

Mirror doctoral project - Information Sheet



UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

Project Title & Acronym	<i>NanoCatalysis for a Circular and resilient Chemistry (CYCLIC).</i> Acronyme : CYCLIC
Scientific Co-Directors	Sandrine Michel (PR, Université de Montpellier, Art-Dev UMR 5281) Armelle Ouali (DR CNRS, Institut Charles Gerhardt Montpellier ICGM UMR 5253)
Doctoral Project 1	Nanocatalysis for sustainable and resilient chemistry: an assessment of the deployment conditions of the circular economy within a ubiquitous industry
Phd Supervisor 1	Sandrine Michel Co-supervisor (non-HDR) : Clément Bonnet
Research Unit 1	Art-Dev UMR 5281
Doctoral School 1	EDEG
Doctoral Project 2	Development of magnetothermally activable copper-based nanocatalysts for the dehydrogenation of bioethanol into hydrogen and organic molecules
Phd Supervisor 2	Armelle Ouali Co-supervisor : Yannick Guari
Research Unit 2	Institute Charles Gerhardt Montpellier UMR 5253
Doctoral School 2	SCB



This project was supported by French government funding managed by the National Research Agency (ANR) under the France 2030 program, with the reference ANR-21-SFRI-0004.



What Is An IDIL Mirror Doctoral Project?

A mirror doctoral project bridges **two distinct disciplinary theses** within a **shared multidisciplinary research framework**.

The objective is to tackle a single research project through the lens of **two different disciplines to foster multidisciplinary**. This requires utilizing the specific methods and references inherent to each of the fields involved.

For the Fall 2026 intake, the IDIL Graduate Program is funding **six mirror doctoral projects**, representing a total of **12 three-year doctoral contracts**.

Theses are funded from the outset for **3 years**, including the PhD student's salary and an environmental allowance.

Application procedure

To apply for an IDIL mirror doctoral contract, candidates must complete and **submit their application before the deadline using the form on our website**:

<https://idil.edu.umontpellier.fr/candidatures-phd-contrats-doctoraux-en-miroir-idil-2026/>

Since each IDIL mirror doctoral project integrates two different contracts in two distinct disciplines, candidates must **specify in the form which doctoral subject (A or B)** within the project they are applying for.

PhD Start Date: October 1st, 2026

PhD End Date: September 30th, 2029

Application Requirements

All documents must be submitted in **PDF format** for evaluation.

Mandatory Documents :

- **Cover letter** signed and dated.
- **Curriculum Vitae (CV)**.
- **Academic transcripts** for L3, M1, and M2 (or all years of an equivalent degree, such as an Engineering degree) **including your ranking**. These transcripts must be combined into a **single PDF file**.

Optional Documents:

- Letter(s) of recommendation

PhD Subjects & Applicant Requirements

CYCLIC: Nanocatalysis for a Circular and resilient chemistry

PHD SUBJECT A – ECONOMICS & MANAGEMENT (EDEG)

Nanocatalysis for sustainable and resilient chemistry: an assessment of the deployment conditions of the circular economy within a ubiquitous industry

Desired Candidate Profile for subject A (Economics)

Degree

The candidate must hold a Master's degree in Economics. A specialization in the field of natural resource economics, energy, the environment and sustainable development, or in the economics of innovation and new technologies will be valued.

Profile

- Proficiency in econometric techniques and quantitative analysis tools
- Very good understanding of microeconomic analysis and modeling approaches
- Excellent writing skills
- Curiosity about the natural sciences and topics combining the environment and new technologies
- Strong teamwork skills in the context of a collaborative PhD project with chemistry researchers

Computer Skills

- Good ability to use an econometric analysis software and prior experience in conducting a research project (including in a study context)

Languages

- Fluency in French (written, spoken, and reading) and very good reading skills in English. Strong writing skills in English are highly valued.

Development of magnetothermally activable copper-based nanocatalysts for the dehydrogenation of bioethanol into hydrogen and organic molecules

Desired Candidate Profile for subject B (Chemistry)

Candidates should hold a Master's degree (M2) or an engineering degree in Chemistry (materials chemistry, catalysis, nanoscience). A solid theoretical expertise in heterogeneous catalysis and/or materials chemistry is essential. A strong background in experimental laboratory work is required, ideally supported by a research internship (Master's level or equivalent) in nanoparticle synthesis, heterogeneous catalysis, or materials chemistry.

Experience with physicochemical characterization techniques (electron microscopy, XPS, spectroscopy, DLS, etc.) and with the implementation of catalytic reactions will be highly valued. Knowledge of analytical methods for the characterization of organic products produced (GC-MS, NMR) will be considered an advantage. An interest in interdisciplinary research at the chemistry/physics interface, particularly involving nanoparticle properties and/or magnetism, will be appreciated.

