

42^{èmes} journées annuelles du Groupe Francophone de Spectrométrie Mössbauer



Fabrice Morin

GFSM 2020¹ - Rouen
~~28-29 mai 2020~~



19-20-21 mai 2021

<http://www.gfsm2021.fr>

Matériaux fonctionnels : Energie & Environnement



Sommaire

Comités		2
Programme		3
Résumés des Conférences		
SZUMIATA Tadeusz	Applications environnementales de la spectrométrie Mössbauer, des méthodes magnétiques et de la gravimétrie fine automatique	6
OULMIDI Alaf	Nouvelles architectures organiques à base du Mn(II) et du Fe(II) assemblées à partir des blocs pyridiniques multifonctionnels	7
RABI Bouchra	Nanoparticules $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ pour l'hyperthermie	8
AGHRIS Sara	Caractérisations minéralogiques et physico-chimiques d'une nouvelle source de minéraux argileux aluminosilicatés provenant du Maroc	9
KCHAW Marwa	Amélioration et développement d'un nouveau procédé de recyclage des aimants permanents	10
BOGUMILA Szostak	A comprehensive study of pristine and calcined f-MWCNTs functionalized by nitrogen-containing functional groups	11
RAKOTOMALALA ROBINSON Mbolantenaina	Synthèse, propriétés physicochimiques et réactivité vis-à-vis de l'arsenic (III) et (V) de nanoparticules de magnétite fonctionnalisées par de l'amidon	12
SOUGRATI Moulay-Tahar	Batteries Li-ion, au-delà de la rédox cationique	13
CHERIF Amira	Ferrites de cobalt nanostructurées $Co_xFe_{3-x}O_4$ ($x= 0,4 ; 1$); apport de la spectrométrie Mössbauer pour l'interprétation des propriétés diélectriques	14
MALLEK-ZOUARI Ikbel	Application de la spectrométrie Mössbauer pour l'étude de matériaux multiferroïques de BFO.	15
FRITAH Kamal	Élaboration et caractérisation d'un oxyde multiferroïque	16
GOUITAA Najwa	Étude structurale et Mössbauer des céramiques de $BaTiO_3$ dopées au Fe (pour $x=0,00$ à $0,60$)	17
OUNACER Mohamed	Effet de la substitution par Mg^{2+} sur les propriétés structurales, magnétiques et hyperfines de spinelle $CoFe_2O_4$	18
BAHHR Soufiane	Propriétés structurales et magnétiques de cobalt ferrite dopé par Ce^{3+} et Spectroscopie Mössbauer	19
KOUMINA Abdelaziz	Études par diffraction neutronique, mesures magnétiques, spectrométrie ^{57}Fe Mössbauer et structure électronique KKR-CPA des propriétés magnétiques du système MnFe (As, P)	20
GUILMEAU Emmanuel	Sulfures de cuivre d'origine minérale : structure, défauts et propriétés thermoélectriques	21
FOURATI Ismail	Effet du dopage en fer sur les composés thermoélectriques $Co_{1-x}Fe_xS_2$	22
LEMOINE Pierric	Distribution cationique dans des sulfures de cuivre thermoélectriques : cas des phases germanite $Cu_{22}Fe_8Ge_4S_{32}$ et renierite $Cu_{20}Zn_2Fe_8Ge_4S_{32}$	23
BENAISSA Houria	Étude comportement de la transition de spin d'une chaîne 1D du Fe(II) 1,2,4-triazole incorporée dans les pores du SBA-15	24
Liste des participants		26

Comité d'organisation

GPM, UMR CNRS 6634, Université de Rouen-Normandie, France

Dr. Samuel Jouen
Maître de conférences

Dr. Virginie Nachbaur
Maître de conférences

Leslie Louette
Administratrice

Dr. Jean Juraszek
Maître de conférences

Dr. Florian Appert
Post-doctorant

Linda Widerowsky
Administratrice

Comité Scientifique

Pr. Yann Garcia
Président du GFSM
Professeur à l'Université Catholique de Louvain

Dr. Virginie Nachbaur
Maître de conférences

Dr. Jean Juraszek
Maître de conférences

Dr. Samuel Jouen
Maître de conférences

Conférenciers invités

Dr. Tadeusz Szumiata
Professeur associé
UTH Radom, Pologne

Dr. Moulay Tahar Sougrati
Ingénieur de Recherche
ICGM UMR 5253 CNRS, Montpellier

Dr. Emmanuel Guilmeau
Directeur de Recherche
Laboratoire CRISMAT, UMR 6508 CNRS/ENSICAEN, Caen

Programme des 42^{èmes} journées annuelles du GFSM

Mercredi 19 mai 2021

8h40-9h00	Mots d'accueil			
Animateur : Mustapha Abdelmoula				
9h00-9h40 (invité)	SZUMIATA	Tadeusz	<i>Université de technologie et des sciences humaines de Radom, Pologne</i>	Applications environnementales de la spectrométrie Mössbauer, des méthodes magnétiques et de la gravimétrie fine automatique
9h40-10h00	OULMIDI	Alaf	<i>Université catholique de Louvain, Belgique - Université Mohamed Premier, Maroc</i>	Nouvelles architectures organiques à base du Mn(II) et du Fe(II) assemblées à partir des blocs pyridiniques multifonctionnels
10h00-10h20	RABI	Bouchra	<i>Université Sultan Moulay Slimane, Maroc</i>	Nanoparticules $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ pour l'hyperthermie
10h20-10h50	Pause			
Animateur : Jean Juraszek				
10h50-11h10	AGHRIS	Sara	<i>Université Sultan Moulay Slimane, Maroc</i>	Caractérisations minéralogiques et physico-chimiques d'une nouvelle source de minéraux argileux aluminosilicatés provenant du Maroc
11h10-11h30	KCHAW	Marwa	<i>Université de Rouen Normandie, France</i>	Amélioration et développement d'un nouveau procédé de recyclage des aimants permanents
11h30-11h50	BOGUMILA	Szostak	<i>University of Silesia in Katowice, Pologne</i>	Étude de nanotubes de carbone avant et après fonctionnalisation par des groupes fonctionnels à base d'azote
11h50-12h10	RAKOTOMALALA ROBINSON	Mbolantenaina	<i>Université de Lorraine, France</i>	Synthèse, propriétés physicochimiques et réactivité vis-à-vis de l'arsenic (III) et (V) de nanoparticules de magnétite fonctionnalisées par de l'amidon

Jeudi 20 mai 2021

Animateur : Mohammed Sajieddine				
8h45-9h25 (invité)	SOUGRATI	Moulay-Tahar	<i>Université de Montpellier, France</i>	Batteries Li-ion, au-delà de la rédox cationique
9h25-9h45	CHERIF	Amira	<i>Faculté des sciences de Tunis, Tunisie</i>	Ferrites de cobalt nanostructurées $Co_xFe_{3-x}O_4$ ($x=0,4 ; 1$); apport de la spectrométrie Mössbauer pour l'interprétation des propriétés diélectriques
9h45-10h05	MALLEK-ZOUARI	Ikbel	<i>Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie</i>	Application de la spectrométrie Mössbauer pour l'étude de matériaux multiferroïques de BFO.
10h05-10h25	FRITAH	Kamal	<i>University Ibn Zohr, Maroc</i>	Élaboration et caractérisation d'un oxyde multiferroïque
10h25-10h55	Pause			
Animateur : Lorenzo Stievano				
10h55-11h15	GOUITAA	Najwa	<i>Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès, Maroc</i>	Étude structurale et Mössbauer des céramiques de $BaTiO_3$ dopées au Fe (pour $x=0,00$ à $0,60$)
11h15-11h35	OUNACER	Mohamed	<i>Université Sultan Moulay Slimane, Maroc</i>	Effet de la substitution par Mg^{2+} sur les propriétés structurales, magnétiques et hyperfines de spinelle $CoFe_2O_4$
11h35-11h55	BAHR	Soufiane	<i>Université Chouaib Doukkali d'El Jadida, Maroc</i>	Propriétés structurales et magnétiques de cobalt ferrite dopé par Ce^{3+} et Spectroscopie Mössbauer
11h55-12h15	KOUMINA	Abdelaziz	<i>Université Cadi Ayyad, Maroc</i>	Études par diffraction neutronique, mesures magnétiques, spectrométrie ^{57}Fe Mössbauer et structure électronique KKR-CPA des propriétés magnétiques du système MnFe (As, P)

Vendredi 21 mai 2021

8h45-9h45	Assemblée générale du GFSM			
Animateur : Jean-Marc Greneche				
9h45-10h25 (invité)	GUILMEAU	Emmanuel	<i>Université de Caen Normandie, France</i>	Sulfures de cuivre d'origine minérale : structure, défauts et propriétés thermoélectriques
10h25-10h45	FOURATI	Ismail	<i>Université de Rouen Normandie, France</i>	Effet du dopage en fer sur les composés thermoélectriques $Co_{1-x}Fe_xS_2$
10h45-11h05	LEMOINE	Pierric	<i>Institut des Sciences Chimiques de Rennes, France</i>	Distribution cationique dans des sulfures de cuivre thermoélectriques : cas des phases germanite $Cu_{22}Fe_8Ge_4S_{32}$ et renierite $Cu_{20}Zn_2Fe_8Ge_4S_{32}$
11h05-11h25	BENAISSA	Houria	<i>Université Catholique de Louvain, Belgique</i>	Étude comportement de la transition de spin d'une chaîne 1D du Fe(II) 1,2,4-triazole incorporée dans les pores du SBA-15
11h25-12h10	Pause – Discussion du jury pour les prix des communications orales			
12h10-12h30	Remises des prix, mots de conclusion			

Résumés des communications

Applications environnementales de la spectrométrie Mössbauer, des méthodes magnétiques et de la gravimétrie fine automatique

Tadeusz Szumiata¹, Tadeusz Magiera², Sławomir Janas³, Michał Solecki^{3,1}

¹ Université de technologie et sciences humaines, Faculté de génie mécanique, Département de physique, Stasieckiego 54, PL-26-600 Radom, Pologne

² Institut de génie de l'environnement, Académie polonaise des sciences, M. Skłodowskiej-Curie 34, PL-41-819 Zabrze, Pologne

³ RADWAG - les balances, Toruńska 5, PL-26-600 Radom, Pologne

Les particules magnétiques technogènes (PMT), produites au cours de divers processus industriels, sont libérées dans l'atmosphère sous forme de poussière et se déposent sur la couche arable environnante. Les différences minéralogiques et structurales des PMT produits par différents procédés technologiques devraient se refléter dans leurs propriétés spectroscopiques et magnétiques, et donc indiquer les sources de pollution industrielle [1,2]. Les échantillons de terre végétale ont été prélevés à proximité de quatre usines sidérurgiques européennes, situées dans trois pays différents (Pologne, Norvège et République tchèque), ainsi qu'à proximité d'une mine de fer à ciel ouvert, d'une usine de traitement du minerai de fer et dans un environnement naturel fortement magnétique. L'analyse des paramètres hyperfins des spectres Mössbauer a révélé que les PMT sont des minéraux de type "magnétite" à stoechiométrie très faible. Cela est indiqué par le rapport des contributions des ions de fer dans les sites B (octaédrique) et A (tétraédrique) dans la structure spinelle de la magnétite, qui est bien inférieur à 2,0 (valeur théorique pour la magnétite stœchiométrique). La propriété distinctive des PMT collectés à proximité d'anciennes usines métallurgiques (>180 ans) était la contribution élevée des composants de surface probablement liée à l'oxydation/maghématisation de surface des grains fins de magnétite. Les spectres Mössbauer exemplaires des sols végétaux près des aciéries polonaises des aciéries à Ostrowiec Świętokrzyski (OS) et Huta Katowice (HK) sont présentés sur la Fig. 1.

