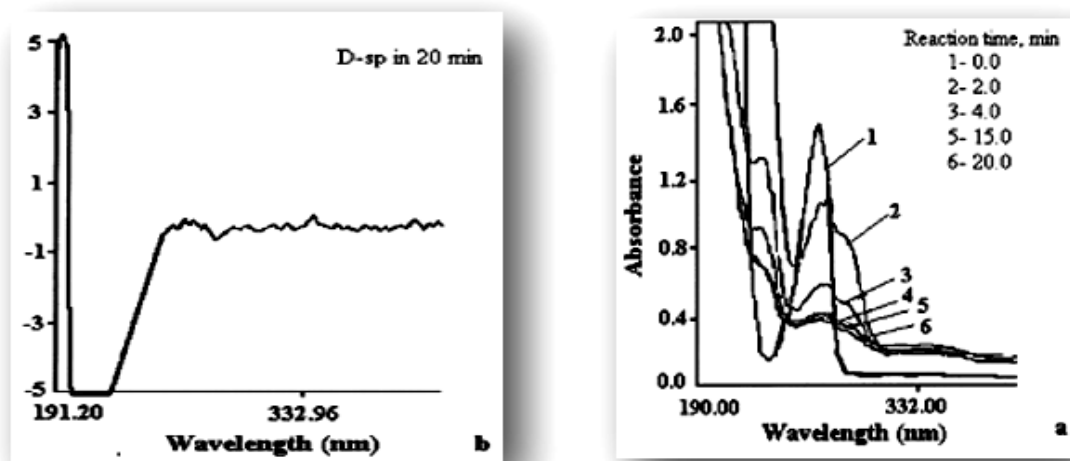


Figure III.7: Profils du spectre UV (a) et leurs dérivés D-sp (b) lors de l'oxydation du phénol sur le Co-frais

D'autre part, en 2012 [3], il a fait Syaifullah Muhammad, Edy Saputra, Hongqi Sun, Ha-Ming Ang, Moses O. Tade, et Shaobin Wang a réalisé une oxydation hétérogène catalytique de phénols supportés sur de l'argile rouge d'une manière différente. Les catalyseurs utilisés étaient des catalyseurs au cobalt supportés obtenus à partir d'une raffinerie d'alumine en Australie occidentale. Deux échantillons de boue rouge différents, RM-NT et RM-T, ont été préparés en filtrant et en lavant la suspension brute avec de l'eau ultrapure. Les catalyseurs COO/RM-NT et RM-T ont été préparés par la méthode d'imprégnation humide en utilisant du nitrate de cobalt comme précurseur. Les catalyseurs ont été caractérisés à l'aide de techniques telles que la diffraction des rayons X (DRX), la microscopie électronique à balayage couplée à une analyse spectrométrique par dispersion d'énergie des rayons X (MEB-EDS), l'absorption d'azote à 77K (BET :Brunauer–Emmett–Teller) et la spectroscopie d'absorption UV-visible (DRS). L'oxydation catalytique du phénol a été réalisée dans un flacon en verre en utilisant du peroxyde de monosulfate (PMS) comme oxydant et les catalyseurs supportés comme catalyseurs hétérogènes. La concentration en phénol a été analysée par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) et la demande chimique en oxygène (COT) a été déterminée à l'aide d'un analyseur SLIMADSU. Les catalyseurs usés ont été récupérés à 0°C - 5000°C et sélectionnés pour être recyclés. La concentration de CO_3O_4 dans la solution filtrée a été déterminée à l'aide de la spectroscopie d'absorption atomique (AAS). L'étude fournit des informations sur la concentration et la caractérisation des catalyseurs CO_3O_4 /RM et leur activité catalytique dans l'oxydation des phénols. Les résultats indiquent que RM-T présente une surface spécifique plus élevée, ce qui en fait un meilleur support pour les nanoparticules de cobalt dans l'oxydation du phénol. Enfin, les catalyseurs de CO_3O_4 purifiés avec une charge de 1 à 5% en poids de CO_3O_4 ont montré une activité catalytique plus élevée dans l'oxydation du phénol que les catalyseurs CO_3O_4 /RM-NT.