The project is embedded in a broader collaborative and interdisciplinary mirror doctoral project, involving close and regular interactions with a parallel PhD in economics. This cooperation will constitute an additional dimension of the work, fostering continuous exchanges on sustainability-related aspects, resource efficiency, and the techno-economic and environmental perspectives of the catalytic processes developed.

The candidate is expected to demonstrate scientific rigor, autonomy, strong analytical skills, and a genuine interest in experimental research, as well as an openness to interdisciplinary collaboration within a multi-disciplinary research environment. Good communication skills in English are required.

Should you require any additional information, please contact the PhD supervisors or the IDIL team at the following email address:

- Sandrine Michel (PhD Supervisor – Subject A): sandrine.michel@umontpellier.fr
- Clément Bonnet (PhD Supervisor – Subject A): clement.bonnet@umontpellier.fr
- Armelle Ouali (PhD Supervisor – Subject B): armelle.ouali@umontpellier.fr
- Yannick Guari (PhD Supervisor – Subject B) : yannick.guari@umontpellier.fr
- Administrative team: idil-team@umontpellier.fr

Résumé des projets de thèse

THESE SUJET A – ECONOMIE ET MANAGEMENT (EDEG)

Titre de la thèse en sciences économiques (sujet A) : Nanocatalyse pour une chimie durable et résiliente : une évaluation des conditions de déploiement de l'économie circulaire au sein d'une industrie omniprésente

Mots-clés de la thèse en sciences économiques (sujet A) : économie circulaire ; nano-matériaux ; criticité ; économie de l'innovation ; chimie soutenable

Résumé du projet de thèse en sciences économiques (sujet A)

Le franchissement de sept des neuf limites planétaires identifiées ([Sakschewski et al., 2025](#)) vient confirmer le caractère insoutenable de nos modèles de développement économique, annoncé il y a plus de cinquante ans par le rapport Limits to growth, qui fragilisent l'intégrité des écosystèmes et menacent la résilience des sociétés humaines. Une nouvelle géopolitique des ressources se développe ([Hache et al., 2019](#)) et prend, hélas, la forme d'une compétition renforcée pour les ressources restantes au prix d'un éloignement des objectifs de développement durable. Dans ce contexte, le concept d'économie circulaire fait l'objet d'une attention grandissante depuis le début des années 2010. Le concept recouvre un ensemble de pratiques, qui vont de la réduction au recyclage en passant par un continuum de boucles techniques, qui forment une boîte à outils au service du développement durable.

Ce sujet de thèse propose d'investiguer le potentiel des pratiques de l'économie circulaire pour le secteur français de la chimie dans une perspective de développement durable et de résilience industrielle. La chimie est encore éloignée d'un modèle circulaire ([Kümmerer et al., 2020](#)), alors qu'elle joue le rôle clé de fournisseur d'intrants à d'autres industries. De plus elle utilise des matières premières, ce qui l'expose à la volatilité de leurs cours – notamment à celle des hydrocarbures et de certains métaux dont l'importance est renforcée par les déploiements des technologies bas-carbone et numérique.

THESE SUJET B – SCIENCES CHIMIQUES (SCB)

Titre de la thèse en chimie (sujet B) : Développement de nanocatalyseurs à base de cuivre activables par magnétothermie pour la déshydrogénation du bioéthanol en hydrogène et molécules organiques

Mots-clés de la thèse en chimie (sujet B) : Nanocatalyse, cuivre, déshydrogénation de l'éthanol, magnétothermie, nanoparticules magnétiques, catalyse hétérogène, oxydes, recyclabilité, chimie des matériaux

Résumé de la thèse en chimie (sujet B) :

Les nanocatalyseurs métalliques représentent une solution prometteuse pour le développement de procédés chimiques plus efficaces et durables, sous réserve de maîtriser leur stabilité, leur recyclabilité et leur efficacité énergétique. Par ailleurs, la déshydrogénation des alcools constitue une réaction d'intérêt majeur, car elle permet à la fois la production de molécules organiques à forte valeur ajoutée, telles que les aldéhydes et les esters, et la production d'hydrogène. Dans ce contexte, l'éthanol apparaît comme une ressource de choix en raison de son abondance et de la possibilité de le produire

