

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA – BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de

Master

Domaine: science et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie des procédés des matériaux

Présenté par:

KAABACHE KENZA & BENHALIMA OUISSEM

Thème

Synthèse, Caractérisation et Propriétés Photo-
Catalytiques de l'Oxyde Mixte type
Pérovskite SrFeO_3

Soutenu le 06/07/2022 devant le jury :

HAMOUR Noura	HDR	Université de Bejaia	Présidente
KEROUCHE Djamilia	HDR	Université de Bejaia	Examinatrice
GUESSOUM Khadoudj	HDR	Université de Bejaia	Promotrice
FOUDI Samira	Doctorante	Université de SETIF	Co-promotrice
RAMDANI Sonia	Doctorante	Université de Bejaia	Invitée

Année Universitaire: 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant qui nous a donné la force et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé au sien de laboratoire de physico-chimie des matériaux et catalyse de l'université de Bejaia en collaboration avec le laboratoire de dosage, analyse et caractérisation en haute résolution, Université Ferhat Abbas Sétif 1, (DAC-HR).

La première personne que nous allons remercier est notre promotrice **Dr.GUESSOUM Khadoudj** pour l'orientation continue, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait par être mené au bon port. Nous remercions aussi les doctorantes M^{lle}**RAMDANI Sonia** et M^{lle}**FOUDI Samira** pour leurs aides.

Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury : M^{me}**HAMOUR Noura** et M^{me}**KARROUCHE Djamila** pour l'intérêt qu'elles ont données à notre travail en acceptant d'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements spéciaux vont à tous nos professeurs qui nous ont enseignés.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

KENZA& OUISSEM

DEDICACES

*À ma très chère mère **RACHIDA***

Quoi que je fasse et que je dise, je ne saurais jamais point te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force

*A mon très cher père **MOUBAREK***

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection

*A mes chers frères **MEROUAN** et **AGHILAS** et à ma sœur **AMEL** pour leurs soutiens.*

*Et à tout les membres de ma famille, ainsi que mes ami(e) chacun son nom, en particulier **ASMA**, **WERDA**, **WISSAM**, **KENZA**, **OUARDIA**, ... et sans oublier **OUISSAM** ma chère amie avant d'être binôme...à vous tous que je dédie ce modeste travail.*

KAABACHE KENZA

DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail :
A mes chers parents*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour
inconditionnel et ma considération pour les sacrifices que vous
avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me
portez depuis ma naissance et j'espère que votre bénédiction
m'accompagne toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant
formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne
vous en acquitterai jamais assez.*

*Puisse Dieu, le tout Puissant, vous accorder santé, bonheur et
longue vie.*

A mon frère Hicham

*Rien ne peut exprimer mon amour et ma gratitude de t'avoir
dans ma vie.*

*Je ne pourrais jamais imaginer la vie sans toi, tu comptes
énormément pour moi, tu es ma moitié, je t'estime beaucoup et je
t'aime beaucoup.*

Dieu te garde pour moi inchaallah

A mes petits frères Fadi et Aymen

*Que j'aime énormément mes deux yeux que je vois avec je leurs
souhaitent une vie pleine de bonheur de succès, réussite et surtout
de la bonne santé.*

A mes amies que j'aime

*Sarah, Dounia, Asma, Ouarda, ouardia, Ouissem, Kenza et
Kenza*

*En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments
agréables que nous avons passés ensemble.*

Comme je le dédie pour tous ceux que j'aime

BENHALIMA OUISSEM

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicaces	
Table des matières.....	I
Table des figures.....	III
Tables des tableaux.....	V
INTRODUCTION	7
CHAPITRE I SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
I.1 GENERALITES SUR LES MATERIAUX PEROVSKITES.....	3
I.1.1 Nature des matériaux pérovskites	3
I.1.2 Structure des pérovskites	3
I.1.2.1 Structure idéale	3
I.1.2.2 Stabilité de la structure pérovskite	5
I.1.3 Propriétés des pérovskites.....	6
I.1.3.1 Propriétés électriques.....	6
I.1.3.2 Propriétés optiques	7
I.1.3.3 Propriétés catalytiques.....	7
I.1.4 Applications technologiques des pérovskites	7
I.1.4.1 Utilisation des pérovskites en photocatalyse	7
I.1.4.2 Utilisation des pérovskites en photovoltaïques	8
I.1.4.3 Autres domaines d'application.....	9
I.2 METHODES DE SYNTHESE ET TECHNIQUES DE CARACTERISATION DES	
PEROVSKITES.....	9
I.2.1 Méthodes de synthèses.....	9
I.2.1.1 Synthèse par voie sol-gel.....	9
I.2.1.2 Principe du procédé sol-gel	10
I.2.1.3 Terminologie et définitions	11
I.2.1.4 Synthèse par voie de co-précipitation.....	12
I.2.2 Techniques de caractérisation	13
I.2.2.1 La diffraction des rayons X (DRX)	13
I.2.2.2 La spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF)	15
I.2.2.3 La Microscopie Électronique à Balayage (MEB)	15
I.2.2.4 Calorimétrie différentielle à balayage (DSC).....	16

I.2.2.5 Spectroscopie UV-Visible	17
I.2.3 Pollution des eaux et les différents types de polluants	18
I.2.4 Les colorants	19
I.2.4.1 Définition.....	19
I.2.4.2 Applications des colorants.....	20
I.2.4.3 Impacts des colorants sur l'environnement et la santé	21
I.2.4.4 Le Bleu de Méthylène :	21
I.2.5 Les procédés d'élimination des colorants.....	23
I.2.5.1 Les procédés conventionnels.....	23
I.2.5.2 Les procédés d'oxydation avancés	24
I.2.6 La photocatalyse	24
I.2.6.1 Définition.....	24
I.2.6.2 Principe de la photocatalyse	25
I.2.6.3 Facteurs affectant la photocatalyse hétérogène	26
I.2.6.4 Applications de la photocatalyse	26
I.2.6.5 Avantages et inconvénients de la photocatalyse	27
I.2.6.6 Application de la photocatalyse pour la dégradation des Colorants.....	27
I.2.7 Synthèse bibliographique sur l'utilisation des pérovskites en photocatalyse ..	28
CHAPITRE II MATERIEL ET METHODES	29
II.1 SYNTHÈSE DE L'OXYDE TYPE PEROVSKITE A BASE DE SR (SrFeO_3)	30
II.2 CARACTERISATION DE L'OXYDE SrFeO_3 SYNTHETISE	32
II.2.1 Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)	32
II.2.2 Caractérisation par diffraction des rayons X (DRX)	32
II.2.3 Caractérisation par microscopie électronique à balayage (MEB).....	33
II.3 ETUDE DE L'ACTIVITE PHOTOCATALYTIQUE DE L'OXYDE MIXTE SrFeO_3	33
II.3.1 Courbe détalonnage	34
CHAPITRE III RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	36
III.1 ANALYSE STRUCTURALE DE L'OXYDE SrFeO_3	36
III.1.1 Analyse thermique (ATG)	36
III.1.2 Analyse par spectroscopie infrarouge.....	37
III.1.3 Analyse par diffraction des rayons X (DRX)	38

III.1.4	Analyse par microscopie électronique à balayage	40
III.2	ETUDE DE L'ACTIVITE PHOTOCATALYTIQUE DE L'OXYDE SrFeO_3	41
III.2.1	La dégradation de BM en présence de catalyseur.....	42
III.2.1.1	Sous la lumière UV-visible.....	42
III.2.1.2	Sous la lumière UV	42
III.2.1.3	Sous la lumière solaire	43
III.2.2	La dégradation de BM sans catalyseur	44
	CONCLUSION	45
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	45

TABLE DES FIGURES

Figure I.1. Arbre généalogique de la pérovskite : de la structure cristalline générale parente ABX_3 (avec le minéral $CaTiO_3$) à la sous-famille des oxydes avec la bridgmanite $(Mg, Fe)SiO_3$ du manteau inférieur de la terre, $LaMnO_3$ catalytique et $NaTaO_3$ dopé au Sr et à la sous-famille des halogénures avec $(C_6H_5C_2H_4NH_3)_2PbI_4$, $(C_4H_9NH_3)_2(CH_3NH_3)_2Sn_3I_{10}$ et $CH_3NH_3PbI_3$	3
Figure I.2. Structure cubique idéale de la pérovskite $SrTiO_3$	4
Figure I.3. Les éléments chimiques qui peuvent occuper les sites A et B de la structure pérovskite ABO_3	4
Figure I.4. Structure complexe de la pérovskite de $BiMn_3Mn_4O_{12}$	5
Figure I.5. Présentation des étapes principales de la méthode sol-gel	11
Figure I.6. Principales étapes d'une synthèse d'un matériau par voie sol-gel.....	12
Figure I.7. Différents étapes de synthèse d'une pérovskite par la méthode de co-précipitation.....	13
Figure I.8. Diffraction des rayons X par une famille de plans réticulaires (hkl) [37]. ..	14
Figure I.9. Représentation schématique d'une raie de diffraction.....	15
Figure I.10. Schéma du principe du fonctionnement du microscope électronique à balayage	16
Figure I.11. Schéma de principe de fonctionnement de spectroscopie I.3 Les pérovskites comme photocalyseurs pour l'élimination des polluants en milieux aqueux, cas des colorants.....	17
Figure I.12. Structure chimique du bleu de méthylène.....	22
Figure I.13. principe de la photocatalyse	26
Figure II.1. Organigramme de synthèse par voie sol-gel	31
Figure II.2. Spectrophotomètre utilisé.....	32
Figure II.3. Microscope électronique à balayage utilisé.....	33
Figure II.4. Dispositif utilisé pour l'étude de la photocatalyse sous la lumière visible	34
Figure II.5. Spectrophotomètre UV-Visible utilisé.....	34
Figure II.6. Courbe d'étalonnage du BM.	35

FigureIII.1. Courbe ATG du précurseur SrFeO ₃	36
FigureIII.2 Spectre IR de l'oxyde SrFeO ₃ avant calcination.....	37
FigureIII.3. Spectre IR de l'oxyde SrFeO ₃ calciné à 650° C, 850°C et 1000°C.....	37
FigureIII.4. Diffractogrammes de l'oxyde SrFeO ₃	39
Figure III.5. Morphologie de l'oxyde calciné 650° C, 850° C et 1000°C.....	41
FigureIII.6. Activité photocatalytique de SrFeO ₃ en fonction de temps sous la lumière UV-visible.	42
FigureIII.7. Activité photocatalytique en présence de SrFeO ₃ en fonction de temps sous l'irradiation UV.	43
FigureIII.8. Dégradation du BM en présence de catalyseur sous irradiation solaire	43
FigureIII.9. Absorbance de BM sans lumière et sans catalyseur en fonction de temps.....	44

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Les différentes symétries adoptées par la structure pérovskite en fonction de facteur de tolérance t	6
Tableau I.2. Les avantages et les inconvénients de la photocatalyse.....	27
Tableau II. 1. Réactifs utilisés pour la synthèse de l'oxyde mixte SrFeO_3	30
Tableau III.1. Résultats du calcul de la taille des grains de l'oxyde SrFeO_3 calciné à 850°C	40
Tableau III.2. Résultats du calcul de la taille des grains de l'oxyde SrFeO_3 calciné à 1000°C	40

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, les chercheurs ont mené leurs efforts au développement et à la recherche de nouveaux matériaux capables d'améliorer les performances dans le domaine d'énergie renouvelable, la catalyse,...Par ailleurs, les matériaux type pérovskites et devenue l'or noir qui apprécié comme des matériaux ayant attiré l'attention des chercheurs à cause de leur faible cout et leurs propriétés remarquables garantissant leurs utilisations dans divers champs d'application.

Les oxydes pérovskites sont une classe très spéciale des matériaux. Leur utilisation dans les applications technologiques liée principalement à leurs structures cristallines, leurs propriétés électriques, catalytiques, optiques et autres. Ces propriétés favorisent une stabilité chimique, thermique et une activité catalytique élevée [1].La structure cristalline de ces oxydes distinct généralement à la méthode de synthèse. Il est bien admis que les pérovskites peuvent être utilisées dans différentes domaines particulièrement à la dégradation et / ou l'élimination des polluants organiques tels que les colorants.

L'objectif de cette présente étude est de montrer la méthode d'élaboration de l'oxyde de type pérovskite(ABO_3) à base de fer(Fe) et d'un alcalino-terreau qui est le strontium (Sr) par la voie solution –gélification, leur caractérisations, ainsi que leur impact lors de l'application dans le teste photocatalyse. Pour traiter ce sujet, ce mémoire s'est articulé autour de deux chapitres :

Le premier chapitre est structuré de trois parties principales, la première partie consacre à un bilan bibliographique dans lequel sont présentées les informations qui ont servi de base lors de ce travail. Nous aborderons en premier, un rappel historique, une présentation des différents facteurs de stabilité structurale de pérovskite, ainsi que leurs propriétés essentielles et leurs applications technologiques.

Nous présentons aussi dans la deuxième partie, la description des méthodes d'élaborations à l'état liquide de ce composant étudié tel que la méthode par voie co-précipitation et la voie solution –gélification ainsi que leur principe. Nous citons aussi l'identification des techniques de caractérisations (FTIR, DRX, DSC, MEB) des matériaux pérovskites et son principe de fonctionnement dans l'étude d'échantillon synthétisée.

La dernière partie de ce chapitre, nous dédié à l'étude brève de pollution due de différents polluants tels que les colorants, leurs applications, ainsi que leur impact sur l'environnement et la santé, nous avons pris le bleu de méthylène comme un exemple à traiter. A la fin de ce chapitre, nous avons aussi décrit les procédés d'élimination des colorants : conventionnel et les procédés d'oxydation avancés ; nous détaillons l'activité photocatalytique, leur principe, leurs avantages et inconvénients, ainsi que leur application dans les différents domaines particulièrement dans la dégradation des colorants.

La description de différentes étapes de synthèse, le mécanisme réactionnel, Les résultats expérimentaux et la discussion des résultats obtenus lors de l'étude de la caractérisation de ce composé élaboré, ainsi que leur rôle dans la photocatalyse font l'objet de ce dernier chapitre.

Enfin, une conclusion permettra de conclure ce manuscrit en résumant les résultats de cette mémoire en donnant quelque perspective de cette petite recherche.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

IV.1 Généralités sur les matériaux pérovskites

IV.1.1 Nature des matériaux pérovskites

Le terme pérovskite désigne à l'origine l'oxyde de titanate de calcium : un minéral de formule chimique CaTiO_3 , découvert en 1839 par le minéralogiste allemand Gustav Rose. Puis il s'est étendu à un nombre important d'oxydes cristallins qui ont la structure caractéristique ABO_3 et une structure cristalline similaire. En l'honneur au minéralogiste russe Lev Alexeïevitch Pérovskite, la structure a été nommée «pérovskite». La structure cristalline de ce minéral consiste en un octaèdre de TiO_6 à l'intérieur d'un cube de Ca_8 , en 3D, la structure peut être vue comme un réseau d'octaèdres partageant des coins avec des cavités remplies de calcium (Figure I.1).

L'arrangement peut être réduit à sa formule de cellule unitaire ABX_3 , B étant l'atome central, A les atomes de coin dans le réseau cubique et X les faces centrées. Selon la nature de l'atome du site X, des sous-familles peuvent être définies : pérovskites oxydes ($\text{X} = \text{O}^{2-}$) et halogénures ($\text{X} = \text{I}^-, \text{Cl}^-$ ou Br^-) [2].

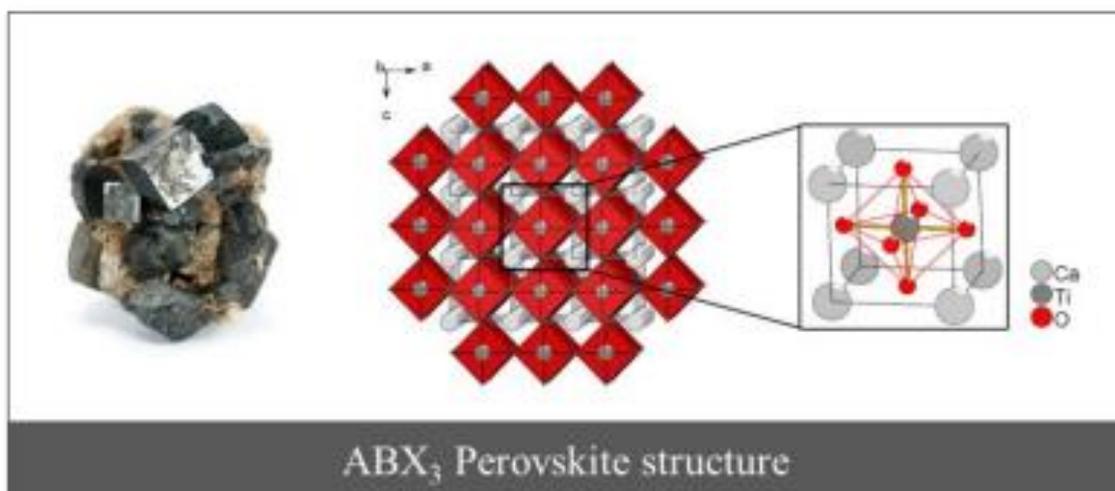


Figure I.2. Arbres généalogiques de la pérovskite : de la structure cristalline générale parente ABX_3 (avec le minéral CaTiO_3) [2, 3].