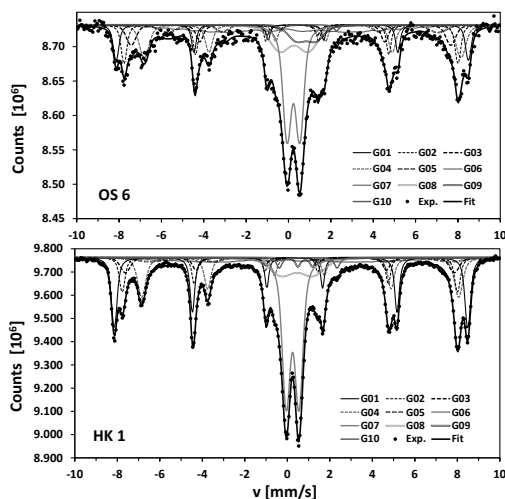


Fig. 1.

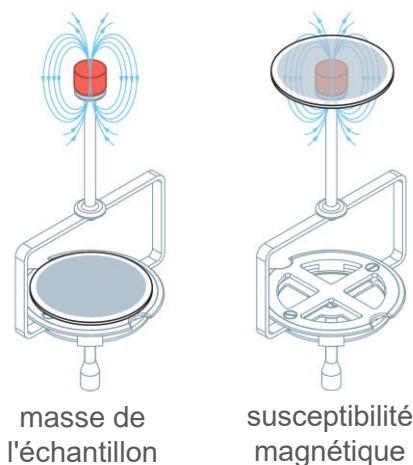


Fig. 2.

Dans la présentation, la construction d'un susceptomètre gravimétrique simple et pas cher (Fig. 2) a été proposée pour la mesure de la susceptibilité magnétique des sols et des poussières. Cet instrument peut être appliqué dans des systèmes robotiques pesant des filtres à air [3].

Références

[1] T. Magiera, B. Górka-Kostrubiec, T. Szumiata, M. Wawer, *Sc. Total Environ.*, 775 (2021) 145605.

[2] T. Szumiata, M. Rachwał, T. Magiera, et al., *Nukleonika* 62 (2017), 187-195.

[3] RADWAG, *Gravimetric methods in atmospheric air tests*, <https://radwag.com/fr/> (2020) 1-12.

Nouvelles architectures organiques à base du Mn(II) et du Fe(II) assemblées à partir des blocs pyridiniques multifonctionnels

Afaf Oulmidi^{1,2}, Smaail Radi¹, Koen Robeyns², Haralampos N. Miras³, Yann Garcia²

¹LCAE, département de Chimie, Faculté des sciences, Université Mohamed I, BP 524, 60 000 Oujda, Maroc

²Institut de la Matière Condensée et des Nanosciences (IMCN/MOST), Université catholique de Louvain, Place Louis Pasteur 1, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

³School of chemistry, Joseph Black Building, Complex Chemical Systems group, Université de Glasgow, Glasgow, Royaume-Uni

Notre objectif est de préparer de nouveaux matériaux hybrides à base de silice modifiée pour les utiliser, entre autres, dans la décontamination des eaux usées. L'eau qui représente un élément fondamental pour la survie de l'être humain peut être polluée à divers endroits de la planète par des ions de métaux lourds, en particulier : le plomb, le mercure, le cadmium, le cuivre, le manganèse...^[1] Ils représentent un sérieux danger du fait de leur bioaccumulation dans le corps humain.

Dans ce travail, nous présenterons la synthèse et la complexation du Mn(II) et du Fe(II) avec deux types de ligands pyridiniques portant en position 2 et 6 des groupes hétérocycliques à 5 chaînons : le 2,2'-(pyridine-2,6-diylbis(5-méthyl-1-pyrazol-3-yl)) diacétate de diéthyle (**L**¹) qui appartient à la série des jonctions C-C et le 1,1'-(pyridine-2,6-diyl)bis(5-méthyl-1H-pyrazole-3-carboxylate de diéthyle (**L**²) qui appartient à la série des jonctions C-N. Le choix de ce squelette hétérocyclique azoté est dû à leur capacité à former différents modes de coordination, conduisant à des fonctionnalités polyvalentes et à une grande variété d'architectures moléculaires grâce à leur azote de base de Lewis.

Les cristaux obtenus [MnL¹Cl₂] (**1**) et [FeL²](ClO₄)₂ (**2**) ont été caractérisés par diffraction des rayons X sur monocristal, spectroscopie infrarouge et HRMS.^{[2][3]} Les structures monocristallines du complexe de coordination **1** sont discutées dans le contexte de l'effet des fonctionnalités des liaisons hydrogènes et des contre-anions sur les diversités structurales supramoléculaires observées dans ces nouveaux complexes de coordination. Tandis que, pour le second complexe mononucléaire du fer [FeL²](ClO₄)₂ **2** nous avons discuté en détail sa spectroscopie Mössbauer en transmission à température ambiante, à la fois sous sa forme de poudre et de cristaux. Le spectre Mössbauer du **2** en poudre est représenté comme la somme des contributions de trois doublets quadripolaires uniques haut-spin (HS), HS et bas-spin (BS) représentés par 58%, 19% et 24% respectivement. En revanche, les analyses Mössbauer sur le **2** cristallisé révèlent un seul site de fer(II) dans l'état HS avec un déplacement isomérique $\delta = 1,02(1)$ mm/s et un éclatement quadripolaire $\Delta E_Q = 1,87(3)$ mm/s.

Références

- [1] A. F. El-Kafrawy, S. M. El-Saeed, R. K. Farag, H. A.-A. El-Saied, M. E.-S. Abdel-Raouf, *Egyptian Journal of Petroleum*, 26. (2017) 23.
- [2] A. Oulmidi, S. Radi, H. N. Miras, N.N. Adarsh, Y.Garcia, *Sustainability*, 13. (2020) 288.
- [3] A. Oulmidi, S. Radi, A. Idir, Z. Abdelmajid, K. Robeyns, Y. Garcia, soumise.

Nanoparticules $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ pour l'hyperthermie

B. Rabi¹, A. Essoumhi², Leliana³, E.K. Hlil⁴, J.M. Greneche⁵, M. Sajjeddine^{1,6}

¹LPM, FST, Université Sultan Moulay Slimane, BP 523, 23000, Béni-Mellal, Maroc

²LPCMA, FP, Université Sultan Moulay Slimane, BP 523, 23000 Béni-Mellal, Maroc

³Physics Department, University of Coimbra, 3004-516 Coimbra, Portugal

⁴Institut Néel, CNRS - Université Grenoble Alpes, BP 166, 38042 Grenoble, France

⁵IMMM, UMR, CNRS 6283, 72085 Le Mans Cedex 9, France

⁶ENSA, Université Sultan Moulay Slimane, BP 77, 25000, Khouribga, Maroc

Les ferrites spinelles nickel zinc ont reçu plus d'attention ces dernières années en raison de leurs propriétés magnétiques intéressantes. Ces propriétés ouvrent le champ à des applications dans divers domaines de la science et la technologie. Parmi ces applications de ces nanoferrites leurs utilisations en médecine pour des traitements contre les tumeurs cancéreuses. De telles applications demandent des exigences supplémentaires sur la taille, la morphologie et la dispersion des nanoparticules ainsi que leurs stabilités chimiques et leurs efficacités de chauffer en présence d'un champ magnétique appliqué.

L'objectif de notre travail est d'étudier les propriétés magnétiques et hyperthermiques des nanoferrites $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ avec $x=0, 0,5$ et 1 . Les échantillons sont préparés par coprécipitation et calcinés à 1000°C puis caractérisés par des techniques complémentaires à savoir la diffraction des rayons X (*DRX*), la microscopie électronique en transmission (*MET*), la spectrométrie Mössbauer sur ^{57}Fe en mode transmission (*SMT*) et les mesures magnétiques au VSM. Ainsi, les spectres *DRX*, enregistrés à 300K , indiquent une phase spinelle pure et les images *MET* ont révélé que les nanoparticules ont une morphologie sphérique. De leurs côtés, les spectres Mössbauer collectés à la température ambiante montrent que le magnétisme de ces échantillons passe d'un état ferrimagnétique à un état paramagnétique lorsque le taux de zinc augmente. Des mesures magnétiques, nous avons conclu que l'aimantation à saturation présente un maximum pour l'échantillon relatif à $x=0,5$, tandis que le champ coercitif diminue en fonction de x . Ces résultats ont été utilisés pour justifier la puissance de chauffe des échantillons sous un champ magnétique alternatif de $14\text{kA}\cdot\text{m}^{-1}$ et une fréquence de 276kHz . Le pouvoir intrinsèque de perte (*PIP*) a été calculé à partir des valeurs du débit d'absorption spécifique (*DAS*). Les différentes nanoparticules présentent des valeurs *PIP* intéressantes et peuvent être des candidats pour le traitement des tumeurs par hyperthermie.

Caractérisations minéralogiques et physico-chimiques d'une nouvelle source de minéraux argileux aluminosilicatés provenant du Maroc

S. Aghris¹, F. Laghrib¹, A. Farahi¹, M. Bakasse^{1,2}, S. Lahrich¹, M. A. El Mhammedi¹

¹*Laboratory of Chemistry, Modeling and Environmental Sciences, Polydisciplinary Faculty, Sultan Moulay Slimane University, 25 000 Khouribga, Morocco*

²*Laboratory of Organic Bioorganic Chemistry and Environment, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco*

Une nouvelle source de minéral argileux a été explorée et un protocole d'extraction et de purification a été développé pour l'isoler à partir d'échantillons d'argile brute acquis dans la région d'Oued Ziz au sud-est du Maroc. Les minéraux argileux sont toujours identifiés dans l'argile brute ou le sol par une étape de purification, car la présence de carbonates, d'oxydes de fer ou de matières organiques interfère avec le processus d'identification. Le processus comprenait la collecte d'argile brute à la source, ainsi que des caractérisations minéralogiques et physicochimiques. Les matériaux ont été caractérisés par la spectrométrie de diffraction des rayons X (DRX). L'analyse chimique a été effectuée par fluorescence aux rayons X (FRX) et par spectroscopie d'émission atomique à plasma inductif (ICP-AES). De plus, l'analyse par rayons X à dispersion d'énergie (EDX) et la spectroscopie infrarouge (FT-IR) ont été utilisées. La morphologie des échantillons d'argile est dévoilée par la microscopie électronique à balayage (MEB), ainsi que l'analyse thermique (TGA-DTA) enregistre la perte de masse de l'échantillon causée par les transformations thermiques telles que la déshydratation ou la calcination pour les minéraux argileux. La spectrométrie Mössbauer ⁵⁷Fe a également été utilisée pour étudier la présence de fer dans les échantillons d'argile.

