

Préparation, caractérisation et activité photocatalytique des nanoparticules LaFeO_3 .

Faiçal Djani. Souhila Zineddine. Omari Mahmoud

Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement, Université de Biskra, 7000 Algérie.

Fayssaldjani@yahoo.com

Abstract: The aim of this work is the synthesis by sol-gel and characterization by different methods: XRD, FTIR, TGA, PSD and UV-vis of a perovskite oxide LaFeO_3 . The effect of various parameters on the photodegradation of the methylene blue was studied: Photocatalyst concentration, light energy of the lamp used, the time and the crystallinity of the oxide LaFeO_3 . LaFeO_3 calcined at 800°C which has a grain size nanometric scale of 250 nm, has the best photocatalytic activity.

Keywords: Perovskite, LaFeO_3 , photodegradation, Sol-gel, X-ray, IR, PSD, ATG, UV-visible. Methylene blue (BM)

Résumé : L'objectif de ce travail est la synthèse par voie sol-gel et caractérisation par différentes techniques d'analyse : DRX, FTIR, ATG, PSD, UV-visible d'un oxyde de structure pérovskite LaFeO_3 . On a étudié l'effet de différents paramètres : la concentration du photocatalyseur, l'énergie lumineuse des lampes utilisées, le temps et la cristallinité de l'oxyde LaFeO_3 sur la photodégradation du BM. LaFeO_3 calciné à 800°C qui a une taille de grain de l'échelle nanométrique 250nm a la meilleure activité photocatalytique.

Mots clés : Pérovskite, LaFeO_3 , photodégradation, Sol-gel, DRX, FTIR, PSD, ATG, UV-visible. Bleu de Méthylène (BM)

1. Introduction

La matière dont est formé le monde qui nous entoure est composée de particules discrètes, ayant une taille submicroscopique, dont les lois de comportement sont décrites par les théories atomiques. Les états d'organisation de la matière sont très variés depuis le désordre complet des atomes ou des molécules d'un gaz sous faible pression jusqu'à l'ordre quasi parfait des atomes dans un monocristal.

Les propriétés des matériaux sont définies par la nature des liaisons chimiques, l'arrangement atomique et la microstructure, l'étude des relations entre l'organisation à l'échelle atomique, la microstructure et les propriétés des matériaux constituent le domaine de la science des matériaux.

Les différentes études effectuées depuis les années cinquante jusqu'à nos jours sur les matériaux de type pérovskite, démontrent la richesse de cette famille. En effet, il existe de multiples combinaisons possibles, notamment selon la valence des cations utilisés, on peut avoir des combinaisons comme KNbO_3 , comme SrCoO_3 ou bien comme LaCoO_3 . D'autres combinaisons sont encore possibles en remplaçant l'oxygène par un autre anion comme S ou F. Bon nombre de ces phases ABO_3 acceptent des sous stœchiométries plus ou moins importantes qui se traduisent par des lacunes sur les deux sites cationiques mais aussi sur le site anionique. Cette caractéristique unique permet d'atteindre des états de valence mixtes qui confèrent aux phases pérovskites des propriétés physiques ou chimiques remarquables. [1]

Les oxydes de type pérovskite qui présentent de fortes activités catalytiques dans divers champs d'applications et une stabilité thermique élevée sont considérés comme de catalyseurs potentiels en substitution aux métaux nobles tels que le platine et le palladium.

Ses oxydes mixtes offrent les avantages d'une activité catalytique comparable à celle des catalyseurs à base de métaux nobles d'un prix de revient plus faible, d'une utilisation à haute température et d'une résistance à la désactivation. [2-3]

Parmi les matériaux prometteurs l'oxyde mixte LaFeO_3 est doté de plusieurs de ces caractéristiques. Les recherches entreprises ont révélé que l'activité photocatalytique de ces solides est une fonction de plusieurs caractéristiques physico-chimiques. [1]

2. Expérimentale

2.1 Préparation de LaFeO_3 par voie sol-gel

Les composés de référence utilisés dans cette méthode sont le nitrate de Lanthane $[\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$, nitrate de Fer $[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$ dissout dans le méthanol comme solvant, avec l'agent de complexation acide citrique $(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O})$ [31]. On prend 4.33g de $[\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ (1mol) dissout dans 50ml de méthanol avec 4.04g de $[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$

(1mol) dissout dans 50ml du même solvant. Puis on ajoute 4.2g de $(C_6H_8O_7.H_2O)$ (2mol) dissout dans 62ml de méthanol par un montage de titrage.

La solution résultante est laissée sous agitation à température ambiante $80^\circ C$ pendant plusieurs heures ce qui conduit à la formation d'un gel, ce gel doit sécher dans l'étuve pendant 24h à température $100^\circ C$, ensuite on va broyer le reste pour obtenir une poudre qui va finalement calciné sous températures précises ($500^\circ C$, $650^\circ C$, $800^\circ C$).

2.2.Caractérisation

2.2.1. Analyse par la diffraction des rayons X

La diffraction des rayons X permet d'identifier la nature et la structure des solides cristallisés. L'appareil utilisé est un diffractomètre D8 Advance Bruker, Les diagrammes de diffraction sont enregistrés en 2θ dans un domaine angulaire variant de 10° à 90° . Les diffractogrammes expérimentaux obtenus ont été comparés aux diffractogrammes de référence. L'analyse des diffractogrammes de diffraction de rayons X a été effectuée en utilisant les logiciels X'Pert HighScore et Origin8.5. 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.[1]

2.2.2. Spectroscopie Infrarouge FTIR

Les analyse infrarouge de l'oxyde $LaFeO_3$ permettent de mettre en évidence les différences structurales dues à la transformation thermique. Pour notre étude les spectres Infrarouges en transmission ont été réalisés sur un spectrophotomètre à transformée de fourrier de type **FTIR-Shimadzu8400**, Les longueurs d'onde étudiées sont comprises entre $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$.