IV.1.2 Structure des pérovskites

IV.1.2.1 Structure idéale

La structure pérovskite idéale cubique est observée dans de nombreux composés présentant une composition ABX_3 , où A et B sont des cations avec des degrés d'oxydation

différents et X est un anion ; le cation A occupe le centre de la cellule unitaire, tandis que le cation B et les anions X sont disposés aux coins et sur les bords de la cellule unitaire, respectivement (Figure I.2).

En raison de contraintes stériques, causées par différentes combinaisons de rayons ioniques, la cellule unitaire de la plupart des pérovskites est légèrement déformée (Figure I.3). Une cellule unitaire cubique parfaite n'est présente que dans SrTiO₃ [4].

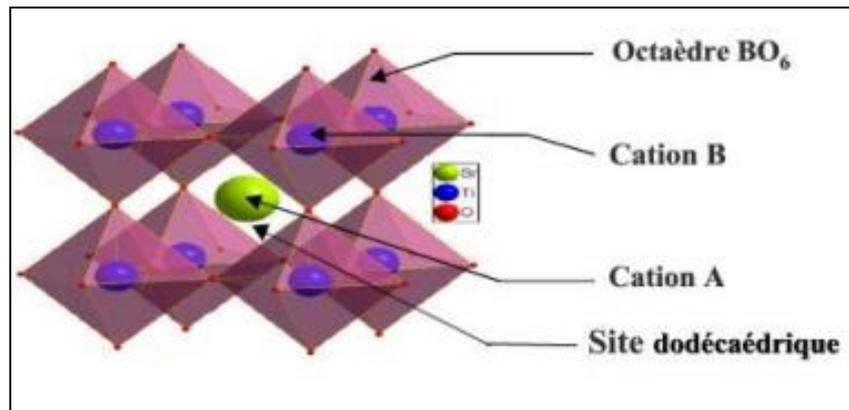


Figure I.2. Structure cubique idéale de la pérovskite SrTiO₃.

	IA																				0	
1	H																					He
2	Li	Be																				Ne
3	Na	Mg																				Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br					Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I					Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At					Rn
7	Fr	Ra	Ac	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr					

Figure I.3. Les éléments chimiques qui peuvent occuper les sites A et B de la structure pérovskite ABO₃ [5].

Selon l'occupation des sites A et B, on distingue:

- Les pérovskites simples dont les sites A et B sont occupés chacun par un unique type d'atome, on cite comme exemple : BaTiO₃, BaZrO₃, PbTiO₃, PbZrO₃, CaTiO₃, KNbO₃.

- Les pérovskites complexes dont l'un des deux sites A ou B (ou les deux simultanément) sont occupés par plusieurs types d'atomes tels que: (BaCa)TiO₃ (site A occupé par 2 types d'atomes Ba et Ca), (BaSr)(ZrTi)O₃ (A et B occupés par 2 types d'atomes respectivement (BaSr) et (ZrTi))...etc(Figure I.4) [6].

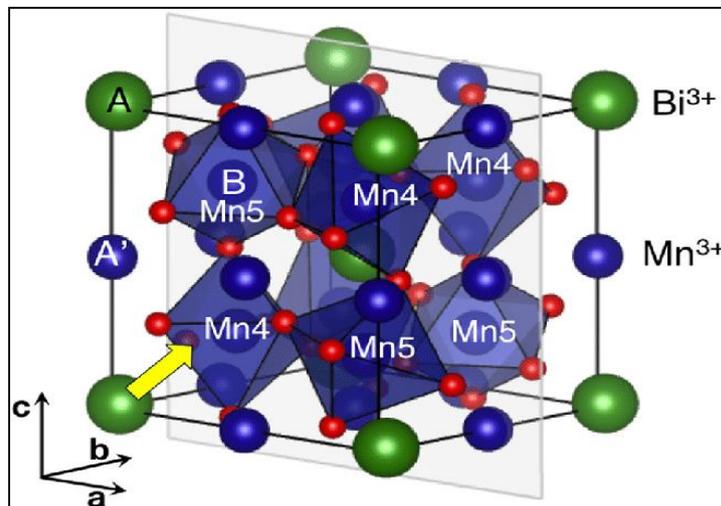


Figure I.4. Structure complexe de la pérovskite de BiMn₃Mn₄O₁₂.

IV.1.2.2 Stabilité de la structure pérovskite

Dans la structure pérovskite idéale, les octaèdres BO₆ forment un réseau 3D non déformé. La structure cristalline peut voir sa symétrie abaissée ou bien être distordue suivant la nature des cations A et B. Deux facteurs influent essentiellement sur la stabilité de la structure pérovskite: l'ionocité des liaisons anion-cation et le facteur de tolérance de Goldschmidt[7].

- **Ionocité des liaisons anions-cations**

La différence d'électronégativité entre les différents ions joue un rôle primordial sur la stabilité de la structure pérovskite.

Le caractère ionique de cette structure peut être déterminé à partir de la différence d'électronégativité moyenne, d'après l'échelle de Pauling (I.1) [8] :

$$\delta = \chi_{A-O} + \chi_{B-O} / 2 \quad (\text{I.1})$$

Où : χ_{A-O} et χ_{B-O} , représentent les différences d'électronégativité entre A et O, d'une part, et B et O, d'autre part.

- **Facteur de tolérance de Goldschmidt (t)**

Le facteur de **Goldschmidt** [7], permet de quantifier et d'expliquer d'une manière globale la compacité, la stabilité, l'existence des distorsions dans la structure pérovskite ainsi que la stabilité de la structure cristalline pour différentes valeurs relatives des rayons ioniques. Ce facteur de tolérance (t) est exprimé par la relation suivante :

$$(\mathbf{R}_A + \mathbf{R}_O) = t\sqrt{2} (\mathbf{R}_B + \mathbf{R}_O) \quad (\mathbf{I.2})$$

R_A , R_B et R_O , représentent respectivement les rayons ioniques des cations A, B et de l'ion oxygène. Normalement, dans la structure pérovskite cubique idéale t vaut 1. Ainsi, tout écart à cette valeur implique une déformation de la maille.

En fonction de la valeur du facteur de tolérance, on peut distinguer plusieurs situations, schématisées dans le tableau I.1 [7].

Tableau I.1: Les différentes symétries adoptées par la structure pérovskite en fonction de facteur de tolérance t [8].

Facteur tolérance t	Symétrie observée	Exemple
$1 < t < 1.06$	Hexagonal	BaTiO ₃
$0.95 < t < 1$	Cubique	LaMnO ₃
$0.90 < t < 0.95$	Quadratique	KNbO ₃
$0.80 < t < 0.90$	Orthorhombique	GdFeO ₃

En pratique, il est assez rare de trouver un matériau présentant la structure pérovskite idéale cubique. Celle-ci est le plus souvent distordue suite à une déformation vers une nouvelle symétrie du réseau cristallin [9].

IV.1.3 Propriétés des pérovskites

Les matériaux à base de pérovskites possèdent une grande variété de propriétés (électriques, optiques et catalytiques). Ces dernières sont essentiellement liées à la structure cristalline, la nature des cations A et B et leurs configurations électroniques.

IV.1.3.1 Propriétés électriques

Les propriétés électriques des pérovskites varient considérablement. Elles dépendent principalement de la configuration électronique des ions et tiennent compte du nombre d'électrons de la couche (d) d'ions des sites B. Nous pouvons citer à titre d'exemple l'oxyde

LaAlO₃ qui présente des propriétés électriques d'isolant car la couche (d) des atomes B ne comporte pas d'électrons. En revanche, l'oxyde LaFeO₃ possède une conductivité électrique élevée car l'ion B contient des électrons dans la couche (d). Selon les données bibliographiques, la plupart des pérovskites ABO₃ sont des matériaux semi-conducteurs [10].

IV.1.3.2 Propriétés optiques

Les pérovskites possèdent d'excellentes propriétés optiques et photoluminescences. Certaines d'entre elles ont des coefficients électro-optiques approximativement constants sous l'effet de la température ; Les résultats obtenus par mesure des propriétés optiques de BaTiO₃ à diverses températures ont montré que l'indice de réfraction de cette pérovskite est une valeur presque constante (2.4 de 20°C à 90°C et atteint 216 à 120°C) [11].

Certains matériaux pérovskites présentent des caractéristiques d'absorption assez semblables comme le CaTiO₃; et SrTiO₃; [12]. Ce dernier peut être utilisé dans les détecteurs infrarouges à immersion optique [13].

IV.1.3.3 Propriétés catalytiques

Les pérovskites ont été largement étudiées ces dernières années, leurs propriétés catalytiques permettant également un domaine d'utilisation très large en catalyse hétérogène [14], notamment, comme des électro catalyseurs dans les piles à combustibles [15]. Plusieurs études électrochimiques concernant l'évolution et la réduction de l'oxygène sur des électrodes à base de ces oxydes ont été effectuées en milieu aqueux alcalin [16,17]. Elles ont révélé un comportement électro catalytique très important vis-à-vis de dégagement et de la réduction de l'oxygène moléculaire à température ambiante. Notons que ces travaux ont signalé que l'activité catalytique des pérovskites est liée principalement à la méthode de synthèse, la composition du matériau d'électrode et aux propriétés électriques du métal de transition dans ces oxydes.

IV.1.4 Applications technologiques des pérovskites

IV.1.4.1 Utilisation des pérovskites en photocatalyse

Depuis la découverte de la séparation photocatalytique de l'eau sur les électrodes monocristallines de TiO₂ par Fujishima et Honda, de nombreux catalyseurs semi-conducteurs ont montré des activités photocatalytiques pour la séparation de l'eau en hydrogène, ou la dégradation des polluants organiques persistants, sous irradiation UV [18].

Récemment les oxydes de type pérovskites ABO_3 ont montré des activités photocatalytiques importantes vis-à-vis de la dégradation des colorants. Par exemple, La manganite de lanthane LMO ou LSMO est particulièrement intéressante en raison de ses propriétés magnétiques, électriques, non toxicité, facilité de synthèse, stabilité à très hautes température, haute résistance à la dissolution dans les solvants aqueux ou les milieux acide et basique [19].

De nombreux travaux ont été publiés également concernant les pérovskites de ferrate de strontium $SrFeO_3$. Elles ont également trouvé une place dans le domaine de l'assainissement de l'eau puisqu'elles ont été utilisées comme photocatalyseurs irradiés à la fois par les UV et la lumière visible. En effet, il a été montré qu'ils sont capables d'induire la dégradation du nitrobenzène, du bleu de méthylène, du méthylorange, du phénol, du bisphénol A et de l'Acide Orange 8. Bien que les différentes conditions expérimentales rapportées ne permettent pas une comparaison directe, les résultats ont mis en évidence des niveaux de dégradation allant de 35 % en 24h pour le bleu de méthylène à 99 % en 6 h pour le nitrobenzène et l'abattement complet de l'Acide Orange 8 en 1h [18].

IV.1.4.2 Utilisation des pérovskites en photovoltaïques

La pérovskite est connue depuis 1830, mais ce n'est que grâce aux travaux de Tsutomu Miyasaka qu'ils ont découvert leur capacité à produire du photovoltaïque. En 2013, Olga Malenkevich, doctorante à l'Institut des Sciences Moléculaires (ICMOL) de l'Université de Valence, a créé une cellule photovoltaïque en appliquant une couche de pérovskite par évaporation.

Une cellule photovoltaïque pérovskite est une sorte de cellule photovoltaïque dont la couche active est constituée d'une substance de formule générale ABX_3 à structure pérovskite où A est un cation, généralement le méthylammonium $CH_3NH_3^+$ (MA), le formamdnium $CH(NH_2)_2^+$ ou le césium Cs^+ , B est pour l'étain Sn^{2+} ou le cation plomb Pb^{2+} , et X est un anion halogénure tel que Cl^- chlorure, Br^- bromure ou l'iodure.

Le rendement des cellules photovoltaïques utilisant ces matériaux est en constante augmentation depuis la fin des années 2000, passant de 3,8 % en 2009 à 25,2 % en 2019, et 29,1 % pour la pérovskite et le silicium avec un rendement supérieur au photovoltaïque à jonction silicium p-n. Ainsi, les cellules pérovskites sont à ce jour la technologie solaire la plus développée de l'histoire.

IV.1.4.3 Autres domaines d'application

Les structures pérovskites sont utilisées dans divers domaines en raison de la stabilité de leur structure et leurs propriétés physico-chimique. Il est bien établi que les pérovskites ferroélectriques présentent de nombreuses applications en microélectronique tels que la réalisation de filtres et condensateurs. De telles propriétés peuvent être ajustées selon la composition du matériau [20].

De plus, ils sont utilisés dans les appareils de conversion d'énergie, appareils de diagnostic médical à ultrasons, détecteurs non destructifs à ultrasons. Capteurs infrarouges pyroélectriques et capteurs magnétoélectriques [21].

D'autre part les oxydes pérovskites photoluminescents sont utilisés comme des scintillateurs, éclair à semi-conducteurs et écrans plasma [22]. De plus, il est rapporté dans la littérature que la pérovskite LaAlO_3 ; est employée comme substrat pour la croissance de couches minces des matériaux ferroélectriques pour l'élaboration de mémoires ferroélectriques de grande capacité de stockage (cartes mémoires) [23].

Les oxydes pérovskites peuvent être également utilisés comme couches minces, applications au laser détection électrochimique des alcools, mémoires non volatiles (pour les systèmes informatiques actionneurs, transducteurs, revêtements de barrière thermique et piles à combustible [24]. L'activité de ces oxydes comme matériaux catalytiques semble être de loin meilleure que celle des autres matériaux [25].

IV.2 Méthodes de synthèse et techniques de caractérisation des pérovskites

IV.2.1 Méthodes de synthèses

IV.2.1.1 Synthèse par voie sol-gel

Parmi les différentes méthodes utilisées pour la synthèse des pérovskites, le procédé sol gel est particulièrement bien adapté à la fabrication de matériaux homogènes, sous forme de poudres et de films. Lors d'une synthèse par voie sol-gel dite « aux citrates », les précurseurs moléculaires contenus dans la solution de départ « le sol » polymérisent suivant divers mécanismes et forment un réseau d'oxydes « le gel ». Une étape de séchage suivie de traitements thermiques permet d'éliminer les composés organiques pour former le matériau oxyde inorganique [26].

Les atouts de la méthode sol-gel résident dans le fait que les produits finaux peuvent être très purs si le précurseur lui-même a été purifié. D'autre part, le processus chimique est mené à basse température, on parle de chimie douce, ce qui permet un meilleur contrôle de la cinétique de la réaction [27].

Les techniques sol-gel permettent de contrôler la taille et l'homogénéité de la distribution des particules. Elles permettent la production de pièces massives, de dépôts de couches minces sur plaques, fibres ou de composites fibreux.

Toutefois, ces techniques présentent certains inconvénients tels que le coût élevé des précurseurs de base, un faible rendement, des produits de faible densité (pour les matériaux à hautes densités, une étape de recuit à haute température est nécessaire) et des résidus de carbones et autres composés, certains pouvant être dangereux pour la santé (pour les matériaux ultra purs, une étape de purification complexe est nécessaire)[28].

IV.2.1.2 Principe du procédé sol-gel

La préparation des matériaux par voie sol-gel au laboratoire doit passer par les étapes suivantes (Figure I.5) :

- Formation d'un sol: mise en solution des précurseurs de base,
- Gélification,
- Formation d'un xérogel par le séchage, Afin d'obtenir une poudre cristallisée, le xérogel doit passer au traitement thermique [29-30].

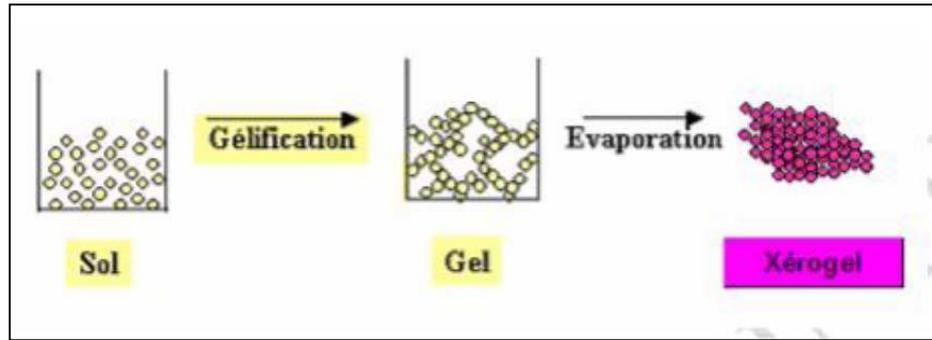


Figure I.5. Présentation des étapes principales de la méthode sol-gel [31].

IV.2.1.3 Terminologie et définitions

IV.2.1.3.1 Le sol

Le « sol » est l'état de dispersion des particules solides « métaux » dans un solvant. La solvation de ces particules permet la formation d'un ensemble de volume plus important. Si la taille de ces particules est de l'ordre de grandeur de la molécule, on dit que l'on est en présence d'un sol vrai. Si les particules sont plus grosses, c'est-à-dire de l'ordre de la dizaine de nanomètres, on est alors en présence d'un sol colloïdal.

La stabilité du sol sera conditionnée par un certain nombre d'interactions : électrostatiques, chimiques (liaisons hydrogène, complexation du soluté par le solvant) et physiques faibles (forces de Van der Waals) [31].