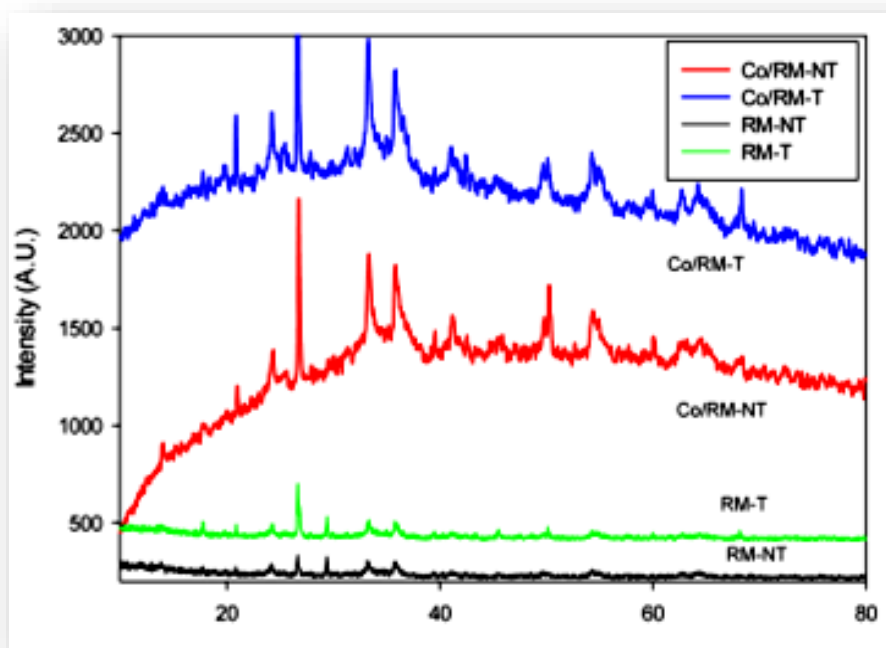


Figure III.8: Modèles XRD de boue rouge et de leurs catalyseurs Co supportés

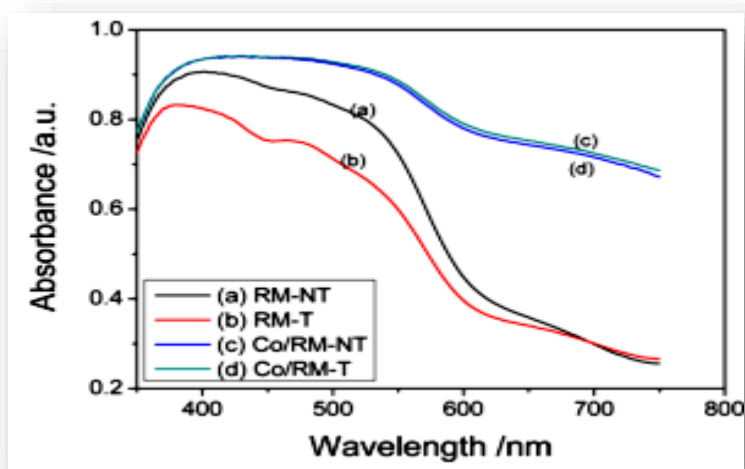


Figure III.9: Spectres UV-vis des supports RM et Co/RM-NT et Co/RM_T

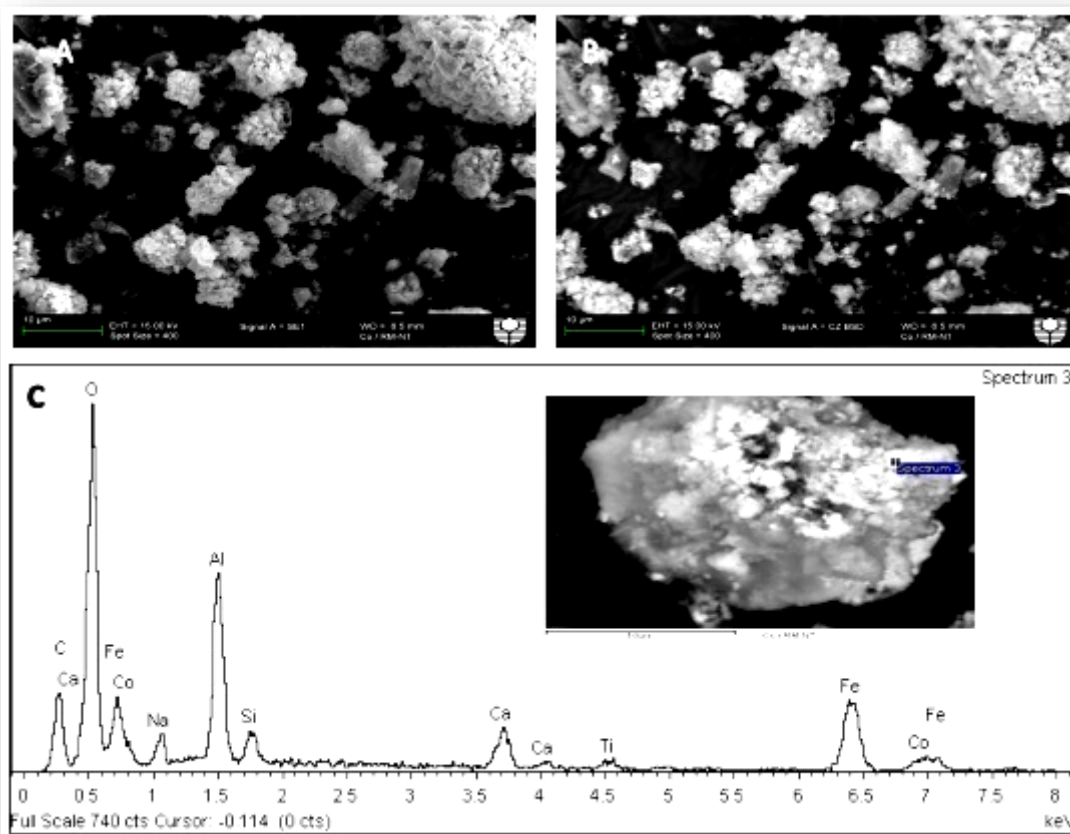