2.2.3. Analyse Thermogravimétrique (ATG)

Pour cette analyse, on a utilisé un appareil de type : LINSEIS, L'analyse thermogravimétrique (ATG) nous permis de : a) suivre la perte de masse en fonction de variation de la température b) déterminer le domaine de stabilité de la phase pérovskite pure dans le domaine de température étudié.

L'analyse par ATG montre le comportement de la poudre $LaFeO_3$ (masse de départ est de 16.6416mg) lorsque celle-ci est chauffée jusqu'à $900^\circ C$ à la vitesse de $10^\circ C$ par minute[4].

2.2.4. Analyse par granulométrie laser

La granulométrie a pour objet la détermination de la taille des particules élémentaires qui constituent les ensembles de grains de substances diverses et la fréquence statistique des différentes tailles de grains dans l'ensemble étudié. Ces mesures ont été réalisées par un granulomètre de type : Malvern Mastersizer2000/3000. la distribution des tailles des grains dans une gamme de taille comprise entre 0.02 μm et 2000 μm . [6,7].

2.3. Etude de l'activité photocatalytique de l'oxyde mixte LaFeO_3

La dégradation photocatalytique peut être réalisée par la lumière artificielle et l'ajout d'un catalyseur (LaFeO_3), ce qu'on va étudier dans ce section en vérifiant tout les facteurs pouvant influencés à cette méthode. L'évolution spectrale et les mesures de l'absorption des solutions préparées du colorant (bleu de méthylène), à différents temps de réaction et différentes méthodes, ont été suivies par spectrophotométrie. Le spectrophotomètre utilisé est de type Uviline 9400. Et les longueurs d'ondes étudiées sont comprises entre 200 – 800 nm.

Pour arrivé aux conditions optimales on va étudiée l'effet des différents paramètres sur l'activité photocatalytique du LaFeO_3 [7].

Pour estimer la capacité (l'activité) photocatalytique de l'oxyde mixte LaFeO_3 préparé par voie sol-gel, on prépare une solution du bleu de méthylène de concentration $C = 10^{-4}$ mol/l avec une masse $m = 0.0053\text{g}$ dans un volume de 500ml. On utilise des lampes avec des énergies lumineuses différentes : 7, 9, 12, 13 et 15w et on change la concentration de LaFeO_3 : 0.5, 1 et 2 mg/1ml. Aussi on va étudier l'influence de cristallinité de l'oxyde à différentes température de calcination : 500, 650, 800°C. Finalement l'évolution de la dégradation chaque 15min : 0, 15, 30, 45min, 1h, 1h15 jusqu'à 2h[8].

La Photodégradation du bleu de méthylène est suivie par la diminution de son absorbance dans l'UV à 292nm et dans le visible à 664nm.

3. Résultats et discussion

3.1 la diffraction des rayons X

Les figures 1, 2, 3 présentent les diffractogrammes de l'échantillon LaFeO_3 calcinés à 500°C, 650°C, 800°C.

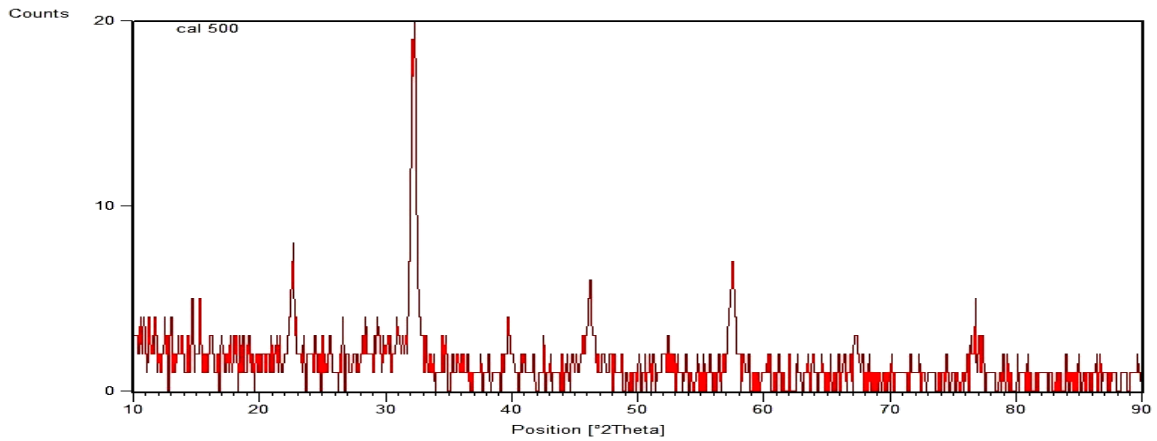


Figure 1 : diffractogramme de LaFeO_3 calciné à 500°C .

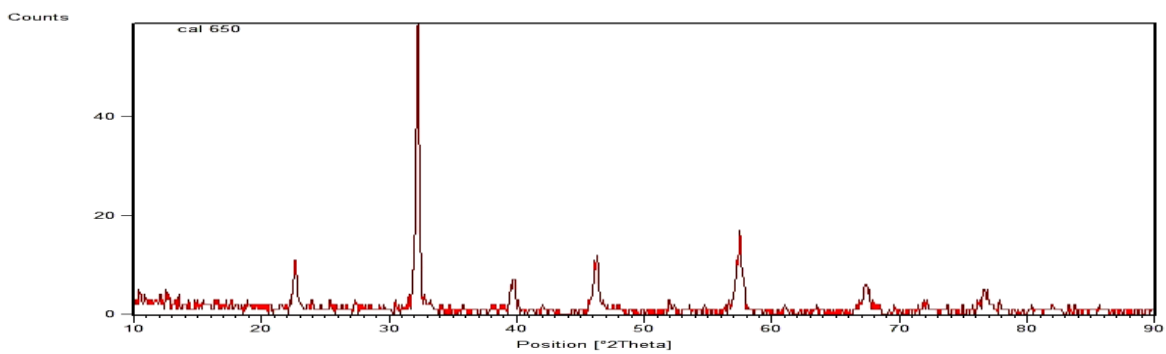


Figure 2 : diffractogramme de LaFeO_3 calciné à 650°C .

