

Contrat doctoral Etablissement 2025/2028

Formulaire de candidature

Titre de la thèse	Ferrites de cobalt substitués et Nanocomposites : de la photo-électrodégradation ultrarapide de polluants organiques à la production solaire d'hydrogène et d'oxygène.
-------------------	---

Ecole Doctorale	ED548
Laboratoire	IM2NP
Discipline	Chimie
Directeur(s) de Thèse & Encadrant(s)	Madjid Arab (MCF – HDR) Véronique Madigou (MCF)

Description du sujet de recherche

(3 pages maximum - contexte scientifique, objectifs, mots clé, références)

Contexte, originalité et pertinence par rapport à l'état de l'art :

La dépollution de l'eau et la production d'énergie propre sont des enjeux sociétaux, scientifiques et écologiques majeurs des années à venir. D'un côté, il est essentiel, de limiter l'impact négatif des activités humaines sur l'environnement et de fournir de l'eau propre à la consommation. De l'autre, il faut répondre aux besoins énergétiques indispensable au développement de la vie ainsi, à l'essor de la société humaine et à sa croissance économique.

Consciente de ces enjeux, l'Union européenne a inscrit, dans son programme d'action pour l'environnement (période 2021-2030), la qualité de l'air et de l'eau comme priorités majeures. C'est dans cette dynamique que s'inscrit le projet de thèse proposé, parfaitement aligné avec la stratégie « Mer, Environnement et Développement Durable » de l'université de Toulon. Ce sujet répond aux exigences de la Directive-cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE), qui impose la préservation des ressources en eau et la diminution des substances toxiques [1]. Il s'intègre également à la feuille de route sur l'hydrogène du Green Deal et du plan REPowerEU, qui visent l'objectif de la production de dix millions de tonnes d'hydrogène renouvelable à l'horizon 2030.

Ces programmes européens interdisciplinaires fédèrent les recherches en sciences côtières, environnementales et technologiques pour soutenir la transition écologique du littoral méditerranéen [2].

Objectifs et Méthodes :

Dans ce contexte, de nombreuses études fondamentales et applicatives ont été réalisées sur la dégradation et la transformation de contaminants de natures diverses [3]. Jusqu'à présent, le développement de processus

d'oxydation avancée (POA), par décomposition photocatalytique et photo-électrocatalytique à l'aide de semi-conducteurs adaptés, constitue la démarche scientifique et technologique la plus performante en termes de purification de l'eau et de l'air [4]. Par ailleurs, la photocatalyse présente une faible empreinte énergétique, répondant ainsi à l'un des besoins actuels de développer des technologies vertes et durables pour le traitement et la transformation des polluants (liquides et gazeux).

La photodégradation (PC) et la photoélectrodégradation (PEC) sont deux procédés peu coûteux, écologiques et renouvelables. Opérant à température ambiante et sous rayonnement UV-Visible, ils permettent la minéralisation totale des polluants [5,6]. La décomposition photocatalytique est un processus, utilisant un catalyseur semi-conducteur activé par un rayonnement(UV-Vis), qui déclenche une série de réactions photochimiques, en milieu aqueux, permettant de décomposer et de convertir les contaminants en produits inoffensifs (H_2O et CO_2) voir en sous-produits propres et valorisables. Les procédés PC & PEC offrent un potentiel particulièrement prometteur dans le cadre de la transition énergétique. Ils permettent non seulement, de traiter les polluants, mais aussi de valoriser les produits des réactions pour produire des sources d'énergies propres telles que du dihydrogène/et du méthane [7].

Les catalyseurs utilisés dans ces deux procédés (PC et PEC) sont des poudres de matériaux semi-conducteurs, la taille nanométrique des particules augmentant la réactivité du catalyseur.. Au cours des dernières décennies, parmi les divers matériaux semi-conducteurs développés pour la photocatalyse des polluants organiques, le dioxyde de titane (TiO_2) s'est montré le plus performant. En effet, il présente de nombreuses qualités - forte performance photocatalytique, non-toxicité, excellente stabilité physico-chimique associés à cela un faible prix une forte disponibilité commerciale. Néanmoins, le TiO_2 , présentant une large bande interdite (3,2 eV), ne peut être activé que par un rayonnement UV ce qui nécessite une dépense énergétique supplémentaire. Afin de limiter ce coût énergétique, le développement de nouveaux semi-conducteurs photocatalytiques avec une largeur de bande interdite plus faible (E_g) est en cours. Ces matériaux sont activés par la lumière visible, ils peuvent donc profiter du spectre solaire et utiliser le soleil - une source d'énergie inépuisable, naturelle et écologique - comme source de rayonnement pour le traitement et la photo-électrolyse de l'eau [8].