Amélioration et développement d'un nouveau procédé de recyclage des aimants permanents

M. Kchaw¹, L. Rémy², V. Nachbaur¹, S. Jouen¹, J.M. Le Breton¹, G. Philippot², C. Aymonier²

¹ GPM, Normandie Univ, UNIROUEN, INSA Rouen, CNRS, 76000 Rouen, France

² CNRS, Univ. Bordeaux, Bordeaux INP, ICMCB, UMR5026, 33600 Pessac, France

La demande et la large utilisation des ETR (Eléments de Terres Rares) dans plusieurs industries devraient augmenter d'ici à 2050 [1]. Actuellement, la Chine est le plus grand producteur mondial d'ETR, avec plus de 95 % de la production mondiale, ce qui crée une grande instabilité sur le marché des terres rares [2]. Pour réduire la dépendance en matière d'ETR vis-à-vis de la Chine, et afin de satisfaire la future demande en ETR, de nouvelles stratégies et mesures doivent être adoptées. Les techniques de recyclage des produits en fin de vie sont l'un des moyens permettant de garantir l'approvisionnement en terres rares. À ce jour, moins de 5 % des terres rares sont recyclées [3]. Le secteur des aimants permanents domine la consommation de terres rares avec 28 % de la demande totale en 2019 [4]. Le recyclage des DEEE (Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques) est encadré par la Directive européenne 2012/19/UE. Dans le cas particulier des ordinateurs, cette directive stipule 70% doivent être recyclés [5]. Les quantités de DEEE ne cessent d'augmenter et la croissance attendue dans les années à venir pourrait atteindre 3 à 4 % par an [6]. Il devient donc urgent de trouver des procédés de recyclage efficaces aux exigences de la directive européenne.

L'objectif de notre travail est de développer une nouvelle voie respectueuse de l'environnement pour le recyclage des aimants permanents Nd-Fe-B en appliquant les règles de la chimie verte [7-8]. Un procédé solvothermal conduit à la pulvérisation de l'aimant et finalement à la séparation du fer sous forme d'oxyde et du néodyme sous forme d'hydroxyde. Le procédé est facile à mettre en place et peut être appliqué à des grandes quantités de déchets magnétiques car seuls l'eau et le chlorure de sodium, peu coûteux, sont utilisés comme produits chimiques.

Le processus de recyclage est influencé par les conditions expérimentales telles que la pression, la température, la durée du traitement et le type de solvant (eau, éthanol). Dans ce travail, plusieurs rapports éthanol/eau ont été étudiés. En fonction de ce rapport, la poudre peut contenir un mélange de différentes phases comme du fer, des hydroxydes de terres rares, de la magnétite et de la phase hydrurée de stœchiométrie $Nd_2Fe_{14}BH_x$ ($0 < x < 3$). En optimisant les paramètres physiques, on peut éviter la formation de fer et de magnétite. De plus, par déshydruration de la poudre obtenue, on peut réutiliser les grains magnétiques pour former de nouveaux aimants. Les propriétés microstructurales ont été caractérisées par microscopie électronique à balayage et diffraction de rayons X. L'hydruration, puis la décomposition de la phase $Nd_2Fe_{14}B$, ont été suivies par spectrométrie Mössbauer. La spectrométrie Mössbauer a été choisie pour s'affranchir des limitations des techniques classiques de caractérisation microstructurales, qui ne permettent pas de révéler systématiquement la présence de fer métallique dans les échantillons traités. De plus, en raison de sa sensibilité à l'environnement des atomes de fer, la spectrométrie Mössbauer est sensible à la teneur en hydrogène dans la phase magnétique hydrurée $Nd_2Fe_{14}BH_x$.

Ce travail est soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche française, dans le cadre des projets ANR-13-ECOT-0006-06 "EXTRADE" et ANR-17-CE08-0050-02 "RAP".

Références:

- [1] https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC112285/jrc112285_cobalt.pdf.
- [2] K. Binnemans, P. T. Jones, B. Blanpain, T. V. Gerven, "Recycling of rare earths: a critical review" 1, 22(2013)
- [3] <https://www.histo.cat/premsa/Rare-earth-Terres-rares>
- [4] <https://recyclinginternational.com/non-ferrous-metals/rare-earth-metals/19629/>
- [5] Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), 2012.
- [6] https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC112285/jrc112285_cobalt.pdf.
- [7] N. Maât, V. Nachbaur, R. Lardé, J. Juraszek, J.-M. Le Breton, ACS Sustainable Chem. Eng., 4, 6455 (2016)
- [8] "Process and recovery system for rare earths included in objects" WO application 96/00698 (Oct. 2015)

Etude de nanotubes de carbone avant et après fonctionnalisation par des groupes fonctionnels à base d'azote

Bogumiła Szostak^{1,2,4}, Anna Bajorek^{1,2}, Mateusz Dulski^{2,3}, Jean-Marc Greneche⁴, Sabina Lewińska⁵, Barbara Liszka⁶, Mirosława Pawlyta⁷, Anna Ślawska-Waniewska⁵

¹ A. Chełkowski Institute of Physics, University of Silesia in Katowice, 75 Pułku Piechoty 1, 41-500 Chorzów, Poland,

² Silesian Center for Education and Interdisciplinary Research, University of Silesia in Katowice, 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów, Poland

³ Institute of Materials Science, University of Silesia in Katowice, 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów, Poland

⁴ Institut des Molécules et Matériaux du Mans, IMMM UMR CNRS 6283, Le Mans Université, Avenue Olivier Messiaen, 72085 Le Mans Cedex 9, France

⁵ Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Al. Lotników 32/46, 02-668, Warsaw, Poland

⁶ Faculty of Natural Sciences, University of Silesia in Katowice, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland

⁷ Institute of Engineering Materials and Biomaterials, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

L'objectif de ces travaux portant sur des nanotubes de carbone bruts de préparation et ayant subi des traitements thermiques suite à une fonctionnalisation par des groupes fonctionnels à base d'azote vise à comprendre les modifications d'abord structurales et microstructurales puis de la structure électronique et les propriétés magnétiques. Les différentes études réalisées ont révélé la présence de nanoparticules métalliques de γ -Fe et de cémentite (Fe_3C) comme résidus de catalyseur. En effet, la spectrométrie Mössbauer du ^{57}Fe a mis en évidence la présence de ces deux phases et des traces d'oxydes de Fe. Les études magnétiques ont confirmé la présence de Fe_3C par l'observation d'une température de Curie estimée à $T_C = 466 \pm 5$ K. Malgré leurs faibles concentrations, ces impuretés pourraient jouer un rôle important lors de la fonctionnalisation et par conséquent pour des applications potentielles futures de ces structures composites avec un questionnement sur leur reproductibilité.

Synthèse, propriétés physicochimiques et réactivité vis-à-vis de l'arsenic (III) et (V) de nanoparticules de magnétite fonctionnalisées par de l'amidon

M. Rakotomalala Robinson¹, M. Abdelmoula¹, R. Coustel¹ et M. Mallet¹

¹Laboratoire de Chimie Physique et Microbiologie pour les Matériaux et l'Environnement (LCPME), UMR 7564 CNRS - Université de Lorraine, 54600 Villers-lès-Nancy, France

Ce travail a porté premièrement sur la synthèse et la caractérisation de nanoparticules de magnétite Fe₃O₄ fonctionnalisées par de l'amidon. Dans un second temps l'étude de la réactivité des matériaux synthétisés vis-à-vis de l'arsenic (III) et (V) a été abordée. L'objectif final étant l'application de ces derniers dans l'élimination de l'arsenic dans les eaux.

Deux méthodes de synthèse ont été appliquées et l'influence du rapport massique $R = m_{\text{amidon}}/m_{\text{fer}}$ sur les propriétés physicochimiques et la réactivité de la magnétite a été systématiquement étudiée. La première méthode de synthèse repose sur l'oxydation partielle du fer (II) suivi de la coprécipitation du fer (II) et du fer (III) et la deuxième méthode, sur la coprécipitation directe du fer (II) et fer (III). La synthèse de la magnétite et la fonctionnalisation par l'amidon ont été effectuées au cours d'une seule et même étape.

Les résultats des analyses combinant MET, DRX, spectroscopies Raman, FTIR, XPS et Mössbauer ont permis de mettre en évidence des différences de propriétés microstructurales, structurales et magnétiques de la magnétite selon le mode de synthèse utilisé. Pour la première méthode de synthèse, le rapport R influe sur la taille des cristallites de la magnétite qui varie de ~ 70 à 10 nm entre R = 0 et 10 tandis que la diminution de taille est moins importante en utilisant la seconde méthode (de ~13 et 9 nm) pour les mêmes valeurs de R. La diminution de taille se manifeste en particulier sur les propriétés magnétiques de la magnétite avec l'apparition du phénomène de superparamagnétisme mis en évidence par les études en température par spectrométrie Mössbauer. [1]

La réactivité de la magnétite vis-à-vis de l'arsenic (III) et (V) a été étudiée en évaluant l'influence de paramètres tels que la dose d'adsorbant, le temps de contact, la concentration en arsenic à l'équilibre, le pH et la présence d'ions compétiteurs. Les magnétites fonctionnalisées ont des capacités d'adsorption supérieures à celle de la magnétite nue quel que soit le mode de synthèse utilisé. La diminution de la taille des cristallites et la dispersion des nanoparticules en présence d'amidon expliquent ces résultats. [2]

Références

[1] M. Rakotomalala Robinson, M. Abdelmoula, R. Coustel et M. Mallet, *J. Solid State Chem.* Volume 277 (2019) pages 587-593.

[2] M. Rakotomalala Robinson, M. Abdelmoula, R. Coustel et M. Mallet, *Sci. Technol. Adv. Mater.* Volume 21 N° 1 (2020) pages 524-539.

Batteries Li-ion, au delà de la rédox cationique

Moulay Tahar Sougrati¹

¹ ICGM, Université de Montpellier, Place Eugène Bataillon, 34090 Montpellier, France

Les batteries Li-ion occupent une place majeure parmi les technologies de stockage électrochimique de l'énergie. Elles couvrent ainsi une large gamme de systèmes allant des prothèses auditives (~mA.h) aux centrales de stockage stationnaire (~GA.h). Les systèmes à alimenter à l'aide de batteries Li-ion sont de plus en plus nombreux et gourmands en termes de densité d'énergie.

Pour faire face à cette demande, les chimistes ont exploré un large éventail de « chimies Li-ion » telles que celles des oxydes lamellaires, des phosphates, des alliages métalliques etc...

