

Feuilleter (/chimie/journals/CRCHIM) des articles, des auteurs

Rechercher

Précédent

Feuilleter



Tome 23 (2020)



non. 6-7



p. 385-393

Suivant

Plan ▾

Mémoire

### Dégradation photocatalytique du bleu de coomassie G-250 par NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Nanocomposite de ZnO

Faten Eshrati Yeganeh (/chimie/search/%22Faten%20Eshrati%20Yeganeh%22-c/) ; Mohammad Yousefi (/chimie/search/%22Mohammad%20Yousefi%22-c/)  ; Malak Hekmati (/chimie/search/%22Malak%20Hekmati%22-c/) ; Maryam Bikhof (/chimie/search/%22Maryam%20Bikhof%22-c/)

Comptes Rendus. Chimie, **2020**, 23, non. 6-7, p. 385-393



(/chimie/article/CRCHIM\_2020\_\_23\_6-7\_385\_0.pdf)

## Résumé

Les photocatalyseurs NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ZnO et NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO ont été synthétisés et caractérisés avec succès par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, diffraction des rayons X, microscopie électronique à balayage et magnétométrie d'échantillons vibrants. Les photocatalyseurs préparés ont démontré une efficacité photocatalytique significative sous la lumière visible et UV. La vitesse de dégradation du colorant de NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO dans les gammes UV et visible a dépassé celle de ZnO et NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. De plus, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO a présenté la plus excellente efficacité photocatalytique vis-à-vis du bleu de Coomassie G-250. L'effet du pH sur la vitesse de dégradation du colorant a également été surveillé. En conséquence, 96,90% et 68,55% l'efficacité de la dégradation de colorants ont été obtenus par NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO en 30 minutes sous la lumière UV et visible, respectivement.

## Métadonnées

Détail

BibTeX

Comment citer

Reçu le : 2020-05-05

Révisé le : 2020-06-14

Accepté le : 2020-06-15

Publié le : 2020-11-10

DOI : <https://doi.org/10.5802/crchim.36> (<https://doi.org/10.5802/crchim.36>)

Mots clés: NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ Nanocomposites ZnO, Photocatalyseur, pH, Lumière visible, Lumière UV, Bleu de Coomassie G-250

## Texte intégral

### 1. Introduction

Récemment, la pollution de l'eau est devenue un problème très grave, qui a augmenté en raison des progrès scientifiques et de la croissance rapide de l'industrie. On estime qu'environ 40 000 tonnes de colorants se retrouvent dans les eaux usées. La croissance industrielle rapide a provoqué une pollution de l'environnement (en particulier la contamination de l'eau) due à la libération de composés toxiques tels que les colorants textiles, le caoutchouc, le plastique, les matières aromatiques et le papier, qui peuvent causer des dommages irréparables aux cellules humaines, entraînant des maladies telles que le cancer [ 1 , 2 , 3 , 4]. La présence de colorants et de pigments dans les ressources en eau a créé des problèmes importants qui ne peuvent pas être résolus de manière appropriée par les traitements conventionnels de l'eau. Par conséquent, une méthode pratique devrait être développée pour éliminer les effluents textiles contaminés par des colorants. Des études sur les eaux désinfectées au chlore ont indiqué que des sous-produits de désinfection sont produits à la suite de la réaction du chlore avec la matière présente dans l'eau. Divers procédés, tels que l'adsorption sur charbon actif, l'échange d'ions, la filtration par électrolyse, la biodégradation et la catalyse, ont été utilisés pour éliminer ces contaminants [ 5 , 6 , 7 ]. Parmi les diverses méthodes de séparation, les procédés d'oxydation, en particulier la photocatalyse, ont montré une supériorité sur les procédés de filtration conventionnels [8, 9].

Les semi-conducteurs sont utilisés dans l'oxydation photocatalytique pour une combinaison optimale de structure électronique appropriée, de propriétés d'absorption de la lumière et de la durée de vie de l'état excité. En général, le processus photocatalytique dans les semi-conducteurs repose sur la migration d'électrons et de trous vers la surface [ 10 , 11 , 12 ]. Cette migration conduit à la dégradation des polluants adsorbés par leur réduction ou oxydation [ 13 ]. Parmi les semi-conducteurs étudiés, le ZnO a été largement utilisé pour la photocatalyse de la gamme UV en raison de son activité photocatalytique appropriée, de ses propriétés de surface et de sa préparation facile [ 14]. Certains chercheurs ont rapporté la supériorité des photocatalyseurs ZnO par rapport aux autres points quantiques en raison de leur efficacité quantique supérieure, de leur non-toxicité, de leur stabilité chimique et de leur moindre coût [ 15 , 16 , 17 , 18 ]. Malheureusement, la large bande interdite du ZnO n'est pas adaptée à l'absorption de la lumière du soleil. De nombreuses tentatives ont été faites pour régler sa bande interdite entre les UV et le visible grâce à l'utilisation de métaux, de non-métaux et d'oxydes métalliques pour améliorer les performances du ZnO [ 19 , 20]. En raison de sa structure cubique, de sa saturation magnétique et de sa bande interdite étroite, la ferrite de nickel est une ferrite spinelle importante appropriée à cet effet. Une combinaison de points quantiques de ZnO et de ferrite de nickel a été configurée comme photocatalyseur semi-conducteur avec une activité améliorée sous la lumière visible [ 21 ]. De plus, la présence de ferrite de nickel facilite la photocatalyse dans l'eau car elle peut être facilement séparée par application d'un champ magnétique externe [ 18 , 22 , 23 , 24 , 25 ].

Jusqu'à présent, des études approfondies se sont concentrées sur l'amélioration de la photocatalyse des colorants par des hybrides magnétiques et quantiques. Des nanoparticules hybrides de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  ont été préparées par divers procédés, y compris un procédé solvothermique, un procédé hydrothermal simple, une synthèse par combustion et des techniques ultrasoniques de décoloration [ 26 , 27 ]. En raison du comportement photocatalytique prometteur du  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$ , ce nanocomposite magnétique a été synthétisé par de nombreux chercheurs dont Rahmayeni *et al.* [ 21 ], Adeleke *et al.* [ 9 ] et Hua-Yue Zhu *et al.* [ 15].

En comparaison avec d'autres photocatalyseurs, il semble que la photodégradation du bleu de Coomassie G-250 par des nanocomposites  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  diminue en présence de ZnO dopé La et Ce. De plus, l'intensité d'absorption diminue avec l'augmentation du temps d'irradiation. En revanche, aucune dégradation observable du colorant n'a pu être observée sous lumière visible en l'absence de photocatalyseurs dopés [ 28 ]. En présence de  $\text{TiO}_2$  dopé La et Mo , l'intensité d'absorption diminue avec l'augmentation de l'irradiation [ 29 ]. Malgré une augmentation de l'intensité d'absorption avec un temps d'irradiation amélioré dans  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$ , une dégradation plus efficace du colorant se produit en peu de temps en raison de la formation d'une liaison hétérogène entre les nanoparticules de ZnO et de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ . De plus, par rapport au P25 commercial, les nanocomposites  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  ont une photodégradation supérieure. Des études ont montré que le P25 commercial ne parvient à dégrader qu'une petite partie des colorants, tandis que les catalyseurs magnétiques dégradent les colorants à un pourcentage plus élevé [ 30]. Comme on le sait, le couplage de ZnO et de nanoparticules magnétiques conduit à un photocatalyseur semi-conducteur avec une activité améliorée. Par conséquent, les nanoparticules magnétiques / ZnO peuvent être une alternative utile au P25 commercial. En raison des propriétés magnétiques remarquables des ferrites, la récupération et la réutilisation des photocatalyseurs sont également possibles [ 30 ].