L'objectif majeur, dans ce type d'étude, est de synthétiser un matériau présentant une efficacité performante en un minimum de temps. Pour cela il faut optimiser les interactions entre les molécules adsorbées et les catalyseurs solides, le choix du matériau réside dans ses caractéristiques intrinsèques, à savoir une surface spécifique importante, une structure de bande compatible avec les polluants ciblés, des propriétés optiques favorables au rayonnement solaire, un potentiel thermodynamique approprié et une stabilité vis-à-vis de la photo corrosion. Récemment, la recherche sur les matériaux semi-conducteurs ayant des morphologies spécifiques et contrôlées a vu le jour, constituant un défi stimulant pour les scientifiques. Un photocatalyseur doté d'une grande surface spécifique, avec des pores et des cavités, offre des chemins de transport appropriés favorisant la fixation des molécules polluantes. Ces textures présentent aussi des sites actifs plus dispersés permettant de renforcer les propriétés photocatalytiques des catalyseurs [12]. Un des freins majeurs à l'efficacité d'un photocatalyseur, est la recombinaison rapide des porteurs de charge, qui peut être limitée par la formation de solutions solides et/ou de composites, tel que oxyde/métal et/ou oxyde/oxyde.

Dans ce contexte les photocatalyseurs à base de ferrites de cobalt ($CoFe_3O_4$) ont été choisis pour des applications de photodégradation. Ces semi-conducteurs présentent un grand intérêt, tant sur le plan pratique que fondamental, grâce à leur faible gap qui les rend compatibles avec le spectre solaire. Leurs attractivités sont dues à leurs propriétés structurelles, thermiques et optiques, ainsi qu'à leur photostabilité, leur bonne dispersibilité, leur stabilité chimique et leur résistance à la corrosion.

Notre équipe (NSRE/IM2NP), a développé la maîtrise de la synthèse de nanoparticules de ferrites de cobalt ($CoxFe_{3-x}O_4$), de composition variable (cobalt en substitution du fer) et à morphologie contrôlée (nanoctaèdres, nanocubes, ...). Ces travaux sont engagés depuis plusieurs années, les premières applications de ces matériaux ont été la catalyse du méthane (Thèses Thèses A. Lopes-Moriyama 2014 et L. Ajroudi 2011) et la détection de gaz polluants (I. F. de Medeiros 2018). Une nouvelle application est en cours d'études, il s'agit de photoélectrodégradation des polluants organiques (Thèse Y. Elaadssi, soutenance prévue le 30/09/2025) Dans cette étude de nouvelles ferrites de cobalt substituées au nickel ($NixCoyFe_{3-x-y}O_4$) ont été synthétisées, es

résultats obtenus sont très performants : une dépollution efficace (100%) accompagnée par une minéralisation quasi-totale en moins de trois heures. L'utilisation de nouvelles méthodes prédictives, d'intelligence artificielle, permet optimiser les paramètres expérimentaux des procédures de tests photocatalytiques mais aussi d'affiner la conception de catalyseurs environnementaux adaptés.

Dans cette optique et dans la suite logique des travaux sur la dépollution des eaux, nous proposons de valoriser les résultats obtenus en concevant un photoélectrolyseur solaire à base de ferrite de cobalt. Ce dispositif serait utilisé non seulement pour la photodégradation de polluants persistants (ex : antibiotiques, PFAS, ...) mais également pour valoriser la dégradation de certains polluants par leur transformation en sous-produits à valeur ajoutée, telle que la production d'énergie sous forme de dihydrogène.