L'agrégation ou la polymérisation de ces précurseurs conduit à la formation d'un réseau tridimensionnel interconnecté et stable, appelé gel [32-33]

IV.2.1.3.2 Le gel

Un gel est un ensemble solide, amorphe, tridimensionnel, de macromolécules, gonflé par un solvant et contenant des pores sub-micrométriques. Si le réseau solide est constitué de particules colloïdales, le gel est dit colloïdal ou gel physique (particules de l'ordre d'une centaine d'Å) [33-34]. Si le réseau solide est constitué de macromolécules, le gel est appelé polymérique ou gel chimique.

IV.2.1.3.3 Le xérogel et l'aérogel

Diverses méthodes de séchage peuvent ensuite être employées pour la transition gel-poudre amorphe (Figure I.6).

- Le gel peut être séché dans des conditions douces. Il durcit en se compactant : c'est un xérogel (formation des verres et céramiques denses).

- Le solvant peut être évaporé dans des conditions supercritiques (vitesse d'évaporation importante et constante) pour former un gel très peu compact : c'est l'aérogel.

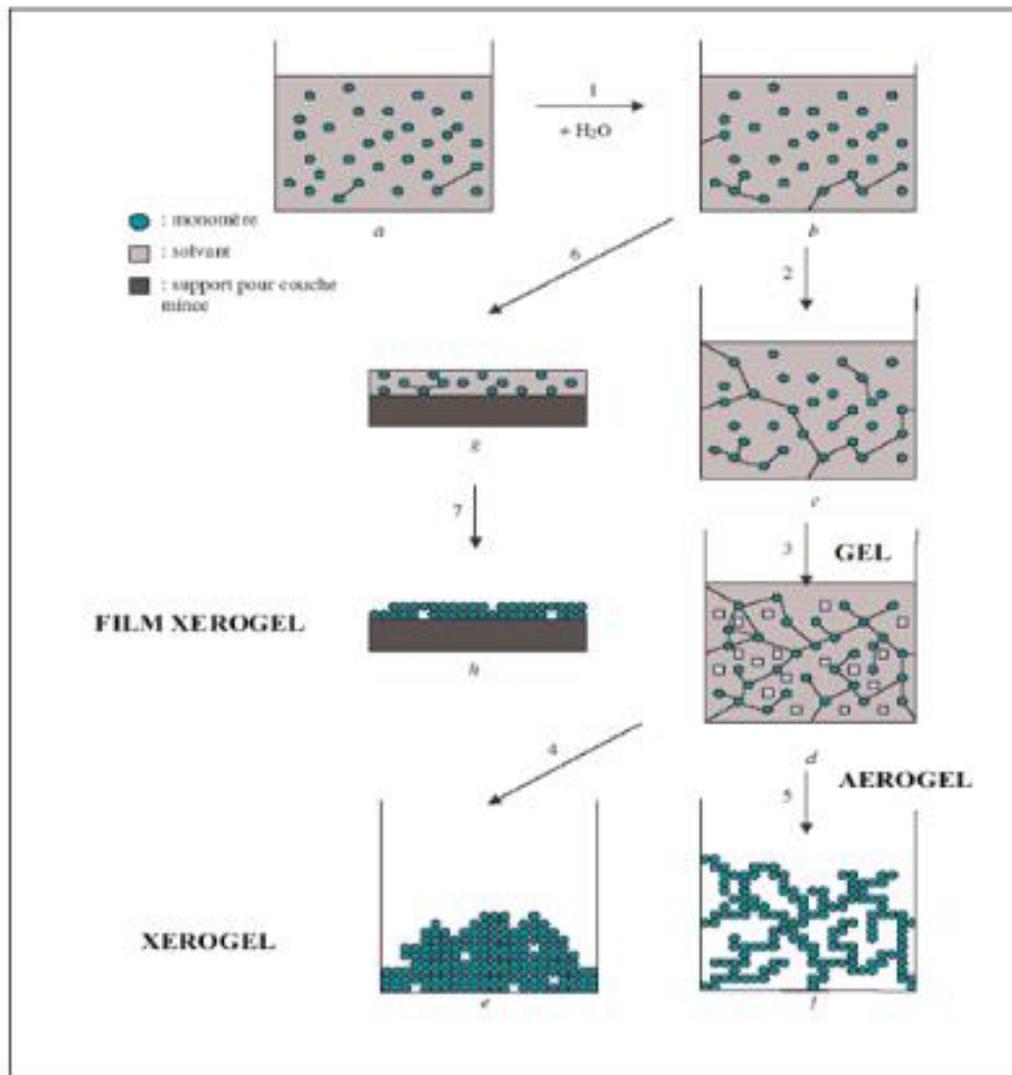


Figure I.6. Principales étapes d'une synthèse d'un matériau par voie sol-gel.

IV.2.1.4 Synthèse par voie de Co-précipitation

La co-précipitation est l'une des méthodes de synthèse les plus anciennes dans la préparation des oxydes (pérovskites) par voie chimique. Cette méthode permet l'obtention des composés homogènes et de contrôler la taille des grains [35-36].

IV.2.1.4.1 Principe de la méthode de Co-précipitation

Le principe de cette méthode repose sur la dissolution des sels précurseurs métalliques qui occuperont un site A ou B de la structure pérovskite (nitrates, sulfates, ou acétate) en solution aqueuse. Les espèces issues de cette solution sont précipitées via l'ajout d'une base sous forme d'oxalate ou d'hydroxyde.

Il est admis dans la littérature que l'hydroxyde de sodium (NaOH), l'hydroxyde de potassium (KOH) ou l'ammoniaque (NH₃) sont souvent utilisés comme des agents précipitants [35]. Une fois que le précipité est filtré, il subit un lavage pour casser les agglomérats.

Après un séchage, un traitement thermique permet l'obtention d'une phase pure d'oxydes. La taille moyenne des grains est à l'échelle nanométrique [37]. Cette technique de synthèse peut se décomposer en plusieurs opérations unitaires telles que décrites dans la figure I.7.

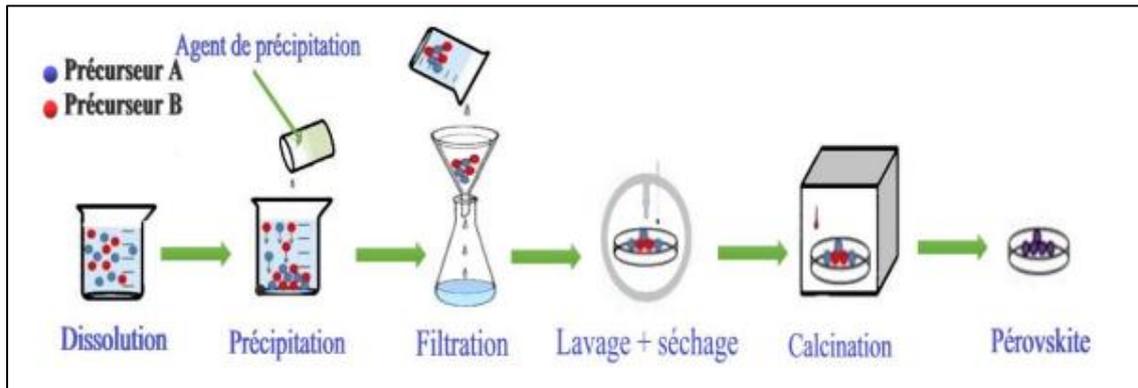


Figure I.7. Différents étapes de synthèse d'une pérovskite par la méthode de co-précipitation.

IV.2.2 Techniques de caractérisation

Nous présentons dans ce qui suit, un aperçu sur les différentes techniques utilisées dans la caractérisation de nos échantillons synthétisés.

IV.2.2.1 La diffraction des rayons X (DRX)

L'analyse par diffraction des rayons X est cruciale car elle permet de connaître la structure du matériau, d'estimer la qualité de sa cristallisation et de déterminer la taille moyenne des cristallites [38]. En outre, elle permet d'étudier les orientations des grains et les paramètres de maille [39].

Le principe de cette technique consiste en l'enregistrement des rayons diffractés par un échantillon (réflexion des plans de l'indice de Miller hkl) parallèle au support, en fonction de l'angle entre le rayonnement incident et l'échantillon (figure I.8). Un faisceau de rayons est diffracté sur un réseau de plans cristallins selon la loi de BRAGG (équation I.3) :

$$2d_{(hkl)} \sin \theta = n \lambda \quad (I.3)$$

- $d_{(hkl)}$: distance inter-réticulaire (la distance séparant les plans cristallins d'indices (hkl));
- θ : angle d'incidence des rayons X sur la surface du matériau étudié ;
- n : ordre de la diffraction et de la distance interatomique ;
- λ : longueur d'onde du faisceau des rayons X [38].

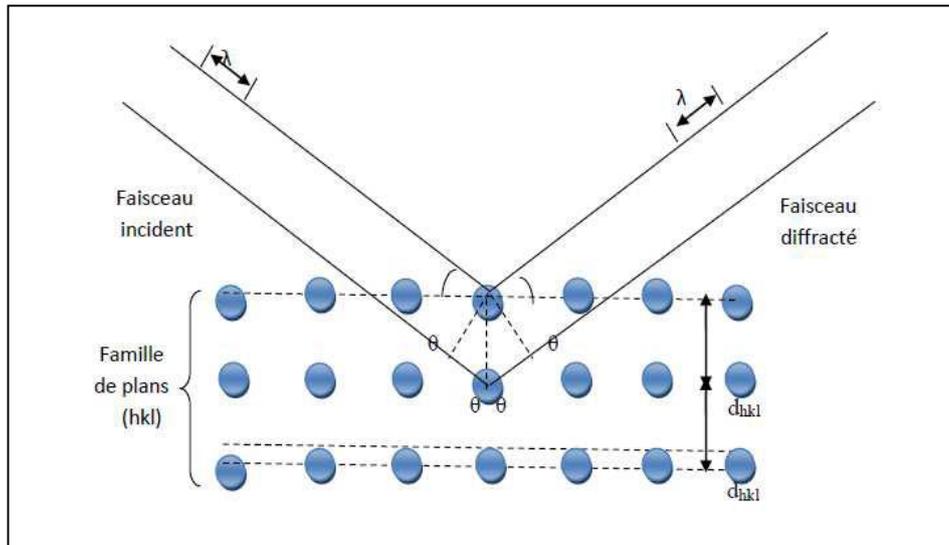


Figure I.8. Diffraction des rayons X par une famille de plans réticulaires (hkl) [38].

• Détermination de la taille moyenne des cristallites

Le calcul de la taille moyenne des grains se fait grâce à l'équation de Scherrer (équation I.4) basée sur l'élargissement des pics de diffraction lié à la taille des cristallites [40].

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (\text{I. 4})$$

- D : diamètre moyen des cristallites ;
- λ : longueur d'onde des rayons X ;
- β : largeur du pic à mi-hauteur ;
- θ : angle de diffraction de la raie (hkl) .

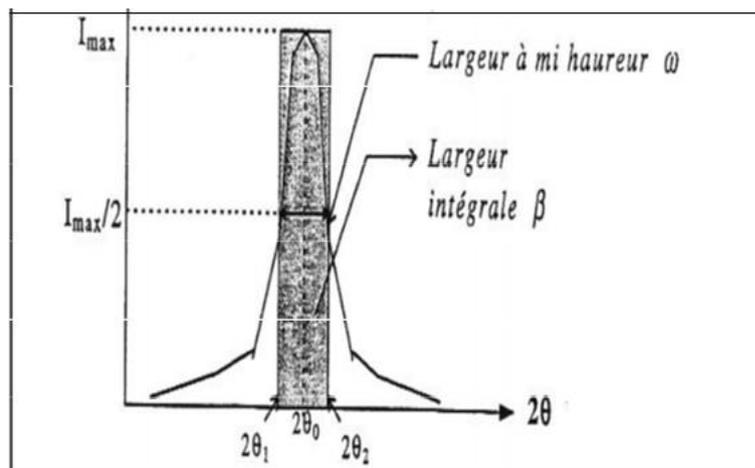


Figure I.9. Représentation schématique d'une raie de diffraction

IV.2.2.2 La spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF)

La spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier est une méthode d'analyse qui utilise un rayonnement dans la gamme infrarouge des radiations électromagnétiques.

C'est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour l'identification des molécules organiques et inorganiques à partir de leurs propriétés vibrationnelles. Classiquement l'étude d'un échantillon est réalisée entre 400 et 4000 cm^{-1} . On observe ainsi des bandes de transition, pouvant correspondre à plusieurs modes de vibrations :

- Les vibrations d'élongation (ν) : On distingue ; des élongations symétriques et des élongations asymétriques.
- Les vibrations de déformation (δ).

Deux types d'informations peuvent être tirés des spectres obtenus :

a- Qualitatives : Les longueurs d'onde auxquelles l'échantillon absorbe, sont caractéristiques des groupements chimiques présents dans le matériau analysé.

b- Quantitatives : l'intensité de l'absorption à la longueur d'onde caractéristique est liée à la concentration du groupement chimique responsable de l'absorption [20].

IV.2.2.3 La Microscopie Électronique à Balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage est une technique d'analyse non destructive, qualitative et semi quantitative.

Le principe de la microscopie électronique à balayage s'appuie sur les interactions électron - matière. Le faisceau d'électrons émis par le canon du microscope, provoque lors de

son impact un ensemble d'événements dans l'échantillon, tels que l'émission des électrons secondaires (rétrodiffusés et Auger), l'émission des rayons X,etc.

La microscopie électronique à balayage est principalement utilisée pour déterminer la morphologie des particules ainsi que leurs tailles, mais aussi les éléments présents au sein de l'échantillon (EDX). La figure I.10 présente le principe du fonctionnement du microscope électronique à balayage [41].

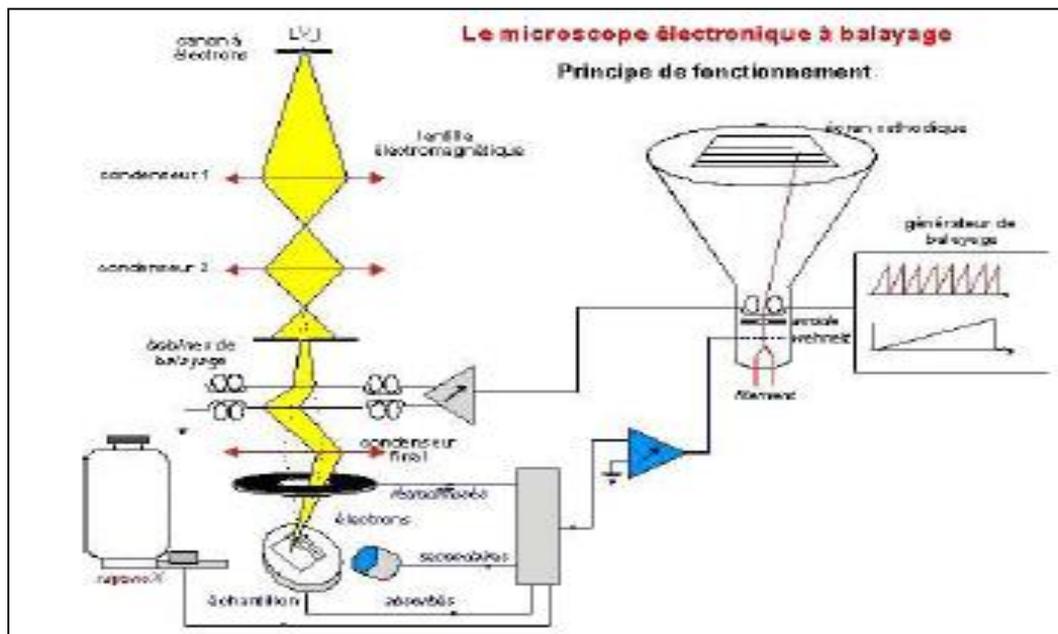


Figure I.10. Schéma du principe du fonctionnement du microscope électronique à balayage [42].

IV.2.2.4 Calorimétrie différentielle à balayage (DSC)

La calorimétrie à balayage différentielle (DSC en anglais abréviation de Differential Scanning Calorimetry) est une technique utilisée pour étudier le comportement thermique d'un matériau. Elle permet de déterminer des transitions de phase comme : la température de transition vitreuse (T_g en anglais pour Glass transition); la température de fusion et de cristallisation ; l'enthalpie de réaction.

Le principe de la technique est simple, l'appareil renferme 2 creusets, l'un comme référence et l'autre contient l'échantillon à analyser. Ces 2 creusets sont dans un four que l'on chauffe jusqu'à la température choisie, habituellement à $10^\circ\text{C}/\text{minute}$. Ces creusets sont reliés à un thermocouple qui lit la température et la transmet à un ordinateur. Au fur et à mesure que l'on chauffe, la température du creuset contenant l'échantillon et celle du creuset de référence sera différente. L'ordinateur convertira ces 2 températures en flux de chaleur.

Ainsi, ce qu'on mesure en DSC est la quantité de chaleur supplémentaire à fournir au creuset de référence, pour atteindre la même que le creuset contenant l'échantillon. Cette analyse se fait sous atmosphère inerte pour éviter les réactions de l'échantillon avec l'oxygène de l'air.