à partir de ressources renouvelables (bioéthanol). De plus, l'acétaldéhyde et l'acétate d'éthyle ainsi formés sont des intermédiaires clés de l'industrie chimique, produits à grande échelle (1 à 3 Mt/an à l'échelle mondiale). Cette transformation nécessite généralement des températures élevées (> 250 °C) et l'utilisation de catalyseurs métalliques nobles (Pd, Pt, Au, Ag), bien que le cuivre constitue une alternative plus abondante et économiquement attractive.[1-3]

Les systèmes catalytiques les plus performants consistent en des nanoparticules de cuivre métallique (Cu⁰) dispersées sur des supports oxydes tels que SiO₂ ou ZrO₂, dont les propriétés acido-basiques influencent fortement la sélectivité de la réaction. Toutefois, les méthodes conventionnelles de synthèse (imprégnation, calcination, réduction sous H₂) restent énergivores et offrent un contrôle limité de la morphologie des nanoparticules, paramètre déterminant pour l'activité et la stabilité catalytiques.

Ce projet vise à développer des nanocatalyseurs hybrides intégrant des nanoparticules de cuivre (Cu⁰) supportées sur des architectures magnétiques à cœur d'oxyde de fer (Fe₃O₄) ou de ferrite de cobalt (CoFe₂O₄), recouvertes de coquilles de SiO₂ ou ZrO₂. Ces matériaux multifonctionnels permettront à la fois une séparation magnétique aisée, un contrôle précis de l'environnement catalytique et une activation par chauffage magnétique localisé (magnétothermie), réduisant ainsi l'apport énergétique global.[4]

Le projet est structuré en trois étapes principales menées de manière itérative afin d'optimiser le système catalytique et les conditions opératoires. La première consiste en la synthèse de nanoparticules magnétiques et en leur fonctionnalisation par des couches d'oxydes contrôlées (SiO₂ dense ou poreux, ZrO₂ stabilisé par dopage).[5-8] La deuxième étape porte sur le dépôt contrôlé, en conditions douces, de nanoparticules de cuivre par méthode organométallique, afin d'ajuster taille, dispersion et état d'oxydation des sites actifs.[9-10] La troisième étape concerne l'évaluation catalytique de la déshydrogénation de l'éthanol en acétaldéhyde et/ou acétate d'éthyle, sous activation thermique conventionnelle et magnétothermique, dans le but de corrélérer propriétés structurales, champs appliqués et performances catalytiques.

Les matériaux seront caractérisés par microscopies électroniques (TEM, HRTEM, MEB-EDX), spectroscopies de surface (XPS, IR), analyses colloïdales (DLS, zetamétrie) et mesures magnétiques (SQUID). Les performances catalytiques seront évaluées par GC-MS et RMN, en termes d'activité, sélectivité et recyclabilité. La capacité de conversion magnétothermique sera étudiée *via* des mesures d'induction et de relaxation magnétique, complétées par des analyses thermiques locales.

Les résultats attendus incluent le développement de catalyseurs cuivre-support hautement performants, recyclables et activables à distance par champ magnétique, ainsi qu'une meilleure compréhension des relations entre structure, propriétés magnétiques et réactivité catalytique.

Références bibliographiques : [1] [Kumar, 2021](#). [2] [Phung, 2022](#). [3] [Huang et al., 2021](#). [4] [Pavelic et al., 2025](#). [5] [Lartigue et al., 2019](#). [6] [Nigoghossian et al., 2022](#). [7] [Abdel Sater et al., 2025](#). [8] [Sayilkan et al., 2009](#). [9] [Ouyang et al., 2022](#). [10] [Amiens et al., 2013](#).

CONTENU SCIENTIFIQUE

THESE SUJET A – ECONOMIE ET MANAGEMENT (EDEG)

Thématique du sujet A : Economie circulaire ; développement durable ; criticité des matériaux ; économie de l'innovation

Domaine du sujet A : Economie de l'environnement, des ressources et du développement durable

Contexte scientifique du sujet A : Le ou la doctorante effectuera ses recherches doctorales au sein de

Objectifs du sujet A : L'objectif est d'évaluer le potentiel de l'utilisation des nano-matériaux à des fins de recyclage dans une perspective de réduction de l'utilisation des métaux critiques par le secteur de la chimie. La thèse est structurée en trois étapes, correspondant aux Tâches T1 à T3, auxquelles correspondent ces sous-objectifs : (1.) une évaluation de l'exposition du secteur de la chimie à la criticité des métaux, (2.a.) une analyse des déterminants des trajectoires d'innovation dans le secteur des nano-catalyseurs, (2.b.) qui conduira à la formulation de recommandations en matières de politiques publiques visant à en améliorer la circularité, (3.) une caractérisation de la clé de répartition de la valeur tout au long de la chaîne de production-consommation pour permettre une réduction de son empreinte écologique – un modèle théorique sera développé et une application sera conduite à la chaîne de production d'hydrogène bas-carbone et d'acétaldéhyde par voie de nanocatalyse au cuivre.