- *Le premier volet concerne l'amélioration des performances photocatalytiques pour obtenir une photoélectrodégradation effective et ultrarapide (moins 10 min). Il sera axé sur les propriétés catalytiques du nickel et photosensible du zinc pour élaborer une nouvelle photoanode/photocathode multicomposites basée sur la nanostructuration des ferrites de cobalt substitué $ZnxNiyCozFe3-x-y-zO4$ (avec $x+y+z = 1.5$) et des nanocomposites $ZnxNiyCozFe3-x-y-zO4/g-C3N4$. Dans un premier temps, la substitution du cobalt par le nickel a permis d'augmenter d'une manière significative la surface active, la durée de vie des porteurs de charges photogénérées et de réduire le temps nécessaire à la minéralisation complète (production $H2O + CO2 + ...$) des polluants de type colorants organiques.*
- *Le second volet sera dédié à la production d'énergie en utilisant les mêmes catalyseurs (des ferrites de cobalt substitué $ZnxNiyCozFe3-x-y-zO4$ et des nanocomposites $ZnxNiyCozFe3-x-y-zO4/g-C3N4$). L'objectif est la transformation et la valorisation des polluants par voie de photo-électrocatalyse. Il sera question de photoélectrolyse de l'eau (Water splitting) pour produire de l'hydrogène puis l'oxydation et/ou la réduction du méthane et/ou le dioxyde de carbone (gaz à effet de serre).*

Il est important de noter que les caractéristiques identifiées des ferrites de cobalt substituées, en font d'excellents catalyseurs multifonctionnels. Partant de ces résultats, l'hypothèse centrale est qu'une ingénierie conjointe de la substitution des cations métalliques (Ni, Zn, Cu, Mn...), de l'auto-organisation multi-échelle et des hétérojonctions permettra d'augmenter simultanément :

- *La sélectivité et la vitesse de dégradation de polluants organiques persistants présents par exemple dans les effluents côtiers.*
- *L'efficacité photo-électrocatalytique des réactions d'évolution d'hydrogène et d'oxygène qui génère la production de $H2$ et $O2$.*

Les nanoparticules $CoxMyMzFe(3-x-y-z)O4$ seront synthétisées par voies hydro-/solvothermale, auto-assemblées en films conducteurs sur FTO/ITO, puis intégrées dans des architectures 3D hiérarchisées ou en hétérojonctions Z-scheme avec nanofeuilles ($gC3N4$ ou graphène) ou oxydes bidimensionnels.

Retombées attendues :

La première retombée, à forte dimension socio-économique, visera la mise au point d'un photoélectrolyseur compact capable, d'une part, de minéraliser en quelques minutes les polluants organiques persistants présents dans les effluents côtiers, et d'autre part, de produire un hydrogène intégralement renouvelable. Un prototype « concept » fonctionnant sous le seul rayonnement solaire sera conçu ; il reposera sur des ferrites de cobalt magnétiques, récupérables sans filtration ni produits chimiques, ce qui permettra de réduire drastiquement les coûts d'exploitation des milieux contaminés. La simplicité de la séparation magnétique immédiate, avec alimentation solaire directe, permettra de couvrir le marché des petites stations littorales et des navires, aujourd'hui dépourvus de solutions « zéro réactif ». L'architecture électrode/réacteur, protégée par un dépôt de brevet européen, s'inscrira dans la dynamique d'innovation verte régulièrement mesurée par l'Office européen des brevets. Les technologies de l'environnement et de l'hydrogène figurent en effet parmi les travaux de recherche qui enregistrent la plus forte croissance de dépôts de brevets depuis 2020.

Du point de vue scientifique, le projet apportera une avancée majeure dans la compréhension du couplage « dopage / hiérarchisation » dans les spinelles ferrites. Grâce aux corrélations multi-échelles (DRX, TEM, TR-PL, EIS in situ), on établira la relation entre le dopage et la création d'hétérojonctions retardant la recombinaison des

porteurs photo-générés et amplifiant la formation de radicaux •OH et O₂•⁻, responsables de la minéralisation rapide des colorants, pesticides et antibiotiques. Les résultats relatifs à la cinétique d'oxydation avancée, à la sélectivité HER/OER et à la stabilité sur 20 cycles feront l'objet d'articles ainsi que de communications orales internationales.

Mots clés : Ferrites de cobalt, Nanomatériaux, Nanocomposites, Catalyse solaire, photocatalyse, photoélectrocatalyse, polluants organiques, énergie, hydrogène, oxygène.