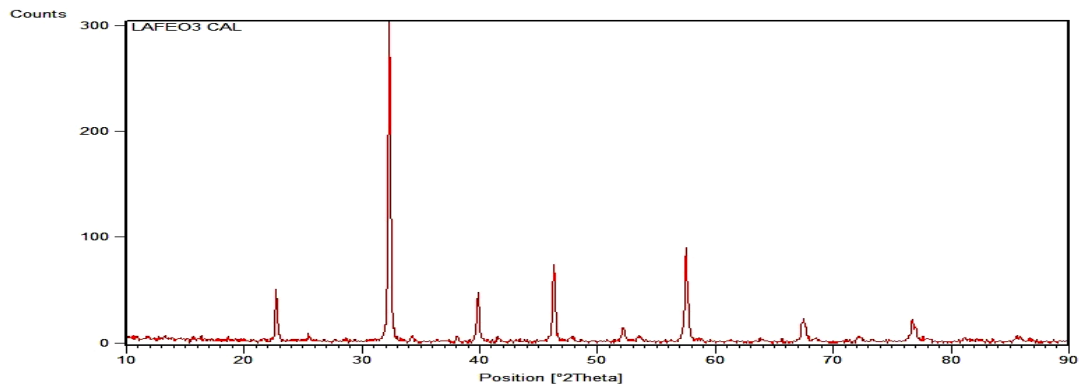


Figure 3 : diffractogramme de LaFeO_3 calciné à 800°C .

On comparant les diffractogrammes du LaFeO_3 calciné à différentes températures avec La fiche ASTM N° 00-037-1493, on observe que la phase obtenue est pure de type pérovskite d'une structure cristalline orthorhombique avec un groupe d'espace $Pnma$ et des paramètres $a=5.5669$ $b=7.8547$ $c=5.5530\text{\AA}$, ($\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$), comme le degré de cristallisation observé augmente avec l'élévation de la température de calcination. [9]

3.2 Spectroscopie Infrarouge FTIR

Les spectres infrarouges des composés LaFeO_3 préparés par sol-gel avant et après calcination à 500°C , 650°C et 800°C , sont représentés dans les figures suivantes :