Figure III.10: Images SEM et spectres EDS de Co/RM-NT : (A) détecteur SE, (B) détecteur BSE, (C) spectres EDS avec encart de la source d'image du spectre.

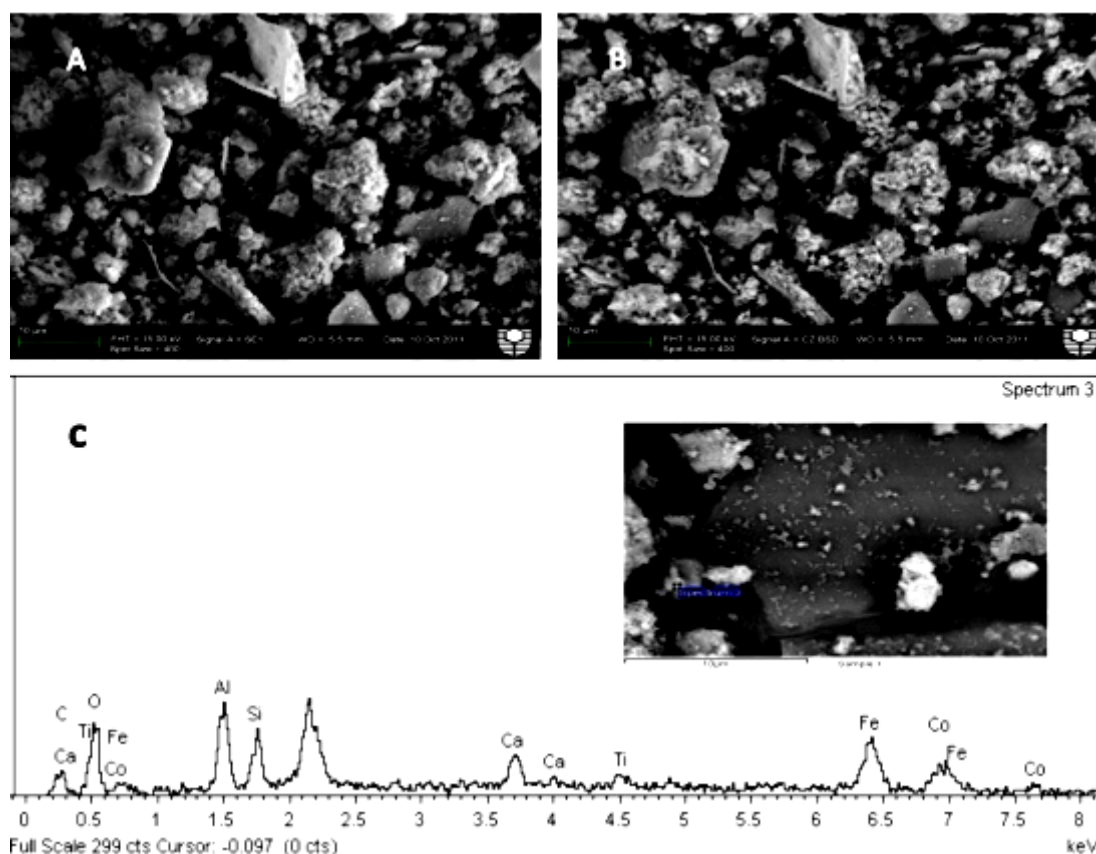


Figure III.11: Images SEM et spectres EDS de Co/RM-T : (A) détecteur SE, (B) détecteur BSE, (C) spectres EDS avec encart de la source d'image du spectre.