Références :

- [1] Pôle Mer Environnement et Développement Durable (MEDD) - Université de Toulon, (n.d.).
https://www.univ-tln.fr/Pole-Mer-Environnement-et-Developpement-Durable-MEDD.html?utm_source=chatgpt.com (accessed April 25, 2025)
- [2] Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, n.d
- [3] G. Fan, J. Tong, F. Li, Visible-Light-Induced Photocatalyst Based on Cobalt-Doped Zinc Ferrite Nanocrystals, Ind. Eng. Chem. Res. 51 (2012) 13639–13647. <https://doi.org/10.1021/ie201933g>
- [4] Girish Kumar, S.; Koteswara Rao, K.S.R. Tungsten-Based Nanomaterials (WO₃ & Bi₂WO₆): Modifications Related to Charge Carrier Transfer Mechanisms and Photocatalytic Applications. Appl. Surf. Sci. 2015, 355, 939–958, doi:10.1016/j.apsusc.2015.07.003.
- [5] El Ouardi, M.; Ait Layachi, O.; Amaterz, E.; El Idrissi, A.; Taoufyq, A.; Bakiz, B.; Benlhachemi, A.; Arab, M.; BaQais, A.; Ait Ahsaine, H. Photo-Electrochemical Degradation of Rhodamine B Using Electrodeposited Mn₃(PO₄)₂.3H₂O Thin Films. J. Photochem. Photobiol. Chem. 2023, 444, 115011, doi:10.1016/j.jphotochem.2023.115011.
- [6] Elaouni, A.; Ouardi, M.E.; BaQais, A.; Arab, M.; Saadi, M.; Ahsaine, H.A. Bismuth Tungstate Bi₂WO₆: A Review on Structural, Photophysical and Photocatalytic Properties. RSC Adv. 2023, 13, 17476– 17494, doi:10.1039/D3RA01987J
- [7] Sameie, H.; Sabbagh Alvani, A.A.; Naseri, N.; Du, S.; Rosei, F. First-Principles Study on ZnV₂O₆ and Zn₂V₂O₇: Two New Photoanode Candidates for Photoelectrochemical Water Oxidation. Ceram. Int. 2018, 44, 6607–6613, doi:10.1016/j.ceramint.2018.01.064.
- [8] Li, X.; Yu, J.; Jaroniec, M. Hierarchical Photocatalysts. Chem. Soc. Rev. 2016, 45, 2603–2636, doi:10.1039/C5CS00838G

Encadrement et conditions matérielles pour le doctorant

- *Moyens Techniques :*
 - Procédés d'élaboration
 - Microscopes électroniques à transmission et à balayage (MET & MEB),
 - Diffraction de rayons X,
 - Analyseur textural (BET/TPR/TPD/TPO/Chem)
 - Banc de mesures de résistance électrique sous gaz,
 - Banc de catalyse et de photocatalyse (UV- Vis et solaire),
 - Banc d'analyse gaz
 - Spectroscopies : IRTF-MS, UV-Vis,
 - Caractérisation Photo - Electro-Chimie (PEC) : I(V), C(V), densité de courant, photocourant, rendement quantique, ...
- *Collaborations*

Ce projet s'inscrit dans le cadre de plusieurs collaborations :

Interne laboratoire :

- Equipe Magnétisme
- Equipe NQS

Locale Université de Toulon :

- Laboratoire MIO
- Laboratoire LIS
- Laboratoire MAPIEM

Nationales :

- Centre Interdisciplinaire de Nanosciences de Marseille (CiNaM) UMR CNRS 7325,
- Laboratoire de Physique des Solides d'Orsay,
- Laboratoire MADIREL, Aix Marseille Université

Internationales :

- Université Fédérale Rio Grande do Norte UFRN, Natal, Brésil.
- Académie des Mines de Cracovie AGH Cracovie, Pologne
- Université Mohamed V, Rabat (Maroc)

Compétences attendues et personnes à contacter

Compétences attendues :

→ chimie/physique du solide, synthèse chimie douce, caractérisations structurales et magnétiques,

Personne(s) à contacter :

→ Madjid ARAB & Véronique Madigou

arab@univ-tln.fr, madigou@univ-tln.fr

Annexe

I. Thèses soutenues en lien avec le sujet :

- Diniz Dias de Azevedo Ilia Gabriele : thèse cotutelle Franco-Brésilienne (2024-2027)

Sujet thèse : *Développement de nanocatalyseurs à base d'oxydes de niobium pour la production d'hydrogène par photo-électro-catalyse.*