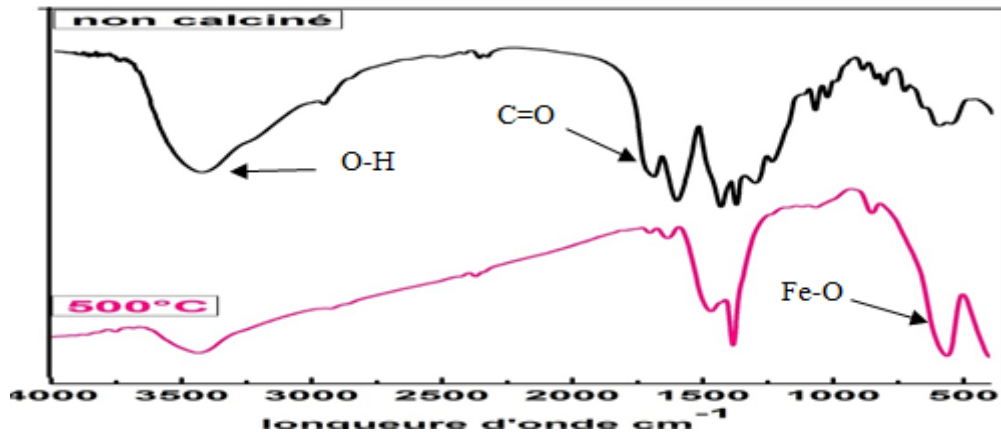


Figure 4 : Spectres infrarouges du LaFeO_3 avant et après calcination à 500°C

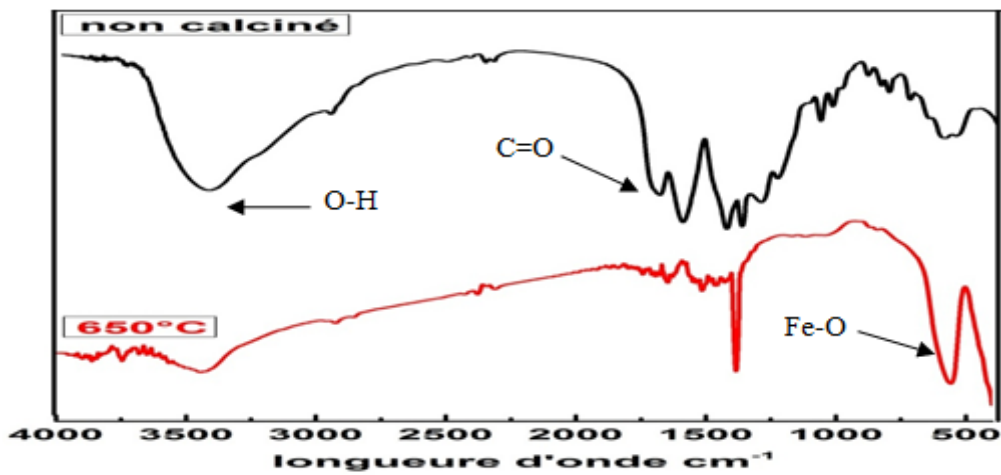


Figure 5 : Spectres infrarouges du LaFeO_3 avant et après calcination à 650°C

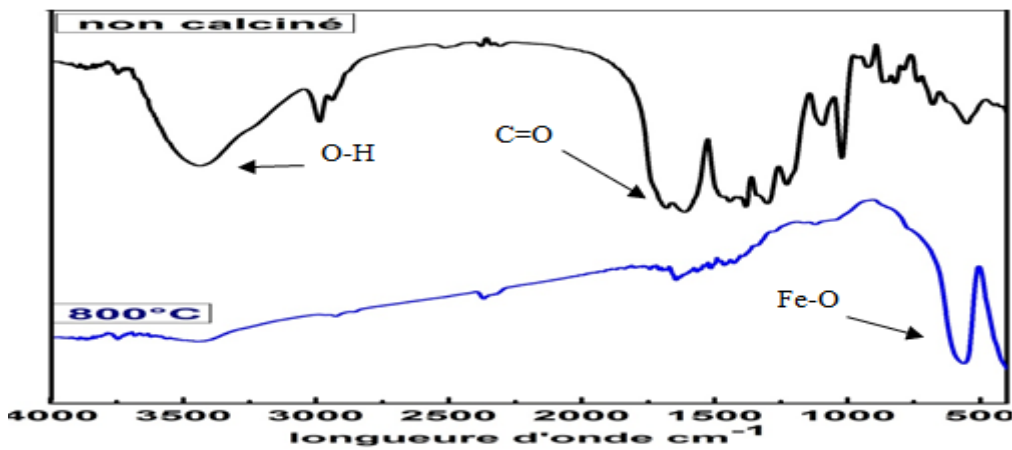


Figure 6 : Spectres infrarouges du LaFeO_3 avant et après calcination à 800°C

Les spectres infrarouges des composés LaFeO_3 préparés par sol-gel après calcination à 500°C , 650°C et 800°C , sont représentés dans la figure suivante :

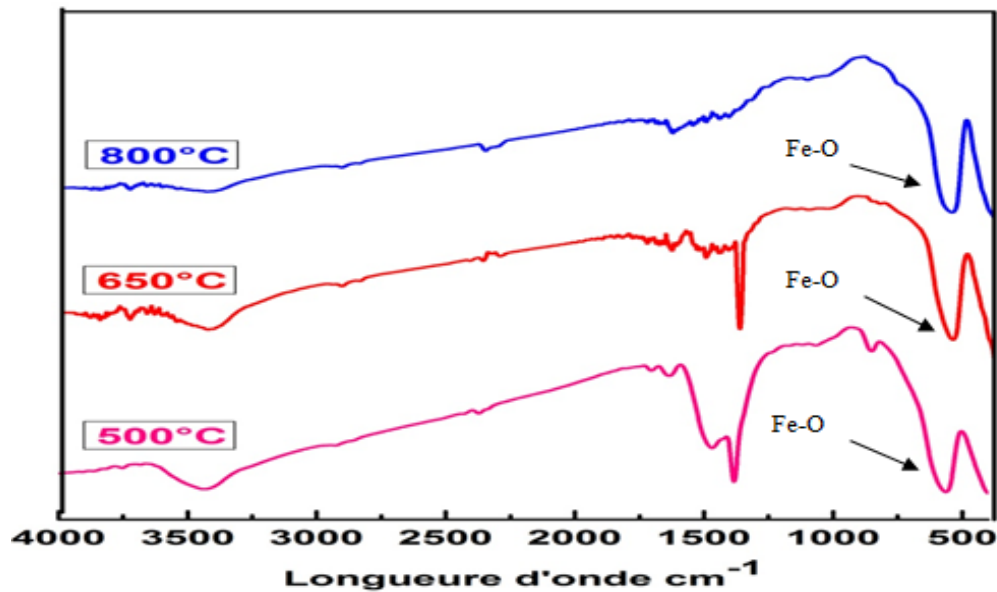


Figure 7 : Spectres infrarouges du LaFeO_3 après calcination à 500°C , 650°C , 800°C

Dans le spectre infrarouge du LaFeO_3 avant calcination on observe la présence d'une large bande à 3500 cm^{-1} caractéristique du groupement OH de l'eau absorbée par les molécules, l'éthanol ou l'acide citrique, ainsi une bande caractéristique à l'environ de 1670 cm^{-1} de la fonction carbonyle (C=O) de l'acide citrique, tandis que les spectres infrarouge de l'échantillon LaFeO_3 calciné à 500 , 650 et 800°C montre une bande d'absorption de valence à 560 cm^{-1} attribuée aux vibrations de la liaison (Fe–O) des octaèdres FeO_6 dans La pérovskite LaFeO_3 . avec un petit décalage pour le spectre de calcination à 500°C qui montre une la bande de vibration valence de la liaison Fe-O à 562 cm^{-1} . [10]

3.3 Analyse Thermogravimétrique (ATG)

L'analyse par ATG montre le comportement de la poudre LaFeO_3 (masse de départ est de 16.6416 mg) lorsque celle-ci est chauffée jusqu'à 900°C à la vitesse de 10°C par seconde. Le thermogramme obtenu est représenté dans la figure suivante :

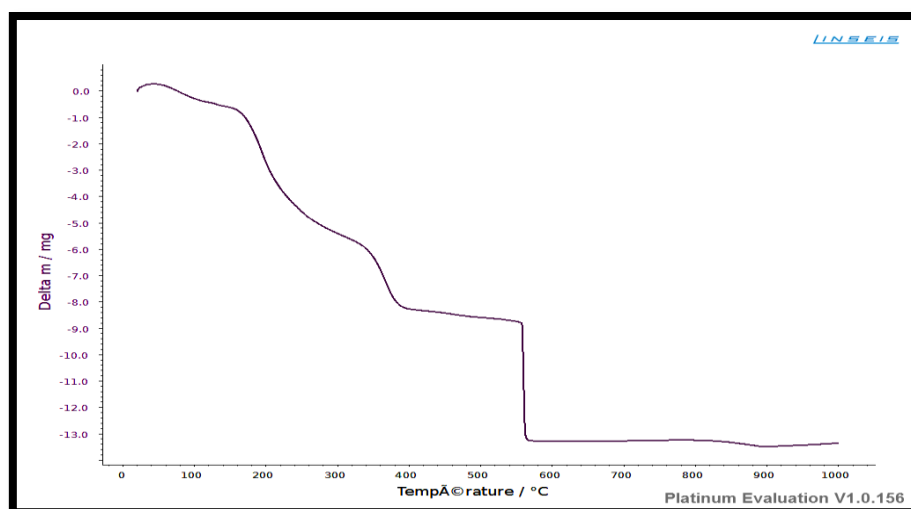


Figure 8 : Courbe ATG de la poudre $LaFeO_3$

On peut diviser l'évolution en 4 sections : la première partie entre 25-200°C, dans cette région on observe une perte de la masse (0 à 1 mg) peut être s'explique par une élimination de l'éthanol et une décomposition partielle de la chaîne d'acide citrique.