En 2007,[5] , un groupe de scientifiques a utilisé une méthode de synthèse rapide assistée par micro-ondes pour produire des nanotiges de CO_3O_4 et les a utilisées pour décomposer le phénol. Ils ont préparé et caractérisé des tiges de carbonate d'hydroxyde de cobalt pour les utiliser comme catalyseurs dans la décomposition du phénol. Une solution mixte de 50 ml contenant 0,6 mole de $H_2O_6(NO_3)_2$ et 2,8 g d'urée a été chauffée sous micro-ondes à 500°C pendant 3 minutes. Le précipité résultant a été filtré, lavé et séché à 100°C pendant 20 heures, ce qui a abouti à l'obtention de l'échantillon. Celui-ci a ensuite été chauffé à 400°C pendant 3 heures dans une atmosphère d'air, ce qui a conduit à la formation de composés noirs (C4OO) grâce à la méthode de synthèse en vrac. En utilisant une méthode similaire, des nanoparticules d'oxyde de cobalt (CO_3O_4) ont également été synthétisées, puis calcinées à 400°C pendant 3 heures dans une atmosphère aérobie, ce qui a conduit à la formation de composés (P4OO). Pour analyser la structure cristalline des échantillons, différentes techniques ont été utilisées, dont la diffraction des rayons X statique pour observer les formes et les tailles des échantillons, ainsi que la microscopie électronique à balayage (MEB) pour étudier la stabilité thermique et le comportement de décomposition des échantillons. Des spectres infrarouges (IR) ont été obtenus à l'aide d'un spectromètre FT-IR pour analyser les groupes fonctionnels présents dans les échantillons. De plus, des échantillons ont été exposés à un flux de mélange d'hydrogène (H_2) et d'azote (N_2) pour étudier leur comportement de réduction, et un spectromètre FT-IR a été utilisé pour analyser les groupes fonctionnels présents dans les échantillons. Pour la dégradation du phénol, des expériences de dégradation catalytique par micro-ondes (MECD) ont été réalisées et les produits de dégradation ont été analysés qualitativement à l'aide d'un système LC/MS. En résumé, le texte décrit la synthèse, la caractérisation et l'application de nanotiges à base de cobalt pour la dégradation catalytique du phénol..

Enfin, une nouvelle méthode respectueuse de l'environnement a été proposée pour former des nanotiges d'oxyde de cobalt et étudier leurs applications dans la dégradation du phénol. Il a été observé que le CO_3O_4 était efficace pour décomposer le phénol en sous-produits inoffensifs (CO_2 et acide malonique) en utilisant la méthode MECD à un pH de 7 et une température de 70°C. Dans

l'ensemble, cette recherche fournit une méthode prometteuse pour la production de nanotiges de Co_3O_4 et leur utilisation dans le traitement des eaux usées.

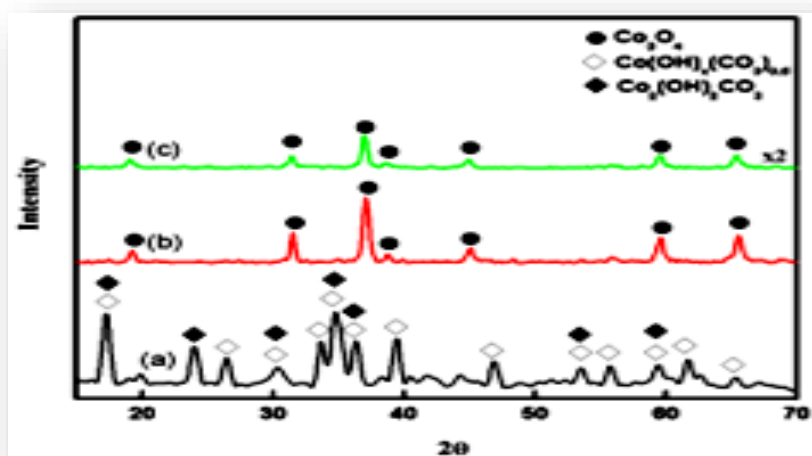


Figure III.12: Spectres XRD de: (a) tels que préparés; (b) C400; (c) P400.