Le point commun de différentes chimies actuelles est d'utiliser des cathodes dont le fonctionnement est basé sur la rédox cationique (principalement les métaux de transition). Des progrès significatifs ont été réalisés ces dix dernières années permettant de se rapprocher nettement des limites théoriques des systèmes classiques à redox cationique. Pour pouvoir proposer des batteries encore plus denses en énergie, une alternative potentielle réside dans l'exploitation de la rédox anionique.

En effet, si l'on peut ajouter à l'énergie stockée grâce aux centres cationiques (métaux) une nouvelle contribution qui sera stockée grâce aux centres anioniques (ligands) il serait possible de proposer des batteries à très haute capacité spécifique. Les récents travaux, réalisés notamment par des chercheurs du RS2E*, ont montré qu'une activité électrochimique non négligeable peut être obtenue dans le cas de l'oxygène ou du soufre comme centres anioniques (fig 1).

Malheureusement, cette promesse d'une plus forte densité d'énergie que représente la redox anionique apporte de nouveaux verrous à lever tels que la perte de la stabilité structurale et l'instabilité des électrolytes classiques. Dans cette présentation, ces différents aspects seront illustrés à travers des exemples de matériaux à base de fer [2], d'étain [3] et d'antimoine [4] en mettant en lumière la contribution de la spectroscopie Mössbauer dans la compréhension des mécanismes réactionnels inconnus jusqu'alors.

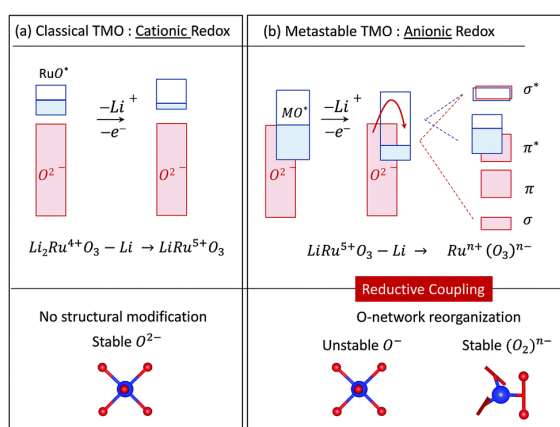


Fig. 1 : Comparaison qualitative des structures des bandes d'énergie dans les cas des centres cationique purs (a) et cationiques couples ou centres anioniques (b) [1].

* RS2E : Réseau sur le Stockage Électrochimique de l'Énergie

Références

- [1] M. Saubanère, E. McCalla, J.-M. Tarascon, and M.-L. Doublet, *Energy Environ. Sci.*, 9, 984 (2016)
- [2] S. Saha, S. Assat, M. T. Sougrati et al., *Nat. Energy*, 4, 977 (2019)
- [3] M. Sathiyà et al., *Nat. Mater.*, 9, 827 2013,
- [4] E. McCalla, M.T. Sougrati et al., *J. Am. Chem. Soc.*, 137, 4804 (2015)

Ferrites de cobalt nanostructurées $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ ($x = 0,4;1$); apport de la spectrométrie Mössbauer pour l'interprétation des propriétés diélectriques.

Chérif A.¹, Saidani M.¹, Greneche J.M. ², Mliki N.¹

¹ Université de Tunis El Manar, Laboratoire LR99ES17, Faculté des Sciences de Tunis, 2092, Tunisie

² Institut des Molécules et Matériaux du Mans, UMR CNRS 6283, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen, 72085, Le Mans Cedex 9, France

Les ferrites spinelles constituent une famille de composés particulièrement intéressante en raison de leurs remarquables propriétés magnétiques et électriques [1]. La réduction de la taille des particules à l'échelle nanométrique apporte une amélioration considérable de leurs performances physico-chimiques [2]. En effet, le contrôle de ces dernières dépend fortement de la méthode de synthèse [3], de la composition chimique [4] et des paramètres microstructuraux.

A l'issue de l'élaboration par la méthode solvothermale, deux échantillons de ferrites de cobalt $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ ($x = 0,4;1$) ont été étudiés systématiquement par diffraction des rayons X (DRX) sur poudre. L'analyse cristallographique confirme que les composés cristallisent dans la maille spinelle de groupe d'espace $\text{Fd}\bar{3}m$ sans présence de phases secondaires. Les caractéristiques morphologiques (forme, taille, distribution et dispersion) ont été observées directement par microscopie électronique en transmission (MET). Un système mono-disperse de répartition quasi-homogène a été détecté pour le composé CoFe_2O_4 contrairement à $\text{Co}_{0,4}\text{Fe}_{2,6}\text{O}_4$ où la répartition est inhomogène en forme et en taille (distribution bimodale). Les tailles moyennes des grains sont $D_{(x=1)} = 6,7 \pm 0,3$ nm, $D_{1(x=0,4)} = 11,0 \pm 0,8$ nm et $D_{2(x=0,4)} = 17,9 \pm 0,2$ nm.

Les propriétés électrique et diélectrique ont été analysées en utilisant la spectroscopie d'impédance complexe (SIC). Une étude approfondie des phénomènes de relaxations diélectriques et des mécanismes de conduction électrique de deux matériaux a montré qu'il s'agit d'un matériau diélectrique high-k pour $x=0,4$ et d'un matériau diélectrique low-k pour $x=1$. Une modification de la composition chimique paraît ainsi utile pour des applications des dispositifs à mémoire et des interconnexions. De même, les transitions d'un état électrique à un autre (comme la transition SC-métal pour le $x=0,4$) sont des propriétés intéressantes qui trouvent des applications dans le domaine de l'électronique dans les noyaux des transformateurs, des commutateurs et des alternateurs.

Dans le but de comprendre et interpréter ces résultats, une étude par spectrométrie Mössbauer (SM) s'est avérée nécessaire afin de déterminer la distribution cationique sur les sites octaédriques et tétraédriques. Les spectres sans champ enregistrés à 300 K montrent l'existence de particules en état de relaxation pour les 2 échantillons. Les mesures à 77K montrent des systèmes magnétiquement bloqués. De plus, d'autres mesures à basse température sous champ magnétique externe permettent la détermination de la distribution cationique. Les valeurs des paramètres hyperfins des différents sites élémentaires de Fe^{3+} ont été déterminées. La présence de la délocalisation électronique dans les paramètres Mössbauer du composé $\text{Co}_{0,4}\text{Fe}_{2,6}\text{O}_4$, renforce l'idée de la conduction électronique au sein de sa structure spinelle. Un réarrangement des cations entre les interstices par effet thermique lors de la mesure diélectrique est responsable du comportement diélectrique et électrique observé.

Références

- [1] S. Jauhar, J. Kaur, A. Goyal, S. Singhal, RSC Advances, 6(100). (2016) 97694–97719.
- [2] S. F. Mansour, M. A. Elkestawy, Ceramics International, 37(4). (2011) 1175–1180.
- [3] J.-T. Han, Y.-H. Huang, X.-J. Wu, C.-L. Wu, W. Wei, B. Peng, J. B. Goodenough, Advanced Materials, 18(16). (2006) 2145–2148.
- [4] G. Muscas, S. Jovanović, M. Vukomanović, M. Spreitzer, D. Peddis, Journal of Alloys and Compounds, 796. (2019) 203-209.

Application de la spectrométrie Mössbauer pour l'étude de matériaux multiferroïques de BFO

I. Mallek-Zouari¹, W. Ben Taazayet¹, J.-M. Grenèche², L. Bessais³, N. Mliki¹

¹Université de Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, Laboratoire Matériaux, Organisation et Propriétés (LMOP), Tunis, Tunisie.

²Institut des Molécules et Matériaux du Mans, IMMMUMR CNRS 6283, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen, 72085, Le Mans Cedex 9, France

³Institut de Chimie et des Matériaux– ICMPE UMR CNRS 7182 – Université Paris Est Créteil, 94320, Thiais, France.

Ce travail entre dans le cadre de l'évolution de structures multifonctionnelles du type ABO_3 . La réalisation de telles structures représente une avancée technologique majeure pour le développement de dispositifs dans le secteur de l'énergie et de l'environnement comme les mémoires MFRAM, les jonctions à effet tunnel [1-2]. Nous nous intéressons particulièrement aux ferrites de Bismuth : en effet, ces matériaux présentent une bande interdite de l'ordre (2,2 à 2,9 eV) qui permet la photo-génération des porteurs de charges dans le visible pour des applications photocatalytiques [3-5].

Les ferrites de Bismuth (BFO), étudiés dans ce travail, sont des composés issus de la chimie, synthétisés par voie hydrothermale à température ambiante et à des durées de recuit différentes (6h, 12h et 18h). Des mesures par diffraction des rayons X et par microscopie électronique ont été réalisées. En fonction de la durée du recuit, différentes tailles et formes de microcristallites ont été observées (figure 1).

Les propriétés optiques ont été déterminées, dans un deuxième temps, afin de tester ces ferrites de bismuth comme catalyseurs pour la dégradation des eaux usées (Bleu de Méthylène comme exemple). Des résultats très prometteurs, ont été obtenus, avec des taux de l'ordre de 90% sous lumière solaire au bout de 3h de réaction photocatalytique.

Dans une nouvelle approche, nous avons commencé à faire des analyses par spectrométrie Mössbauer du ^{57}Fe qui montre bien la structure hyperfine magnétique des microcristallins de BFO à différentes températures (77K et 300K). Des mesures magnétiques pour les BFO sont réalisées et corrélées avec les résultats de spectrométrie Mössbauer. L'apport des techniques d'analyses locales permet en effet de mieux comprendre les propriétés magnétiques et de les corrélérer aux résultats structuraux.

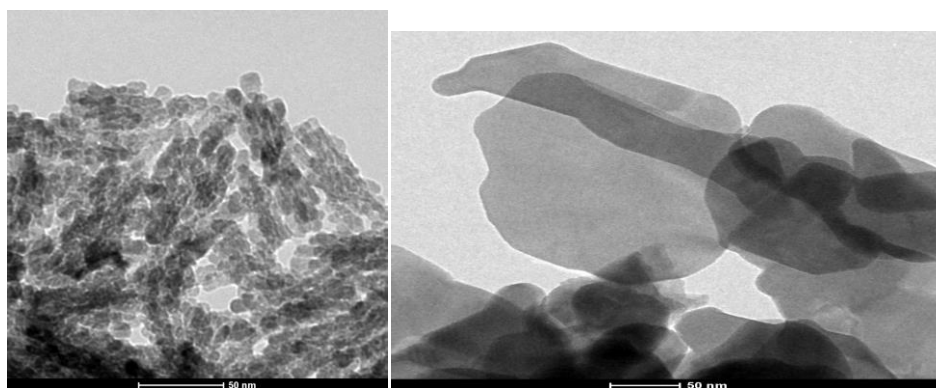


Figure 1 : images MET de BFO (6h, 18h)

Références

- [1] E. Y. Tsymbal, A. Gruverman, V. Garcia, M. Bibes, and A. Barthélémy, *MRS Bull.*, 37, (2012) 138–143.
- [2] M. M. Vopson *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 40, (2015), 223–250.
- [3] A. Ounnar, L. Favier, A. Bouzaza, F. Bentahar, and M. Trari. *Kinetics and Catalysis*, 57, (2016), 200–206.
- [4] D.T. Sponza, *Enzyme Microb. Technol.*, 31, (2002) 102–110.
- [5] H. Zhao, G. Zhang, S. Chong, N. Zhang, Y. Liu, *Ultrason. Sonochem.*, 27, (2015), 474–479.