Méthodes du sujet A : La première étape (T1) mobilise la méthode de la matrice de criticité ([Graedel et al., 2012](#)). Il s'agira de répertorier les métaux utilisés par les secteurs de la chimie en France, de produire des évaluations des tonnages utilisés et de mesurer : (1) l'importance économique de ces métaux et les marges de substitution, (2) le risque de rupture d'approvisionnement, (3) les conséquences écologiques de la production de ces métaux. Cette étape permettra à la personne en doctorat de se familiariser avec les secteurs de la chimie (l'évaluation de la dimension (1) fait intervenir des expert·e·s de la chimie) et l'économie des métaux. Elle aboutira à la localisation de ces métaux sur la matrice tridimensionnelle en vue d'identifier ceux qui sont sujets au plus fort risque de criticité.

La seconde étape (T2) s'inscrit dans le champ de l'économie de l'innovation et comprend un travail de terrain. Dans un premier temps, l'analyse des publications d'articles académiques et de brevets permettra d'identifier les laboratoires français les plus innovants dans le champ des nanotechnologies. Un temps d'interconnaissance est prévu, du chimiste vers l'économiste, puisque la personne doctorante en chimie contribuera à la sélection des mots-clés utilisés dans l'analyse bibliographique. Dans un second temps, il sera constitué un échantillon de laboratoires afin d'y mener une étude de terrain. Elle visera à comprendre dans quelle mesure les chercheurs perçoivent et tiennent compte des signaux externes dans l'orientation de leurs trajectoires de R&D (choix des matériaux utilisés, prise en compte de la recyclabilité, efficacité énergétique, domaines d'applications, etc.). L'objectif de cette seconde étape est d'appréhender par quels canaux la R&D est affectée par une pluralité de facteurs extérieurs au laboratoire ([Grubb et al., 2021](#)). Une fois finalisé et valorisé, ce travail donnera lieu à un policy paper co-écrit entre les deux doctorant·e·s pour éclairer la politique en matière de soutien à une nanocatalyse circulaire et durable.

La troisième étape (T3) vise à capitaliser sur les travaux précédents pour proposer une avancée théorique portant sur la question de la valeur et de sa circulation dans une logique d'économie circulaire. Les biens utilisés à des fins de production et de consommation perdent l'essentiel de leurs valeurs après avoir été utilisés, ce qui constitue un frein à l'adoption de pratiques circulaires. Il est donc nécessaire de repenser la valeur économique comme un instrument de coordination entre les acteurs, ciblant la réduction de l'empreinte écologique de leurs activités ([Lowe et Genovese, 2022](#)). Cette problématique fera l'objet d'un travail théorique qui sera enrichi d'une étude de cas provenant de l'application développée dans le cadre de la thèse de chimie. L'identification des défauts de coordination comme freins à la circularité permettra d'évaluer comment la modification de la distribution des coûts et des bénéfices entre les parties prenantes peut permettre une plus grande adoption de pratiques circulaires.

Résultats attendus du sujet A : Les résultats attendus sont : (1) une évaluation des métaux critiques pour le secteur de la chimie en France, (2) une analyse des signaux participant à déterminer les trajectoires d'innovation sélectionnées dans les technologies des nano-catalyseurs, (3) un policy

paper, co-rédigé avec la personne en thèse de chimie, identifiant les leviers politiques d'une nanocatalyse durable et circulaire, (4) une théorisation des mécanismes de distribution et de répartition de la valeur dans un régime de production-consommation circulaire.

Références bibliographiques : voir liens hypertextes

Conditions matérielles de réalisation du projet (incluant, le cas échéant, les conditions de sécurité spécifiques) :

THESE SUJET B – SCIENCES CHIMIQUES (SCB)

Thématique du sujet B : Chimie des matériaux, catalyse hétérogène, nanosciences, énergie durable

Domaine du sujet B : Chimie, physico-chimie des matériaux, catalyse, nanotechnologies