Pour la deuxième section il ya une perte de masse (2-8mg) entre 200-400°C, correspond à la décomposition de certains des nitrates puis On observe une perte dans la masse de la poudre entre 400-580°C (9-12mg) suivi par une petite stabilité. À partir de 13mg on remarque une grande stabilité entre 600-1000°C. [11]

Pourcentage de la perte de masse :

Le tableau suivant présente les pourcentages calculés de la perte de masse de l'oxyde $LaFeO_3$ pour chaque étape dans le thermogramme.

Tableau [1] : les pourcentages de la perte demasse de l'échantillon $LaFeO_3$

La masse (mg)	Pourcentage de la perte (%)	Température
16.6416	100	25-200°C
1	6.009	
2	12.018	200-400°C
3	18.027	
4	24.036	
5	30.045	
6	36.054	
7	42.063	
8	48.072	
9	54.081	400-580°C
10	60.090	
11	66.099	
12	72.108	580-1000°C
13	78.117	

3.4 Analyse par granulométrie laser

La figure suivante présente la distribution de taille des grains d'oxyde LaFeO_3 calciné à 500°C .

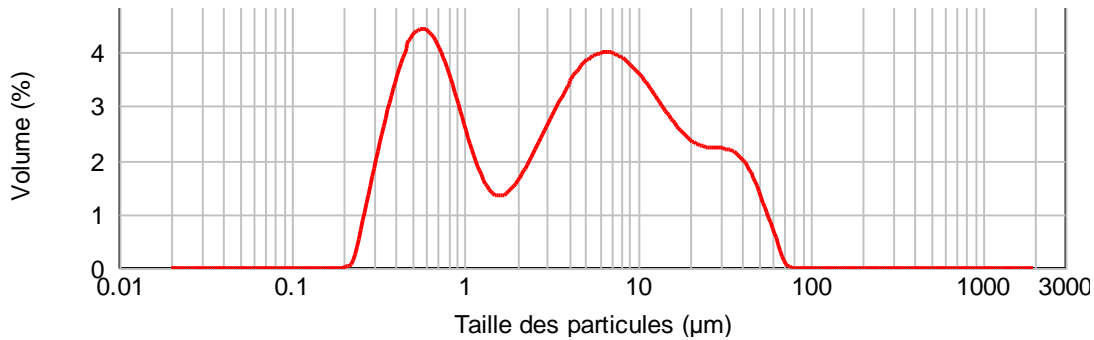


Figure 9 : Distribution granulométrique de l'oxyde LaFeO_3 calciné à 500°C

On remarque une répartition granulométrique trois modes en nombres de particules le premier mode dont le pic est centre à $0,75\ \mu\text{m}$ de la distribution volumique est $4,25\%$, suit d'un deuxième mode de 4% de la distribution dont le diamètre des particules est $7,5\ \mu\text{m}$, et d'un troisième mode de $2,25\%$ de la distribution dont le diamètre des particules est $75\ \mu\text{m}$.

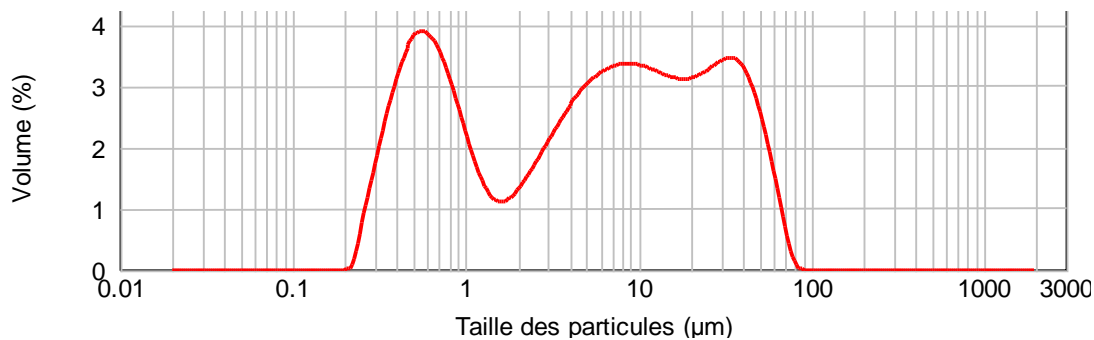


Figure 10 : Distribution granulométrique de l'oxyde LaFeO_3 calciné à 650°C

La figure, montre une répartition granulométrique trois modes en nombres de particules, le premier mode dont le pic est centre à $0,75\ \mu\text{m}$ de la distribution volumique est $3,9\%$, suit d'un deuxième mode de $3,25\%$ de la distribution dont le diamètre des particules est $7,5\ \mu\text{m}$, et d'un troisième mode de $3,5\%$ de la distribution dont le diamètre des particules est $60\ \mu\text{m}$.