IV.2.2.5 Spectroscopie UV-Visible

La spectrophotométrie UV-Visible est une technique d'analyse quantitative, elle fournit généralement peu de renseignements sur la structure chimique d'un matériau, mais elle renseigne sur les propriétés optiques de l'échantillon comme la transmission et l'absorption de la lumière ainsi que l'estimation du gap optique.

Le principe de cette technique repose sur l'interaction lumière-matière dans le domaine de longueur d'onde compris entre 180 et 1100 nm.

Elle s'intéresse aux transitions électroniques de l'état fondamental vers un état excité provoquées par l'absorption de la lumière. Elle consiste à mesurer l'atténuation d'un rayonnement incident d'intensité I_0 en fonction de la longueur d'onde, lorsque celui-ci traverse un milieu homogène d'épaisseur l .

L'intensité du rayonnement transmitté I est donnée par la loi de Beer-Lambert selon l'équation I.5 [41].

$$A = -\text{Log}\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\text{Log } T \quad (\text{I.5})$$

- I_0 : l'intensité incidente
- I : l'intensité transmise
- T : transmittance

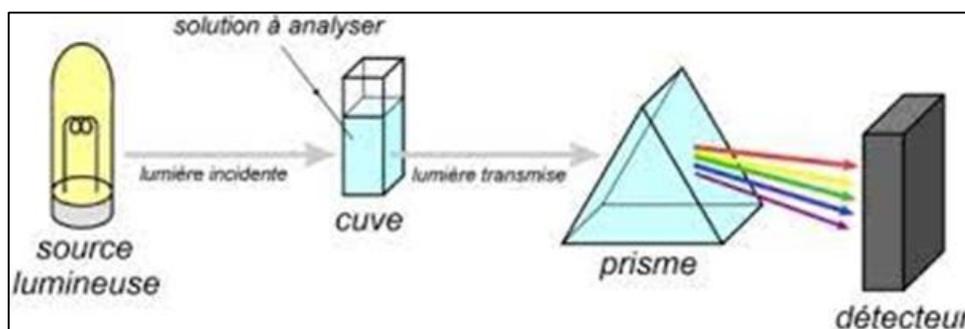


Figure I.11. Schéma de principe de fonctionnement de spectrophotomètre UV-Visible.

IV.2.3 Pollution des eaux et les différents types de polluants

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique [43]. Elle se manifeste principalement, dans les eaux de surface, par :

- Une diminution de la teneur en oxygène dissous
- La présence de produits toxiques
- Une prolifération d'algues
- Une modification physique du milieu récepteur
- La présence de bactéries ou virus dangereux

Les origines de la pollution de l'eau sont diverses : naturelles ou liées aux activités humaines (domestique, agricole, industrielle...).

- **Pollution naturelle** : la teneur de l'eau en substances indésirables n'est pas toujours le fait de l'activité humaine, certains phénomènes naturels peuvent également être la cause. Le contact de l'eau avec les gisements minéraux par érosion ou dissolution engendre des concentrations inhabituelles en métaux lourds. Les précipitations entraînent également les polluants de l'atmosphère vers le sol, qui se retrouvent à des teneurs au-delà des normes requises par l'OMS. Des éruptions volcaniques et des épanchements sous-marins d'hydrocarbures peuvent aussi être à l'origine de la pollution hydrique.
- **Pollution domestique** : elle concerne les eaux usées ménagères, ainsi que les eaux rejetées par les installations collectives (hôpitaux, commerces...).
- **Pollution agricole** : elle concerne principalement les eaux contenant produits issus de l'épandage (engrais, pesticides...).
- **Pollution industrielle** : plusieurs composés sont identifiés comme polluants résultants de l'activité industrielle :
 - Colorants (industries du textile...),
 - Produits pharmaceutiques (industries pharmaceutiques, hôpitaux...),
 - Hydrocarbures (industries pétrolières, transports...),
 - Métaux lourds (tanneries, traitements de surface, galvanoplastie, métallurgie...),
 - Acides, bases et produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...),
 - Matières organiques et graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires...),
 - Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs...).

IV.2.4 Les colorants

IV.2.4.1 Définition

Un colorant est une substance fortement colorée qui réagit avec le milieu dans lequel elle est introduite, et le colore en s'y dissolvant et en s'y dispersant [44,45].

Les colorants sont caractérisés par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (365nm à 750nm), la transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophore ; la molécule colorante étant le chromogène.

Plus la facilité du groupe chromophore à donner un électron est grande plus la couleur sera intense .les chromophores sont des groupes aromatiques (systèmes π), (liaison π , (électron n) .d'autre groupes d'atomes du chromogène intensifient ou changent la couleur due au chromophore dit « auxochrome».

En général, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, perylène, etc.).

Lorsque le nombre de noyau aromatique augmente, la conjugaison des doubles liaisons s'accroît et le système conjugué s'élargit. L'énergie des liaisons π diminue tandis que l'activité des électrons π ou n augmente et produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde.

De même lorsqu'un groupe auxochrome donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy...) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison du système π la molécule absorbe dans les grandes longueurs d'onde et donne des couleurs plus foncées [46].

Depuis que l'industrie des colorants synthétiques était née, les colorants synthétiques se retrouvent dans tous les domaines : les aliments, les cosmétiques, les textiles, les peintures, les médicaments...

On distingue deux grandes familles de colorants :

➤ Les colorants naturels

Ce sont des extraits de matières minérales ou organiques. Jusqu'en 1850, les colorants alimentaires ont été d'origine naturelle. Ces colorants organiques provenaient :

- De végétaux comestibles [carotte (orange), betterave (rouge), peau de raisin noir (noir)].

- D'extraits d'origine animale ou végétale non habituellement consommés (rouge cochenille), provenant d'un insecte d'Amérique centrale [Coccus Cacti], stigmaté de crocus (safran), mollusque (pourpe).
- Du résultat de la transformation de substance naturelle [caramel (marron), ...]. Mais le nombre de colorants naturels n'a jamais excédé quelque dizaine, alors que les colorants synthétiques comptent plus de sept mille exemplaires.

➤ Les colorants synthétiques

Dès le début du 20^{ème} siècle, les colorants synthétiques se sont répandus. Ces produits constituent un secteur capital de la chimie moderne. Après la première découverte de William Perkin en 1856 (colorant mauve par oxydation de l'aniline), les Allemands Graebe et Liebermann ont synthétisé l'alizarine qui produisait le rouge vif extrait de la garance est en 1868, puis en 1880, c'est la synthèse de l'indigo qui est réalisé par Adolf VonBayer.

Les colorants de synthèse ayant un prix de revient inférieur, la culture des plantes dont étaient extraits les colorants décline : en 1897, l'Allemagne importait près de 1500 tonnes d'indigo naturel ; en 1904, elle est exportatrice de 8730 tonnes d'indigo de synthèse. En 1862, apparaissent les premiers colorants azoïques, de formule générale $R-N=NR'$, qui constituent le groupe le plus important de colorant de synthèse. Aujourd'hui, la quasi-totalité des colorants est d'origine synthétique [47].

IV.2.4.2 Applications des colorants

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont [48]:

- Teinture et impression sur fibre et tissus de tous genres ;
- Teinture du bain de filage des fibres chimiques ;
- Teinture du cuir et des fourrures ;
- Teinture du papier et du parchemin ;
- Teinture des caoutchoucs, des feuilles et des matières plastiques ;
- Colorants pour toutes les techniques de la peinture ;
- Préparation des couleurs à la chaux pour les pré-colorations et enduits sur bâtiments ;
- Colorants pour l'impression des papiers peints ;
- Préparation des encres ;
- Colorations des denrées alimentaires ;
- Colorants pour les emplois médicaux et cosmétiques

IV.2.4.3 Impacts des colorants sur l'environnement et la santé

L'utilisation des colorants peut entraîner des dangers soit sur l'environnement ou bien sur l'être humain.

IV.2.4.3.1 Impact des colorants sur l'environnement

L'utilisation des colorants peut entraîner des dangers sur l'environnement, la production et l'utilisation des colorants naturels sont beaucoup moins polluantes que celle de la plupart des colorants et pigments de synthèse qui génèrent, des sous-produits nocifs, lorsque ces rejets sont déversés directement dans le milieu naturel sans aucun traitement spécifique des constituants toxiques.

Ces colorants sont pour la plupart synthétiques et représentent aujourd'hui un large groupe de composés chimiques. La production mondiale de ces colorants de synthèse est évaluée à 700 000 tonnes/an. Une partie de ces colorants, approximativement 140 000 tonnes/an, sont rejetées lors des étapes de fabrication et coloration des tissus.

Les industries textiles, est plus particulièrement les phases de teinture sont nuisibles pour la santé, comme certains colorants azoïques cancérigènes, et engendrent une pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques.

L'hétérogénéité de la composition des produits utilisés pour teindre fait qu'il est extrêmement difficile d'atteindre des niveaux de pollution satisfaisants, c'est-à-dire les seuils imposés par les normes environnementales, après traitement par les techniques utilisées [49].

Beaucoup de colorants sont visibles dans l'eau même à de très faibles concentrations (< 1 mg. L⁻¹). Ainsi, ils contribuent aux problèmes de pollution liés à la génération d'une quantité considérable d'eau usée contenant des colorants résiduels [50].

IV.2.4.3.2 Impact des colorants sur la santé

Les colorants présentent certaines capacités qui peuvent être mutagènes, génotoxiques, entraîner des cancers de la thyroïde, et des tumeurs des glandes surrénales, contenir des substances cancérigènes, avoir des actions sur le système nerveux central, inhibition ou déficit de certaines enzymes et augmentation de la perméabilité intestinale [51].

IV.2.4.4 Le Bleu de Méthylène

C'est un dérivé de phénothiazine [52], et est un colorant cationique [53], il existe comme une poudre vert foncé, il aussi existe sous plusieurs formes hydratés : monohydraté, dihydraté,

trihydraté et pentahydraté[54], le plus courant c'est le trihydraté[55]. Il est couramment utilisé comme modèle de contaminant organique en raison de sa structure moléculaire stable[56].

Le Bleu de Méthylène est utilisé intensivement dans différents domaines tel que : la chimie, la médecine, l'art dentaire et l'industrie des colorants.

Citons quelques usages de ce composé : c'est un colorant vital ; il colore certaines structures histologiques; accélère la réduction des méthémoglobines; c'est un antiseptique [57], un antirhumatismal [58].

Il se trouve dans le coton, bois, soie et papier [59,60]. C'est un limiteur optique combiné à un polymère, pour la protection des yeux contre les lasers intenses [61], un photosensibilisateur actif pour le traitement des tumeurs malignes [52], et un traitement spécifique d'une méthémoglobinémie toxique [62]; ...etc.

IV.2.4.4.1 Structure du bleu de méthylène

Le bleu de méthylène est une molécule de formule brute $C_{16}H_{18}ClN_3S$. Il est aussi appelé méthylthioninium ou chlorure de tétraméthylthionine. Selon le pH, la structure de la molécule varie ce qui explique que la molécule n'absorbe pas la lumière de la même façon. Cette molécule existe sous deux formes : Une forme oxydée bleue et une forme réduite incolore [63].

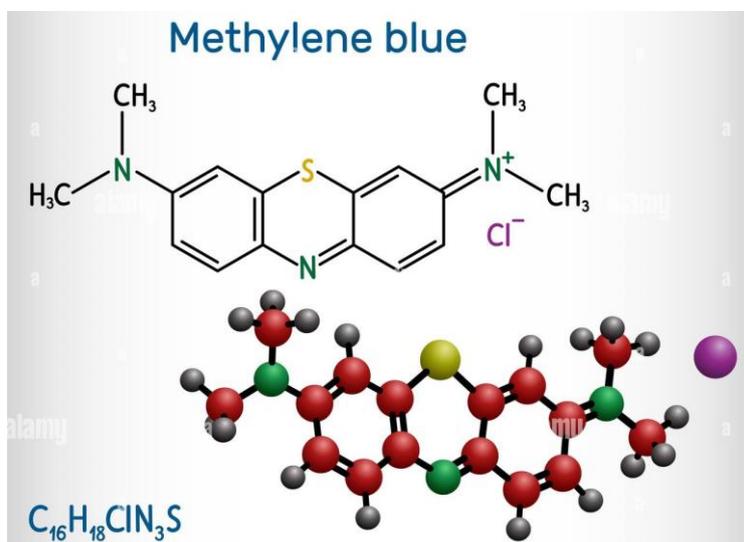


Figure 1.12. Structure chimique du bleu de méthylène

IV.2.4.4.2 Toxicité du bleu de méthylène

Les données toxicologiques relatives à l'utilisation du bleu de méthylène chez l'homme depuis de nombreuses années ont indiqué jusqu'à présent l'absence de danger lié à l'utilisation de ce produit comme médicament [64], dont la dose totale administrée ne doit pas dépasser 7 mg/kg.

Il peut causer des douleurs thoraciques, une dyspnée ; une anxiété, des tremblements, des hypertensions, et même coloration de la peau si la dose est élevée [62].

Le bleu de méthylène n'est pas fortement dangereux, mais il a un effet nocif sur les organismes vivants [65] et les eaux [58]. L'exposition aigue à ce produit causera :

Une Exposition externe : irritation de la peau et des dommages permanentes aux yeux [58,66]; ou Par l'inhalation : respiration rapide ou difficile [58] et augmentation de la fréquence cardiaque [66]; ou bien Par l'ingestion : irritation de l'appareil gastro- intestinal, nausée, transpiration prodigue, confusions mentaux, cyanose et nécrose des tissus humains [58, 59,67].

IV.2.5 Les procédés d'élimination des colorants

IV.2.5.1 Les procédés conventionnels

L'utilisation intense et irrationnelle des colorants et l'énorme risque que représente pour la qualité de l'environnement et pour la santé humaine, ont été à l'origine de plusieurs travaux visant l'élimination de ces polluants. Des procédés biologiques, physiques et chimiques ont été développés pour éradiquer ces colorants des milieux aquatiques [68].

IV.2.5.1.1 Méthodes physiques

Plusieurs techniques ont été employées pour l'élimination des polluants des effluents industriels. L'adsorption est l'une des techniques les plus utilisées pour cette élimination. Le charbon actif est l'absorbant le plus communément employé, mais il reste très onéreux et nécessite une régénération [69].

IV.2.5.1.2 Méthodes chimiques

Dans la littérature, les techniques d'oxydation chimique sont généralement appliquées pour le traitement des composés organiques dangereux présents en faibles concentrations, en prétraitement avant des procédés biologiques, le traitement d'eaux usées chargées de constituants résistant aux méthodes de biodégradation et en post-traitement pour réduire la toxicité aquatique.

Les deux réactifs les plus souvent énumérés pour ce type de traitement sont H_2O_2 et le chlore. Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant fort et son application pour le traitement des polluants organiques et inorganiques sont bien établis. Mais l'oxydation seule par H_2O_2 n'est pas suffisamment efficace pour de fortes concentrations en colorant [70].

IV.2.5.1.3 Méthodes biologiques

L'élimination des polluants organiques par des micro-organismes constitue le moyen biologique que la nature utilise toujours pour l'épuration des milieux naturels. Ces procédés biologiques se produisent selon deux modes :

- Traitement en aérobie : ils sont effectués en présence de l'oxygène.
- Traitement en anaérobie : où les micro-organismes dégradent la matière organique en absence de l'oxygène [71].

IV.2.5.2 Les procédés d'oxydation avancés

L'oxydation par des procédés classique demeure souvent partielle, et de nombreux sous-produits de dégradation peuvent être toxiques et ne peuvent donc pas être directement traités par des procédés conventionnels. Il a aussi été souvent observé que les polluants toxiques et les polluants non biodégradables sont caractérisés par une haute stabilité chimique et par une forte difficulté à être totalement minéralisés.

La faible réactivité des oxydants utilisés dans les méthodes d'oxydation classique a conduit les chercheurs à étudier plusieurs procédés plus efficaces, ces technologies d'oxydation sont regroupées sous le terme de procédés d'oxydation avancés (POA).

L'activation catalytique et/ou photochimique du processus utilisée dans le but d'obtenir une oxydation totale et une minéralisation complète des polluants organiques [72].

Ces procédés reposent sur la production efficace d'espèces oxydantes hautement réactives, principalement le radical hydroxyle HO[•], à température et pression ambiantes. Le radical hydroxyle présente de nombreux avantages par rapport aux autres oxydants puissants susceptibles d'être appliqués à la dépollution des eaux car il répond à un ensemble de critères d'exigence en particulier, par la non-sélectivité.

IV.2.6 La photocatalyse

IV.2.6.1 Définition

La catalyse est l'action d'une substance appelée catalyseur qui permet d'augmenter la vitesse de réactions chimiques thermodynamiquement possibles. Le catalyseur est, en général, en quantité beaucoup plus faible que les réactifs, il n'est pas consommé et se trouve inchangé à la fin de la réaction. On peut distinguer différents types de catalyses selon la nature du catalyseur :

- La catalyse homogène où catalyseur et réactifs sont dans la même phase,
- La catalyse hétérogène où catalyseur et réactifs forment plusieurs phases [73].

La photocatalyse est utilisée en général pour la purification de l'air et le traitement de l'eau. Elle est aussi utilisée dans la décoloration d'effluents aqueux colorés (industries textiles), l'élimination des odeurs et le revêtement autonettoyant de surfaces (verre, métaux, bétons). Elle est aussi appliquée dans le domaine médical pour lutter contre les cellules infectées.