- Mme Sanaa Essalmi : Thèse cotutelle Franco-Marocaine 2023-2026,

Sujet thèse : *Matériaux Poreux de type MOFs pour l'Environnement : dépollution par photo-électro-catalyse.*

- Mme Andarair Dos Santos : (2022-2025, soutenance fixée pour décembre 2025)

Sujet thèse : *Photo – catalyse du méthane par des oxydes de tungstates, rôle de la nanostructuration.*

- Yassine Elaadssi : soutenue prévue pour 30/09/2025

Sujet : *Application des ferrites de cobalt à la photocatalyse et la photoélectrocatalyse solaire des polluants organiques : Méthodes prédictives et approches expérimentales.*

- EL OUARDI Mohamed : Thèse cotutelle Franco-Marocaine, soutenue le 06/12/2024.

Sujet thèse : *Développement de photocatalyseurs à base de vanadates métalliques MV_2O_6 (M : Zn, Cu et Co) pour la dégradation des polluants chimiques par des processus photo-électrocatalytiques sous rayonnement solaire.*

- Margaux Desseigne : soutenue le 16/09/2021

Sujet : *Matériaux hybrides nanostructurés Au@ WO_3 pour la photodégradation de polluants organiques.*

- Rafael Hernandez Damascena Dos passos, soutenue le 06/12/2018

Sujet thèse : *Propriétés catalytiques et perméabilités des tungstates $SrCe(WO_4)_3$: réalisation de membranes pour la conversion du méthane.*

- Indira Fernandes de Medeiros, thèse cotutelle, 2015-2018, soutenue le 05/07/2018

Sujet: *Nanostructuration de ferrites de cobalt $Co_xFe_{3-x}O_4$: effets sur la catalyse et la détection de gaz.*

- André Luis Lopes-Moriyama, thèse cotutelle France-Brésil 2012-2014. Thèse soutenue le

Elaboration de poudres de $CoFe_2O_4$ nanostructurées et hiérarchisées ; influence de la morphologie sur la détection et l'oxydation catalytique de gaz polluant.

- Lilia Ajroudi

Thèse cotutelle France- Tunisie, soutenue le 08/10/2011

Ferrites de cobalt nanostructurées ; élaboration, caractérisation, propriétés catalytiques, électriques et magnétiques.

II. Production scientifique sur le sujet :

Publications :

1. Y. Elaadssi, V. Madigou, M. Arab. Cobalt ferrites $Co_xFe_{3-x}O_4$ ($x= 1$ and $x= 1.5$) as photocatalysts under simulated sunlight: An experimental study coupled to predictive RSM approach. *Surface & Interfaces* (04/2025). Accepted
2. M. El Ouardi, M. Arab, A. BaQais, M. Saadi, H. Ait Ahsaine; Vanadate-based photocatalytic materials: A perspective on syntheses approaches and pollutants photocatalytic degradation; Accepted, *Nano Materials Sciences* (2025). <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2024.11.002>
3. M. El Ouardi, V. Madigou, V. Chevallier, A. Merlen, A. BaQais, M. Saadi, H. Ait Ahsaine, M. Arab, Synthesis of ZnV_2O_6 nanosheet photocatalysts for efficient photodegradation of Rhodamine B: Experimental and RSM modeling. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 12 (2024) 113505. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113505>
4. M. El Ouardi, O. Ait Layachi, B-E. Channab, A. El Idrissi, A. BaQais, M. Arab, M. Zbair, M. Saadi and H. Ait Ahsaine; MXenes as Electrocatalysts for Energy Conversion Applications: Advances and Prospects. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 2024, 2400033. <https://doi.org/10.1002/aesr.202400033>
5. S. Essalmi, S. Lotfi, A. BaQais, M. Saadi, M. Arab and H. Ait Ahsaine; Design and application of Metal Organic Frameworks for heavy metals adsorption in water. *Review, RSC Advances*, 2024, 14, 9365. <https://doi.org/10.1039/d3ra08815d>
6. A. Elaouni, M. El Ouardia, M. Arab, M. Saadi, H. Haspel, Z. Konya, A. Ben Ali, A. Jada, A. BaQais; H. Ait Ahsaine; Design of Bismuth Tungstate Bi_2WO_6 photocatalyst for enhanced and environmentally friendly organic pollutant degradation; *Materials* 2024, 17, 1029. <https://doi.org/10.3390/ma17051029>
7. M. El ouardi, A. El Idrissi, H. Ait Ahsaine, A. BaQais, M. Saadi, M. Arab; Current advances on nanostructured metal oxides photoelectrocatalysts for water splitting: a comprehensive review; *Surfaces and Interfaces*, Vol. 45 (2024) 103850, <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.103850> .
8. M. El ouardi, A. El Idrissi, M. Arab, M. Zbair, H. Haspel, M. Saadi, H. Ait Ahsaine; Review of Photoelectrochemical water splitting: from quantitative approaches to effect of sacrificial agents, oxygen vacancies, thermal and magnetic field on (photo)electrolysis; *Int. J. Hydrogen & Energy*, Vol. 51, Part B (2024) 1044-1067, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.09.111>