Dans cette recherche, le nanocomposite  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  a été préparé par des méthodes de solidification et de calcination à toutes les étapes, même pour la préparation de particules magnétiques de ZnO et de ferrite de nickel. Les nanoparticules ont été caractérisées par diffraction des rayons X (XRD), microscopie électronique à balayage, magnétométrie d'échantillons vibrants (VSM) et infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). La dégradation

photocatalytique des pigments au bleu de Coomassie G-250 a également été étudiée sous rayonnement visible et UV en utilisant  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , ZnO et  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$  pour examiner l'intérêt du nanocomposite  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ , qui n'a pas fait l'objet d'une enquête auparavant. De plus,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$  peut servir d'excellent nanocomposite pour la dégradation du colorant. Cependant, l'effet de divers paramètres tels que le pH, la teneur en catalyseurs et la durée de la dégradation du colorant n'a pas été étudié dans la dégradation photocatalytique du pigment bleu de Coomassie G-250. De plus, malgré des études approfondies sur la photodégradation du bleu de Coomassie G-250 à l'aide de différents photocatalyseurs, le nanocomposite  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$  n'a pas encore été étudié.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Matériaux

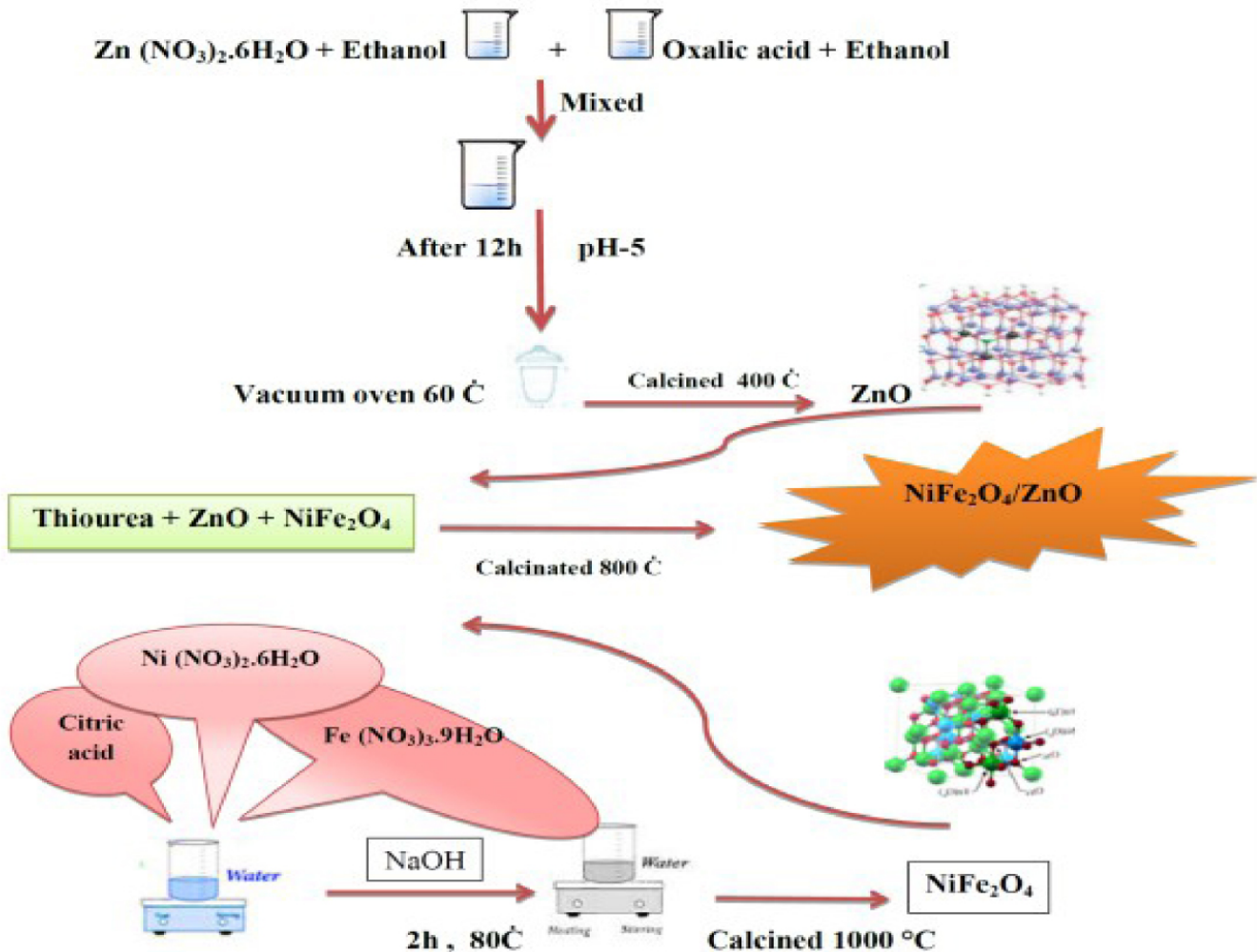
Pour la synthèse, les matières chimiques de départ utilisées dans ce travail sont  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , NaOH, éthanol, citrique acide, acide oxalique et thiourée (tous les matériaux ont été achetés auprès de Merck). Tous les réactifs sont analytiquement purs et sont utilisés sans autre purification.

### 2.2. Synthèse de nanoparticules magnétiques $\text{NiFe}_2\text{O}_4$

Pour préparer des nanoparticules de ferrite de nickel, 9,31 g de nitrate de nickel ont été dissous avec 20,17 g d'acide citrique et 25,86 g de nitrate de fer dans 150 ml d'eau distillée dans un grand bêcher en utilisant un agitateur magnétique pendant 1 h. Après dissolution complète, il a été soumis à un mouvement magnétique à une température de  $80^\circ\text{C}$  pendant 2 h. Ensuite, la solution pré-préparée (ammoniac: eau) a été ajoutée goutte à goutte en utilisant un décanteur jusqu'à ce qu'une valeur de pH de 7 soit atteinte. Après l'ajout de la solution d'ammoniaque, la température du réchauffeur a été ajustée à  $180^\circ\text{C}$  jusqu'à ce que la solution se transforme en gel foncé. Le gel a commencé à diminuer et à sécher après la poursuite du mouvement. Lorsque des particules de poudre ont éclaté de la surface, le chauffage a été arrêté. Le gel entier converti en cendres a été broyé par un mortier, et la poudre molle résultante a été calcinée pour éliminer les impuretés à  $1000^\circ\text{C}$  pendant 1 h.

### 2.3. Synthèse de ZnO

A ce stade, 2,97 g de  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a été dissous dans 50 ml d'éthanol par un agitateur magnétique pour la synthèse ZnO. Séparément, 1,26 g d'acide oxalique a été dissous dans 50 ml d'éthanol par un agitateur magnétique. Ces deux solutions ont été mélangées après dissolution complète par un agitateur magnétique; ainsi, un gel blanc de pH 5 a été obtenu. Il a été conservé pendant 19 h à température ambiante pour achever la réaction. Ensuite, il a été séché dans une étuve à vide à une température de  $60^\circ\text{C}$ . Une poudre blanche a été produite, qui a été broyée avec un mortier et calcinée à  $400^\circ\text{C}$  pendant 4 h. Après calcination, le précipité résultant a été rincé plusieurs fois avec de l'eau distillée et de l'acétone pour éliminer les contaminants et a été séché à température ambiante.



(/chimie/article/CRCHIM\_2020\_\_23\_6-7\_385\_0/jpg/src/tex/figures/fig01.jpg)

**Figure 1.**

Schéma de principe: synthèse du nanocomposite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO.

## 2.4. Synthèse de nanocomposite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO

Un gramme de thiourée a été complètement mélangé avec 2 g de ZnO et 0,1 g de nanoparticules magnétiques de ferrite de nickel et calciné pendant 8 h à 800 °C. Ceci a finalement conduit à un nanocomposite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO. La figure 1 montre schématiquement la synthèse du nanocomposite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO à partir de ferrite de nickel et de ZnO.

## 2.5. Caractérisation

L'analyse XRD des échantillons a été réalisée en utilisant STOE STADI-P avec un rayonnement Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$ ) à une vitesse de balayage de 0,02 ° / s et une plage de 2 $\theta$  de 20 à 80 ° à température ambiante. La microscopie électronique à balayage à émission de champ (FESEM) a été appliquée pour étudier les échantillons synthétisés. Les données de spectroscopie FTIR ont été enregistrées dans la plage spectrale de 400 à 4000 cm<sup>-1</sup> à l'aide d'un spectromètre Nexus 870. Les propriétés photocatalytiques du nanocomposite ont été évaluées par spectroscopie ultraviolette-visible à l'aide d'un spectrophotomètre UV-1700. Les propriétés magnétiques du nanocomposite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO et NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Les nanoparticules ont été mesurées à température ambiante par un dispositif d'interférence quantique supraconducteur Quantum Design MPMS-XL-7 dont le champ magnétique externe varie de -15 kOe à +15 kOe.