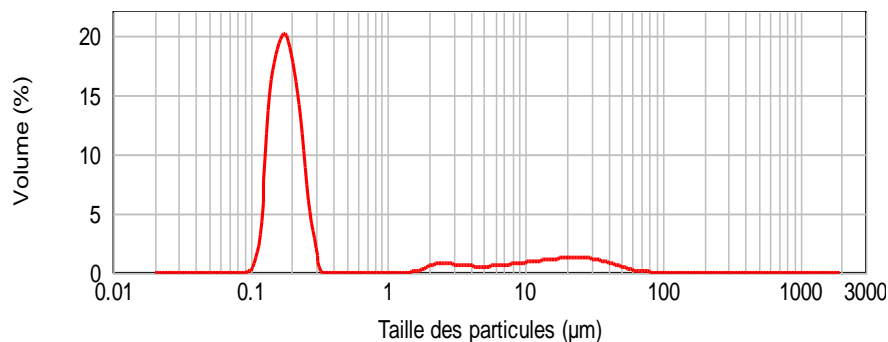


Figure 11 : Distribution granulométrique de l'oxyde LaFeO_3 calciné à 800°C

Les résultats portés sur la figure, montre une répartition granulométrique d'un seul mode des particules sur l'échelle nanométrique, le mode dont le pic est centré à 250nm de la distribution volumique est 20%.

Le tableau suivant, représente la taille des particules de LaFeO_3 calciné à 500°C, 650°C 800°C.

Tableau [2] : Les tailles des particules de LaFeO_3 calciné à différentes températures

Température de calcination	Taille des particules (μm)			Volume %		
	0.75	7.5	75	4.25	4	2.25
500°C	0.75	7.5	75	4.25	4	2.25
650°C	0.75	7.5	60	3.9	3.25	3.5
800°C	0.25			20		

A partir de la comparaison des résultats précédant on observe que seulement la poudre LaFeO_3 calciné à 800°C possède une population nanométrique par rapport celle calciné à 650 et 500°C qui ont une distribution micrométrique c'est-à-dire leur surface spécifique est très élevée, alors on conclure que la distribution dépend de la durée du broyage, le dispersion et la température du calcination. [12]

3.5 Etude de l'activité photocatalytique Du LaFeO_3

Pour l'activité photocatalytique, avant de faire les différents analyses, on a testé la dégradation du bleu de méthylène sans lumière et sans photocatalyseur pendant 24h, ou on a trouvé une stabilité dans l'absorbance du bleu de méthylène ce qui confirme que l'oxyde mixte LaFeO_3 fonctionne comme photocatalyseur.

Le tableau suivant présente l'évolution initial de la dégradation photocatalytique du BM avec et sans lumière pendant 24h.

Tableau [3] : les tests initiaux de la photodégradation du bleu de méthylène

t=0	$A_{\text{max}} = 1.349$	$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$
t =24h sans lumière	$A_{\text{max}} = 1.332$	$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$
t=24h avec lumière	$A_{\text{max}} = 1.263$	$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$

Les résultats obtenus montrent que le BM a été dégradé avec la lumière et donc une diminution à l'absorbance, pour le cas du BM sans lumière la dégradation a été presque

négligeable et la diminution de l'absorbance A_{max} est très faible pour cela on a essayé d'introduire l'oxyde $LaFeO_3$ comme photocatalyseur, et puis d'étudier les facteurs influençant à la réaction photocatalytique : la concentration de $LaFeO_3$, la luminosité, le temps, la cristallinité, pour avoir une diminution observable de l'absorbance et un meilleur résultat de la photodégradation.

3.5.1 Effet de la concentration de $LaFeO_3$

Pour l'étude de l'influence de la concentration sur la photodégradation on va changer chaque fois la concentration du $LaFeO_3$ (0.5, 1, et 2mg/1ml), avec une durée du traitement fixé par 1heur et une lampe de 15w.

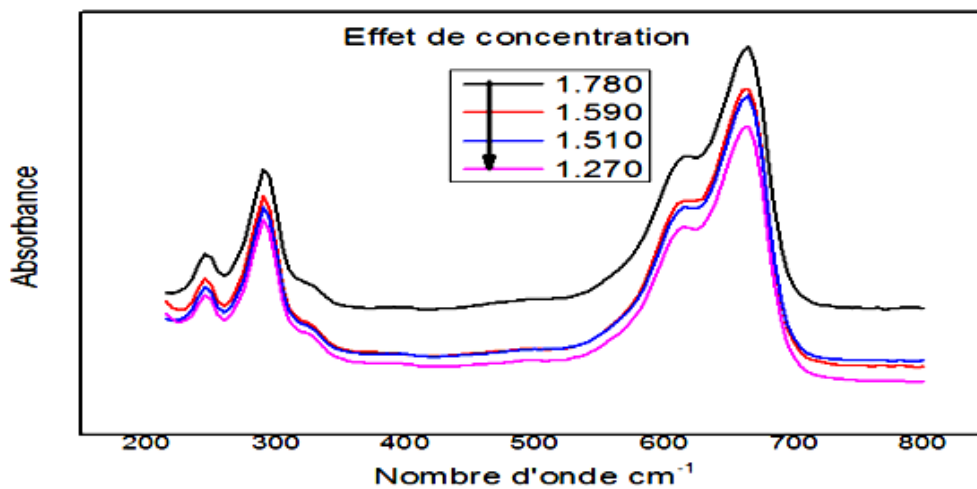


Figure 12 : Spectres UVvisible du BM photodégradé sous l'effet de la concentration du $LaFeO_3$ calciné à $800^{\circ}C$

On remarque que la diminution de l'absorbance du BM s'accompagne avec l'augmentation de la concentration en oxyde $LaFeO_3$, donc une bonne dégradation du BM dépend de l'augmentation de la concentration du catalyseur $LaFeO_3$.

Le tableau suivant présent les mesures de l'absorbance avec changement de concentration en oxyde $LaFeO_3$.