La photocatalyse repose sur un processus électronique qui se produit à la surface d'un catalyseur (une substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique) [74].

La photocatalyse peut avoir lieu en milieu aqueux, gazeux ou en phase liquide organique pure. Comme toute réaction de catalyse hétérogène, les réactions photocatalytiques peuvent être décomposées en cinq étapes [75] :

- i. Transfert du polluant de la phase liquide à la surface du photocatalyseur.
- ii. Adsorption du polluant à la surface du photocatalyseur.
- iii. Réaction dans la phase adsorbée.
- iv. Désorption des produits de réaction.
- v. Transfert des produits de la surface du photocatalyseur à la solution.

IV.2.6.2 Principe de la photocatalyse

La photocatalyse est un procédé complexe qui a fait l'objet de nombreuses études de recherche. Le concept repose sur l'absorption de photons d'une énergie fournie par un rayonnement par un matériau semi-conducteur (photocatalyseur) pour réaliser ou accélérer certaines réactions chimiques [76].

Les photocatalyseurs (semi-conducteurs) dont l'absorption de photons permet de générer un électron depuis la bande de valence vers la bande de conduction (séparées énergétiquement par une bande interdite appelée énergie de gap (E_g)). Une paire (électron/trou) se crée à la surface du photocatalyseur [77].

La paire (électron/trou) permet donc la formation de radicaux libres susceptibles de réagir avec les espèces présentes dans le milieu via différents mécanismes [78-79].

Les électrons et les trous photo-générés peuvent se recombiner rapidement au sein ou à la surface du semi-conducteur conduisant à une perte d'énergie sous forme de chaleur ou de photons. Les électrons et les trous qui migrent vers la surface des semi-conducteurs sans recombinaison peuvent, respectivement, réduire et oxyder les réactifs adsorbés par les semi-

conducteurs. Le principe de la photocatalyse est illustré dans la figure I.13.

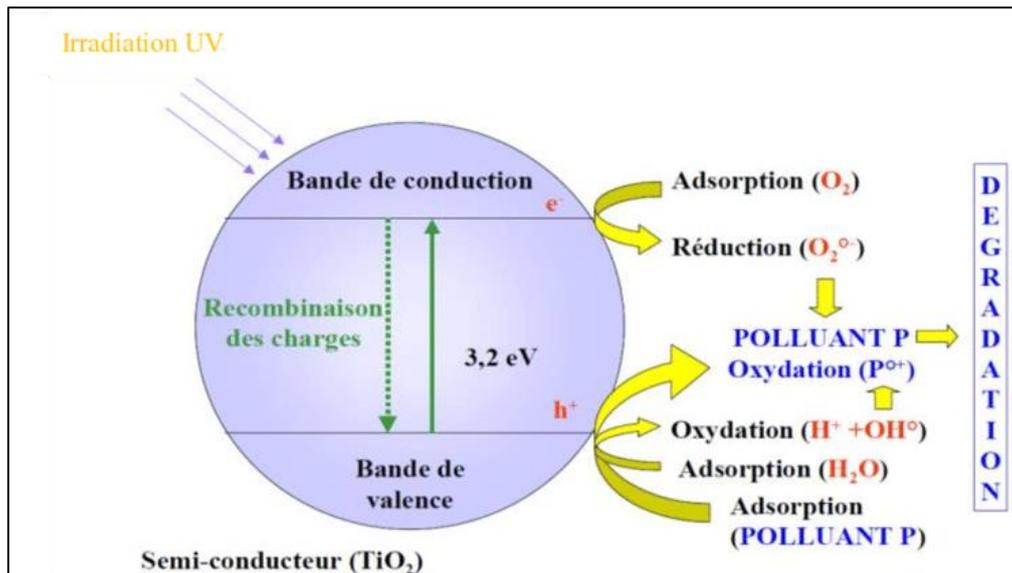


Figure I.13. principe de la photocatalyse [80].

IV.2.6.3 Facteurs affectant la photocatalyse hétérogène

Parmi les facteurs influençant la dégradation photo-catalytique, nous pouvons citer [81]:

- la présence des accepteurs d'électrons (O_2 , H_2O_2 , $S_2O_8^{2-}$...),
- le pH de la solution aqueuse,
- la concentration en catalyseur,
- la concentration initiale en polluant,
- le flux lumineux,
- la température,
- la présence d'ions en solution.

IV.2.6.4 Applications de la photocatalyse

La photo-catalyse trouve son application dans différents domaines en particulier [82]:

- Application dans le revêtement autonettoyant de surfaces (verre, métaux, béton, ciments,...).
- Purification de l'eau.
- Potabilisation de l'eau.
- Purification de l'air.
- Elimination des odeurs.
- Détoxification des eaux de rinçage de matériel agricole ou industriel.

- Décoloration d'effluents aqueux colorés (industries textiles).

IV.2.6.5 Avantages et inconvénients de la photocatalyse

La photocatalyse présente plusieurs avantages et inconvénients parmi les quelles en peut citer (Tableau I.2) [47]:

Tableau I.2. Les avantages et les inconvénients de la photocatalyse.

Avantages	Inconvénients
-Installation simple	- Nécessité d'utiliser des procédés de séparation (filtration ou centrifugation)
-C'est une technologie destructive et non sélective	du catalyseur en suspension peuvent augmenter cout de traitement
-Minéralisation totale possible : formation de H ₂ O et CO ₂ et autres espèces	-Eventuelle formation de sous-produit
- Elle fonctionne à température et pression ambiante	-Efficacité et duré de vie de la lampe limités
-Elle est efficace pour des faibles concentrations en polluants	-Eaux usées troubles posent des problèmes
-Elle nécessite une faible consommation d'énergie	

IV.2.6.6 Application de la photocatalyse pour la dégradation des Colorants

Dans les réactions de photocatalyse, les semiconducteurs jouent le rôle de catalyseurs, et ne sont donc pas consommés dans la réaction globale. Ils sont appelés « photocatalyseurs ». Un bon photocatalyseur doit posséder les propriétés suivantes :

- ✓ Etre photoactif
- ✓ Etre en mesure d'être excité en présence d'UV et/ou de lumière visible,
- ✓ Etre biologiquement et chimiquement inerte,
- ✓ Etre photostable (non photocorrosif),
- ✓ Etre peu couteux et non toxique.

Pour qu'un semi-conducteur soit photo-chimiquement actif, le potentiel redox, des trous photogénérés de la bande de valence, doit être suffisamment positif pour produire des radicaux OH•, pouvant oxyder le polluant organique ciblé et le potentiel redox des électrons de la bande

de conduction doit être suffisamment négatif pour réduire l'oxygène adsorbé en surface, en anion superoxyde $\cdot\text{O}^{2-}$ [83].

Les rendements de photo-décomposition dépendent étroitement des structures moléculaires et des groupes fonctionnels des colorants [84].

IV.2.7 Synthèse bibliographique sur l'utilisation des pérovskites en photocatalyse

Du point de vue de la photocatalyse, les structures pérovskites peuvent offrir des avantages significatifs par rapport aux oxydes binaires correspondants pour plusieurs raisons. Certaines pérovskites présentent une activité élevée pour la photocatalyse, à la fois dans le traitement des eaux usées et l'électrolyse de l'eau [85-86].

Ces matériaux peuvent être utilisés comme photocatalyseurs pour la réaction de dissociation de l'eau pour produire de l'hydrogène et de la photo-dégradation de colorants organiques dans les eaux usées, ainsi que pour les photo-anodes en DSSC et des absorbeurs de lumière avec le développement d'un certain type de cellule solaire, appelé pérovskite à base de cellules solaires[87].

- Premièrement, les pérovskites pourraient offrir des potentiels de bord de bande favorables permettant diverses réactions photo-induites. Par exemple, par rapport aux oxydes binaires, plusieurs pérovskites ont des énergies de bande de conduction (BC) suffisamment cathodiques pour permettre le dégagement d'hydrogène.
- Deuxièmement, les cations des sites A et B dans le réseau donnent une portée plus large pour concevoir et modifier la structure de la bande ainsi que d'autres propriétés photophysiques. Dans le cas de doubles pérovskites telles que $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_6$, on sait que l'occupation stœchiométrique de deux cations au site B est bénéfique pour la photocatalyse à la lumière visible.
- Troisièmement, certaines études ont montré qu'il existe des composés de pérovskite présentant des effets ferroélectriques, ferromagnétiques ou piézoélectriques, il est nécessaire de mieux comprendre la corrélation entre ces effets et l'activité photocatalytique [85].

Les photocatalyseurs à pérovskite ont fait l'objet de nombreuses études en raison de leur potentiel actif en lumière visible. Il est essentiel de passer en revue les travaux en cours sur les photocatalyseurs à base de pérovskite pilotés par la lumière visible afin de donner un aperçu général et des orientations futures possibles.

Récemment plusieurs chercheurs ont rapporté une revue générale de photocatalyseurs à base de pérovskite actifs sous UV et lumière visible. Enfin, des progrès importants ont été accomplis dans le développement des pérovskites à lumière visible au cours des dernières années. Cette évolution a jeté de bonnes bases pour les travaux futurs dans ce domaine. Une meilleure compréhension des facteurs structurels cristallins et électroniques à la base de l'activité photocatalytique est nécessaire pour le développement futur de pérovskites efficaces pilotées par la lumière visible [88].

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

V.1 Synthèse de l'oxyde mixte type pérovskite (SrFeO₃)

La préparation de l'oxyde mixte SrFeO₃ a été réalisée en utilisant le procédé sol-gel. Les produits chimiques utilisés dans cette synthèse ainsi que leurs caractéristiques sont regroupés dans le tableau II.1.

Tableau II.1: Réactifs utilisés pour la synthèse de l'oxyde mixte SrFeO₃

Produit	Formule chimique	Masse molaire (g/mol)
Acide citrique anhydre	C ₆ H ₈ O ₇	192,1235
Nitrate de Strontium	Sr(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	211,63
Nitrate de fer (III)	Fe(NO ₃) ₃ .9H ₂ O	192,124

L'oxyde mixte SrFeO₃ a été synthétisé par la méthode citrate. Cette dernière consiste à mélanger des masses adéquates d'acide citrique C₆H₈O₇, de nitrate de strontium Sr(NO₃)₂.6H₂O et de nitrate de fer Fe(NO₃)₃.9H₂O dans un bêcher, comme produits de départ. Le mélange formé (les précurseurs et l'acide citrique) a été d'abord dissout dans un volume de 50 ml d'eau distillée à température ambiante.

Après dissolution complète, la solution est ensuite chauffée à une température d'environ 80 à 85 C°, et mise sous agitation moyenne pour accélérer le processus d'évaporation et assurer la complexation des cations.

Enfin, « un gel » de couleur jaune s'est formé. Le gel obtenu est séché dans une étuve thermostatée pendant 2 heures pour éliminer l'eau résiduelle et l'obtenir un matériau solide « soufflet », puis broyé, calciné à différentes températures (T(°C)=650, 850 et 1000) pour éliminer les espèces organiques présentes dans la solution de départ (groupements de type alkyles (-OR-)), cristalliser et densifier le matériau afin d'étudier l'influence des températures de calcination sur les propriétés structurales et la technique photocatalytique.

L'ensemble du processus utilisé pour l'élaboration de l'oxyde mixte SrFeO₃ est représenté sur la figure II.1.

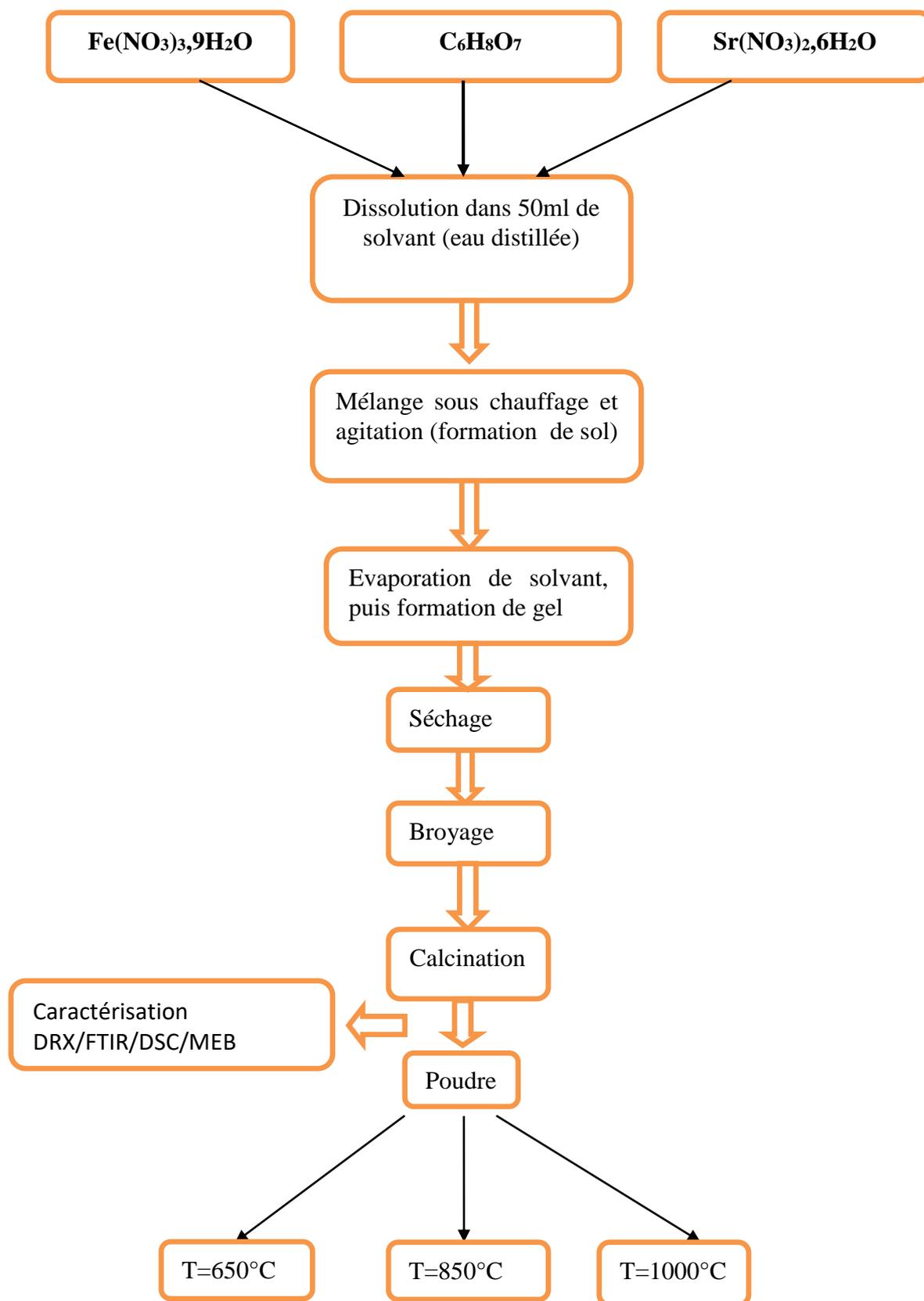


Figure II.1. Organigramme de synthèse par voie sol-gel

V.2 Caractérisation de l'oxyde SrFeO₃ Synthétisé

V.2.1 Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Les spectres infrarouges en transmission de l'oxyde préparé et calciné à différentes températures ont été réalisés sur un spectrophotomètre SHIMADZU modèle IR Affinity-1, équipé avec un micro-ordinateur (Figure II.2). Les longueurs d'onde étudiées sont comprises entre 4000 - 400 cm⁻¹.

Le produit solide à analyser est préparé sous forme de fines pastilles, en mélangeant 2mg de celui-ci à l'état poudreux avec 80mg de KBr. La pastille formée est ensuite positionnée dans un porte échantillon qui est introduit dans la cellule infrarouge. Le spectre IR est enregistré après stabilisation de la pression.



Figure II.2. Spectrophotomètre à transformée de Fourier utilisé.

V.2.2 Caractérisation par diffraction des rayons X (DRX)

Les diagrammes de diffraction sont enregistrés en 2θ dans un domaine angulaire variant de 10° à 90°. La radiation utilisée est celle du cuivre ($\lambda_{K\alpha 1} = 1.5418 \text{ \AA}$), et on dispose d'un monochromateur arrière qui permet d'éliminer la fluorescence de l'échantillon.

L'analyse des diffractogrammes de diffraction de rayons X a été effectuée en utilisant les logiciels HIGHSCORE PLUS et origin6.0. Ces logiciels nous ont permis dans un premier temps de déterminer la position angulaire et la largeur à mi-hauteur de chaque pic, puis dans un second temps de calculer des paramètres cristallographiques (taille et paramètres des mailles élémentaires).

V.2.3 Caractérisation par microscopie électronique à balayage (MEB)

La morphologie des cristaux préparés a été suivie avec un microscope électronique à balayage JEOL JSM-7001F du laboratoire de recherche DAC-HR de l'université de Sétif1 (Figure II.3).



Figure II.3. Microscope électronique à balayage utilisé.

V.3 Etude de l'activité photocatalytique de l'oxyde mixte SrFeO_3

Pour estimer l'activité photocatalytique de l'oxyde mixte SrFeO_3 synthétisé par voie sol-gel et calciné à différentes températures (650°C, 850°C, 1000°C), une solution de concentration 3.14mg/L en polluant organique BM est introduite dans un cristallisateur en présence de 4 mg du catalyseur synthétisé. La solution est maintenue sous l'agitation dans le photoréacteur illustré sur la figure II.4.