9. M. Desseigne, V. Chevallier, V. Madigou, M. V. Coulet, O. Heintz, M. Arab; Plasmonic photocatalysts based on WO₃ and Au nanoparticules for visible light induced photocatalytic activity; *Catalysts* 2023, 13, 1333. <https://doi.org/10.3390/catal13101333>
10. M. El Ouardi, O. Ait Layachi, E. Amaterz, A. El Idrissi, A. Taoufyq, B. Bakiz, A. Benlhachemi, M. Arab, H. Ait Ahsaine; Photo-Electrochemical Degradation of Rhodamine B Using Electrodeposited Mn₃(PO₄)₂.3H₂O Thin Films. *J. Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*; 444 (2023) 115011. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.115011>
11. M. Jędrusik, Ch. Turquat, P. Eymeoud, A. Merlen, M. Arab, G. Cempura, L. Cieniek, A. Kopia, Ch. Leroux; LaFeO₃ thin films on YSZ flexible substrate; *Thin Solid Films*, Vol.780, (1) 2023, 139951. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2023.139951>
12. S. Lotfi, M. El ouardi, H. Ait Ahsaine, V. Madigou, A. BaQais, A. Assani, M. Saadi, M. Arab; Low-temperature synthesis, characterization and sunlight photocatalytic properties of lanthanum vanadate LaV₂O₄; *Heliyon*, Vol. 9, Issue 6, June 2023, e17255. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17255>
13. El aouni A., El Ouardi M., BaQais A., Arab M., Saadi M., Ait Ahsaine H.; Bismuth tungstate Bi₂WO₆: recent trends on structural, photophysical and photocatalytic properties, *RSC Adv.*, 2023, 13, 17476-17494. <https://doi-org.inp.bib.cnrs.fr/10.1039/D3RA01987J>
14. M. Desseigne, V. Madigou, M. V. Coulet, O. Heintz, V. Chevallier, M. Arab; *Au/WO₃ nanocomposite photocatalyst for enhanced solar photocatalytic activity*; *J. Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*; vol. 437 (2023) 114427. <https://doi:10.1016/j.jphotochem.2022.114427>
15. H. Ait Ahsaine, M. Zbair, A. BaQais and M. Arab; CO₂ electroreduction over metallic oxide, carbon-based and molecular catalysts: A mini-review of the current advances; *Catalysts* 2022, 12(5), 450; <https://doi.org/10.3390/catal12050450>
16. I. F. de Medeiros, V. Madigou, A. L. Lopes-Moriyama, C. Pereira de Souza, Ch. Leroux. *Synthesis of CoFe₂O₄ nanocubes; Nano-Structures & Nano-Objects* 21 (2020) 100422. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2019.100422>
17. R. H. Damascena dos Passos, C. Pereira de Souza, C. Bernard-Nicod, Ch. Leroux, M. Arab ; *Structural and electrical properties of cerium tungstate : application to methane conversion* ; *Ceramics International*, 2020) 46(6) 8021-8030; <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.12.026>
18. F. de Medeiros, V. Madigou, A. L. Lopes-Moriyama, C. Pereira de Souza, Ch. Leroux. *Morphology and composition*
19. *n tailoring of Co_xFe_{3-x}O₄ nanoparticles*, *Journal of Nanoparticle Research*, 20 (2018)1-12. <https://doi.org/10.1007/s11051-017-4097-y>
20. R. H. Damascena dos Passos, C. Pereira de Souza, Ch. Leroux, M. Arab; *Catalytic properties of Sr_{1-x}Ce_xWO₄: The role of mixed conduction in methane oxidation*; *Int. J. Hydrogen and Energy*, 43 (2018) 15918 – 15930. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.06.143>

Communications internationales

A. Conférences invitées :

1. Y. Elaadssi, V. Madigou, M. Arab

“*Hydrogen and Oxygen Evolution reaction for high Electrocatalytic Water Splitting from Tuning Cobalt Content in Cobalt Ferrite*”,

Advanced NanoMaterial’s 2025, session “AEM - Alternative Energy Materials”. 23-25/07/2025, Aveiro, Portugal.