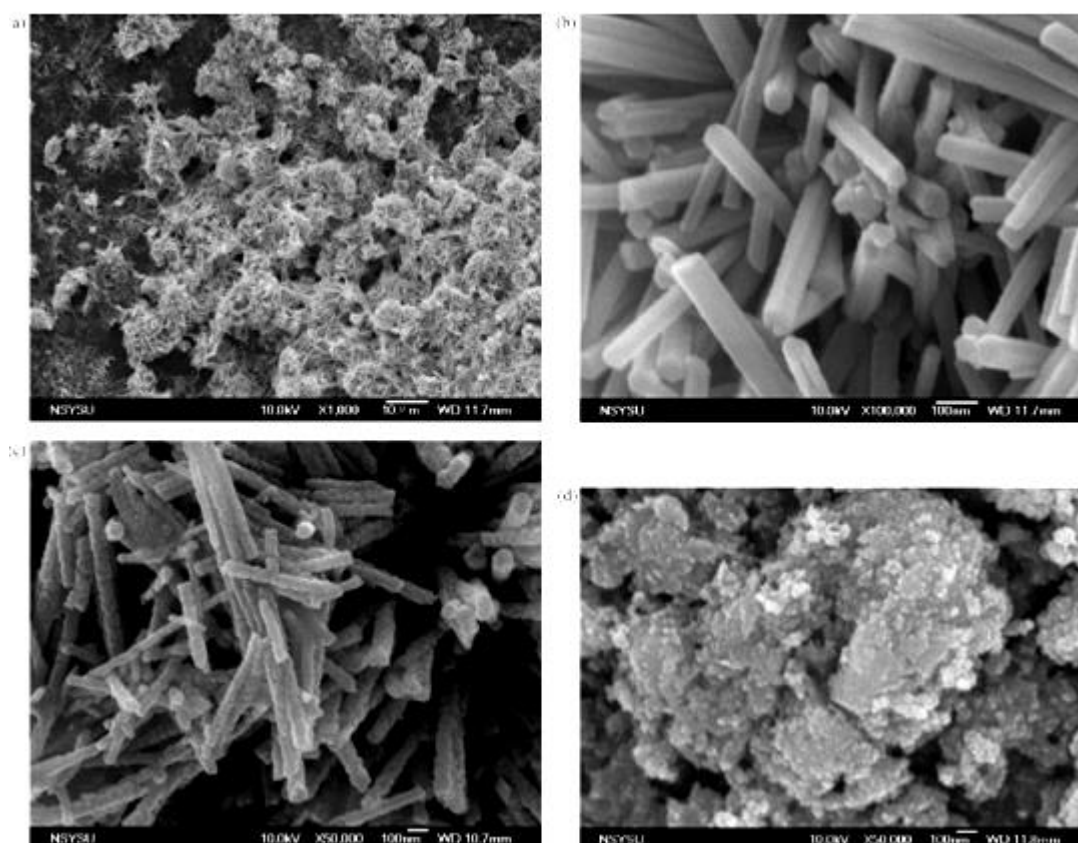


Figure III.13: Micrographies SEM de : (a) telles que préparées (1 000); (b) tel que préparé (100 000); (c) C400 (50 000); (d) P400 (50 000).

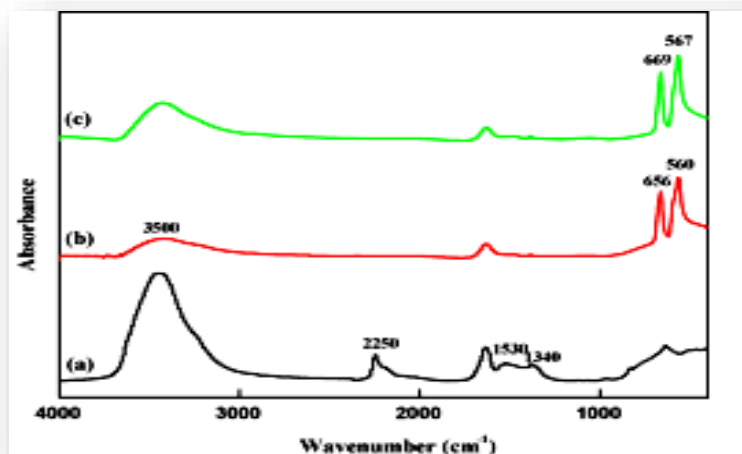


Figure III.14: Spectres IR de : (a) tels que préparés ; (b) C400; (c) P400.