Elaboration et caractérisation d'un oxyde multiferroïque

M. Khachane¹, K. Fritah¹, A. Taoufyq¹, B. Bakiz¹, H. Charifi², M. Ounacer³, A. Benlhachemi¹.

¹ *Laboratory of Materials and Environment, Department of Chemistry, Faculty of Sciences Agadir, University Ibn Zohr, BP 8106, Agadir, Morocco*

² *Laboratory of Materials and Renewables Energies, Department of Physic, Faculty of Sciences Agadir, University Ibn Zohr, BP 8106, Agadir, Morocco*

³ *Laboratory of Physics of Materials, Faculty of Sciences and Technologies, University Sultane Moulay Slimane*

E-mail : kamal.fritah@gmail.com

Les multiferroïques sont définis comme des matériaux avec plus d'un ordre ferroïque. Lors de la première décennie du 21^{ème} siècle, ces composés ont attiré l'attention en raison de leurs applications importantes et est devenue l'une des disciplines les plus importantes de la physique de la matière condensée. Les matériaux en bronze de tungstène quadratique (TTB) sont des oxydes complexes et sont connus pour leurs propriétés intéressantes [1–2]. L'utilisation des matériaux multiferroïques dans de futures mémoires MRAMs permettrait de stocker des données magnétiquement, et les lire et écrire électriquement.

Le BNN ($\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$) et le SBN ($\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$) sont des oxydes qui ont été largement étudiés pour leurs propriétés ferroélectriques et électrooptiques [3–4]. La structure TTB consiste en un enchaînement tridimensionnel d'octaèdres MO_6 ($\text{M} = \text{Nb}^{5+}$ ou Ta^{5+}) qui fait apparaître différents types de tunnels de formes pentagonales, carrées et triangulaires [5]. Il a été démontré que la famille des céramiques de la famille des TTB de composition $\text{Ba}_2\text{LnFeNb}_4\text{O}_{15}$ présente des propriétés à la fois ferroélectriques et ferromagnétiques [6–7].

Dans ce travail, un nouvel oxyde multiferroïque dérivé du BNN a été obtenu par une méthode de synthèse à l'état solide. La qualité des phases cristallines a été étudiée par diffraction des rayons X, et les résultats montrent que la phase cristallise en structure TTB avec une phase secondaire selon les investigations similaires. Les poudres obtenues ont ensuite été analysées par SEM pour déterminer les propriétés morphologiques et de composition des poudres. L'occupation des cations Fe^{3+} dans deux sites différents de la structure TTB a été confirmée par des mesures de spectroscopie Mössbauer effectuées à température ambiante.

Références

- [1] N. Haldolaarachchige, Q. Gibson, J. Krizan, R.J. Cava, *Phy. Rev. B* 89 (2014) 1–6.
- [2] A. Rotaru, D.C. Arnold, A.D. Aladine, F.D. Morrison, *Phy. Rev. B* 83 (2011) 1–12.
- [3] P.B. Jamieson, S.C. Abrahams, J.L. Bernstein, *J. Chem. Phys.* 50 (1969) 4352–4363.
- [4] J.R. Carruthers, M. Grasso, *Mat. Res. Bull.* 4 (1969) 413–423.
- [5] M. Lundberg, M. Sundberg, A. Magnéli, *J. Solid state Chem.* 44 (1982) 32–40
- [6] M. Kinka, M. Josse, E. Castel, S. Bagdzevicius, V. Samulionis, R. Grigalaitis, J. Banys, M. Maglione, *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control* 59 (2012) 1879–1882.
- [7] E. Castel, M. Josse, F. Roulland, D. Michau, L. Raison, M. Maglione, *J. Magn. Mater.* 321 (2009) 1773–1777.

Etude structurale et Mössbauer des céramiques de BaTiO₃ dopées au Fe (pour x=0.00 à 0.60)

N. Gouitaa¹, T. Lamcharfi¹, N.S. Echatoui¹, M. Ounacer², M. Sajieddine²

¹ Laboratoire Signaux, Systèmes et Composants, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Route d'Imouzer, Faculté des Sciences et Techniques de Fès, BP 2202, Fès, Maroc.

² Laboratoire Physique des Matériaux, FST, Université Sultan Moulay Slimane, BP 523, 23000, Beni-Mellal, Maroc.

Les composés cristallins multiferroïques font actuellement l'objet de recherches approfondies, en raison de leurs applications potentielles dans le domaine émergent de la spintronique, du stockage d'informations et des dispositifs de stockage à mémoire multi-états. Afin d'explorer la possibilité de synthétiser un matériau aux performances multiferroïques supérieures, différentes approches sont en cours et l'approche la plus utilisée est de substituer des ions magnétiques tels que les ions de métaux de transition (Fe³⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, etc.) dans les matériaux ferroélectriques. Dans la famille ferroélectrique, le titanate de baryum (BaTiO₃) est le matériau ferroélectrique le plus utilisé et, même après soixante-quinze ans de sa découverte, il reste un matériau essentiel avec d'excellentes propriétés diélectriques, optiques, piézoélectriques et ferroélectriques. Il est confirmé par plusieurs études que le dopage au Fe favorise la formation de la phase hexagonale. Bien que la substitution de BaTiO₃ au Fe (BTF) diminue les propriétés diélectriques de cette dernière par réduction de la constante diélectrique et déplacement de la température de transition de phase vers les températures plus élevées.

Dans ce travail, nous avons synthétisé les céramiques BaTi_{1-x}Fe_xO₃ pour x = 0,00 à 0,60 et étudié l'influence de la substitution Fe sur les propriétés structurales des céramiques BTF. Les résultats de diffraction des rayons X montrent que la céramique pour x = 0,00 (BaTiO₃) cristallise en phase tétragonale. Alors que pour les taux de x = 0,10 à 0,30, les poudres cristallisent en deux phases hexagonale et tétragonale, en dépassant ce taux (x = 0,30) on remarque que la phase hexagonale est stabilisée et la phase tétragonale disparaît complètement. Ces résultats sont confirmés par la spectroscopie RAMAN. Le MEB a montré un changement dans la forme des grains de sphérique à allongé avec l'augmentation du Fe et la densité de la céramique augmente jusqu'à x = 0,30 puis diminue. La spectroscopie Mössbauer montre que tous les échantillons sont en état paramagnétiques à température ambiante et que le fer est oxydé dans ces céramiques sous Fe³⁺ et exclut l'apparition des ions Fe²⁺ et Fe⁴⁺. Pour des concentrations de dopage élevées, la symétrie est abaissée dans le site octaédrique (QS différent de 0). De plus, le SI correspondant au Fe³⁺ octaédrique diminue avec l'augmentation de la concentration de dopage, ce qui suggère que la densité d'électrons s au noyau Fe augmente, ce qui peut être causé par l'augmentation des lacunes d'oxygène.

Effet de la substitution par Mg^{2+} sur les propriétés structurales, magnétiques et hyperfines de spinelle $CoFe_2O_4$

M. Ounacer¹, A. Essoumhi^{1,2}, M. Sajieddine^{1,3}, A. Razouk¹, A. Fnidiki⁴, F. Richomme⁴, J. Juraszek⁴, S.M. Dubiel⁵, M. Sahlaoui¹

¹LPM, FST, Université Sultan Moulay Slimane, Béni-Mellal, Maroc.

²LPCMA, FP, Université Sultan Moulay Slimane, Béni-Mellal, Maroc.

³Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Université Sultan Moulay Slimane, Khouribga, Maroc.

⁴Normandie Univ, UNIROUEN, INSA Rouen, CNRS, GPM, 76000, Rouen, France.

⁵Université AGH des Sciences et Technologie, Faculté de Physique et Informatique Appliquée, Al. A. Mickiewicza 30, 30-059, Cracovie, Pologne.

Ce travail porte sur l'étude des propriétés structurales, magnétiques et hyperfines de ferrite de cobalt substitué par différentes teneurs de Mg^{2+} ($Co_{1-x}Mg_xFe_2O_4$, $0 \leq x \leq 1$). Les échantillons ont été synthétisés par coprécipitation [1], puis ils ont subi au recuit à $850^\circ C$, cette température a été déduite de l'analyse thermique, *ATD-TG*, réalisée sur les échantillons bruts. Les diagrammes de diffraction des rayons X montrent que les échantillons cristallisent dans une structure spinelle cubique (*Fd-3m*) [2]. La taille des cristallites (D_{DRX}) ainsi que le paramètre de maille (a) ont été remarquablement influencés par le taux de Mg (e.g., D_{DRX} diminue de 38 à 20 nm). De son côté, l'analyse par la microscopie électronique à transmission a révélé que les grains ont une forme presque sphérique et que les échantillons sont chimiquement homogènes. Les mesures magnétiques, par *SQUID*, réalisées à 5K montrent que l'aimantation à saturation (M_s) diminue avec l'augmentation du taux de substituant. Il est à noter que le système ferrite mixte Co-Mg présente un comportement d'hystérésis magnétique dit *wasp-waist*, cf. Fig.a [3], et que l'échantillon $Co_{0,4}Mg_{0,6}Fe_2O_4$, dont la taille des nanoparticules égale à 25 nm, présente une coercivité maximale (H_c) de 4000Oe. Les spectres Mössbauer enregistrés à 300K ont été ajustés en superposant deux sextuplets, ce qui traduit l'incorporation de l'ion Fe^{3+} aux deux sous-réseaux A et B de la structure spinelle. Le champ hyperfin relatif au ces sites diminue de manière identique à celle de M_s lorsque x varie de 0 à 0,8. Pour sa part, le spectre relatif à $x = 1$ a été calculé en utilisant une distribution de champ hyperfin. De plus, les mesures réalisées à 6 et 80K sur les échantillons relatifs à $x = 0$ et 1 ont été ajustés par la superposition de trois sextuplets (Fig.b). Se basant sur les valeurs de paramètres hyperfins calculés tels que le champ hyperfin et le déplacement isomérique, nous avons attribué le premier sextuplet (S) au site A et les deux autres aux sites B (B1 et B2).