Contexte scientifique du sujet B : Les nanocatalyseurs à base de cuivre constituent une alternative attractive aux métaux nobles pour les réactions de déshydrogénation des alcools, permettant la production simultanée de molécules organiques à forte valeur ajoutée (aldéhydes, esters), ainsi que d'hydrogène. [1-3] Dans ce contexte, l'éthanol apparaît comme une ressource de choix en raison de son abondance et de la possibilité de le produire à partir de ressources renouvelables (bioéthanol). De plus, l'acétaldéhyde et l'acétate d'éthyle ainsi formés sont des intermédiaires clés de l'industrie chimique, produits à grande échelle (1 à 3 Mt/an à l'échelle mondiale). Les systèmes les plus performants sont constitués de nanoparticules de cuivre, synthétisées par des méthodes énergivores offrant un contrôle limité de la morphologie, et déposées sur des supports oxydes (SiO_2 , ZrO_2), dont les propriétés orientent la sélectivité de la réaction. Ces catalyseurs nécessitent des températures élevées et présentent des limites en termes de stabilité, de recyclabilité et de contrôle de la sélectivité. Dans ce contexte, le développement de nanocatalyseurs hybrides intégrant des fonctionnalités magnétiques apparaît comme une stratégie prometteuse pour améliorer à la fois l'efficacité et la durabilité de ces procédés.[4]

Objectifs du sujet B : Développer des nanocatalyseurs hybrides à base de nanoparticules de cuivre (Cu^0) supportées sur des architectures magnétiques à cœur d'oxyde de fer (Fe_3O_4 , CoFe_2O_4), recouvertes de couches d'oxydes (SiO_2 , ZrO_2). L'objectif est d'obtenir des systèmes :

- hautement actifs et sélectifs pour la déshydrogénation de l'éthanol en acétaldéhyde ou acétate d'éthyle,
- recyclables par séparation magnétique,
- activables par magnétothermie afin de réduire l'apport énergétique global.

Méthodes du sujet B : Le projet repose sur trois étapes principales réalisées de façon itérative afin d'optimiser le système catalytique et les conditions opératoires :

- Synthèse des supports magnétiques cœur-coquille (Fe_3O_4 ou CoFe_2O_4 recouverts de SiO_2 et/ou ZrO_2) et caractérisation complète (microscopie, spectroscopie, magnétisme, propriétés colloïdales, magnétothermie).[5-8]
- Dépôt contrôlé de nanoparticules de cuivre (Cu^0) par voie organométallique en conditions douces, afin de maîtriser taille, dispersion et état d'oxydation, paramètres clés gouvernant activité et sélectivité.[9-10]
- Évaluation catalytique de la déshydrogénation de l'éthanol sous chauffage conventionnel et

magnétothermique, avec analyse des produits et corrélation structure–propriétés–activité.

Résultats attendus du sujet B : Le projet vise l'obtention de catalyseurs cuivre-support innovants combinant activité élevée, sélectivité contrôlée et recyclabilité. Il permettra de démontrer le potentiel de l'activation magnétothermique comme levier d'intensification des procédés catalytiques, tout en réduisant la consommation énergétique. À plus long terme, ces matériaux pourraient être appliqués à d'autres transformations durables, notamment la valorisation de la biomasse et la conversion du CO₂.

Références bibliographiques (optionnel) du sujet B : [1] [Kumar, 2021](#). [2] [Phung, 2022](#). [3] [Huang et al., 2021](#). [4] [Pavelic et al., 2025](#). [5] [Lartigue et al., 2019](#). [6] [Nigoghossian et al., 2022](#). [7] [Abdel Sater et al., 2025](#). [8] [Sayilkan et al., 2009](#). [9] [Ouyang et al., 2022](#). [10] [Amiens et al., 2013](#).

Conditions matérielles de réalisation du projet du sujet B (incluant, le cas échéant, les conditions de sécurité spécifiques) : L'activité de recherche se déroulera au sein du département Chimie et Matériaux Moléculaires de l'ICGM (Institut Charles Gerhardt Montpellier), situé dans le bâtiment Balard sur le campus CNRS de Montpellier. Le travail sera réalisé dans un environnement de recherche dédié à la chimie des matériaux, bénéficiant d'équipements de caractérisation et de synthèse de pointe, ainsi que d'une forte expertise en catalyse et nanomatériaux.

Les expérimentations seront conduites dans le respect strict des règles de sécurité en vigueur dans les laboratoires de chimie du CNRS et de l'Université de Montpellier. Le travail impliquera notamment la manipulation de produits chimiques organiques et inorganiques, de solvants, ainsi que de nanoparticules métalliques et d'oxydes, nécessitant le respect des bonnes pratiques de laboratoire (port obligatoire des équipements de protection individuelle : blouse, lunettes, gants adaptés).

Certaines étapes de synthèse pourront nécessiter l'utilisation de dispositifs sous atmosphère inerte (ligne de Schlenk et/ou boîte à gants) ainsi que des équipements spécifiques de chauffage et d'induction magnétique. L'utilisation de ces installations fera l'objet de formations préalables obligatoires et d'une habilitation par le personnel encadrant.