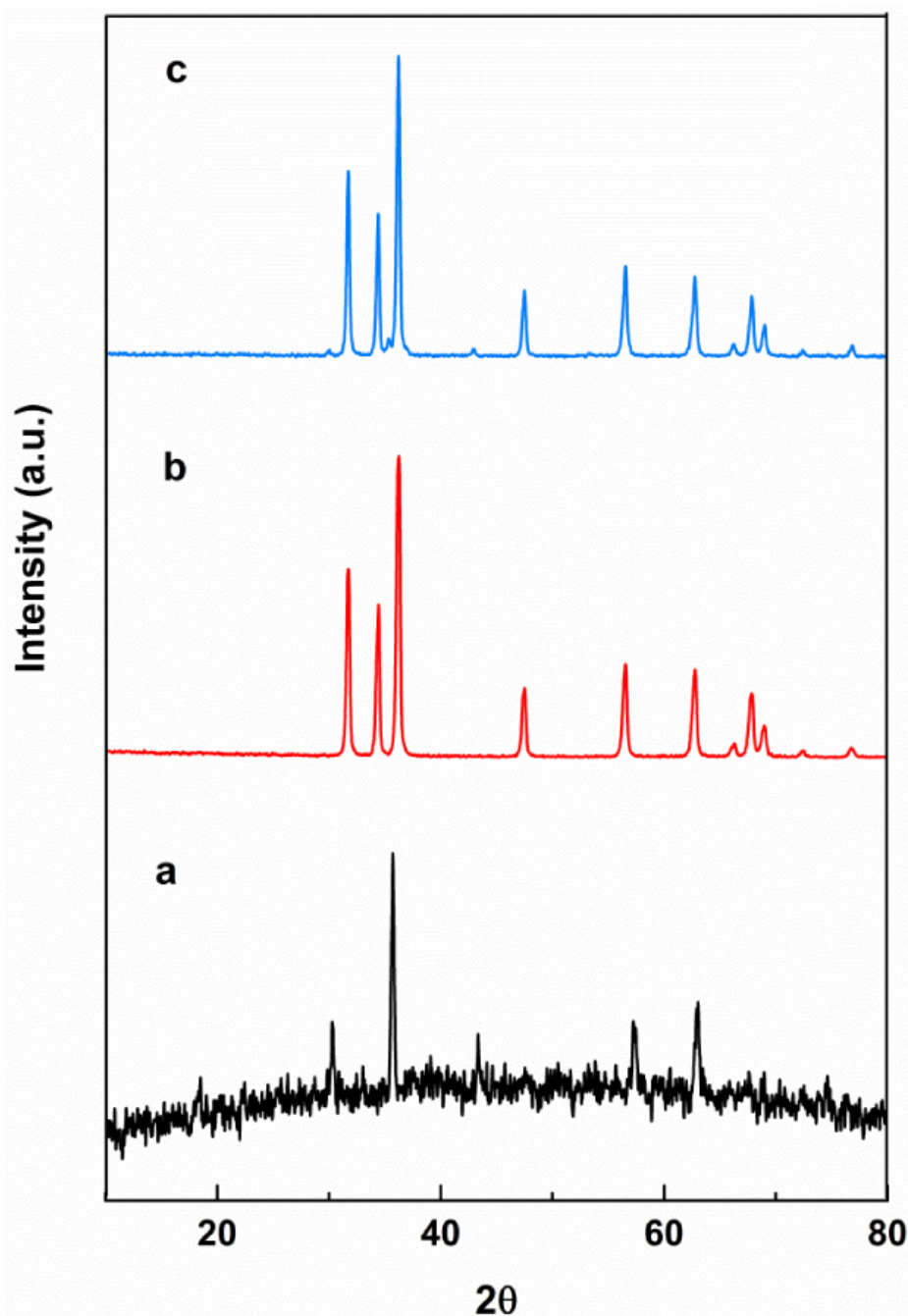
## 2.6. Test d'activité photocatalytique

L'activité photocatalytique des synthétisés NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ZnO et NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO a été étudiée en mesurant la dégradation de la solution de colorant bleu de Coomassie G-250. Pour chaque expérience, 0,025, 0,050, 0,075 et 0,1 g d'échantillons ont été dispersés dans 25 ml de la solution de colorant (8 ppm) dans un bain d'eau chaude (30 °C) sous la lumière visible d'une lampe à incandescence (200 W, 238,66 cd) et la lumière UV, puis étudié pendant 1 h. Deux millilitres d'échantillons ont été collectés après irradiation (à intervalles de 10 min) et centrifugés à 10 000 tr / min

pendant 5 min. Les surnageants ont été suivis en mesurant leur absorption par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 553 nm. Après avoir vérifié un échantillon différent ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$  et  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ ), la teneur optimale a été utilisée pour examiner la dégradation du colorant à diverses valeurs de pH (9, 7 et 3) avec la même procédure effectuée sur  $\text{ZnO}$  et  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  mais pour une période de temps différente. Le pourcentage de dégradation du colorant a été calculé selon (1).

$$\text{Degradation}(\%) = (A_0 - A) / A_0 \times 100, \quad (1)$$

où  $A_0$  est la concentration initiale de bleu de Coomassie G-250 et  $A$  est la concentration de bleu de Coomassie G-250 après  $t$  minutes.

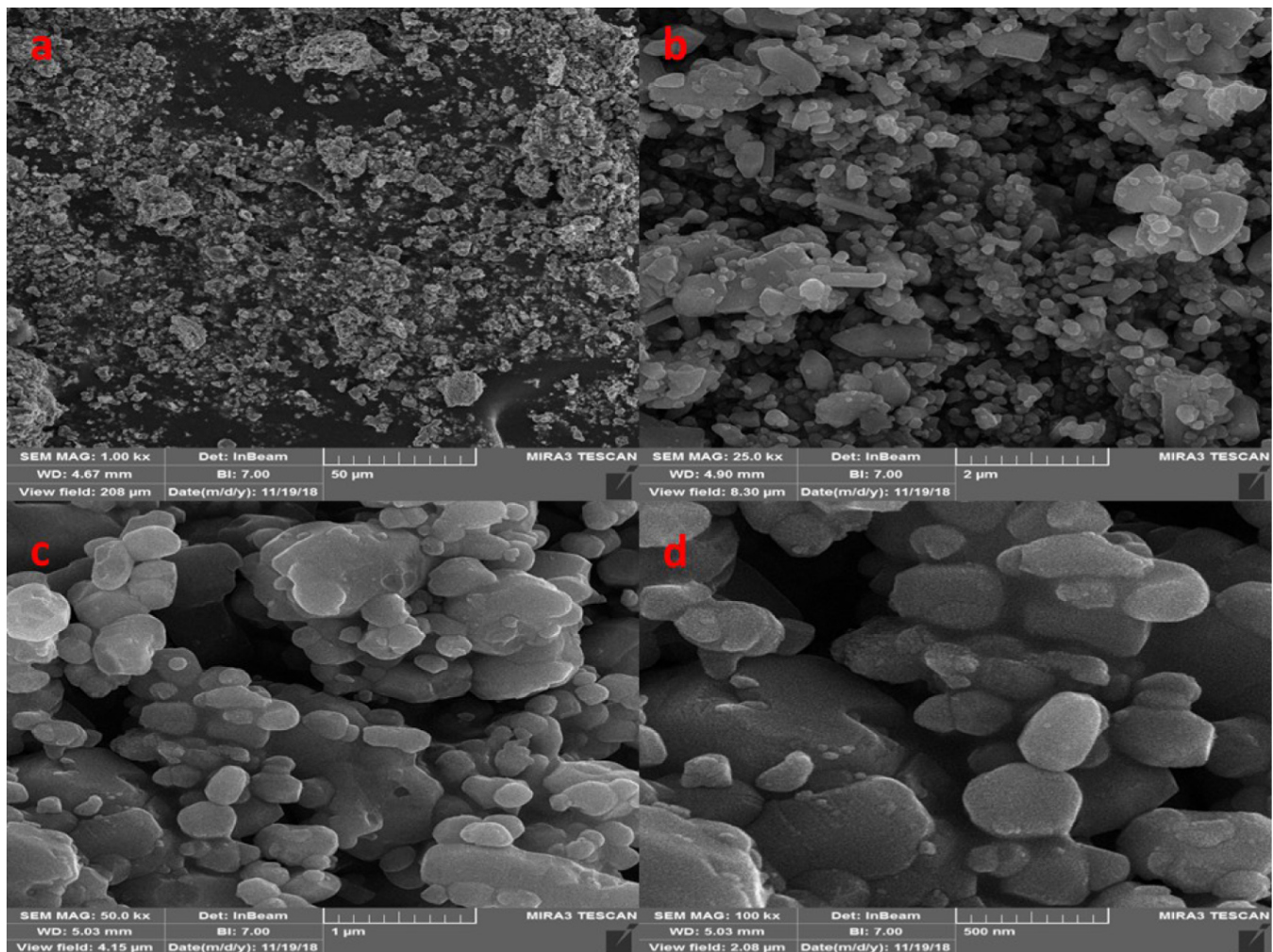


(/chimie/article/CRCHIM\_2020\_\_23\_6-7\_385\_0/jpg/src/tex/figures/fig02.jpg)

**Figure 2.**

Motifs XRD de (a)  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , (b)  $\text{ZnO}$ , et (c)  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ .





(/chimie/article/CRCHIM\_2020\_\_23\_6-7\_385\_0/jpg/src/tex/figures/fig03.jpg)

**Figure 3.**

Images FESEM du nanocomposite (a)  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , (b)  $\text{ZnO}$  et (c, d)  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$ .

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Analyse par diffraction des rayons X sur poudre

La figure 2 montre les motifs XRD du nanocomposite de ferrite de nickel, de  $\text{ZnO}$  et de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$ . Les pics de diffraction de l'échantillon à 2 valeurs  $\theta$  de  $31,64^\circ$ ,  $34,45^\circ$ ,  $36,30^\circ$ ,  $47,57^\circ$ ,  $56,57^\circ$ ,  $63,68^\circ$ ,  $67,91^\circ$  et  $69,04^\circ$  ont été indexés comme (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) et (201) plans, respectivement, correspondant au cristal hexagonal de  $\text{ZnO}$  (carte JCPDS n° 00-036-1451). Le diagramme XRD avec des valeurs  $2\theta$  de  $30,31^\circ$ ,  $35,71^\circ$ ,  $43,32^\circ$ ,  $57,24^\circ$ , et  $62,98^\circ$  pourraient être indexés respectivement sur les plans (220), (311), (410), (511) et (440), confirmant la présence de la structure cubique en ferrite de nickel (carte JCPDS n° 01-074-2081). Le motif nanocomposite présentait des pics de  $\text{ZnO}$  et  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ . Les pics de (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) et (201) appartiennent à la phase hexagonale de  $\text{ZnO}$ , tandis que les petits pics de (220), (311) et (410) sont associés à la phase spinelle de ferrite de nickel. Comparativement, aucun pic d'impureté visible n'a été observé. Un faible pic de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  à  $2\theta = 57,24^\circ$  (511) a disparu dans  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{Hybrides ZnO}$ . Ceci est en bon accord avec les résultats de Hua-Yue Zhu *et al.* [ 15 ]. Les tailles moyennes des nanoparticules  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$  et  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  étaient respectivement de 46,2, 58,2 et 49 nm, selon l'équation Debye-Scherrer ( 2 ).

$$D = k\lambda / \beta \cos \theta, \quad (2)$$

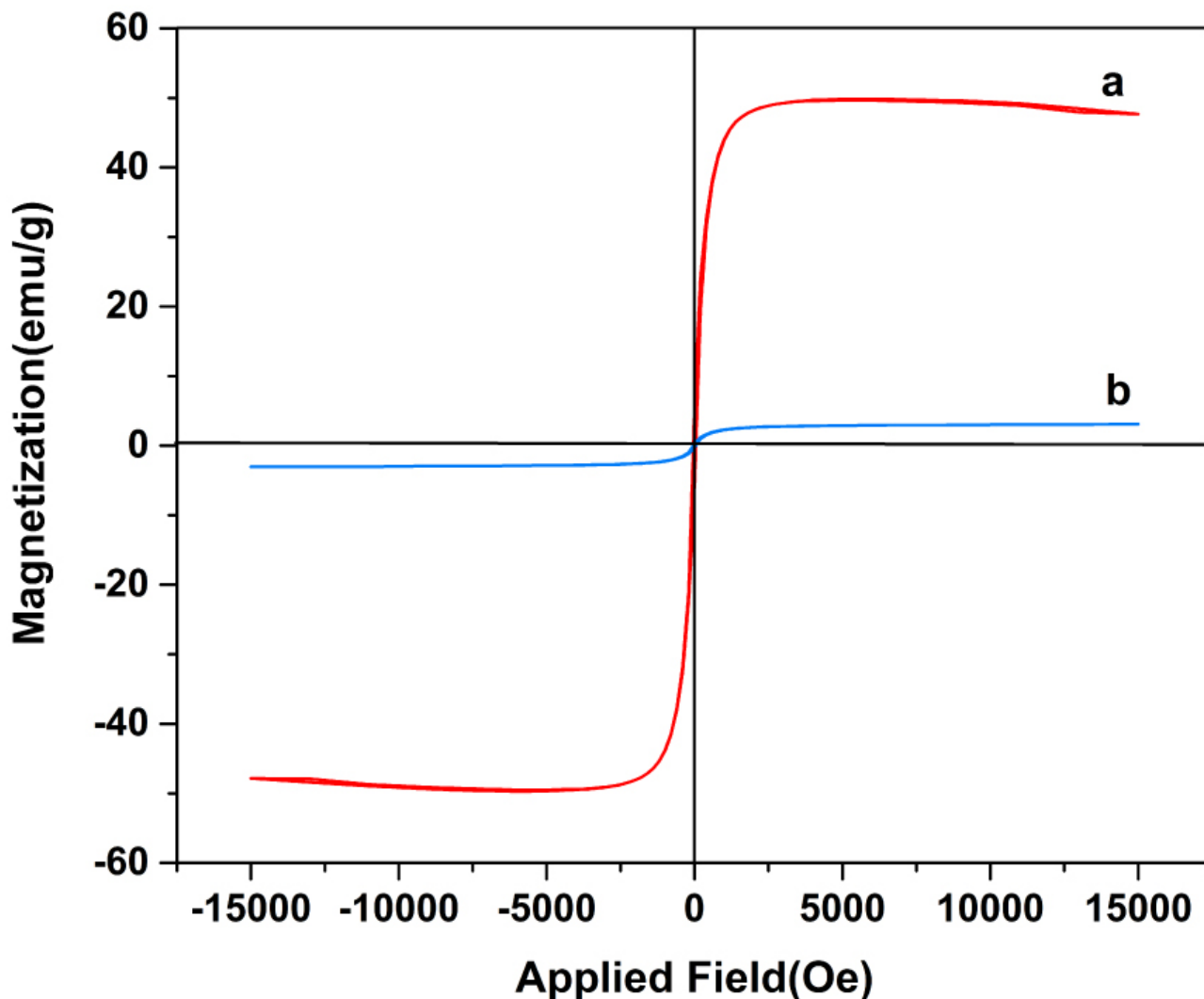
où  $D$  désigne la taille cristalline,  $\beta$  est la pleine largeur à mi-hauteur,  $K$  est le facteur de forme,  $\theta$  représente l'angle de Bragg correspondant au pic, et  $\lambda$  est la longueur d'onde des rayons X.

#### 3.2. Morphologie des nanoparticules

La morphologie des nanoparticules a été analysée par FESEM. Toutes les images sont présentées dans la figure 3. L'image FESEM de ZnO montre la structure de nanoparticules hexagonales d'une taille de 48 à 52 nm. L'image FESEM de nanoparticules de ferrite de nickel montre une structure cubique d'une taille de 25 à 31 nm et l' image nanocomposite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / ZnO montre différentes densités et morphologies. La raison de la différence de densité est due à l'absorption magnétique entre le ferrite de nickel et l'oxyde de zinc.