Tableau [4] : l'évolution de l'absorbance en fonction de la concentration

t=0	$A_{max}=1.780$	$\lambda_{max} =664nm$
C : 0.5mg/1ml	$A_{max}=1.590$	$\lambda_{max} =664nm$
C : 1mg/1ml	$A_{max}=1.510$	$\lambda_{max} =664nm$
C : 2mg/1ml	$A_{max}=1.270$	$\lambda_{max} =664nm$

3.5.2 Effet de La luminosité :

On utilise des lampes avec des énergies lumineuses différentes : 7w, 9w, 12w, 13w et 15w, avec une concentration du LaFeO_3 calciné à 800°C fixé de $2\text{mg}/1\text{ml}$, durant 1h.

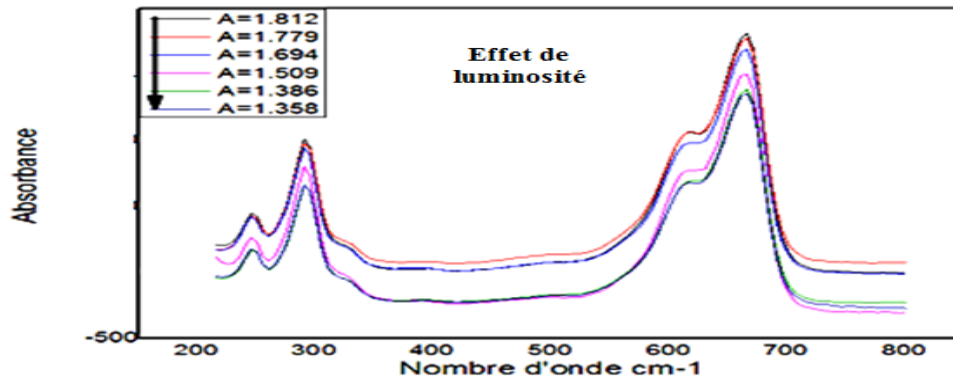


Figure 13 : Spectres UVvisible du BM photodégradé par du LaFeO_3 calciné à 800°C sous l'effet de la luminosité des lampes.

La lampe de 7w n'a pas une grande influence sur la photodégradation, dès que la luminosité va augmenter l'absorbance A_{max} se diminue plus, alors la dégradation du BM dépend de la croissance de l'énergie lumineuse.

Tableau [5] : l'évolution de l'absorbance en fonction de l'énergie lumineuse

t=0	7w	9w	12w	13w	15w
$A_{\text{max}}=1.812$	$A_{\text{max}}=1.779$	$A_{\text{max}}=1.694$	$A_{\text{max}}=1.509$	$A_{\text{max}}=1.386$	$A_{\text{max}}=1.358$
$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$	$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$	$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$	$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$	$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$	$\lambda_{\text{max}} = 664\text{nm}$

3.5.3 Effet du temps:

Dans ce cas la concentration est toujours fixé à $2\text{mg}/1\text{ml}$ et on utilise une lampe de 15w, par contre on va changer le facteur du temps et évaluer la dégradation et les mesures de l'absorbance chaque 15 pendant 2h.

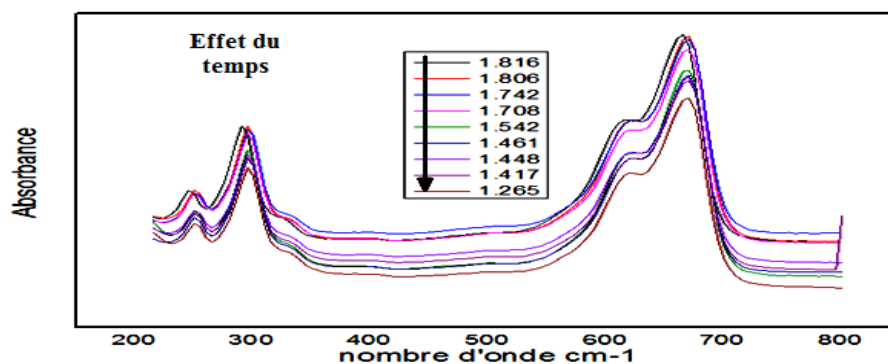


Figure 14 : Spectres UVvisible du BM photodégradé par LaFeO_3 calciné à 800°C en fonction du temps.

D'après ces résultats qui montrent une diminution de l'absorbance chaque 15min dans les mêmes conditions, la dégradation photocatalytique va toujours réaliser avec le temps en présence du catalyseur LaFeO₃. Les résultats cités dans le tableau suivant : [13]

Tableau [6] : l'évolution de l'absorbance en fonction du temps

t=0	A _{max} =1.816	λ _{max} =664nm	t=1h15min	A _{max} =1.461	λ _{max} =664nm
t=15	A _{max} =1.806	λ _{max} =664nm	t=1h30min	A _{max} =1.448	λ _{max} =664nm
t=30min	A _{max} =1.742	λ _{max} =664nm	t=1h45min	A _{max} =1.417	λ _{max} =664nm
t=45min	A _{max} =1.708	λ _{max} =664nm	t=2h	A _{max} =1.265	λ _{max} =664nm
t=1h	A _{max} =1.542	λ _{max} =664nm			

3.5.4. Effet de La cristallinité de LaFeO₃ :

Dans cette section on utilise l'oxyde du LaFeO₃ calciné à différentes températures 500°C, 650°C, et 800°C pour connaître comment la cristallinité du catalyseur influe sur la dégradation photocatalytique de BM. Avec les mêmes conditions : de concentration du LaFeO₃ (0.2mg/1ml), t= 1h, lampe de 15w.