Une attention particulière sera portée à la gestion des risques liés aux nanoparticules, aux solvants inflammables et aux sources de chauffage, conformément aux procédures internes de sécurité, incluant la gestion des déchets chimiques et le respect des protocoles de prévention des risques chimiques et physiques.

Project's Abstract:

PHD SUBJECT A – ECONOMICS & MANAGEMENT (EDEG)

Title of the economics thesis (subject A) : *Nanocatalysis for sustainable and resilient chemistry: an assessment of the deployment conditions of the circular economy within a ubiquitous industry*

Keywords (subject A): *circular economy; nanomaterials; criticality; innovation economics; sustainable chemistry*

Abstracts of the PhD project in Economics (subject A)

The crossing of seven of the nine identified planetary boundaries ([Sakschewski et al., 2025](#)) confirms the unsustainable nature of our economic development models, as highlighted more than fifty years ago by the Limits to Growth report. These models weaken the integrity of ecosystems and threaten the resilience of human societies. A new geopolitics of resources is emerging ([Hache et al., 2019](#)) and, unfortunately, is taking the form of intensified competition for remaining resources, at the cost of jeopardizing sustainable development goals. In this context, the concept of the circular economy has been receiving increasing attention since the early 2010s. The concept encompasses a range of practices, from reduction to recycling, including a continuum of technical loops, which together form a toolbox for sustainable development.

This thesis proposes to investigate the potential of circular economy practices for the French chemical sector from the perspective of sustainable development and industrial resilience. The chemical industry is still far from a circular model ([Kümmerer et al., 2020](#)), despite playing a key role as a supplier of inputs to other industries. Furthermore, its use of raw materials exposes it to price volatility – particularly that of hydrocarbons and certain metals, whose importance is amplified by the deployment of low-carbon and digital technologies.

PHD SUBJECT B – CHEMICAL SCIENCES (SCB)

Title (subject B): Development of magnetothermally activable copper-based nanocatalysts for the dehydrogenation of bioethanol into hydrogen and organic molecules

Keywords (subject B): Nanocatalysis, copper, ethanol dehydrogenation, magnetothermics, magnetic nanoparticles, heterogeneous catalysis, oxides, recyclability, materials chemistry

Abstracts of the PhD project in chemistry (subject B): Metallic nanocatalysts represent a promising solution for the development of more efficient and sustainable chemical processes, provided that their stability, recyclability, and energy efficiency can be properly controlled. Moreover, alcohol dehydrogenation is a reaction of major interest because it enables both the production of high-value organic molecules, such as aldehydes and esters, and the production of hydrogen. In this context, ethanol is a preferred resource due to its abundance and the possibility of producing it from renewable sources (bioethanol).[1-3] In addition, the acetaldehyde and ethyl acetate formed are key intermediates in the chemical industry, produced on a large scale (1–3 Mt per year worldwide). This transformation generally requires high temperatures (>250 °C) and the use of noble metal catalysts (Pd, Pt, Au, Ag), although copper represents a more abundant and economically attractive alternative.[1-3]

The most efficient catalytic systems rely on metallic copper nanoparticles (Cu⁰) dispersed on oxide

supports such as SiO₂ or ZrO₂, whose acid–base properties strongly influence reaction selectivity. However, conventional synthesis methods for preparing these nanoparticles (impregnation, calcination, hydrogen reduction) remain energy-intensive and provide limited control over nanoparticle morphology, a key parameter governing catalytic activity and stability.

This project aims to develop hybrid nanocatalysts integrating copper nanoparticles supported on magnetic core architectures based on iron oxide (Fe₃O₄) or cobalt ferrite (CoFe₂O₄), coated with SiO₂ or ZrO₂ shells. These multifunctional materials will enable easy magnetic separation, precise control of the catalytic environment, and activation through localized magnetic heating (magnetothermal heating), thereby reducing the overall energy input.[4]

The project is structured into three main steps carried out iteratively in order to optimize the catalytic system and the operating conditions. The first consists in the synthesis of magnetic nanoparticles and their functionalization with controlled oxide layers (dense or porous SiO₂, doped-stabilized ZrO₂).[5-8] The second step focuses on the controlled deposition of copper nanoparticles via organometallic methods under mild conditions, enabling tuning of particle size, dispersion, and oxidation state of the active sites.[9-10] The third step concerns the catalytic evaluation of ethanol dehydrogenation into acetaldehyde and/or ethyl acetate, under conventional thermal and magnetothermal activation, in order to correlate structural properties, applied magnetic fields, and catalytic performance.