### 3.3. Analyse des propriétés magnétiques

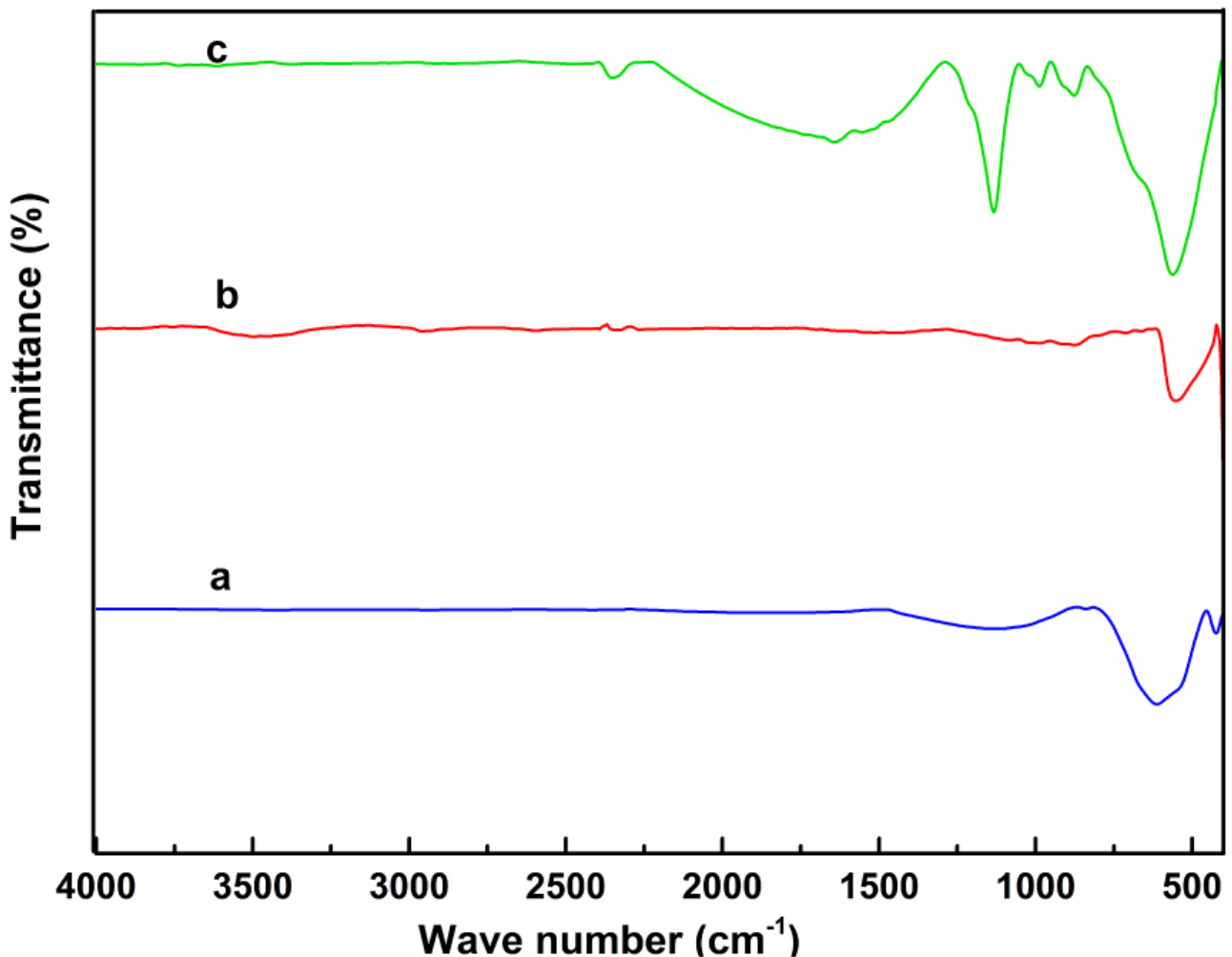
La figure 4 représente le VSM des nanoparticules, du ferrite de nickel et du nanocomposite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / ZnO. Le magnétisme saturé des nanoparticules de ferrite de nickel seules (49,86 emu / g) est plus élevé que celui des nanocomposites saturés (3,09 emu / g). Le ZnO est bien identifié comme un matériau diamagnétique, tandis que les nanoparticules de ferrite de nickel synthétisées sont ferromagnétiques. Les propriétés paramagnétiques des nanocomposites sont dues à la liaison ferromagnétique de ferrite de nickel au ZnO diamagnétique. Les propriétés magnétiques du nanocomposite facilitent le processus de séparation du catalyseur du liquide.



(/chimie/article/CRCHIM\_2020\_\_23\_6-7\_385\_0/jpg/src/tex/figures/fig04.jpg)

**Figure 4.**

Courbes de magnétomètre à échantillon vibrant de nanocomposite (a) NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> et (b) NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / ZnO.



(/chimie/article/CRCHIM\_2020\_\_23\_6-7\_385\_0/jpg/src/tex/figures/fig05.jpg)

**Figure 5.**

Courbe spectrale FTIR de (a)  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , (b)  $\text{ZnO}$  et (c)  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$ .

### 3.4. Analyse FTIR

L'interaction du ferrite de nickel et de l'oxyde de zinc dans le nanocomposite a été étudiée en utilisant le spectre FTIR. Ceci est illustré à la figure 5. Le pic du spectre du nanocomposite à  $562\text{ cm}^{-1}$  est associé à une vibration d'étirement du  $\text{ZnO}$  ou à une combinaison de  $\text{ZnO}$  et de ferrite. Les pics à  $876\text{--}987\text{ cm}^{-1}$  sont attribués à la section de 1, 3 cycles aromatiques métalliques. Les pics à  $1133\text{--}1644\text{ cm}^{-1}$  indiquent l'OH à la surface et les bandes à l'extérieur de la surface. Le pic négligeable à  $2351\text{ cm}^{-1}$  pourrait être attribué au  $\text{CO}_2$  atmosphérique. Dans le cas de la ferrite de nickel, les pics à  $424\text{--}440\text{ cm}^{-1}$  et  $580\text{--}600\text{ cm}^{-1}$  sont attribués à la vibration d'étirement de la liaison oxygène-métal ( $\text{Fe}^{3+} - \text{O}^{2-}$ ) dans les sites tétraédriques et octaédriques, respectivement. Le pic dans la région de  $1055$  à  $1130\text{ cm}^{-1}$  est lié à la vibration de flexion OH. Les résultats sont en bon accord avec ceux obtenus par Adeleke *et al.* [9].

## 4. Activité photocatalytique

L'activité photocatalytique de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$  et  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  a été évaluée par la dégradation du colorant bleu de Coomassie G-250 sous la lumière visible d'une lampe à incandescence et la lumière UV. Comme observé sur la figure 6 (a), lorsque différents contenus d'échantillons ont été exposés à la lumière UV, en présence de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , le pourcentage de dégradation du bleu de Coomassie G-250 était de 15,5%. Cela ne montre aucune augmentation significative de la dégradation du bleu de Coomassie G-250. Le  $\text{ZnO}$  pur a présenté une dégradation de 40,01% du bleu de Coomassie G-250. Cependant, la dégradation du bleu de Coomassie G-250 a été rapidement augmentée lors de l'ajout de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{Nanocomposite}$  de  $\text{ZnO}$  (86,15%). Les résultats indiquent que l'activité photocatalytique des nanocomposites  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  est supérieure à celle du  $\text{ZnO}$  pur et du  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ . De plus, en augmentant la teneur en photocatalyseur, le pourcentage de dégradation du bleu de Coomassie G-250 a augmenté pendant 1 h. En outre, les résultats de l'activité photocatalytique de différents contenus d'échantillons sous la lumière visible des lampes à incandescence (figure 6 (b)) étaient similaires à ceux de la lumière UV mais avec un pourcentage de



dégradation moindre du colorant bleu de Coomassie G-250. Ces résultats indiquent que l'activité photocatalytique du composite est améliorée grâce à la formation d'une liaison hétérogène entre ZnO, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> et le nanocomposite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO. Cela a permis au composite de servir de bon agent photoactif sous la lumière UV et visible.