En 2010,[6] un groupe de chercheurs a réalisé une oxydation avancée des polluants organiques en solution aqueuse à l'aide de catalyseurs supportés par du charbon actif. Le catalyseur a été préparé en broyant l'échantillon de charbon actif (AC) obtenu à partir de produits chimiques BDH jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Ensuite, la poudre a été lavée avec de l'eau ultrapure et diluée dans un four à air conditionné. Une quantité constante de charbon actif a été ajoutée à la solution de nitrate de cobalt et agitée pendant 24 heures. La suspension obtenue a été évaporée dans un évaporateur à cycle sous vide à une température de 50 °C. Le solide résultant a été ensuite calciné à 750 °C pendant 6 heures sous un flux d'argon. Une deuxième calcination a été réalisée à 350 °C sous atmosphère d'air pour oxyder les espèces de cobalt réduites. L'échantillon calciné $[\text{Co}]_3\text{O}_4/\text{AC}$ a ensuite été lavé plusieurs fois avec de l'eau déionisée pour éliminer les résidus de cobalt faiblement liés. La texture, la morphologie et les analyses quantitatives de l'échantillon $[\text{Co}]_3\text{O}_4/\text{AC}$ ont été réalisées à l'aide d'un microscope électronique à balayage (SEM) en utilisant des électrons secondaires et de diffusion. Une pulvérisation de carbone a été effectuée sur l'échantillon et analysée pour déterminer sa composition élémentaire à l'aide de la technique d'analyse aux rayons X à dispersion d'énergie (EDS). L'analyse EDS a été réalisée à plusieurs points de la zone d'étude et les résultats ont été moyennés pour obtenir des résultats représentatifs. Les propriétés structurales et la minéralogie des échantillons ont été étudiées à partir de diagrammes de diffraction des rayons X obtenus à l'aide d'un appareil SimensDRX, utilisant un rayonnement de cuivre filtré $\text{K}\alpha$ à une tension d'accélération de 40 kV et un courant de 30 mA. L'échantillon a été balayé de 5° à 70° avec un pas de 2°. Enfin, la quantité relative d'oxyde de cobalt sur les catalyseurs /AC a été déterminée en brûlant le carbone dans l'air et la perte de poids a été mesurée à l'aide d'un analyseur thermogravimétrique (TG). L'oxydation du phénol a été réalisée dans un réacteur de 500 ml contenant une solution de phénol à une concentration de 25 ppm, sauf indication contraire. Le réacteur était fixé à un support et immergé dans un bain d'eau à température contrôlée. Le mélange réactionnel a été agité en continu pour maintenir une solution homogène. Une quantité connue d'OXONE a été utilisée comme oxydant. Les résultats ont montré que Co/AC était particulièrement efficace dans l'activation du PMS (peroxydisulfate) pour produire des radicaux sulfate, ce qui a conduit à une

dégradation efficace du phénol Il ont également montré que Co/AC était un catalyseur hétérogène prometteur pour l'oxydation organique avec des radicaux sulfate, comme la lixiviation du Co était de la phase Steel Co/AC minimale même après rénovation. Dans l'ensemble, cette étude indique que Co/AC peut être un catalyseur utile pour l'élimination des phénols des solutions aqueuses.