Dès que la lampe visible est allumée, on déclenche le chronomètre et on prélève des échantillons à chaque instant t donné pour évaluer la cinétique de dégradation. Les échantillons prélevés sont ensuite filtrés par centrifugation dans des tubes en plastique pour assurer la séparation des phases.

Les solutions obtenues sont analysées en utilisant un spectrophotomètre UV/Visible SpecroScan 50 à la longueur d'onde de 665 nm dans le but de déterminer leur concentration en BM (Figure II.5).

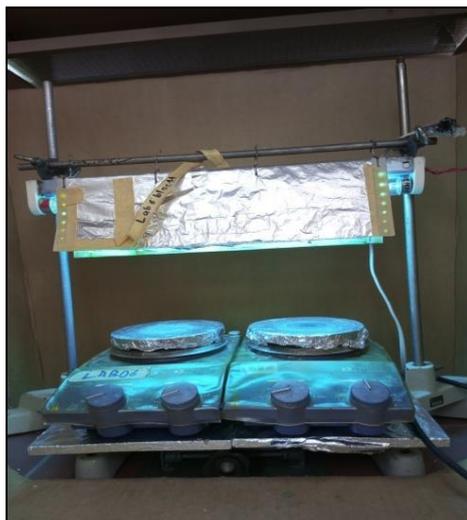


Figure II.4. Dispositif utilisé pour l'étude de la photocatalyse sous la lumière visible



Figure II.5. Spectrophotomètre UV-Visible utilisé.

V.3.1 Courbe détalonnage

L'étalonnage du colorant bleu de méthylène avec des solutions de concentrations en soluté variant de 0 à 9 mg/L a été effectué à $\lambda_{\max} = 665$ nm. Après avoir mesuré l'absorbance de chaque étalon, on trace la courbe $A=f(C)$, représentée sur la Figure II.6. Les données expérimentales indiquent une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration avec un coefficient de détermination égal à 0,997. Cette droite sera un moyen pour déterminer les différentes concentrations du polluant.

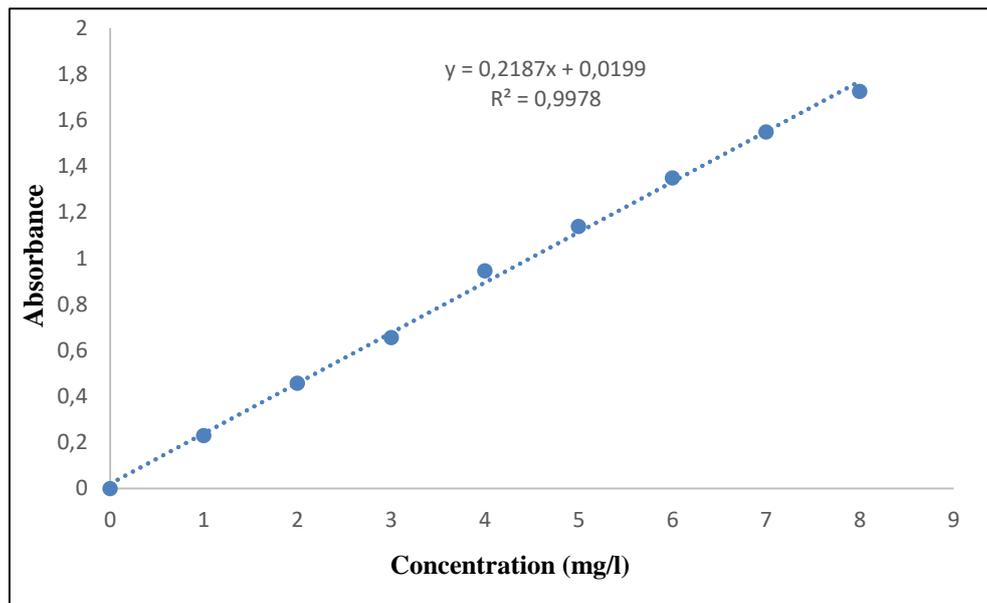


Figure II.6. Courbe d'étalonnage du BM.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

VI.1 Analyse structurale de l'oxyde SrFeO_3

VI.1.1 Analyse thermique (ATG)

Dans le but d'estimer la température de calcination permettant l'obtention d'un oxyde bien cristallisé le précurseur SrFeO_3 a été analysé par thermogravité (ATG) le résultat obtenu est représenté sur la figure (III.1).

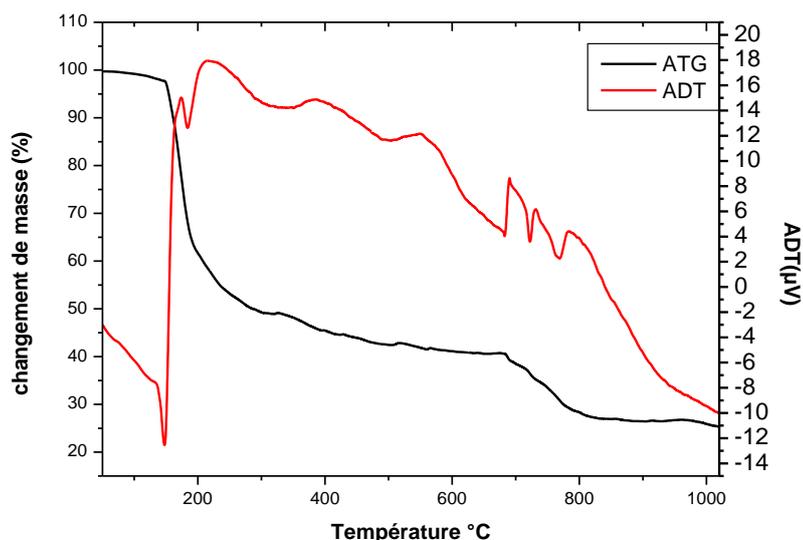


Figure III.1. Courbe ATG du précurseur SrFeO_3 .

La courbe de la poudre précurseur de SrFeO_3 pendant le processus de perte de Poids peut être partagé en deux grandes parties :

- ✓ La première de perte de poids dans l'intervalle de température de 150°C à 300°C, représente une perte de masse importante de (49%) environ accompagnée d'un pic endothermique et d'un autre pic exothermique intense, peut être due à l'élimination de l'eau résiduelle et une décomposition partielle de la chaîne d'acide citrique.
- ✓ La deuxième étape de perte de poids dans de 300 et 800°C, représente une perte de masse de (21 %) environ accompagnée de plusieurs pics exothermiques qui peut être attribués à la décomposition de la matière organique et à la formation du cristal SrFeO_3 .

VI.1.2 Analyse par spectroscopie infrarouge

Les spectres infrarouges en transmission des composés SrFeO_3 préparés par sol-gel avant et après calcination à 650°C , 850°C et 1000°C sont représentés dans les figures III.2 et III.3 respectivement:

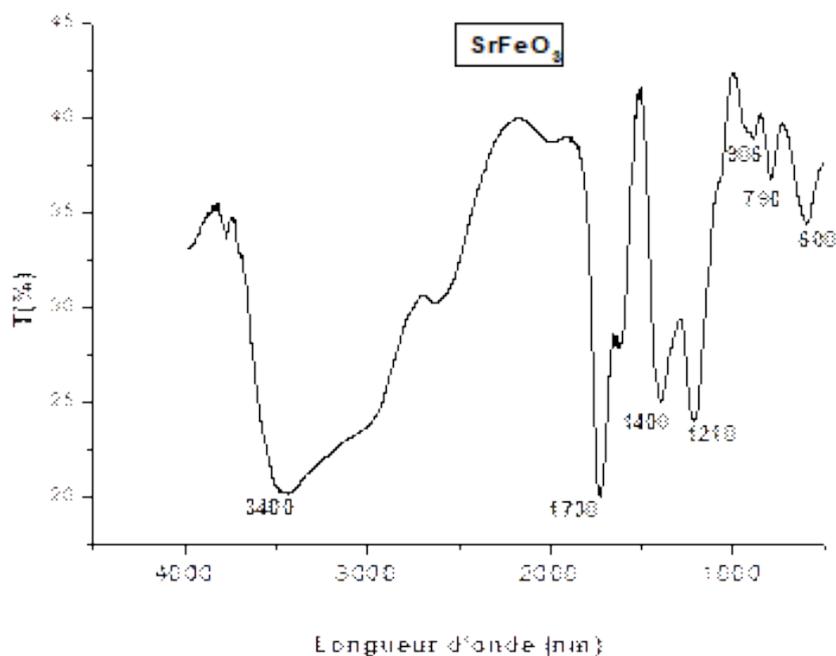


Figure 3. Spectre IR de l'oxyde SrFeO_3 avant calcination.

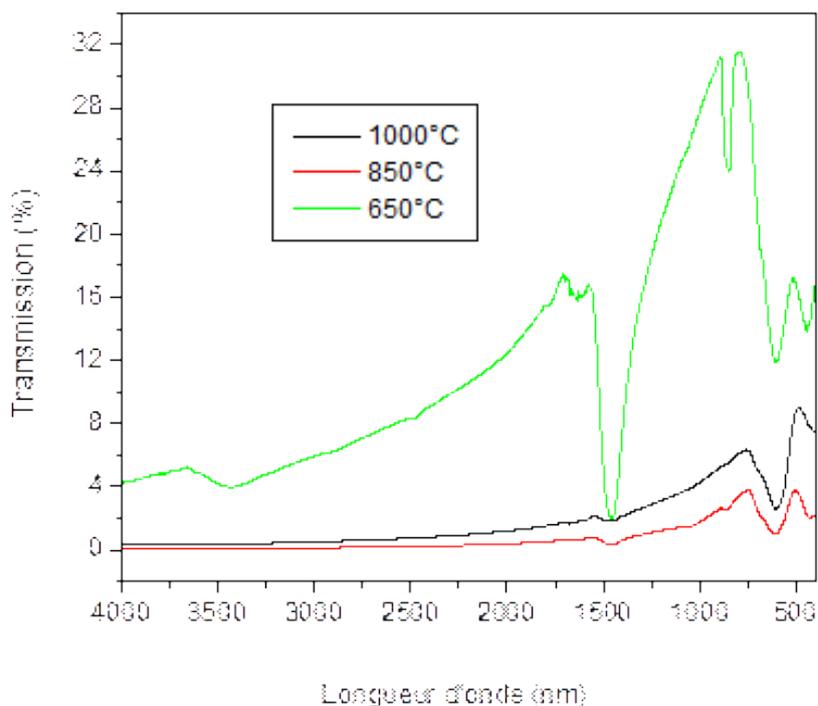


Figure III.3. Spectre IR de l'oxyde SrFeO_3 calciné à 650°C , 850°C et 1000°C .

Le spectre IR de l'oxyde SrFeO_3 non calciné (précurseur) présente une large bande évidente caractéristique de la vibration d'élongation de la liaison O-H de l'acide citrique à la longueur d'onde 3450cm^{-1} . Une autre bande à 1700cm^{-1} est assignée à la vibration de valence du groupement carbonyle de cet acide. La bande vers 1210cm^{-1} peut être attribuée aux nitrates.

Les trois bandes observées à 790, 906 et 1450cm^{-1} peuvent être attribuées à la vibration de valence des carbonates qui pourraient provenir de la combustion incomplète de l'acide citrique.

Une autre bande est observée à 900cm^{-1} de déformation de groupement hydroxyle O-H. On remarque également une bande située vers 600cm^{-1} attribuée à la liaison métal-oxygène de la pérovskite.

Les spectres IR des échantillons calcinés à 650, 850 et 1000°C montrent une bande d'absorption d'élongation à 600cm^{-1} attribuée aux vibrations de la liaison (Me – O) dans la pérovskite SrFeO_3 .

La présence des bandes vers 850 et 1450cm^{-1} pour les poudres calcinés à 650 et 850°C rejoint les données de la littérature [88,89] qui rapportent que l'élimination des carbonates est difficile et nécessite une température supérieure à 950°C .

En comparant les trois spectres, on peut déduire que les échantillons calcinés à une température égale ou supérieure à 850°C ont pratiquement la même structure cristalline. Ce résultat est en accord avec la courbe ATG où la perte de masse n'était pas significative à partir de 800°C .

VI.1.3 Analyse par diffraction des rayons X (DRX)

Afin d'identifier la nature cristalline et l'effet de la température de calcination sur la structure de la pérovskite synthétisée, une analyse par DRX a été effectuée pour les échantillons calcinés à 850 et 1000°C . La figure III.3 présente les diffractogrammes enregistrés.

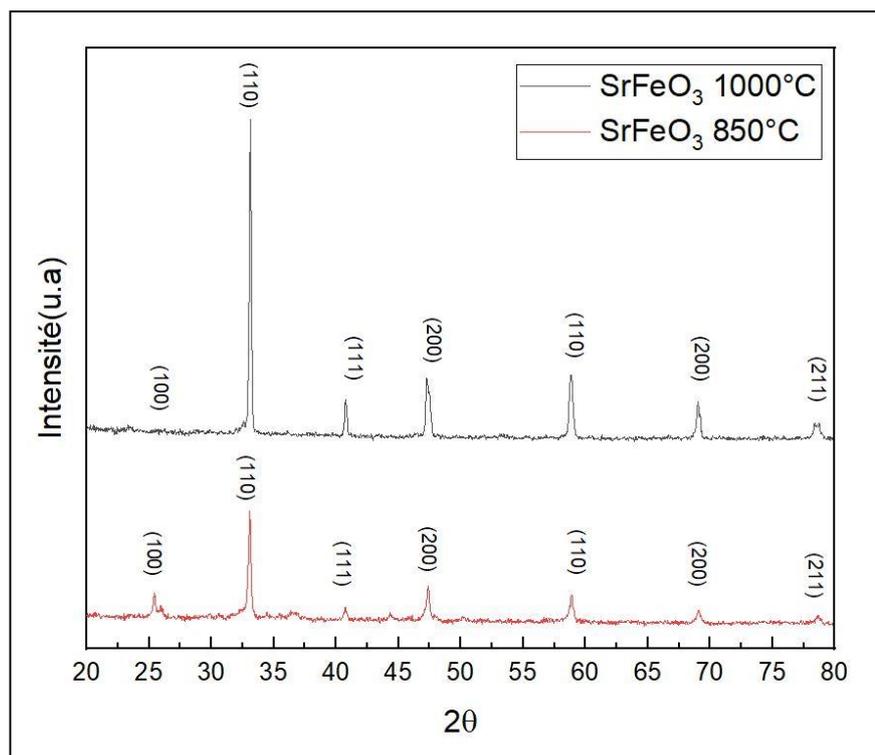


Figure III.4. Diffractogrammes de l'oxyde SrFeO₃.

En analysant les spectres, on remarque la présence de raies bien définies ce qui prouve que les échantillons sont bien cristallisés et diffracte vers la même phase. Les diffractogrammes RX enregistrés pour les échantillons de l'oxyde SrFeO₃ calcinés à 850° et 1000°C cristallisent dans une phase pure pérovskite (Absence de phases secondaires) de structure cubique de groupe d'espace de Pm-3m (221) et de paramètres $a=b=c= 3,8550\text{\AA}$, indexé par la fiche ASTM n°00-040-0905. Les pics apparaissent sur les spectres correspondent à des familles de plan (h k l) identifié par la référence JCPDS (Joint Comite on Powder Diffraction Standards).

Dans certains cas, un élargissement des pics pourrait être du à une variation de taille des cristallites. Ce facteur a été calculé en utilisant la formule de Debye-Scherrer. Les résultats obtenus à différentes températures de calcination sont illustrés dans les tableaux III.1 et III.2.

Tableau III.1. Résultats du calcul de la taille des grains de l'oxyde SrFeO₃ calciné à 850°C.

Composé	2θ° (position)	β° (largueur à mi-hauteur)	D (la taille des grains nm)
SrFeO ₃ à 850°C	25,4314	0,1023	79,6092
	33,0815	0,1791	46,2715
	36,8113	0,7164	11,6870
	40,7498	0,2047	41,3996
	44,3556	0,307	27,9445
	47,3678	0,1279	67,8258
	50,2423	0,614	14,2902
	58,8729	0,1279	71,3206
	69,0501	0,2558	37,6956

Tableau III.2. Résultats du calcul de la taille des grains de l'oxyde SrFeO₃ calciné à 1000°C.

Composé	2θ° (position)	β° (largueur à mi-hauteur)	D (la taille des grains nm)
SrFeO ₃ à 1000°C	23,8146	0,614	13,2231
	33,1228	0,1535	53,9942
	40,7518	0,2047	41,3998
	47,2448	0,1535	56,4876
	47,5206	0,1535	56,5473
	58,9163	0,3326	27,4319
	69,017	0,1535	62,8054
	78,3696	0,1535	66,7701
	83,1997	0,614	17,3021

VI.1.4 Analyse par microscopie électronique à balayage

Dans l'objectif d'avoir l'aspect morphologique de nos particules, nous avons réalisé une analyse par MEB. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure III.5.