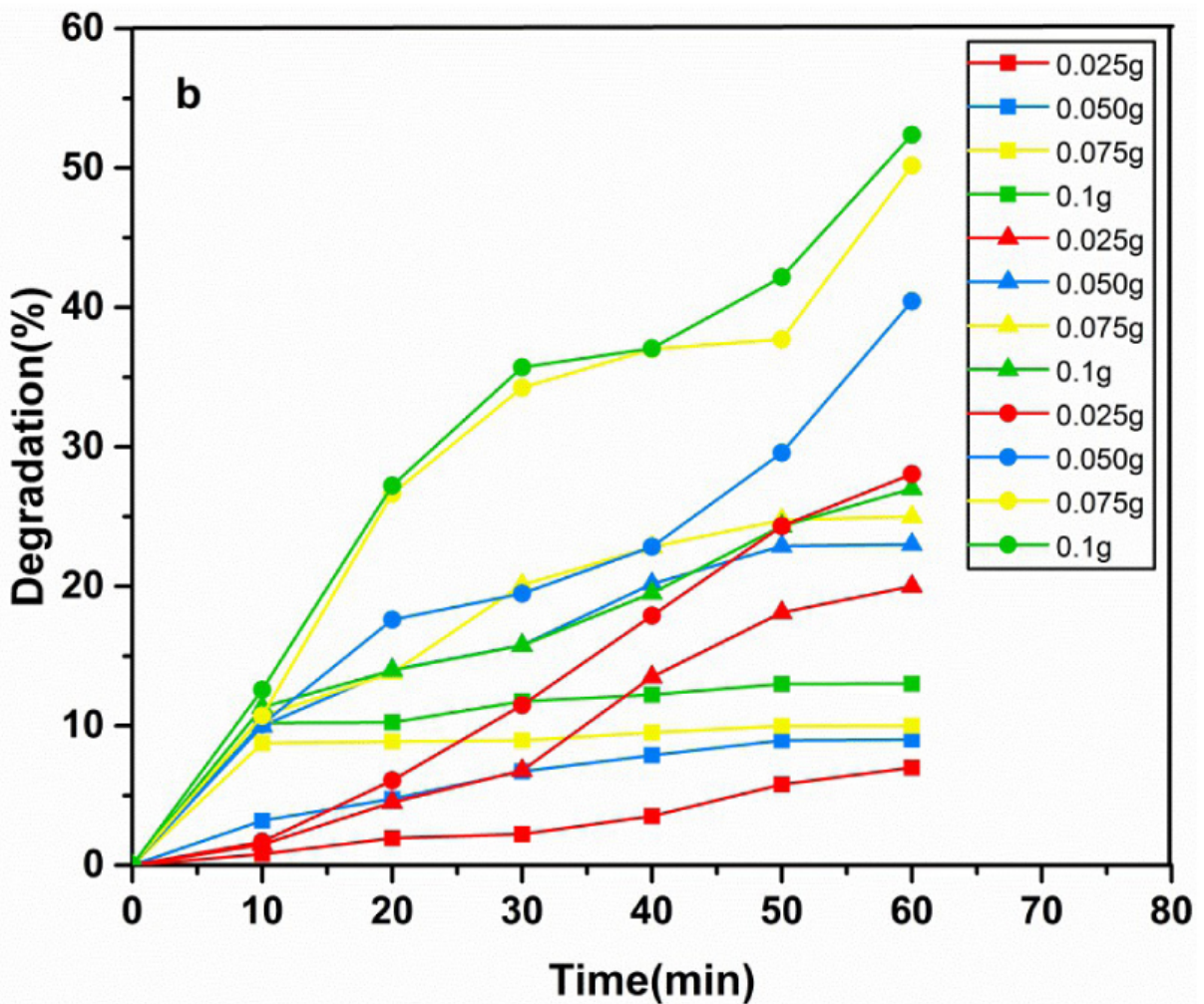
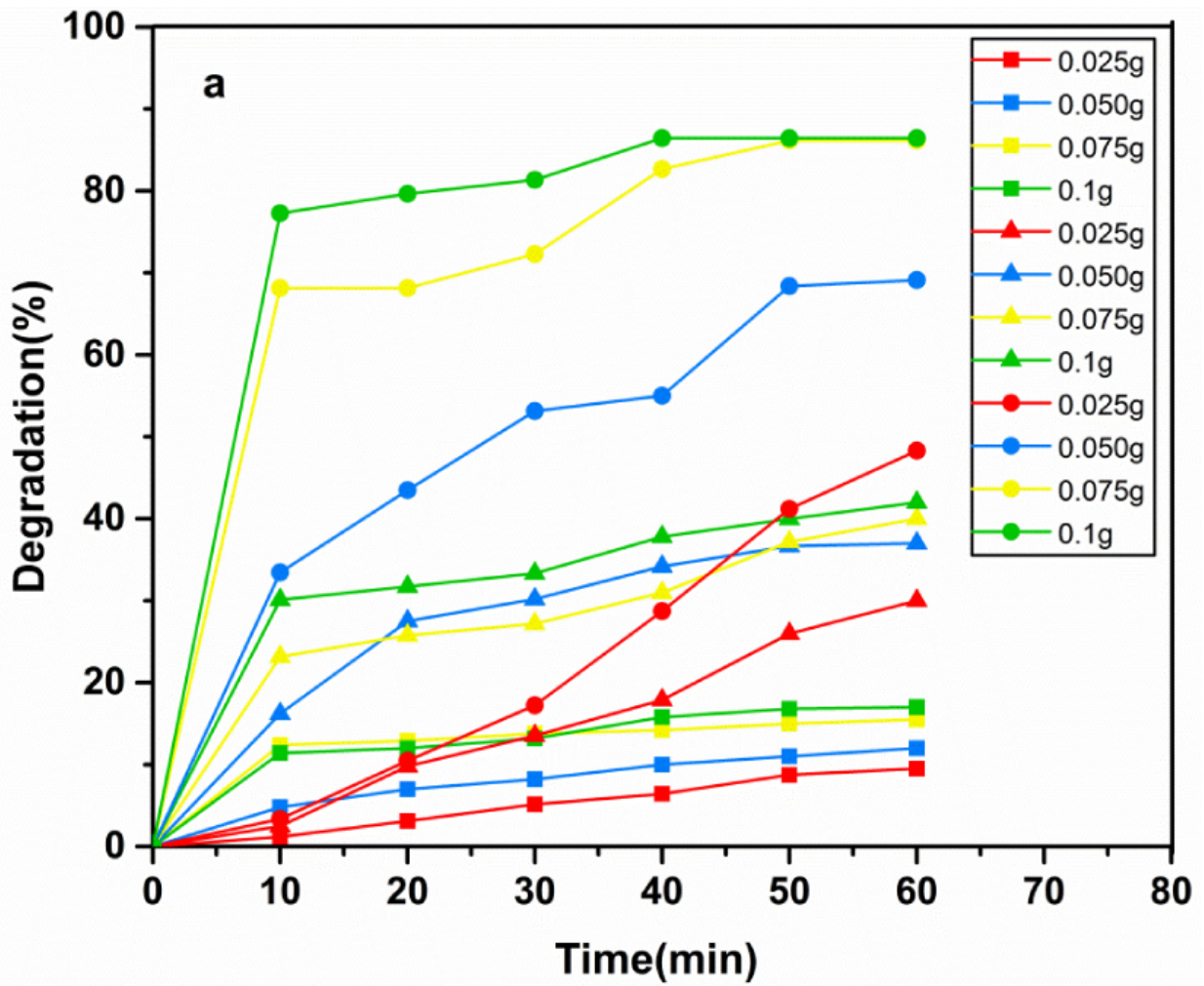
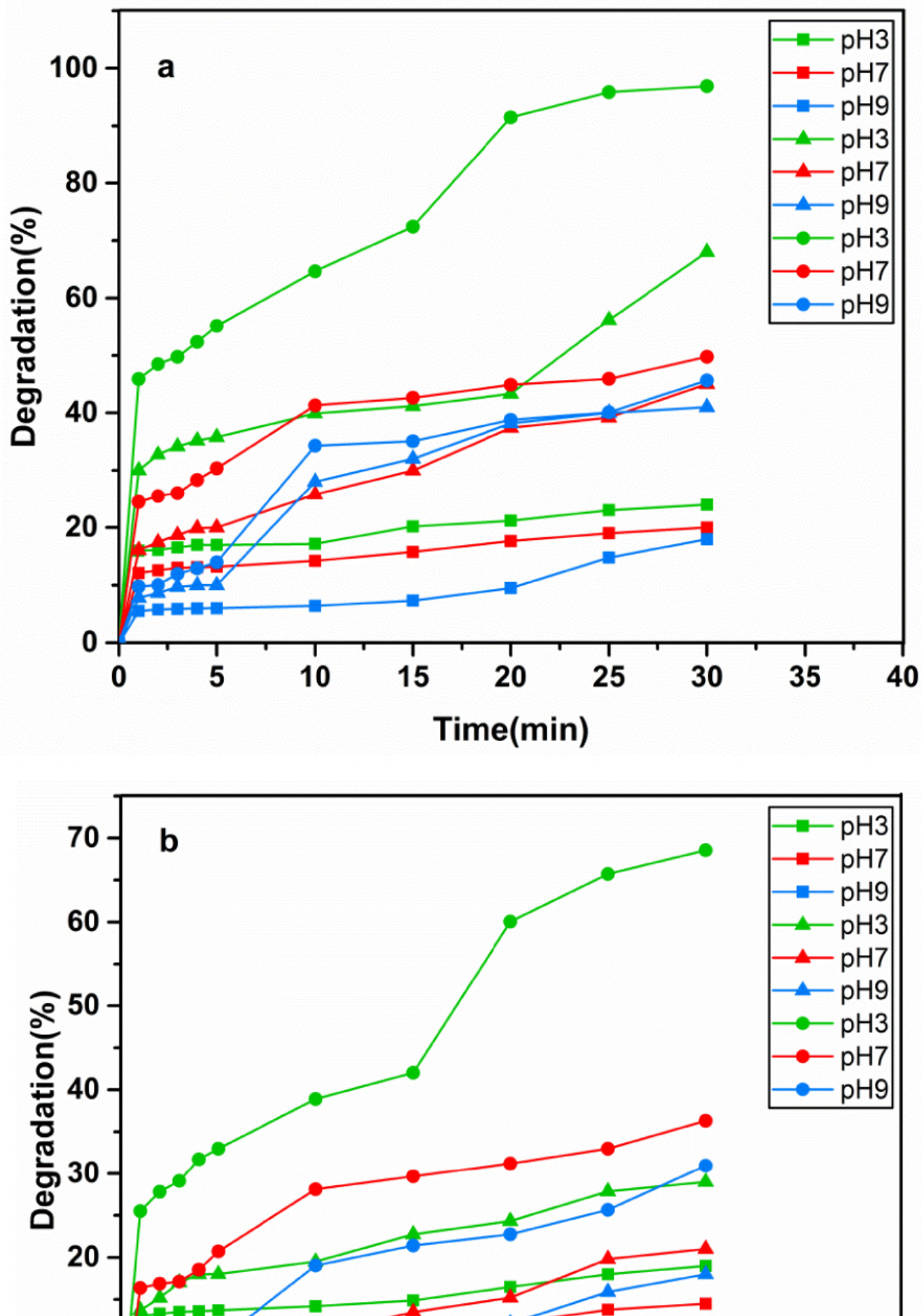
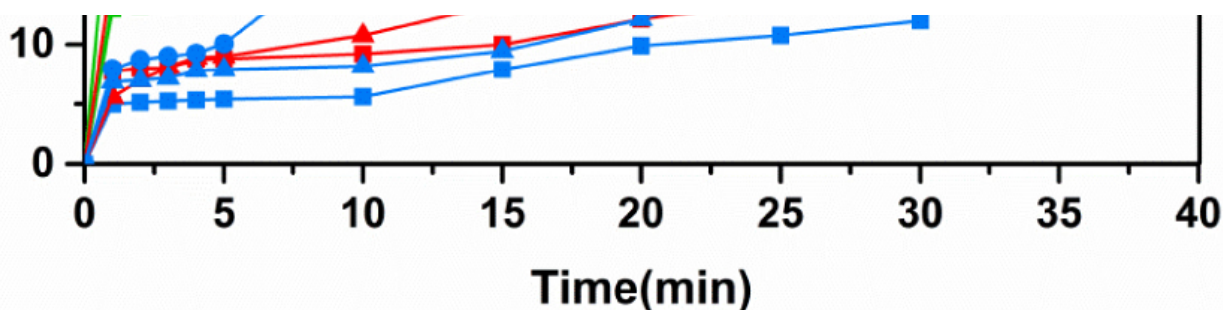