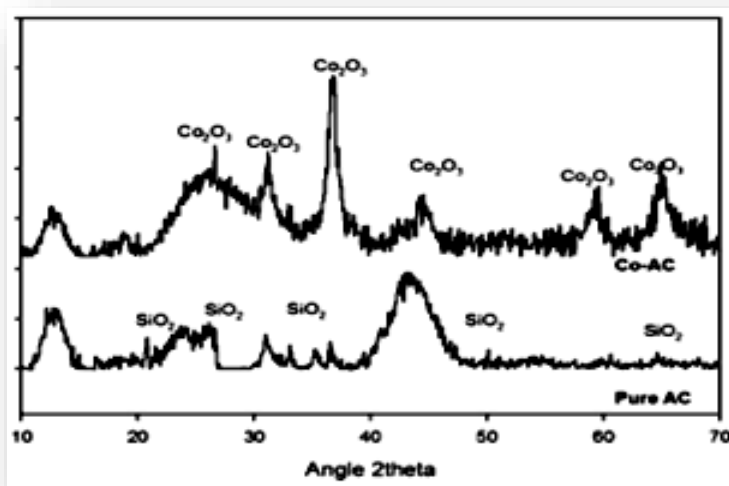


Figure III.15: Spectres XRD de AC et Co/AC

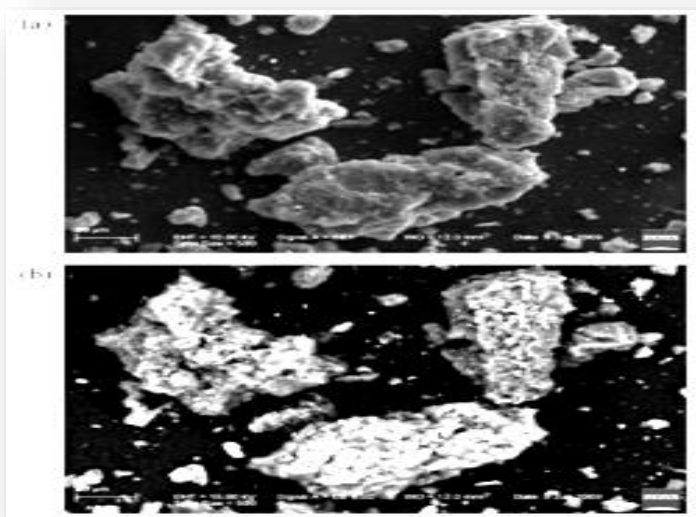


Figure III.16 : Images MEB de Co/AC. (a) détecteur SE et (b) détecteur BSE.

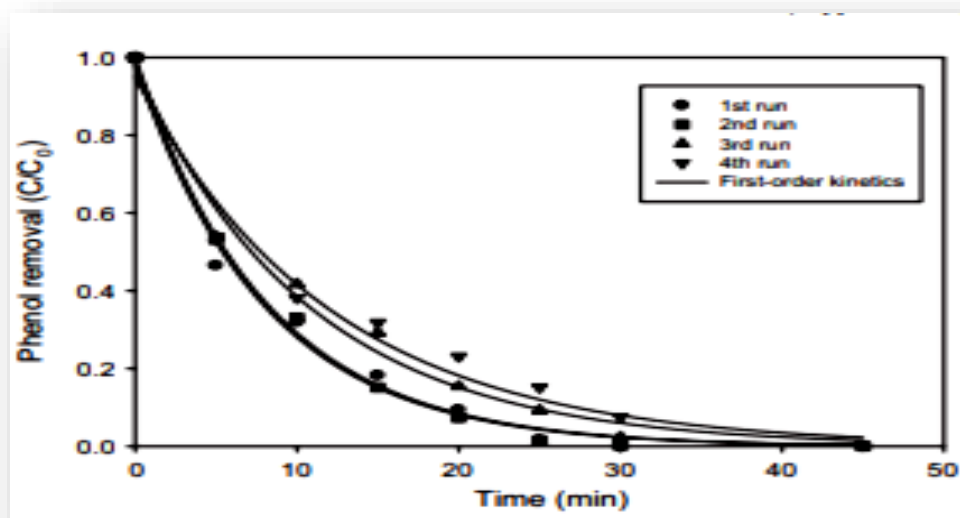


Figure III.17: Cinétique de dégradation du phénol en présence de catalyseur Co/AC ayant différentes charges de cobalt [Cph : 25 ppm, 2 g/l d'oxone, 0,2 g/l de catalyseur, 25 °C].

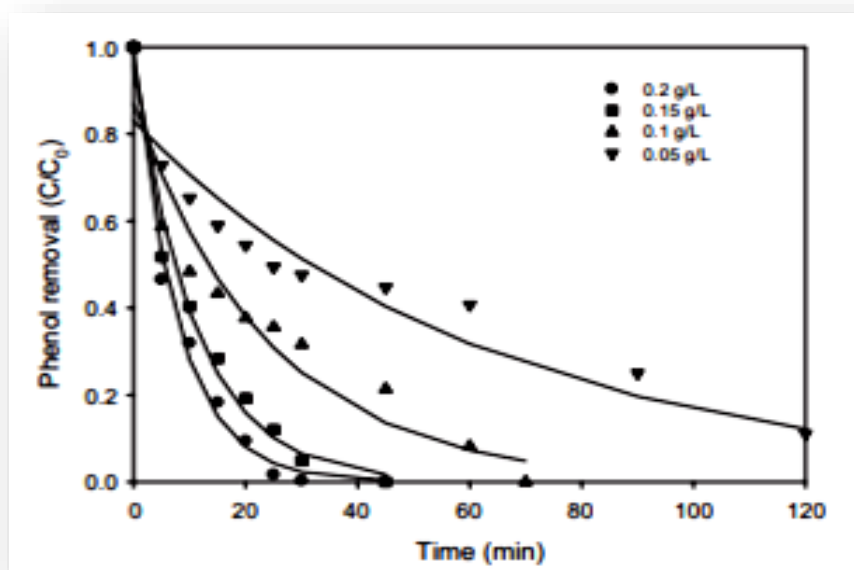


Figure III.18: Dégradation du phénol à différentes charges de catalyseur [Cph : 25 ppm, 2 g/l d'oxone, 0,2 g/l de catalyseur, 25 °C].