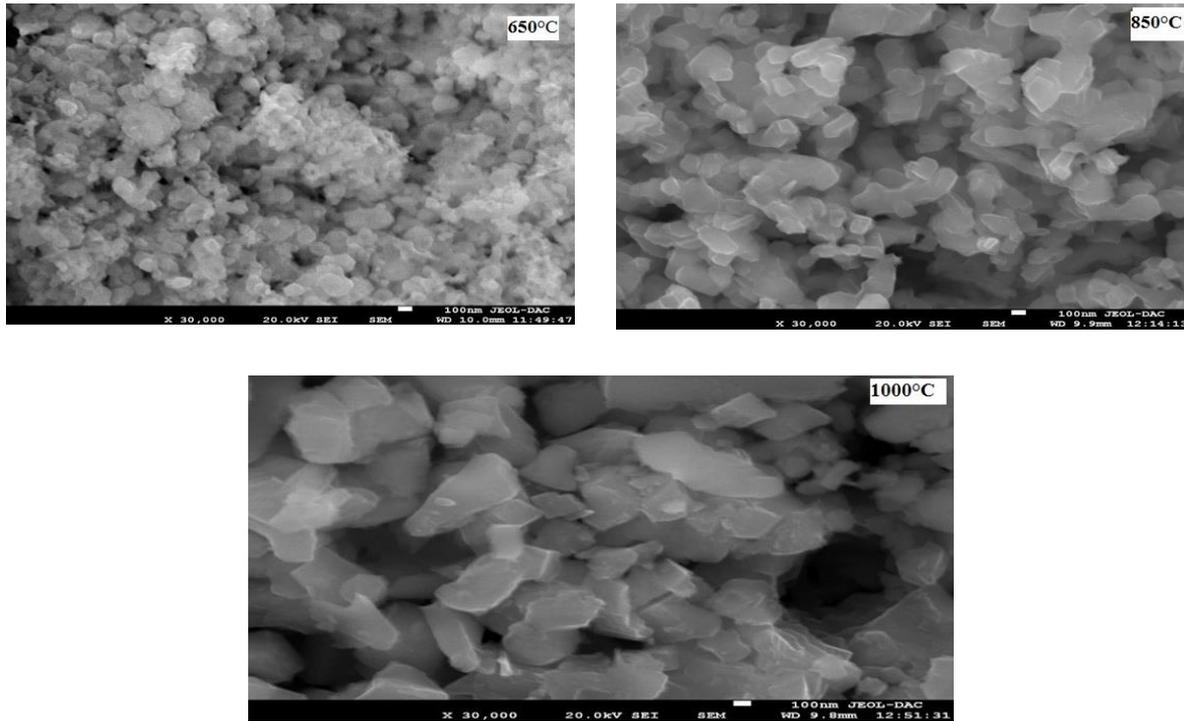


Figure III.5. Morphologie de l'oxyde calciné 650° C, 850° C et 1000° C.

Les principales remarques tirées à partir des micrographies, montrent clairement la présence de fines particules bien agglomérées sous forme de touffes, chaque grappe est caractérisée par une forme et une taille spécifique. En observe que la taille de cristallites formées à la température de 650° est petite par rapport celle de 850° et à 1000° C ce qui montre l'influence de la température de calcination sur la taille des grains. Dans notre cas, lorsque la température de calcination des échantillons augmente, la taille des grains augmente.

VI.2 Etude de l'activité photocatalytique de l'oxyde SrFeO_3

L'étude de l'activité photocatalytique consiste à suivre la dégradation du polluant organique qui est le bleu de méthylène en présence des photocatalyseurs synthétisés par voie sol-gel et calcinés à différentes températures 650, 850 et 1000°C.

Nous avons réalisé trois expériences, sous l'irradiation visible, sous irradiations UV ainsi que sous la lumière solaire, dans les mêmes conditions expérimentales : pH=11, concentration en colorant de 3.14mg /L et une masse de catalyseur (4 mg). Les résultats de ce teste photocatalytique sont illustrés dans les diagrammes ci-dessous.

VI.2.1 La dégradation de BM en présence de catalyseur

VI.2.1.1 Sous la lumière UV-visible

Ces courbes représentent la dégradation des solutions agitées dans la chambre visible des trois solutions de concentration définie de BM avec trois catalyseurs à différentes températures de recuit à 650°, 850° et à 1000° (Figure III.6).

On observe que toutes les solutions ont dégradé en fonction de temps sauf celle de 850° qui a une meilleure dégradation, par là en confirme que UV-visible a fait son effet sur la dégradation de BM (la concentration de la solution BM avec SrFeO₃ recuit à 850° qui a une grande diminution par rapport au solution contienne de catalyseur recuit à 650° et 1000°). Les courbes illustrées dans les figures suivantes montrent ce qui noté dans le paragraphe précédent.

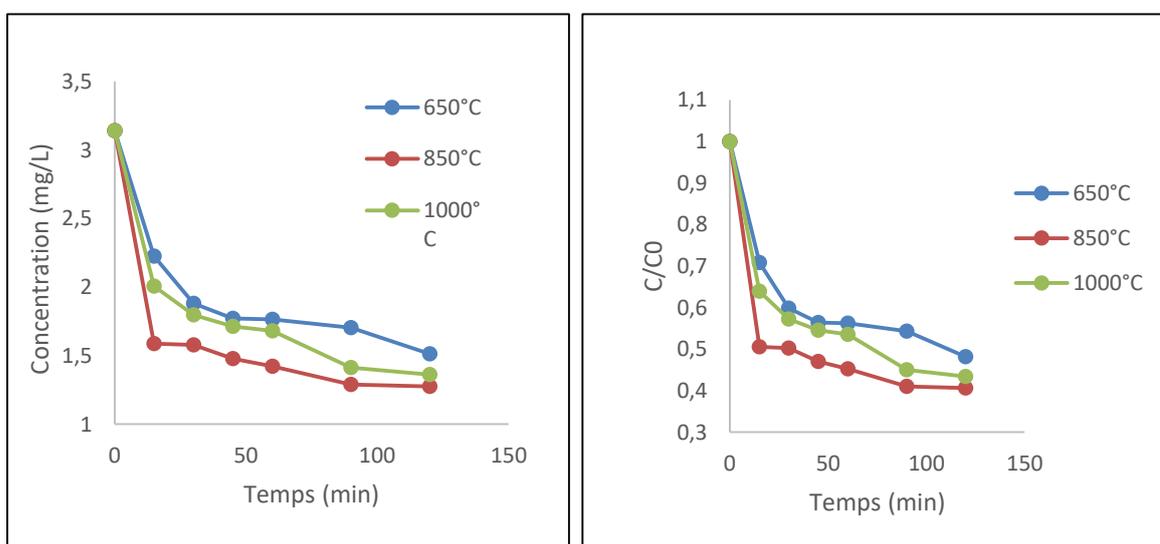


Figure III. 6. Activité photocatalytique de SrFeO₃ en fonction de temps sous la lumière UV-visible.

VI.2.1.2 Sous la lumière UV

Les courbes représentent les dégradations des solutions BM et SrFeO₃ recuit à différentes températures (650°, 580° et 1000°C) dans la chambre UV prélevé après agitation, remarquons que la courbe qui a une descente remarquable des concentrations par rapport ou autres au cours de temps et celle de recuit 650°C. Comme en remarque qu'à températures 850° et 1000° en presque les mêmes concentrations et une même dégradation, par cette expérience on obtient que l'UV a un effet moins remarquable sur la dégradation de BM. Comme les graphes de la figure III.7 montrent.

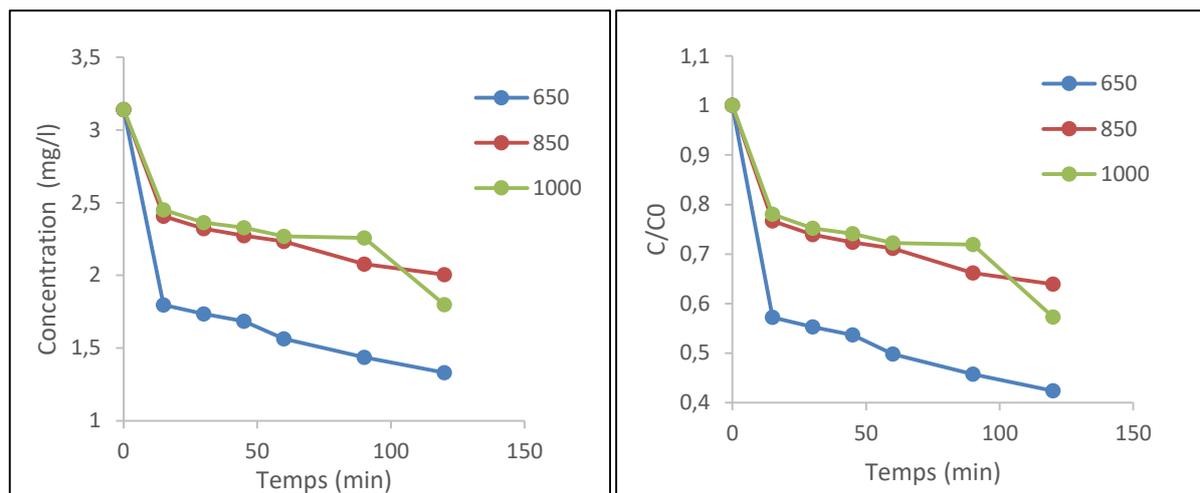


Figure III .7.Activité photocatalytique en présence de SrFeO_3 en fonction de temps sous l'irradiation UV.

VI.2.1.3 Sous la lumière solaire

La dégradation des concentrations de la solution de BM avec le précurseur SrFeO_3 recuit à 650° , 850° et 1000° au cours de temps ; après agitation sous soleil de la solution en prélevons à temps différent, d'après les résultats obtenus en remarque que la solution la plus dégradé et celle de précurseur recuit à $T=650^\circ$ par rapport à deux autres températures 850° et 1000° comme en voyons que les rayons solaire en un effet sur la dégradation de BM en présence de notre catalyseur. Les résultats obtenus sont répertoriés dans les graphes de la figure III.8.

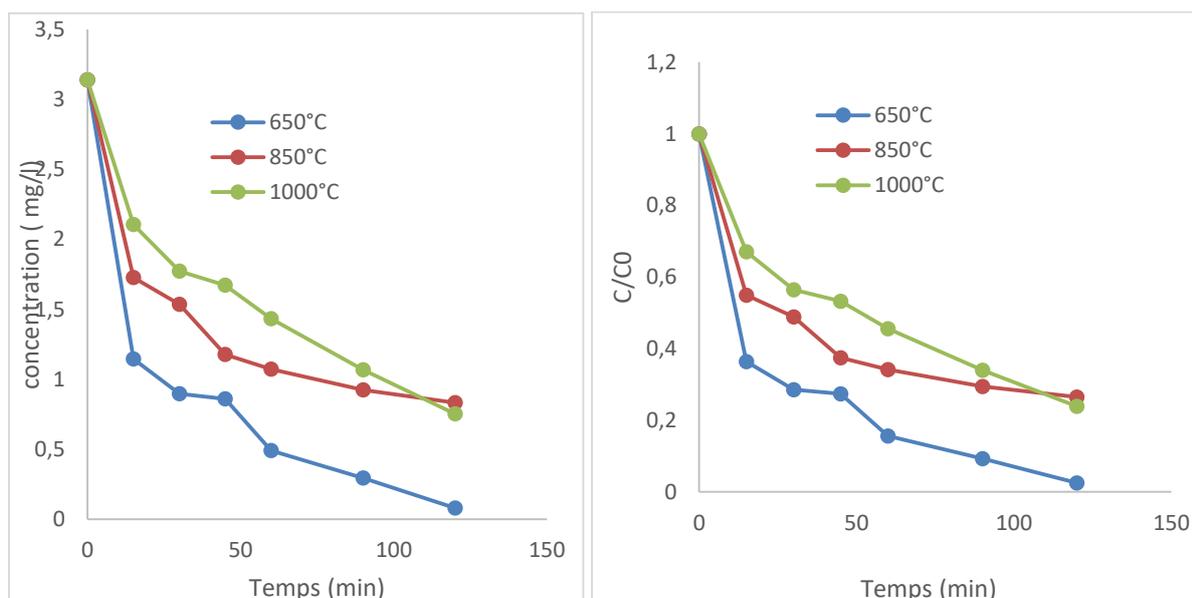


Figure III.8.Dégradation du BM en présence de catalyseur sous irradiation solaire.

VI.2.2 La dégradation de BM sans catalyseur

Cette courbe en dessous représente les concentrations de bleu de méthylène pur en fonction de temps après agitation dans les conditions normales; en remarque que la concentration de BM est maximale dans les 15 premières minutes après 30 minutes d'agitation et sous la lumière, à l'ambiante; la concentration se diminue puis à 45 minutes s'augmente à une certaine concentration et en remarquons presque une stabilité (les valeurs n'en pas une grande différence entre eux) (Figure III.9).

D'après ce qu'en a comme résultats après notre essais on voit que la dégradation de bleu de méthylène sans catalyseurs est trop petite; par rapport aux solutions avec catalyseurs à différents cas et en fonction de temps, on remarque que la dégradation est plus importante ce qui veut dire que le catalyseur a un rôle très essentiel surtout pour la dégradation de bleu de méthylène qui est notre colorant testé.

Alors, la lumière à divers irradiation soit l'irradiation solaire, UV-visible ou l'irradiation de chambre noire UV, elle a un effet efficace sur l'adsorption totale et/ou partielle des colorants.

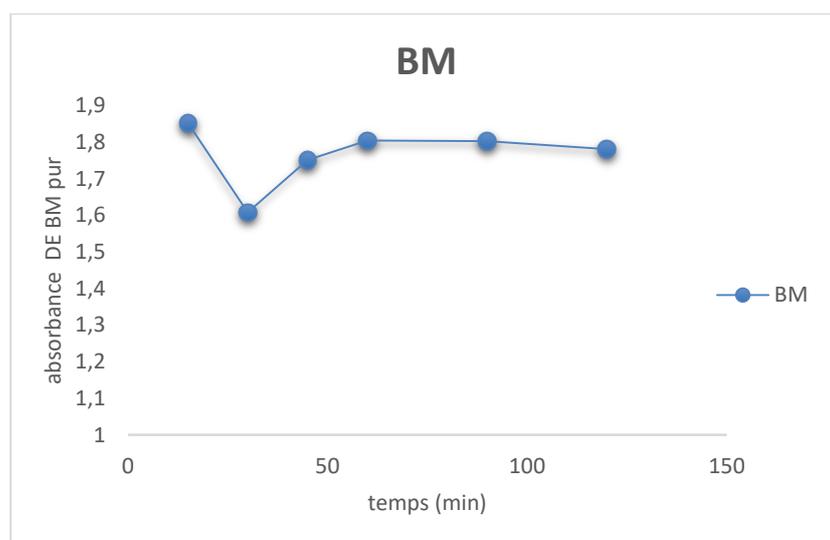


Figure III.9. Absorbance de BM sans lumière et sans catalyseur en fonction de temps.

Les procédés photocatalytiques hétérogènes contiennent différentes étapes : réaction, diffusion et adsorption. Cette dernière étape confirme la diminution de dégradation de colorant pendant deux heures de temps, sous les différentes irradiations de lumière, ainsi que l'efficacité de la taille des grains qui joue le principal rôle dans l'adsorption surfacique. Plus la taille de grain est petite, plus la surface spécifique est grande et plus l'adsorption est maximale.

CONCLUSION

CONCLUSION

Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressés, en premier lieu, à la synthèse et à la caractérisation d'un oxyde mixte de type pérovskite (SrFeO_3), ensuite à l'étude de son activité photocatalytique pour la dégradation d'un polluant organique à savoir bleu de méthylène. L'oxyde SrFeO_3 a été élaboré par voie sol-gel et calciné à différentes températures 650°C , 850°C et 1000°C . À la fin de cette étude, nous avons tiré les conclusions suivantes :

L'analyse thermogravimétrique et différentielle (ATG et ATD) nous a permis d'identifier les différentes transformations qui ont lieu lors du chauffage et la température de calcination correspondante à l'apparition de la structure pérovskite SrFeO_3 qui commence à partir de 800°C .

L'analyse par DRX nous a permis d'identifier la phase de système SrFeO_3 pour les deux températures de calcination 850° et 1000°C . Cette analyse nous a confirmé la structure pérovskite cubique pure de l'oxyde synthétisé.

Les spectres infrarouges (IR) des échantillons, montrent clairement l'effet de la température de calcination. En effet, la bande d'absorption remarquée vers 600 cm^{-1} qui est associée à la vibration de valence de la liaison Métal-Oxygène dans l'octaèdre de la pérovskite SrFeO_3 s'avère plus intense pour les échantillons calcinés à 850°C et 1000°C ce qui confirme l'élimination des résidus organiques et l'apparition de la structure pérovskite avec la calcination.

La morphologie de la pérovskite a été analysée par Microscopie Electronique à Balayage (MEB) qui a montré des particules agglomérées de taille d'ordre du nanomètre et que la taille des cristallites augmente avec l'augmentation de la température de calcination.

Dans le test photocatalytique on obtient différents résultats pour chaque cas.