Figure 6.

Le pourcentage de dégradation du bleu de Coomassie G-250 pour différentes quantités de  $\blacksquare$   $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\blacktriangle$   $\text{ZnO}$  et  $\bullet$   $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  sous (a) la lumière UV et (b) la lumière visible.

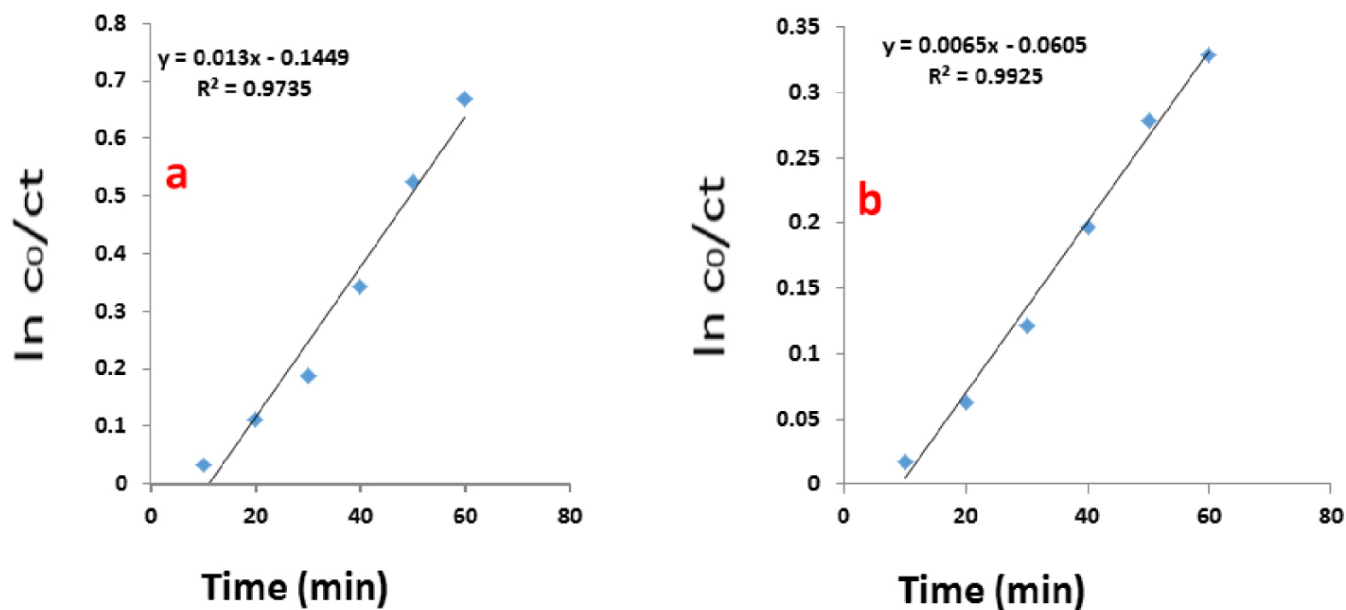




(/chimie/article/CRCHIM\_2020\_\_23\_6-7\_385\_0/jpg/src/tex/figures/fig07.jpg)

**Figure 7.**

Le pourcentage de dégradation du colorant bleu de Coomassie G-250 pour diverses valeurs de pH de  $\blacksquare$   $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\blacktriangle$   $\text{ZnO}$  et  $\bullet$   $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  sous (a) irradiation aux UV et (b) irradiation à la lumière visible.



(/chimie/article/CRCHIM\_2020\_\_23\_6-7\_385\_0/jpg/src/tex/figures/fig08.jpg)

**Figure 8.**

Tracé ( $\ln C_0/C$ ) pour la dégradation du bleu de Coomassie G-250 en utilisant  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  comme catalyseur sous (a) la lumière UV et (b) la lumière visible.