The materials will be characterized using electron microscopy (TEM, HRTEM, SEM-EDX), surface spectroscopy (XPS, IR), colloidal analyses (DLS, zeta potential measurements), and magnetic measurements (SQUID). Catalytic performance will be evaluated by GC-MS and NMR in terms of activity, selectivity, and recyclability. Magnetothermal conversion efficiency will be studied through magnetic induction and relaxation measurements, complemented by local thermal analyses.

The expected outcomes include the development of highly efficient, recyclable copper-based catalysts that can be remotely activated via magnetic fields, as well as a deeper understanding of the relationships between structure, magnetic properties, and catalytic reactivity.

References : [1] [Kumar, 2021](#). [2] [Phung, 2022](#). [3] [Huang et al., 2021](#). [4] [Pavelic et al., 2025](#). [5] [Lartigue et al., 2019](#). [6] [Nigoghossian et al., 2022](#). [7] [Abdel Sater et al., 2025](#). [8] [Sayilkan et al., 2009](#). [9] [Ouyang et al., 2022](#). [10] [Amiens et al., 2013](#).

SCIENTIFIC CONTENT

PHD SUBJECT A – ECONOMICS & MANAGEMENT (EDEG)

Research theme of subject A: Circular economics; sustainable development; materials criticality; economics of innovation

Scientific field of subject A: Economics of the environment, natural resources and sustainable development

Scientific background of subject A: The doctoral candidate will conduct their doctoral research within the ART-Dev research unit (umr5281).

Objectives of the subject A : The objective is to assess the potential of using nanomaterials for recycling purposes with a view to reducing the use of critical metals by the chemical sector. The thesis is structured in three stages, corresponding to Tasks T1 to T3, which correspond to these sub-objectives: (1.) an assessment of the chemical sector's exposure to the criticality of metals, (2.a.) an analysis of the determinants of innovation trajectories in the nanocatalyst sector, (2.b.) which will lead to the formulation of public policy recommendations aimed at improving its circularity, (3.) a characterization

of the value distribution key throughout the production-consumption chain to enable a reduction of its ecological footprint – a theoretical model will be developed and an application will be conducted on the production chain of low-carbon hydrogen and acetaldehyde via copper nanocatalysis.

Methods of subject A: The first step (T1) employs the criticality matrix method ([Graedel et al., 2012](#)). This involves cataloging the metals used by the chemical industry in France, producing assessments of the tonnages used, and measuring: (1) the economic importance of these metals and the margins for substitution, (2) the risk of supply disruption, and (3) the environmental consequences of producing these metals. This step will allow the doctoral candidate to become familiar with the chemical industry (the assessment of dimension (1) involves chemistry experts) and the economics of metals. It will culminate in locating these metals on the three-dimensional matrix in order to identify those most at risk of criticality.

The second step (T2) falls within the field of innovation economics and includes fieldwork. Initially, an analysis of academic articles and patents will identify the most innovative French laboratories in the field of nanotechnology. A period of networking is planned, from the chemist to the economist, as the doctoral student in chemistry will contribute to the selection of keywords used in the literature review. Subsequently, a sample of laboratories will be compiled for fieldwork. This study will aim to understand the extent to which researchers perceive and consider external signals when guiding their R&D trajectories (choice of materials, consideration of recyclability, energy efficiency, application areas, etc.). The objective of this second stage is to understand how R&D is affected by a range of factors external to the laboratory ([Grubb et al., 2021](#)). Once finalized and validated, this work will result in a policy paper co-written by the two doctoral students to inform policy regarding support for circular and sustainable nanocatalysis.

The third stage (T3) aims to build upon previous work to propose a theoretical advancement concerning the question of value and its circulation within a circular economy framework. Goods used for production and consumption lose most of their value after use, which hinders the adoption of circular practices. It is therefore necessary to rethink economic value as a tool for coordination among stakeholders, targeting the reduction of the ecological footprint of their activities ([Lowe et Genovese, 2022](#)). This issue will be the subject of theoretical work, enriched by a case study from the application developed within the framework of the chemistry thesis. Identifying coordination failures as obstacles to circularity will allow us to assess how modifying the distribution of costs and benefits among stakeholders can lead to greater adoption of circular practices.

Expected results of subject A: The expected results are: (1) an assessment of the critical metals for the chemical sector in France, (2) an analysis of the signals involved in determining the innovation trajectories selected in nano-catalyst technologies, (3) a policy paper, co-written with the person in chemistry thesis, identifying the political levers of sustainable and circular nano-catalysis, (4) a theorization of the mechanisms of distribution and allocation of value in a circular production-consumption regime.