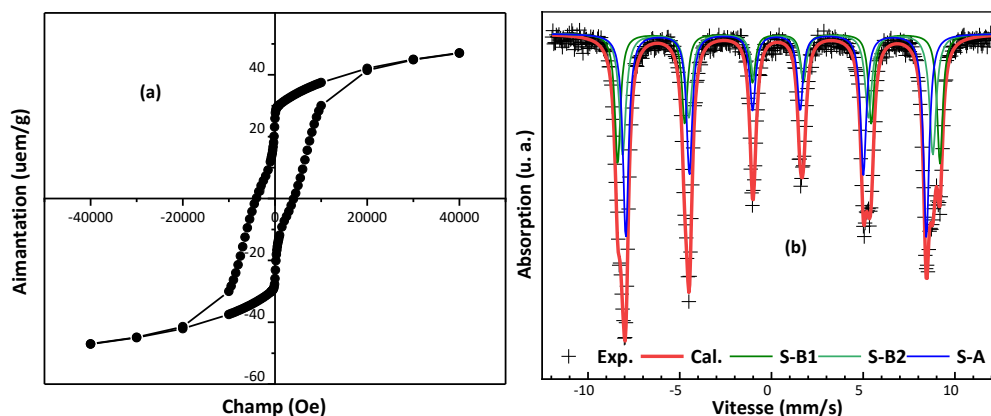


Figure : Courbe $M(H)$, collectée à 5K, pour l'échantillon relatif à $x = 0,6$ (a) et spectre Mössbauer enregistré à 6K pour l'échantillon correspondant à $x = 0$ (b).

Références

- [1] T. Ajeesha, A. Shwini, M. George, A. Manikandan, J.A. Mary, Y. Slimani, M.A. Almessiere, A. Baykal, *Phys. B: Cond. Mat.*, 606 (2021) 412660.
- [2] M.P. Dojcinovic, Z.Z. Vasiljevic, V.P. Pavlovic, D. Barisic, D. Pajic, N.B. Tadic, M.V. Nikolic, *J. Alloys Compd.*, 855 (2021) 157429.
- [3] L.H. Bennett, E.D. Torre, *J. App. Phys.*, 97 (2005) 10E502.

Propriétés structurales et magnétiques de cobalt ferrite dopé par Ce^{3+} et Spectroscopie Mössbauer

S. Bahhar^{1,2}, A. Boutahar¹, M. Ounacer⁴, H. Lemziouika⁵, E. Sebbar³, M. Sajieddine^{4,6}, H. Bioud², E. K. Hlil⁷

¹ LabSIPE, Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Université Chouaib Doukkali d'El Jadida, El Jadida, Plateau 24002, Morocco

² Laboratoire Instrumentation de Mesure et de Contrôle (IMC), Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali d'El Jadida, El Jadida, Plateau 24002, Morocco

³ Laboratory of Physico-Chemistry of Materials (LPCM), Department of Chemistry, Faculty of Science, Chouaib Doukkali University, BP 20, 24000 El Jadida, Morocco.

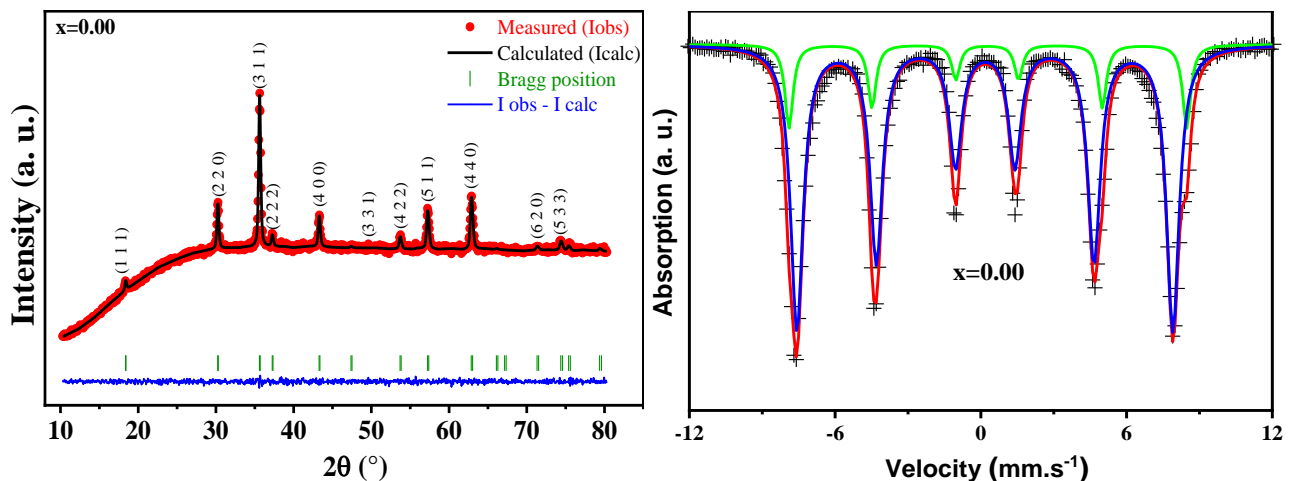
⁴ LPM, Faculty of Sciences and Technology, Sultan Moulay Slimane University, Béni-Mellal, Morocco.

⁵ LPMMAT, Université Hassan II-Casablanca, Faculté des Sciences Ain Chock, BP 5366, Mâarif - Casablanca, Morocco.

⁶ National School of Applied Sciences, Khouribga, Morocco.

⁷ Institut Néel, CNRS, Université Grenoble Alpes, 25 rue des Martyrs BP 166 38042 Grenoble cedex 9, France.

L'intérêt principal de ce travail est d'étudier l'effet d'une mineure substitution par Ce^{3+} sur les propriétés structurales et magnétiques de cobalt ferrite CoFe_2O_4 . Pour cela, la méthode sol-gel a été utilisée pour synthétiser les échantillons sous forme de nanoparticules fines. Une étude préliminaire a été effectuée par diffraction des rayons X afin d'assurer la structure cristalline et la pureté des matériaux produits. Les propriétés magnétiques des échantillons sont étudiées par la spectroscopie Mössbauer à température ambiante. Les mesures des paramètres hyperfins sont réalisées en géométrie de transmission. Cette technique a été principalement utilisée pour déterminer l'état de valence des ions de fer.



Références

[1] R.K. Panda, R. Muduli, G. Jayarao, D. Sanyal, D. Behera, *Journal of Alloys and Compounds*, 669 (2016) 19-28.

Etudes par diffraction neutronique, mesures magnétiques, spectrométrie ^{57}Fe Mössbauer et structure électronique KKR-CPA des propriétés magnétiques du système MnFe (As, P)

Abdelaziz KOUMINA¹ et Daniel FRUCHART²

¹ *Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Bio-Ressources, Environnement et Matériaux «LIRBEM», Université Cadi Ayyad, ENS, Marrakech, Maroc.*

² *Institut Néel, CNRS et UGA, BP 166, 38042 Grenoble CÉDEX 9, France.*

Les pnictures de type Fe_2P , présentent des propriétés magnétiques originales. En fait, les composés ternaires $\text{TT}'\text{X}$ (T, T' = métaux de transition, X = P, As, Si, Ge etc.) cristallisent dans l'un des trois types de structure : orthorhombique (SG Pnma: O4), hexagonal (SG P-62m: H3) et tétragonal (SG $\text{P4}_2/\text{nmm}$: T2). Des potentialités de développement de fortes contributions magnétocaloriques au voisinage de la température ambiante ont été plus spécialement révélées pour le système MnFe(As,P). Pour mieux comprendre les paramètres physico-chimiques et électroniques qui gouvernent la potentialité de ce fort effet magnétocalorique, nous avons réalisé des expériences de diffraction de neutronique, des mesures magnétiques et des calculs de structure de bande KKR-CPA [1]. L'analyse spectroscopique Mössbauer a été réalisée [2] sur des composés riches en Mn, équi-atomiques Mn-Fe et riches en Fe, permettant la détermination de la distribution des champs hyperfins du fer dans des sites tétraédriques (4 X) et pyramidaux (5 X), respectivement. Les calculs de structure électronique ont confirmé le schéma de distribution préférentielle pour les métaux (Mn,Fe) et les non-métaux X, respectivement. De plus, les moments magnétiques locaux ont été déterminés, en bon accord avec les mesures d'aimantation et celles résultant de la spectrométrie Mössbauer. Les corrélations des analyses théorie/expérience conduisent à confirmer les caractéristiques magnétocaloriques intéressantes présentées par le système MnFe(As,P).

Références

[1] D. Fruchart et al, Physica A, 358. (2005) 123–135.

[2] D. Fruchart et al, Crystals, 9. (2019) 37.

Sulfures de cuivre d'origine minérale : structure, défauts et propriétés thermoélectriques

E. Guilmeau,¹ V. Pavan Kumar,¹ G. Guélou,¹ C. Bourgès,¹ P. Lemoine,² B. Raveau,¹ C. Candolfi,³ B. Malaman,³ G. Le Caër,⁴ F. Appert,⁵ J. Juraszek,⁵ O. Lebedev,¹ V. Nassif,⁶ R. Al Rahal Al Orabi,⁷ A. Supka,⁸ M. Fornari,⁸ K. Suekuni,⁹ M. Ohta¹⁰

¹Laboratoire CRISMAT, Caen,

²ISCR, Rennes,

³Institut Jean Lamour, Nancy, ⁴IPR, Rennes,

⁵GPM, Rouen,

⁶Institut Néel, Grenoble,

⁷Solvay, Saint Fons,

⁸Central Michigan University, Mt. Pleasant,

⁹Kyushu University, Fukuoka,

¹⁰AIST Tsukuba

La génération d'électricité à partir de chaleur dissipée au moyen de modules thermoélectriques (effet Seebeck) représente une voie particulièrement prometteuse de production d'énergie « verte ». Cette technologie présente des avantages indéniables en matière de fiabilité, de maintenance, d'absence de vibrations, qui la rendent attractive pour des utilisations dans les domaines automobile, aéronautique, de l'industrie ou du bâtiment. Pour accroître les rendements des dispositifs (aujourd'hui en deçà des 10 %), les scientifiques s'attachent à concevoir de nouveaux matériaux plus efficaces. Le défi est de synthétiser un matériau dans lequel les propriétés électriques et thermiques sont découplées. En bref, comment élaborer un conducteur électrique qui conduit très peu la chaleur ?