#### 4.1. Étude du pH

Le rôle du pH dans la dégradation des colorants par  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$  et  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  a également été étudié.  $\text{NaOH}$  0,1 M et  $\text{HCl}$  0,1 M ont été utilisés pour ajuster le pH et évaluer le comportement photocatalytique dans trois environnements: acide, neutre et alcalin. Les résultats de l'échantillonnage à différents intervalles de temps sous lumière UV (Figure 7(a)) démontrent que le pourcentage de dégradation du bleu de Coomassie G-250 était plus efficace en milieu acide (pH 3) pour tous les échantillons. L'efficacité de dégradation diminuait avec l'augmentation du pH. Cela peut être dû à la forme ionique du bleu de Coomassie G-250 dans le milieu acide avec des charges de surface positives et donc des interactions électrostatiques dans l'environnement acide par rapport à l'environnement alcalin dans lequel le colorant est sous forme anionique et est chargé négativement. Par conséquent, contrairement à la plupart des colorants organiques, le colorant étudié présentait une meilleure dégradation dans les environnements acides. De plus, en présence de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , le pourcentage de dégradation du bleu de Coomassie G-250 était de 24%, ne présentant aucune augmentation significative par rapport à celui du  $\text{ZnO}$  pur (68%). Cependant, dans le cas du  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{ZnO}$  nanocomposite, la dégradation du bleu de Coomassie G-250 a montré une augmentation rapide à 96,90%. En diminuant le pH et par la combinaison de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  avec  $\text{ZnO}$ , les performances de dégradation ont été améliorées. De plus, l'activité photocatalytique des échantillons a été étudiée à la teneur optimale en photocatalyseur (0,075 g) dans des conditions similaires mais en utilisant la lumière visible d'une lampe à incandescence. D'après la figure 7(b), on peut observer que la dégradation du colorant des échantillons était similaire à celle sous la lumière UV, car la dégradation était augmentée avec la diminution du pH. Tel qu'observé, la plus forte dégradation du bleu de Coomassie G-250 s'est produite dans l'environnement acide (pH 3) en raison de la forme ionique du colorant et de ses

interactions électrostatiques avec l'environnement acide. En augmentant le pH, la vitesse de dégradation photosynthétique organique du colorant organique a été lentement diminuée. Cette tendance peut être attribuée aux interactions électrostatiques dépendant du pH entre le colorant et le photocatalyseur. La cinétique de la réaction photocatalytique a également été évaluée sous rayonnement visible et UV comme présenté à la figure 8(un B). L'effet de la concentration initiale de colorant sur la vitesse de dégradation photocatalytique pour les cas mentionnés ci-dessus peut être décrit par le modèle cinétique du premier ordre. Le taux constant pour chaque photocatalyseur a été calculé selon la relation de Langmuir ( 3 ).

$$\ln C_0 / C = k \times t, \quad (3)$$

où  $C_0$  est la concentration initiale du colorant,  $C$  est la concentration secondaire au temps  $t$  et  $k$  est le taux constant. La constante de corrélation pour la lumière UV a été calculée comme  $R^2 = 0,9735$  et celle pour la lumière visible a été calculée comme  $R^2 = 0,9925$ .

## 5. Conclusions

Dans cette recherche, des nanoparticules de ZnO et de ferrite de nickel magnétique ont été préparées par des méthodes de solidification et de calcination. Ensuite, le nanocomposite a été synthétisé par une méthode simple à l'état solide. Il est à noter que la calcination a été utilisée à toutes les étapes de la synthèse pour les nanoparticules et les nanocomposites. La taille des nanoparticules était inférieure à 50 nm. Des études microstructurales ont indiqué que le nanocomposite préparé comprenait des particules magnétiques de ferrite de nickel spinelle et du ZnO. Concernant la saturation magnétique du ferrite de nickel ferromagnétique et le comportement superparamagnétique du nanocomposite, ils peuvent être facilement récupérés par force magnétique. L'activité photocatalytique des échantillons ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , ZnO et  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ ) a été étudié en utilisant le colorant bleu de Coomassie G-250 à différentes teneurs et valeurs de pH sous lumière visible et UV. Les résultats ont montré que la combinaison de  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  et de ZnO améliore l'effet photocatalytique. Bien que l'activité photocatalytique soit meilleure sous la lumière UV, une dégradation remarquable du colorant a également été observée sous la lumière visible.

## Bibliographie

- [1] S. Yi Lee; S. Jin Park **J. Ind. Eng. Chem.** Volume 19 (2013), p. 1761-1769
- [2] K. Pamecha; V. Mehta; BV Kabra **Adv. Appl. Sci. Res.** Volume 7 (2016), pp. 95-101
- [3] DR Shinde; PS Tambade; MG Chaskar; **Boisson KM Gadave . Water Eng. Sci** Volume 10 (2017), pp. 109-117
- [4] B. Yang; Y. Gao; D. Yan; H. Xu; J. Wang **Int. J. Environ. Res. Public Health Article** Volume 15 (2018), p. 1523
- [5] B. Legube; **Catalyse NKV Leitner . Today** Volume 53 (1999), pp. 61-72
- [6] ZK xin1; WH wei1; XS guang **J. Environ. Prot. Sci.** Volume 1 (2007), pp. 52-61
- [7] D. R. Simpson **Water Res.** Volume 42 (2008), pp. 2839-2848
- [8] V. Jadhav; P. Chikode; G. Nikam; S. Sabale **Mater. Aujourd'hui: Proc.** Volume 3 (2016), pp. 4121-4127
- [9] JT Adelekea; T. Theivasanthib; M. Thiruppathib; M. Swaminathanb; T. Akomolafec; AB Alabi **Appl. Surface. Sci.** Volume 455 (2018), p. 195-200
- [10] J. Z. Konga; A. D. Lia; H. F. Zhaia; H. Lia; Q. Y. Yanb; J. Mab; D. Wua **J. Hazards Mater.** Volume 171 (2009), pp. 918-923
- [11] V. Sanna; N. Pala; V. Alzari; D. Nuages; M. Carcelli **Mater. Lett.** Volume 162 (2016), p. 257-260
- [12] E. Ferdosia; H. Bahiraia; D. Technologie de **purification par séparation du ghanbarib .** Volume 211 (2019), p. 35-39
- [13] I. Kazeminezhad; A. Sadollahkhani; M. Farbod **Mater. Lett.** Volume 92 (2013), p. 29-32
- [14] KM Parida; N. Sahu; NR Biswal; B. Naik; AC Pradhan **J. Colloid Interface Sci.** Volume 318 (2008), pp. 231-237
- [15] HY Zhu; R. Jiang; YQ Fu; RR Li; J. Yao; ST Jiang **Appl. Le surf. Sci.** Volume 369 (2016), p. 1-10
- [16] N. Jamarun; S. Arief **Orient. J. Chem.** Volume 32 (2016), p. 1411-1419
- [17] C. Xu; L. Cao; G. Su; W. Liu; H. Liu; Y. Yu; X. Qu **J. Hazards Mat.** Volume 176 (2010), pp. 807-813



- [18] NR Su; P. Lv; M. Li; X. Zhang; M. Li; J. Niu **Mater. Facile**. Volume 122 (2014), p. 201-204
- [19] T. J. Castro; S. W. Da Silva; F. Nakagomi; N. S. Moura; J. Franco; P. C. Morais **J. Magn. Magn. Mater.** Volume 389 (2015), pp. 27-33
- [20] S. Sunitha; A. Nageswararao; J. Karthikeyan **Orient. J. Chem.** Volume 31 (2015), pp. 107-112
- [21] Rahmayeni; Zulhadjri; N. Jamarun; Emriadi; S. Arief **Orient. J. Chem.** Volume 32 (2016), p. 1411-1419
- [22] Rahmayeni; S. Arief; Y. Stiadi; R. Rizal; Zulhadjri **Indo. J. Chem.** Volume 12 (2012), pp. 229-234
- [23] E. Casbeer; V. K. Sharma; X. Z. Li **Separation Purification Technol.** Volume 87 (2012), pp. 1-14
- [24] A. Ren; C. Liu; Y. Hong; W. Shi; S. Lin; P. Li **Chem. Eng. J.** Volume 258 (2014), pp. 301-308
- [25] R. S. Melo; F. C. Silva; K. R. M. Moura; A. S. De Menezes; F. S. M. Sinfrônio **J. Magn. Magn. Mater.** Volume 381 (2015), pp. 109-115
- [26] J. Jiang; L. H. Ai; L. C. Li; H. Liu **J. Alloys Compd.** Volume 484 (2009), pp. 69-72 (Contents)
- [27] H. Zhu; R. Jiang; Y. Fu; R. Li; J. Yao **Appl. Le surf. Sci.** Volume 369 (2016), p. 1-10
- [28] W. Raza; M. Haque; M. Muneer **Appl. Surf. Sci.** Volume 322 (2014), pp. 215-224
- [29] M. Haque; W. Raza; M. Muneer; M. Fleisch; A. Hakki; D. Bahnemann **J. Alloys Compd.** Volume 632 (2015), p. 837-844
- [30] R. Ciocarlan; E. Seftel; R. Gavrila; M. Sucheai; M. Batuk; M. Mertens; J. Hadermann; P. Cool **J. Alloys Compd.** Volume 820 (2020), p. 12-14



(<http://www.centre-mersenne.org>)



(<https://www.academie-sciences.fr>)



*Mathdoc*

(<http://www.mathdoc.fr>)

ISSN: 1631-0748 - e-ISSN: 1878-1543

© 2019-2020 Centre Mersenne (<http://www.centre-mersenne.org>) , l'Académie des Sciences (/chimie/) , et les auteurs