Référence

[1] _ Wei, Z., Li, Y., Wang, J., Li, H. et Wang, Y. (2018). Hydrogénation chimiosélective du phénol en cyclohexanol à l'aide de catalyseurs hétérogénés à base d'oxyde de cobalt. *Lettres chimiques chinoises*, 29(6), 815-818.

[2]_Allazov, P. (2021). Electrodes nanostructurées et électrocatalyseurs organométalliques exempts de métaux précieux pour l'électro (photo) réduction du CO₂ (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay).

[3] _ Idrissi, M., Lamonier, J.F., Chlala, D., Giraudon, J.M., Chaouch, M., Miyah, Y., & Zerrou, F. (2014). Traitement du toluène présent à l'état de traces dans l'air, en présence de catalyseurs Cu-Bentonite. *Journal Matériaux Sciences de l'environnement*, 5, 2303-8.

[4] _ En ligne balaska, A. (2015). Etude de la dégradation du phénol en milieu aqueux en présence des HPA de type dawson (Doctorat, Université Badji Mokhtar de Annaba).

[5] _ Populaire, r. A. D. E. (2019). Doctorat en sciences valorisation d'un catalyseur nano composite et son application pour la dégradation photocatalytique des polluants organiques (doctoral dissertation, université de mostaganem)

[6] _ Gumuchian, D. (2014). Développement et étude d'un procédé d'oxydation avancée de traitement de l'eau pour composés organiques résistants par couplage plasma/catalyse (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les résultats obtenus à partir de cette étude suggèrent que l'oxyde de cobalt peut dégrader efficacement le phénol dans des conditions appropriées. La synthèse et la caractérisation de l'oxyde de cobalt ont été essentielles pour comprendre ses propriétés et ses performances dans le processus de dégradation. L'étude a montré que la vitesse de dégradation du phénol augmente avec l'augmentation de la quantité d'oxyde de cobalt utilisée, et que le pH et la température jouent également un rôle essentiel dans l'efficacité du procédé. La dégradation du phénol par l'oxyde de cobalt se produit par divers mécanismes, y compris l'adsorption, l'oxydation et la réduction, qui ont été étudiés à l'aide de diverses techniques analytiques.

Dans l'ensemble, l'étude a fourni des informations précieuses sur l'utilisation potentielle de l'oxyde de cobalt comme catalyseur de la dégradation du phénol dans les applications de traitement des eaux usées. Les résultats peuvent être utilisés pour optimiser les paramètres du procédé et concevoir des systèmes catalytiques plus efficaces pour le traitement des eaux usées contenant du phénol. D'autres études pourraient explorer l'utilisation d'autres catalyseurs et leurs combinaisons avec l'oxyde de cobalt pour améliorer l'efficacité du procédé et le rendre plus économiquement viable.

Résumé :

Les oxydes de cobalt ont été étudiés comme catalyseurs pour la dégradation des phénols, les travaux de recherche synthtiss ont prouvs l'efficacité et la slectivit de ces matriaoux non seulement par rapport au rendement de la dégradation mais aussi par rapport a qualit des sous produits rgnr lors de la dégradation des phénol .

Not ons que ,le protocole de dégradation a ncessite l'optimisation des conditions oprtoire en vue d'obtenir a la fin des sous produits intoxiqueset rendre cette méthode plus viable sur le plan environnemental.

Mots-clés : phénol, oxyde de cobalt, synthèse verte, synthèse sol gel.

ملخص:

تمت دراسة أكاسيد الكوبالت كعوامل محفزة لتحلل الفينولات، حيث أثبتت الأبحاث الاصطناعية فعالية وانتقائية هذه المواد ليس فقط من حيث كفاءة تحلل الفينولات ولكن أيضاً من حيث جودة المنتجات الفرعية التي تتم إعادة تكوينها أثناء تحلل الفينولات.

لاحظ أن بروتوكول التحلل يتطلب تحسين ظروف التشغيل من أجل الحصول على المنتجات الثانوية السامة في نهاية العملية وجعل هذه الطريقة أكثر قابلية للتطبيق من الناحية البيئية.

الكلمات المفتاحية: الفينول ، أكسيد الكوبالت ، التوليف الأخضر ، تخليق سول-جل