Certains sulfures de cuivre d'origine minérale présentent cette caractéristique particulière. Grâce à leurs structures cristallographiques complexes, la tétraédrite ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) ou la colusite ($\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{Sn}_6\text{S}_{32}$), des semi-conducteurs dégénérés de type p, associent une conductivité électrique élevée et une faible conductivité thermique. A ce titre, en jouant sur les conditions de frittage de la colusite $\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{Sn}_6\text{S}_{32}$, nous avons pu mettre en évidence l'impact prépondérant de défauts structuraux sur la conductivité thermique et les performances thermoélectriques du matériau [1]. Ce désordre structural s'apparente à une occupation mixte des sites cationiques du réseau sphalérite formant le squelette de la structure colusite. Grâce à des analyses par diffraction des rayons X et neutrons, microscopie électronique à transmission, spectroscopie Mössbauer et diffusion inélastique des neutrons, nous avons pu corrélérer les propriétés de transport et vibrationnelles à la structure, en lien avec les conditions de synthèse des matériaux. Par ailleurs, nous avons récemment montré que l'insertion de cations hexavalents ($T = \text{Cr}, \text{Mo}, \text{W}$) au sein la structure colusite $\text{Cu}_{26}\text{T}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$ conduit à des phases synthétiques présentant des propriétés électroniques exceptionnelles, notamment dans la colusite $\text{Cu}_{26}\text{Cr}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$. Une analyse structurale détaillée, couplée à des calculs théoriques, a permis de montrer que ces propriétés sont gouvernées par la distorsion du réseau conducteur « Cu-S » au travers d'interactions avec les complexes tétraédrique-octaédrique $[\text{CrS}_4]\text{Cu}_6$ présents au sein de la structure colusite [2]. Cette singularité structurale, liée à la présence du chrome en position interstitielle, est à l'origine d'un facteur de puissance record de la colusite $\text{Cu}_{26}\text{Cr}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$ parmi les matériaux sulfures iono-covalents. En parallèle de ces travaux, nous cherchons également à identifier d'autres sulfures de cuivre dérivés de la structure sphalérite. Grâce à la mécanosynthèse couplée au frittage SPS, des composés d'origine minérale, tels que la germanite $\text{Cu}_{22}\text{Fe}_8\text{Ge}_4\text{S}_{32}$, la renierite $\text{Cu}_{20}\text{Zn}_2\text{Fe}_8\text{Ge}_4\text{S}_{32}$, la stannoidite $\text{Cu}_8\text{Fe}_3\text{Sn}_2\text{S}_{12}$, un dérivé de la mohite $\text{Cu}_5\text{Sn}_2\text{S}_7$ [3] ont pu être synthétisés en laboratoire pour la première fois. Les structures complexes de ces composés ont été résolues notamment grâce à la spectroscopie Mössbauer.

Références

- [1] C. Bourgès *et al.*, J. Amer. Chem. Soc. 140 (2018) 2186. C. Candolfi *et al.*, Phys. Rev. Mater. 4 (2020) 025404. E. Guilmeau *et al.*, Highlights ILL 2018, p. 60-61.
- [2] V. Pavan Kumar *et al.*, Adv. Energy Mater. 9 (2019) 1803249. V. Pavan Kumar *et al.*, Angewandte Chemie 58 (2019) 15455. P. Lemoine *et al.*, Highlights ILL 2019, p. 32-33. Actualités INC CNRS, Sept. 2019.
- [3] V. Pavan Kumar *et al.*, Inorg. Chem. 56 (2017) 13376. V. Pavan Kumar *et al.*, J. Phys. Chem. C 121 (2017) 16454. V. Pavan Kumar *et al.* ACS Appl. Energy Mater. 2 (2019) 115401, V. Pavan Kumar *et al.* J. Mater. Chem. A (sous presse).

Effet du dopage en fer sur les composés thermoélectriques $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}_2$

I. Fourati¹, U. A. Salas², F. Richomme¹, O. Lebedev², D. Pelloquin², A. Maignan², J. Juraszek¹, S. Hébert²

¹Normandie Univ, UNIROUEN, INSA Rouen, CNRS, GPM, 76000 Rouen, France

²Normandie Univ, ENSICAEN, UNICAEN, CNRS, CRISMAT, 14000 Caen, France

La pyrite CoS_2 présente une forte polarisation de spin et un coefficient Seebeck élevé, rendant ce composé particulièrement intéressant dans les domaines de la spintronique et de la thermoélectricité. L'optimisation des propriétés thermoélectriques nécessite cependant de diminuer la conductivité thermique de ce métal, proche de $10,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ à température ambiante [1]. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'influence du dopage en fer sur les propriétés magnétiques et thermoélectriques de la pyrite. Une transition vers un état semiconducteur observée dans les composés $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}_2$ pour $x = 0.3$ doit en effet favoriser un coefficient de Seebeck élevé, et le désordre sur les sites de Co peut aussi affecter la conductivité thermique.

Des pastilles denses polycristallines $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}_2$ avec ($0 \leq x \leq 0,5$) ont été préparées par voie solide et densifiées par Spark Plasma Sintering (SPS). La qualité cristallographique de ces échantillons a été contrôlée par XRD. Les propriétés magnétiques ont été déterminées en mesurant l'évolution thermique de l'aimantation $M(T)$ (figure 1), ainsi que des cycles d'hystérésis $M(H)$ à basse température. Un comportement ferromagnétique est observé pour toutes les compositions étudiées, avec une température d'ordre magnétique qui augmente avec la teneur en fer jusqu'à atteindre la valeur de 150 K pour $x = 0,50$ [2]. La caractérisation des composés par spectrométrie Mössbauer du ^{57}Fe a été réalisée en géométrie de transmission de 300 K à 20 K. Nous présenterons l'évolution des paramètres hyperfins déduits de l'ajustement des spectres Mössbauer en fonction de la composition et de la température. L'ajustement dans le cadre du modèle de Debye des variations thermiques du déplacement isomérique a notamment permis de déterminer la température de Debye θ_D des composés, dont les valeurs augmentent avec la teneur en fer (figure 2).

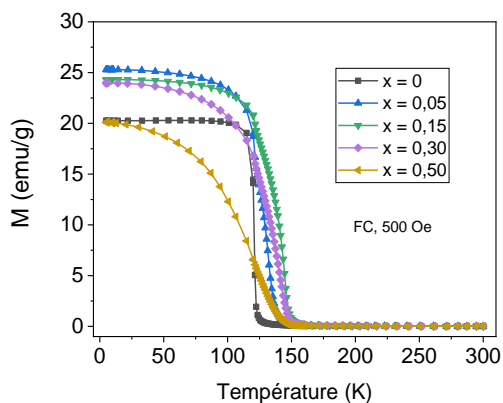


Figure 1 : Aimantation en fonction de la température $M(T)$ sous $H = 500 \text{ Oe}$ pour toutes les compositions.

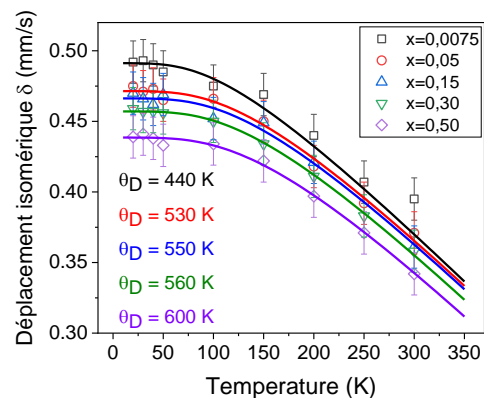


Figure 2 : Évolution du déplacement isomérique en température dans les pyrites.

Références

- [1] S. Hébert, E. Guilmeau, D. Berthebaud, O.I. Lebedev, V. Roddatis, A. Maignan, *J. Appl. Phys.* 114 (2013) 103703.
- [2] U. A. Salas, I. Fourati, J. Juraszek, F. Richomme, O. Lebedev, D. Pelloquin, A. Maignan, S. Hébert, *Phil. Trans R Soc A* 377 (2019) 20180337.
- [3] Y. Nishihara and S. Ogawa, *The Journal of Chemical Physics*, 71 (1979) 3796.

Distribution cationique dans des sulfures de cuivre thermoélectriques : cas des phases germanite $\text{Cu}_{22}\text{Fe}_8\text{Ge}_4\text{S}_{32}$ et renierite $\text{Cu}_{20}\text{Zn}_2\text{Fe}_8\text{Ge}_4\text{S}_{32}$

P. Lemoine¹, L. Paradis-Fortin^{1,2}, V. Pavan Kumar², G. Guélou², C. Prestipino¹, B. Malaman³, G. Le Caër⁴, J. Juraszek⁵, V. Nassif⁶, E. Elkaim⁷, P. Boullay², B. Raveau², S. Cordier¹, E. Guilmeau²

¹*Institut des Sciences Chimiques de Rennes, Rennes*

²*Laboratoire CRISMAT, Caen*

³*Institut Jean Lamour, Nancy*

⁴*Institut de Physique de Rennes, Rennes*

⁵*Groupe de Physique des Matériaux, Rouen*

⁶*Institut Néel & Institut Laue Langevin, Grenoble*

⁷*Synchrotron SOLEIL, Gif-sur-Yvette*

Les sulfures de cuivre à structure complexe sont considérés depuis quelques années comme des matériaux thermoélectriques prometteurs pour des applications à des températures intermédiaires [1]. Ces matériaux sont généralement formés d'éléments non toxiques et peu chers, et peuvent présenter une faible conductivité thermique intrinsèque. Cependant, leurs facteurs de puissance restent généralement modestes en comparaison d'autres matériaux thermoélectriques tels que les composés intermétalliques. Récemment, nous avons montré que l'insertion de cations hexavalents ($T = \text{Cr}, \text{Mo}, \text{W}$) au sein de la structure colusite conduit à des phases synthétiques présentant des propriétés électroniques exceptionnelles [2]. Une analyse structurale détaillée couplée à des calculs théoriques ont permis de montrer que ces propriétés sont gouvernées par la distorsion du réseau conducteur « Cu-S » au travers d'interactions avec les complexes tétraédrique-octaédrique $[\text{TS}_4]\text{Cu}_6$ présents au sein de la structure colusite [3]. En parallèle de ces études, nous nous intéressons également aux phases germanite $\text{Cu}_{22}\text{Fe}_8\text{Ge}_4\text{S}_{32}$ et renierite $\text{Cu}_{20}\text{Zn}_2\text{Fe}_8\text{Ge}_4\text{S}_{32}$, toutes deux dérivées de la colusite. Cependant, en dépit de leurs structures cristallographiques fortement apparentées, les propriétés thermoélectriques de la germanite et de la renierite restent inférieures à celles de la colusite [4]. Dans le cas de la germanite, cette différence est directement liée à la nature et à la distribution des cations mis en jeu. Dans l'objectif d'améliorer les performances thermoélectriques de ces phases, il est nécessaire de comprendre les relations existantes entre la structure et les propriétés de ces matériaux. Ceci requiert une connaissance approfondie de leurs structures cristallographiques. Cependant, la détermination des distributions cationiques par les méthodes classiques de diffraction est particulièrement complexe dans le cas des phases germanite $\text{Cu}_{22}\text{Fe}_8\text{Ge}_4\text{S}_{32}$ et renierite $\text{Cu}_{20}\text{Zn}_2\text{Fe}_8\text{Ge}_4\text{S}_{32}$. Ceci est due (i) à la difficulté d'obtenir des monocristaux, (ii) au très faible contraste existant entre les différents cations (numéros atomiques et facteurs de diffusion neutronique similaires), (iii) à leurs environnements chimiques équivalents et (iv) à l'existence de sites cationiques présentant une occupation mixte. L'étude approfondie de la structure cristallographique de ces phases nous a amené à développer une approche originale combinant diffraction des rayons X sur monocristal, spectroscopie Mössbauer, diffraction des neutrons et diffraction résonnante sur poudre. Dans cette communication, je présenterai le contexte général de l'étude et l'apport primordial de la spectroscopie Mössbauer à l'étude structurale de ces sulfures de cuivre à propriétés thermoélectriques.