2. Y. Elaadssi, V. Madigou, M. Arab

“*Solution solid of NixCo_{1.5-x}Fe_{1.5}O₄ as an efficient photocatalysts, Artificial Neural Networks and Response Surface Methodology for photocatalytic efficiency prediction.*”

Advanced NanoMaterial’s 2025, session “ANM - Advanced Nana-Materials”. 23-25/07/2025, Aveiro, Portugal.

B. Communication orales

1. Y. Elaadssi, V. Madigou, M. Arab

‘*Synthesis of cobalt ferrite nanoparticles for the photodegradation of Rhodamine B under simulated sunlight irradiation: Optimization by Response Surface Methodology*’

2. Y. Elaadssi, V. Madigou, M. Arab
'Experimental and CCD optimization studies for photoelectrochemical degradation of organic dyes using $CoxFe_3_xO_4$ thin films'
Nanostructures and nanomaterials Self-Assembly 2024 (NanoSEA 2024), Marseille, France.
3. Y. Elaadssi, V. Madigou, M. Arab
'Hydrogen and Oxygen Evolution reaction for high Electrocatalytic Water Splitting from Tuning Cobalt Content in Cobalt Ferrite'.
AAAFM-UCLA International Conference on Advances in Functional Materials, August 4-6, 2025, CA, USA.
4. Y. Elaadssi, V. Madigou, M. Arab
"Enhancing Oxygen and Hydrogen Evolution in Spinel Electrocatalysts: The Impact of Nickel Doping on Surface Area and Kinetic Performance in $Ni_xCo_{1.5-x}Fe_{1.5}O_4$.
AAAFM-UCLA International Conference on Advances in Functional Materials, August 4-6, 2025, CA, USA.
5. Y. Elaadssi, V. Madigou, M. Arab
'Solution solid of $Ni_xCo_{1.5-x}Fe_{1.5}O_4$ as an efficient photocatalysts, Artificial Neural Networks and Response Surface Methodology for prediction of photocatalytic efficiency'.
AAAFM-UCLA International Conference on Advances in Functional Materials, August 4-6, 2025, CA, USA
6. M. Desseigne, V. Madigou, M. V. Coulet, O. Heintz, V. Chevallier, M. Arab ;
Photocatalysis of organic pollutants under solar light irradiation of $Au@WO_3$ nanocomposites: Efficiency and mechanism;
XVth International Symposium on Environment, Catalysis, Process Engineering, 23 - 25 November 2021
7. M. Arab, R. H. Damascena dos Passos, A. Gomes Dos Santos, C. Pereira de Souza, C. Leroux,
Catalysis of methane oxidation by new tungstates compounds for hydrogen Production,
French Conference on Catalysis 2019; 3-7 June 2019, Frejus ; France.
8. M. Desseigne, N. Dirany, V. Chevallier and M. Arab
Shape dependence of photosensitive properties of WO_3 for photocatalysis under UV-Vis light irradiation.
International Conference on Advanced Nanomaterials ANM 2018, 18–20 July 2018; Aveiro, Portugal.
9. N. Dirany, J-R. Gavarri, M. Arab
Morphology and crystallinity control on photocatalytic and photoluminescence properties of $SrWO_4$ microstructures.
European Materials Research Society E–MRS Spring meeting. May 22 to 26, 2017, Strasbourg, France.
10. M. Arab, V. Madigou, A. -L. Lopes Moriyama, I. A. F. de Medeiros, C. Pereira de Souza, S. Giorgio, Ch. Leroux
Shape and size effect of nanostructured cobalt ferrite on NO_2 sensing properties.
Surfocap, 3rd International Workshop on Functionalized Surfaces for Sensor Applications, Besançon may 2017.