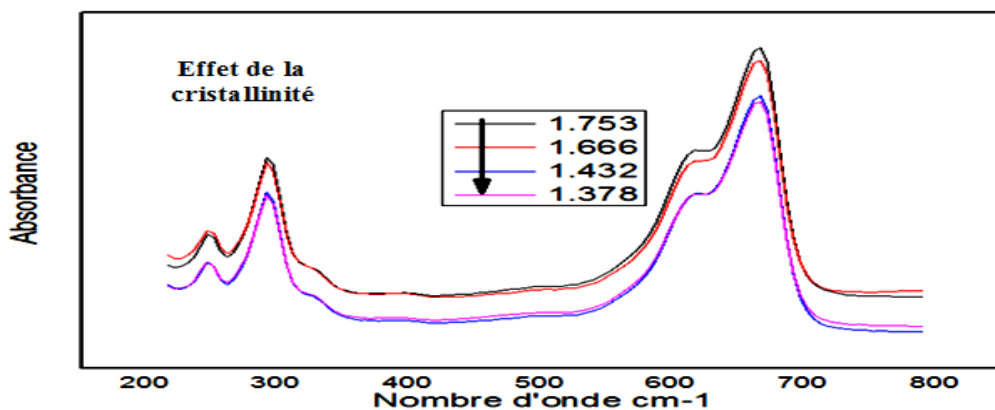


Figure 15 : Spectres UVvisible du BM photodégradé en fonction de la cristallinité du LaFeO₃ calciné à différentes températures 500°C, 650°C, et 800°C

D'après les résultats obtenus on trouve que l'absorbance A_{max} diminue avec l'augmentation de la température de calcination, donc une bonne cristallinité de LaFeO₃ nous donne une meilleure dégradation photocatalytique. Les résultats indiqués dans le tableau suivant : **Tableau [7] : l'évolution de l'absorbance en fonction de la cristallinité**

t=0	A _{max} =1.753	λ _{max} =664nm
500°C	A _{max} =1.666	λ _{max} =664nm
650°C	A _{max} =1.432	λ _{max} =664nm
800°C	A _{max} =1.378	λ _{max} =664nm

D'après l'étude de la photodégradation du bleu de méthylène par l'oxyde LaFeO_3 on conclure que le meilleur résultat se réalise lorsque : on a augmenté la concentration de LaFeO_3 , en croissance de l'énergie lumineuse, une bonne cristallinité des grains de l'oxyde, et chaque fois le temps passe la dégradation soit en mieux et l'absorbance va diminuer.

4. Conclusion

Au cours de ce travail, nous sommes intéressés à la synthèse et à la caractérisation d'une pérovskite de type LaFeO_3 , et d'étudier leur activité photocatalytique et l'effet de différents paramètres sur cette dernière au cours de la dégradation photocatalytique du bleu de méthylène dans l'eau.

Pour atteindre notre objectif on a choisi la méthode sol-gel citrate comme méthode de préparation, les échantillons préparés sont calcinés à trois températures différentes : 500, 650 et 800°C et ils ont été caractérisés par plusieurs techniques : la diffraction des rayons X (DRX), l'infrarouge FTIR, analyse thermogravimétrique (ATG), granulométrie laser, et l'UVvisible. L'analyse thermogravimétrique ATG nous a permis d'identifier le domaine de stabilité de la phase pérovskite pure en fonction de la température, dans le cas étudié le domaine de stabilité a été au de-là de 600°C. La diffraction des rayons X (DRX) nous a permis de déterminer les paramètres cristalliques des échantillons, où notre échantillon LaFeO_3 a une structure cristalline orthorhombique avec groupe d'espace Pnma et des paramètres $a=5.5669$, $b=7.8547$, $c=5.5530\text{Å}$, ($\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$). Pour l'analyse par infrarouge FTR du LaFeO_3 après calcination (500, 650, 800°C) il y a une apparition d'une bande de valence à 560cm^{-1} attribuée aux vibrations de liaison (Fe-O) des octaèdres FeO_6 . La distribution granulométrique du LaFeO_3 calciné à 800°C présente un seul mode dont le pic est centré à 250 nm.

Pour les tests photocatalytiques on conclure que la photodégradation du BM augmente avec l'augmentation de la concentration du photocatalyseur, l'énergie lumineuse des lampes utilisées, le temps et la cristallinité de l'oxyde LaFeO_3 .

5. Références

- [1] Bouzmit, Yazid. "Synthèse et caractérisation de pérovskites à base de Lanthane". Diss. université de jijel, 2007.
- [2] Garten, R.L., Dalla Betta, R.A., Schlatter, J.C., Ertl, G., H. Knozinger, Wertkamp, J.
- [3] Handbook of Heterogeneous Catalysis, vol.4, VCH, Weinheim. Germany, 1998.
- [4] Jean, Pierre. "plateforme d'analyse et de caractérisation Balard-polechimie Balard"

- [5] Rackel, San Nicolas. "Approche performmancielle des bétons avec métakaolins obtenu par calcination flash". Diss. Université Toulouse III ,2011.
- [6] Villiéras, F., et al. "An improved derivative isotherm summation method to study surface heterogeneity of clay minerals." *Langmuir* 13.5 (1997): 1104-1117.
- [7] CHATELET, Jacques. "Systèmes optroniques semi-actifs: Application du laser à la granulométrie." *Techniques de l'ingénieur. Electronique* 6.E4410 (1996): E4410-1.
- [8] Jean, Louis. <http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/mocanonical>.
- [9] Lebid, Mahmoud. Etude de l'influence des conditions de synthèses sur les propriétés physicochimiques du système LaFeO_3 . Diss. Université Mohamed Khider-Biskra, 2012.
- [10] Kamel, Rida. Synthèse, caractérisation et propriétés catalytiques des oxydes $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{CrO}_3$ (M= Sr et Ce). Diss. Thèse doctorat, Université Mentouri Canstantine, 2008.
- [11] Christophe, "Chlique. Préparation et caractérisation de poudres céramiques(oxy)sulfures pour applications en optique passive et active". Diss. Université de rennes 1,2011.
- [12] Rima, Hasseni. Effet de la température de calcination et de l'agent de complexation sur les propriétés structurales d'un oxyde mixte. Diss. Université Mohamed Khider-Biskra, 2013-2014.
- [13] Thirumalairajan, Subramaniam, et al. "Photocatalytic degradation of organic dyes under visible light irradiation by floral-like LaFeO_3 nanostructures comprised of nanosheet petals." *New Journal of Chemistry* 38.11 (2014): 5480-5490.