Références

- [1] A.V. Powell, *J. Appl. Phys.*, 126 (2019) 100901 ; G. Guélou et al., *J. Mater. Chem. C*, 9 (2021) 773.
- [2] V. Pavan Kumar et al., *Adv. Energy Mater.*, 9 (2019) 1803249.
- [3] V. Pavan Kumar, G. Guélou et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, 58 (2019) 15455.
- [4] V. Pavan Kumar et al., *Inorg. Chem.*, 56 (2017) 13376 ; V. Pavan Kumar et al., *ACS Appl. Energy Mater.*, 2 (2019) 7679 ; L. Paradis-Fortin et al., *J. Alloys Compd.*, 831 (2020) 154767.

Etude comportement de la transition de spin d'une chaîne 1D du Fe(II) 1,2,4-triazole incorporée dans les pores du SBA-15

Houria Benaïssa¹, Aurelian Rotaru², Yann Garcia¹

¹Institute of Condensed Matter and Nanosciences (IMCN/MOST), Université catholique de Louvain, Place L. Pasteur 1, 1348 Louvain-la-Neuve.

²Dept. of Electrical Engin. & Computer Sci., "Stefan cel Mare" Univ. Suceava, Romania
(houria.benaïssa@uclouvain.be)

Le phénomène de transition de spin (TS) que l'on retrouve dans certains composés de coordination provient de l'existence d'un champ de ligand intermédiaire permettant un passage réversible de l'état haut-spin (HS) à l'état bas-spin (BS), associés à de profondes modifications de leurs propriétés magnétiques et optiques, qui les rendent très attractifs pour des capteurs, stockage de données ou les affichages magnéto-optiques [1,2].

Parmi les matériaux à TS, la famille unidimensionnelle de Fe(II) à base de 1,2,4- triazole de formule $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})]\text{BF}_4$ (Htrz = 1,2,4-H-triazole; trz = 1,2,4-triazolate), a fait l'objet des recherches approfondies en raison de leur grande boucles d'hystérèse thermique proche de la température ambiante. A travers de ces quelques rappels bibliographiques, il est intéressant de constater que le complexe $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2(\text{trz})]\text{BF}_4$ est l'un des plus connus et les mieux décrits de la famille des triazoles. Nous chercherons à utiliser différents outils hérités de plusieurs disciplines de la science des matériaux pour élaborer un matériau à TS qui soit utilisé à la fois comme un matériau fonctionnel, en raison de ses propriétés physiques, telles que conductivité ou semi-conductivité électrique, magnétisme, propriétés optiques.

Au cours des dernières années, les matériaux à TS ont été préparés sous forme de films [3,4], nanoparticules [5,6], nanostructures [7,8] et ont été également insérés dans des matrices de silice mésoporeuse pour former des matériaux hybrides [9].

Le composé à TS $[\text{Fe}(\text{Htrz})_2\text{trz}]\text{BF}_4$ (SCO) (Htrz = 1,2,4-triazole) a été incorporé dans les pores de la silice mésostructurée SBA-15 en variant différentes conditions de synthèse pour donner des composites SCO@SBA-15 comme le montre la BET, EDX, DRXP et l'IR. Des études du comportement de la TS thermo-induite des composites SCO1@SBA-15 et SCO2@SBA-15 par spectroscopie Mössbauer du ^{57}Fe à température variable et des mesures magnétiques (SQUID) ont indiqué qu'il n'y a pas de changement important. Le comportement hystérétique de la TS est maintenu avec une largeur de boucle d'hystérésis de 30 K, et $T_c^\uparrow = 382$ K et $T_c^\downarrow = 352$ K. Ces résultats se comparent bien avec ceux d'autres matériaux hybrides à TS préparés avec MCM-41 [9].

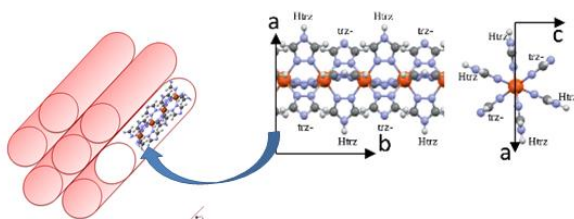


Fig : Présentation schématique des chaînes 1D Fe-triazole incorporées dans la silice mésoporeuse (SBA-15)

Références

- [1] H. Benaïssa, A. Rotaru, Y. Garcia, *Hyperfine Interact.*, 239 (2018) 37.
- [2] J. Linares, E. Codjovi, Y. Garcia, *Sensors*, 12 (2012) 4479.
- [3] D. Qiu, L. Gu, X.-L. Sun, D.-H. Ren, Z.-G. Gu and Z. Li, *RSC Adv*, 4 (2014) 61313–61319.
- [4] P. Gütllich, A. B. Gaspar and Y. Garcia, *Beilstein J. Org. Chem*, 9 (2013) 342–391.
- [5] M. Mikolasek, G. Félix, G. Molnár, F. Terki, W. Nicolazzi and A. Bousseksou, *Phys. Rev. B*, **90** (2014), 075402.
- [6] G. Molnár, L. Salmon, W. Nicolazzi, F. Terkib and A. Bousseksou, *J. Mater. Chem. C*, 2 (2014) 1360–1366.
- [7] A. Tissot, L. Rechinat, A. Bousseksou and M.-L. Boillot, *J. Mater. Chem.* 22 (2012) 3411–3419
- [8] A. Tokarev, J. Long, Y. Guari, J. Larionova, F. Quignard, P. Agulhon, M. Robitzer, G. Molnár, L. Salmon and A. Bousseksou, *New J. Chem*, 37 (2013) 3420–3432.
- [9] T. Zhao, L. Cuignet, M. M. Dîrtu, M. Wolff, V. Spasojevic, I. Boldog, A. Rotaru, Y. Garcia, C. Janiak. *J. Mater. Chem. C*, 3 (2015) 7802.

Liste des participants

NOM Prénom	Fonction	Organisme
ABDELMOULA Mustapha	Ingénieur de Recherche	Université de Lorraine, LCPME UMR 7564 CNRS, France
AGHRIS Sara	Doctorante	Université Sultan Moulay Slimane, Khouribga, Maroc
APPERT Florian	Post-doctorant	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
BAHHAR Soufiane	Doctorant	Université Chouaib Doukkali d'El Jadida, ENSA Maroc
BAHJOU Yousra	Doctorante	Université catholique de Louvain, IMCN/MOST, Belgique
BEN TAAZAYET Wael	Doctorant	Université de Tunis El Manar, Tunisie
BENAISSA Houria	Doctorante	Université catholique de Louvain, IMCN/MOST, Belgique
CHERIF Amira	Etudiante	Université de Tunis El Manar, LR99ES17, Tunisie
CORDIER Catherine	Enseignant-Chercheur	Université de Lille, UMET, France
COUSTEL Romain	Maître de Conférences	Université de Lorraine, LCPME UMR 7564 CNRS, France
DILIBERTO Sebastien	Ingénieur de Recherche	Institut Jean Lamour, France
DRAOUI Youssef	Étudiant	Université catholique de Louvain, IMCN/MOST, Belgique
DUTTINE Mathieu	Ingénieur d'étude	Université de Bordeaux, ICMCB UMR 5026, France
FERREIRA Liliana	Professeur	Université de Coimbra, Portugal
FNIDIKI Abdeslem	Professeur	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
FOULON Béatrice	Technicienne	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
FOURATI Ismail	Doctorant	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
FRAISSE Bernard	Ingénieur de Recherche	Université de Montpellier, ICGM, France
FRITAH Kamal	Doctorant	Université Ibn Zohr, LME, Maroc
GARCIA Yann	Professeur	Université catholique de Louvain, IMCN/MOST, Belgique
GOUITAA Najwa	Docteur	Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, LSSC, Maroc
GRENECHE Jean-Marc	DR CNRS	Le Mans Université, IMMM UMR CNRS 6283, France
GUILMEAU Emmanuel	DR CNRS	Université de Caen, CRISMAT UMR 6508, France
HADRI Abass	Etudiant	Université Mohammed Premier Oujda, Maroc
JOUEN Samuel	Maître de conférences	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
JURASZEK Jean	Maître de conférences	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
KCHAW Marwa	Doctorante	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
KHACHANE Manar	Professeur associé	Fac de science Agadir, Maroc
KOUMINA Abdelaziz	Enseignant-chercheur	Université Cadi-Ayyad, ENS, Marrakech, Maroc
LADRIERE Jean	Professeur émérite	Université catholique de Louvain, IMCN/MOST, Belgique
LEFEVRE Christophe	CR CNRS	Université de Strasbourg, IPCMS UMR CNRS 7504, France
LEMOINE Pierric	CR CNRS	Université de Rennes, ISCR, France

LI Weiyang	Ph. D	Université catholique de Louvain, IMCN/MOST, Belgique
LI Sun	Doctorant	Université catholique de Louvain, IMCN/MOST, Belgique
LIPPENS Pierre-Emmanuel	DR CNRS	Université de Montpellier, ICGM UMR 5253, France
LOTFI Mohamed	Professeur	Université Cadi Ayyad, FSSM, Maroc
MALLEK-ZOUARI Ikbel	Enseignante-chercheure	Université de Tunis El Manar, LMOP, Tunisie
MARCHAL Iouis	Stagiaire	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
MARIANO Jose	Maître de Conférences	Universidade do Algarve, Faro, Portugal
RAKOTOMALALA ROBINSON Mbolantenaina	ATER	Université de Limoges, France
NACHBAUR Virginie	Maître de Conférences	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
OULMIDI Afaf	Doctorante	Université catholique de Louvain, IMCN/MOST, Belgique
OUNACER Mohamed	Etudiant	Université Sultan Moulay Slimane, LPM, Maroc
RABI Bouchra	Doctorante	Université Sultan Moulay Slimane, LPM, Maroc
RANDRIANANTOANDRO Nirina	Enseignant-chercheur	Le Mans Université, IMMM UMR CNRS 6283, France
SAJIEDDINE Mohammed	Enseignant-chercheur	Université Sultan Moulay Slimane, ENSA-Khouribga, Maroc
SANZ CAMACHO Paula	Ingénieur	Université de Bordeaux, ICMCB UMR 5026, France
SOUGRATI Moulay Tahar	Ingénieur de Recherche	Université de Montpellier, ICGM UMR 5253, France
STIEVANO Lorenzo	Professeur	Université de Montpellier, ICGM UMR 5253, France
SZOSTAK Bogumila	Etudiante	Le Mans Université, IMMM UMR CNRS 6283, France
SZUMIATA Tadeusz	Professeur associé	University of Technology and Humanities in Radom, Pologne
TEILLET Jacques	Retraité	Université de Rouen Normandie, GPM UMR CNRS 6634, France
THABET MLIKI Najeh	Professeure	Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie
WATTIAUX Alain	Retraité	Université de Bordeaux, ICMCB UMR 5026, France
ZERGAT Samir	Doctorant	Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Algérie