- ✓ Cas de chambre UV et l'exposition sous soleil le meilleur résultat de dégradation est obtenue pour l'échantillon SrFeO_3 calciné à 650°C ;
- ✓ Pour la lampe visible la meilleure dégradation obtenue est de SrFeO_3 calciné à 850°C .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- [1] L.Simonot,F.Garin,G. Maire.A comparative study of LaCoO_3 , CO_3O_4 and $\text{LaCoO}_3 - \text{CO}_3\text{O}_4$: I. preparation ,characterization and catalytic properties for the oxidation of Co. Applied catalysis B:envirenmmmental(1997).
- [2] Khaoula Jemli, Synthèse et auto-assemblage de molécules de pérovskite pour la photonique et le marquage. Autre. Université Paris Saclay (COMUE); Faculté des sciences de Bizerte (Tunisie), Français. NNT : 2016 SAACLN009, 2016.
- [3] Chloé DINDAULT, Thèse présentée et soutenue à Palaiseau, le 8 octobre 2019.
- [4] WA Meulenber , ... S. Roitsch ,Membranes céramiques conductrices de protons pour piles à combustible à oxyde solide et traitement de l'hydrogène (H_2) , dans Advanced Membrane Science and Technology for Sustainable Energy and Environmental Applications , 2011.
- [5] T.Ishihara, Perovskite Oxide for Solid Oxide Fuel Cells, Springer (2013).
- [6] Boutal Naima, nouveaux matériaux de type pérovskite simple ou complexe sans plomb élaboration, caractérisation et potentielles application ,19 novembre 2017.
- [7] V. M. Goldschmidt, Geochem , Vert. Elem , (1927).
- [8] Pauling, The nature of chemical bonds. Cornell University Press, New- York, (1967).
- [9] M .Aissat Fares. Synthèse, caractérisation et activité catalytique des matériaux de structure pérovskite. Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene - Alger (2019).
- [10] N. Ramadass. ABOa- Type Oxides - Their Structure and Properties-A Bird's Eye View. Materials science and engineering (1978).
- [11] Y. Zhang, B. Feng, H.Hayashi et al. Thermoelectric phase diagram of the SrTiO_3 SrNbO_3 solid solution system. J. Appl. Phys. (2017).
- [12] Z. Zhang, S. Gu, Y. Ding, F. Zhang, J. Jin. Determination of hydrogen Peroxideand glucose using a novel sensor platform based on CoO_4FeO Lao Nanoparticles. Microchim. Acta (2013).
- [13] W. Jia, W Xu, I. Rivera, A. Pérez, F. Fernández. Effects of compositional phase transitions on luminescence of Sr, Ca, TiO_3 : Pr. Solid. Stat. Commun (2003).
- [14]Lioz Etgar, Hole Conductor Free Perovskite-based Solar Cells. Springer Briefs in Applied Sciences and technology (2016).
- [15]C.Jin, X.Cao, L. Zhang, C. Zhang, and R. Yang, J. Power Sources 241 (2013).
- [16]W. S. Kim, G. Anoop, H. J. Lee, S. S. Lee, J. H. Kwak, H. J. Lee, and J. Y. Jo, J. Catal. (2016).
- [17] R. K. Nath, M. F. M. Zain, and A. A. H. Kadhum, Adv. Nat. Appl. Sci. (2012).

-
- [18] Tummino, M. L., Laurenti, E., Deganello, F., Prevot, A. B., & Magnacca, G. Revisiting the catalytic activity of a doped SrFeO₃ for water pollutants removal: Effect of light and temperature. *Applied Catalysis B: Environmental*, (2017).
- [19] Jia, L., Li, J., Fang, W., Song, H., Li, Q., & Tang, Y. Visible-light-induced photocatalyst based on C-doped LaCoO₃ synthesized by novel microorganism chelate method. *Catalysis Communications*, (2009).
- [20] Y. Gautier. B. Pire. pérovskites. URL/fr/encyclopedie/perovskites/encyclopaedia Universalis.
- [21] V.W Luiz. Structural and ferroelectric properties of Pb. *Appl. Phys* (2005).
- [22] A.S. Shahraki, E.T. Nassaj, H. Sharifi. Origin of dielectric loss in Ba (CoNb₂O₃) microwave ceramics. *J. A. Ceram* (2017).
- [23] A. Boudali. Etude de propriétés structurales, élastiques, électroniques et optiques des Pérovskites cubiques LaAlO₃; et XTiO₃ (X= Ca, Sr, Pb). Thèse de doctorat en Sciences en Physique, Université d'Oran (2011).
- [24]: A. Ottochian, G. Dezaneeu, C. Gilles. Influence of Isotropic and biaxial strain on proton conduction in Y-doped BaZrO₃: are active molecular dynamics studies. *J. Mater. Chem* (2014).
- [25] R. L. Silva, J. C. S. Lima, A. Moura, G.C.G. Lima, A. Baptista. Remoção da Acidez Presente em Óleo Diesel Utilizando MgNiO₃ em Unidade piloto.
- [26] Boukechira. D et Boufroua. N « Synthèse et caractérisation d'oxyde mixte à base de Nickel de type : Pérovskite » Mémoire de fin d'étude, Université de Jijel (2005).
- [27] Mounir El hassouni « Biomatériaux pour la reconstruction osseuses » Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès - Licence chimie analytique et industrielle (2012).
- [28] Omar BAJJOU, Méthodes de synthèse des nanomatériaux.
- [29] D.S. Bae, K.S. Han, S.H. Choi, *Solid State Ionics* (1998).
- [30] Z. Cranjak Orel, I. Mušivec, *Nanostructure de Materials*, (1999).
- [31] C. Viazzi, thèse de l'Université de Toulouse (2007).
- [32] A.C. Pierre, Introduction aux procédés sol-gel, Collection FORCE RAM, Editions Septima, Paris (1992).
- [33] H. Dislich, P. Hinz, *J. Non-Cryst. Solids* 48 (1982).
- [34] N. Cygankiewicz, thèse de l'Université Montpellier 2 (1985).
- [35] R. Benaïcha. Synthèse et propriétés des oxydes LaFe_{1-x}Cu_xO₃. Thèse de doctorat en Science Université Mohamed Khider-Biskra (2018).
- [36] A.A. Aziz. Perovskite Oxid-Based Photocatalysts for Excellent Visible Light-Driven

Photocatalysis and Energy Conversion. Chapitre dans Plant Nanobionics, Nanotechnology in the Life Sciences, Springer Nature Switzerland (2019).

- [37] Q. Nghi Pham. Elaboration et caractérisation d'oxydes pérovskites pour capteurs de pH- Etude du mécanisme de fonctionnement de ces capteurs. Thèse de doctorat en Science Université de Maine (France) (2006).
- [38] S. Menakh, « Contribution à l'étude des propriétés de films ZnO », Mémoire de magister, Université Mentouri-Constantine (2010).
- [39] T. Jesper Jacobsson, Wolfgang Tress, Juan-Pablo Correa-Baena, Tomas Edvinsson, and Anders Hagfeldt. Room Temperature as a Goldilocks Environment for CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells: The Importance of Temperature on Device Performance. The Journal of Physical Chemistry C, 120:acs.jpcc.6b02858, May (2016).
- [40] M.M. Hassana and al. Influence of Cr incorporation on structural, dielectric and optical properties of ZnO nanoparticles ». Journal of Industrial and Engineering Chemistry, (2015).
- [41] KHELIFI Tassadit, Synthèse et caractérisation des nanoparticules à base de Bi_{1-x}Al_xFeO₃. Application : capteur d'humidité, juillet (2017).
- [42] Mohamed Baazaoui .Elaboration et étude des propriétés structurales, magnétiques, électriques et magnéto-caloriques d'oxydes mixtes type Pérovskites. Université de Grenoble; Faculté des Sciences de Monastir -Tunisie (2012).
- [43] BOUTRA, Belgassim. Contribution de la photocatalyse hétérogène à l'élimination de polluants en milieu aqueux. Thèse de doctorat(2019).
- [44] Fatima Zahra Saidi, « Elimination d bleu de méthylène par des procédés d'oxydation avancée. », mémoire de magister, Université Abou Bakr Bekaid Tlemcen, (2013).
- [45] U.Pagga, D.Brown, « the degradation of dyestuffs part II: behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation tests. », Chemosphere, (1986).
- [46] Rahal Foudil, étude de quelques paramètres sur l'électrodéposition des oxydes TiO₂ et ZnO et leurs application dans la dégradation photocatalytique de colorants.
- [47] H. Ben Mensour, L.Chekir-Ghedira, « Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : criblage de la toxicité et des méthodes de traitement », Revue des sciences de l'eau, (2011).
- [48] Lazaridis, K., Karapantisios, T, D. Georgantas, D. Kinetic analysis for the removal of a reactive dye from aqueous solution onto hydrotalcite by adsorption, Water Res, (2003).
- [49] R. M. Christie James, J.D. Nairne Peter Bame, « Colour chemisrty », Ed, Royal Society of Chemistry, (2001).
- [50] J. Belegald, « Les colorants industriels, Encyclopédie Médico Chirurgicale Cathologie du

Travail, intoxications maladies par agents physiques 16082 à paris» Edition techniques, (1987).

[51] Fghire Rachid ; Elbouhali Hamid; Esshaimi Mohsine ; Khouhaddo, « Caractérisation d'un Colorant Naturel. »; Mémoire de la licence, Université Cadi Ayyad ; Marrakech, Maroc, (2006).

[52]P.A. Bolotin, S.F. Baranovsky, M.P. Evstigneev, « Spectrophotometric investigation of the hetero-association of Caffeine and thiazine dye in aqueous solution. »,Spectrochimic alacta Part A ,(2006).

[53]J. Cenens, R. A. Schoonheydt, « Visible spectroscopy of methylene blue on hectorite, laponite b, and barasym in aqueous suspension. », Clays and Clay Minerals Vol 36, (1988).

[54]T. Rager,A. Geoffroy, R. Hilfikera , John M. D. Storeyb, « The crystalline state of methylene blue: a zoo of hydrates. ». Chem. Phys, (2012).

[55]R. Beer, M. Baumann, A. Kielbassa, « Pocket Atlas of Endodontic: staining the cavity with methylene blue. », (2006).

[56]F. Huang, L. Chen, H. Wang, Z. Yan,«Analysis of the degradation mechanism of methylene blue by atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma . »,Chemical Engineering Journal, (2010).

[57] K. Dutta, S.Mukhopadhyaya, S. Bhattacharjee, B. Chaudhuri« Chemical oxidation of methylene blue using a Fenton-like reaction ». Journal of Hazardous Materials B, (2001).

[58] N. Rosenberg, X. Rousselin, «Rhinite et as thmerofessionnels aux colorants Réactifs. ». Documents pour le médecin de travail, (1988).

[59]Mohd. Rafatullaha, O.Sulaimana, R. Hashima, A.Ahmad, « Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents. », A review; Journal of Hazardous Materials, (2010).

[60]Md. T. Uddin, Md. A.Islam, S. Mahmud, Md. Rukanuzzaman, « Adsorptive removal of methylene blue by tea waste. », Journal of Hazardous Materials, (2009).

[61]V. S. Sukumaran, A. Ramalingam, « Third order optical non linearities and spectral characteristics of methylene blue », Journal of Quantum Information Science ,(2011).

[62] P. Barriot,V. Danel ,« Intoxications aiguës en réanimation. » ; Groupe liaisons S.A.2ème édition (1999) .

[63] futura-Science .com Marie-Celine Ray.

[64] J.J. Lefrère, « Transfusion sanguine: Une approche sécuritaire. », John Libby Euro text (2000).

[65]K. Gobi, M.D. Mashitah, V.M. Vadivelu ,«Adsorptive removal of methylene blue Using novel adsorbent from palm oilmill effluent waste activated sludge: Equilibrium, thermodynamics and kinetic studies. »,. Chemical Engineering Journal ,Vol 171, (2011).

[66] L. W.Low, T. T. Teng, M. Rafatullah, N. Morad, B. Azahari,« Adsorption studies of methylene

blue and malachite green from aqueous solutions by pretreated lingo cellulosic materials. », Separation Science and Technology, (2013).

[67] M.S.U.Rahman, J.I. Han, « biosorption of methylene blue from aqueous solution by typha angustata phytomass Int. », Journal Environ. Sci. Technol., (2012).

[68] Zhang, Y, et al. Theoretical Study on the Gas Phase reaction of Allyl Bromide with Hydroxyl Radical. Computational and Theoretical Chemistry, (2017).

[69] Y. Ammari, K. Elatmani, S. Qourzal, I. Bakas, E. Ejakouk, Y. Ait-Ichou ; Etude cinétique de la dégradation photocatalytique du colorant bleu de méthylène en présence de dioxyde de titane (TiO₂), en suspension aqueuse. J. Mater. Environ. Sci. (2016).

[70] Venkatadri, R., Peters, R.W. Chemical oxidation technologies: Ultraviolet light /hydrogen peroxide, Fenton's reagent, and titanium dioxide-assisted photocatalysis. Hazard. Waste Hazard. Mater., (1993).

[71] Haddoud, M. Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène: procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse. Thèse de Doctorat. Université Toulouse III-Paul Sabatier, (2010).

[72] S. Komtchou, A. Dirany, P. Drogui, P. Lafrance, Application des procédés d'oxydation avancée pour le traitement des eaux contaminées par les pesticides - revue de littérature, Revue Des Sciences de l'Eau. 29 (2016).

[73] M. Thomas, « Revêtements photocatalytiques pour matériaux de construction : formulation, évaluation de l'efficacité et écotoxicité. Thèse de doctorat », Université de TOULOUSE (2012).

[74] C.R. Demazeau, « Solvo thermique Reaction: involvement in basic research and industrial applications », Acad. Sci. Paris, (1999).

[75] RAHAL FOUJIL, étude de l'effet de quelques paramètres sur l'électrodéposition des oxydes TiO₂ et ZnO et leurs applications dans la dégradation photocatalytique de colorants

[76] S. Lacombe, TH T.Thi, C. Guillard. La photocatalyse pour l'élimination des polluants. L'actualité Chimique (2007).

[77] D.W. Bahnemann, M.R. Hoffmann. Environmental applications Semiconductor Photocatalysis. Chemical Reviews, (1995).

[78] R. Degraeve. Etude multi-échelle d'un écoulement fluide/poreux avec réaction hétérogène Application à la dépollution en textile lumineux photocatalytique. Thèse de doctorat en Dynamique des fluides Université de Toulouse France, (2015).

[79] R. Gundeboina, V. Perala, V. Muga. Perovskite Material-Based Photocatalysts. Chapitre dans Revolution of Perovskite, Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials, Springer Nature

Singapore (2020).

[80] J. Csaba, R. Krishnan, T. Abegayl. Photocatalytic activity of inorganic semiconductor surfaces: myths, hype, and reality. *J. Phys. Chem. Lett* (2015).

[81] Denouzha Bouziane, élimination du 2- mercapto benzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre mémoire de magistère université mentouri de constantine.

[82] Guittouneau S., De Laat J., Doré M., Duguet J.P et Bonnel C., *Environ. Technol. Letters*, (1988).

[83] Bhantkhande et al. (2001).

[84] Chakrabarti et Dutta (2004), Daneshvar et al. (2004), Sahel et al. (2007), Sleiman et al (2007).

[85] Rajesh, J.J; Praveen, K.S; Ramchandra, G.K.; Raksh, V.J. Photocatalytic degradation of dyes and organic contaminants in water using nanocrystalline anatase and rutile TiO₂. *Sci. Technol. Adv. Mat.* (2007).

[86] Zhao, J. Yang, X. Photocatalytic oxidation for indoor air purification: A literature review. *Build. Environ.* (2003).

[87] Wei Wang, a Moses, O. Tade'a and Zong ping Shao*ab, Research progress of perovskite materials in photocatalysis and photovoltaics-related energy conversion and environmental treatment, *Chem Soc Rev*, (2015).

[88] Pushkar Kanhere 1,2, and Zhong Chen 1,2, A Review on Visible Light Active Perovskite Based Photocatalysts, *molecules*, (2014).

Résumé

Pour l'élaboration de l'oxyde mixte type pérovskite à base de Fe, le A identifié le Sr et l'acide citrique comme solvant, via la voie sol-gel. Ces solides ont été mélangés, agités sous de température 80°C jusqu'à la formation de gel, en suit séchés, calciné à divers températures : 650°, 850° et 1000°C.

Cette derniers, ont été caractérisées par différentes méthode de caractérisation optique (FTIR), thermique (ATG, DSC), morphologique (MEB) et structural (DRX) qui est copulé par l'information de taille des grains qui estimé par la loi empirique de Debye Scherrer.

Nous avons aussi testé ce pérovskite comme photocatalyse, dans l'activité photocatalyse nous avons étudié la dégradation d'un colorant qui est le bleu de méthylène sous divers irradiation lumière (UV, UV-visible et sous la lumière solaire) suivie par l'analyse de mesure de l'absorbance spectroscopique UV-visible.

Mots clés : pérovskite, élaboration, sol-gel, caractérisation, application, photocatalyse .

Abstract

For the elaboration of the perovskite type mixed oxide based on Fe, the A identified Sr and citric acid as solvent, via the sol-gel route. These solids were mixed, stirred under a temperature of 80°C until gel formation, then dried, calcined at various temperatures: 650°, 850° and 1000°C.

The latter have been characterized by different optical (FTIR), thermal (ATG, DSC), morphological (MEB) and structural (DRX) characterization methods which are coupled by the grain size information which is estimated by the empirical law of Debye Scherrer.

We also tested this perovskite as photocatalysis, in the photocatalysis activity we studied the degradation of a dye which is methylene blue under various light irradiation (UV, UV-visible and under sunlight) followed by the analysis measurement of UV-visible spectroscopic absorbance.

Keywords: perovskite, elaboration, sol-gel, characterization, application, photocatalysis.