References (optional): see hypertext links

Material conditions for the project (including specific safety conditions, if applicable):

PHD SUBJECT B – CHEMICAL SCIENCES (SCB)

Research theme of subject B: Materials chemistry, heterogeneous catalysis, nanoscience, sustainable energy

Scientific field of subject B: Chemistry, physical chemistry of materials, catalysis, nanotechnology

Scientific background of subject B: Copper-based nanocatalysts represent an attractive alternative to noble metals for alcohol dehydrogenation reactions, enabling the simultaneous production of high-value organic molecules (aldehydes, esters) and hydrogen. In this context, ethanol is a preferred feedstock due to its abundance and the possibility of being produced from renewable sources (bioethanol). Additionally, the acetaldehyde and ethyl acetate formed are key intermediates in the chemical industry, produced on a large scale (1–3 Mt per year worldwide).[1-3] The most efficient systems consist of copper nanoparticles, synthesized by energy-intensive methods with limited morphology control, deposited onto oxide supports (SiO_2 , ZrO_2), whose properties influence reaction selectivity. These catalysts require high temperatures and face limitations in terms of stability, recyclability, and selectivity control. In this context, the development of hybrid nanocatalysts integrating magnetic functionalities appears as a promising strategy to improve both the efficiency and sustainability of these processes.[4]

Objectives of subject B: To develop hybrid nanocatalysts based on copper (Cu^0) nanoparticles supported on magnetic iron oxide core architectures (Fe_3O_4 , CoFe_2O_4), coated with oxide layers (SiO_2 , ZrO_2). The objective is to obtain systems that are:

- highly active and selective for the dehydrogenation of ethanol into acetaldehyde or ethyl acetate,
- recyclable via magnetic separation,
- activable through magnetothermal heating in order to reduce the overall energy input.

Methods of subject B: The project is based on three main steps carried out iteratively in order to optimize the catalytic system and the operating conditions :

- Synthesis of magnetic core–shell supports (Fe_3O_4 or CoFe_2O_4 coated with SiO_2 and/or ZrO_2) and comprehensive characterization (microscopy, spectroscopy, magnetism, colloidal properties, and magnetothermal behavior).[5-8]
- Controlled deposition of copper nanoparticles via organometallic methods under mild conditions to tune particle size, dispersion, and oxidation state, key parameters for activity and selectivity.[9-10]
- Catalytic evaluation of ethanol dehydrogenation under conventional heating and magnetothermal activation, including product analysis and correlation between structure, properties, and activity.

Expected results of subject B: The expected outcomes include the development of innovative copper–support catalysts combining high activity, controlled selectivity, and recyclability. This work will demonstrate the potential of magnetothermal activation as a tool for intensifying catalytic processes while reducing overall energy consumption. In the longer term, these materials could be applied to other sustainable transformations, notably biomass valorization and CO_2 conversion.

References of subject B: [1] [Kumar, 2021](#). [2] [Phung, 2022](#). [3] [Huang et al., 2021](#). [4] [Pavelic et al., 2025](#). [5] [Lartigue et al., 2019](#). [6] [Nigoghossian et al., 2022](#). [7] [Abdel Sater et al., 2025](#). [8] [Sayilkan et al.,](#)

Material conditions for the project of subject B: (including specific safety conditions, if applicable): The research activity will be carried out within the Chemical and Molecular Materials Department of ICGM (Institut Charles Gerhardt Montpellier), located in the Balard building on the CNRS campus in Montpellier. The work will take place in a research environment dedicated to materials chemistry, benefiting from state-of-the-art synthesis and characterization facilities, as well as strong expertise in catalysis and nanomaterials.

Experiments will be conducted in strict compliance with the safety regulations in force in CNRS and University of Montpellier chemistry laboratories. The work will involve the handling of organic and inorganic chemicals, solvents, as well as metal and oxide nanoparticles, requiring adherence to good laboratory practices (mandatory use of personal protective equipment: lab coat, safety glasses, and appropriate gloves).

Some synthesis steps may require the use of inert atmosphere systems (Schlenk line and/or glovebox) as well as specific heating and magnetic induction equipment. Access to these facilities will be subject to mandatory prior training and authorization by the supervising staff.

Particular attention will be paid to the management of risks associated with nanoparticles, flammable solvents, and heating sources, in accordance with internal safety procedures, including chemical waste management and compliance with chemical and physical risk prevention protocols.

THE UNIVERSITY OF MONTPELLIER

KEY FIGURES



high-level technological platforms to meet the needs of 21st century society.

The UM is committed to promoting its cutting-edge research by forging close links with local industry, particularly in the biomedical and new technologies sectors.

More Information: <https://www.umontpellier.fr/en/recherche/unites-de-recherche>

SCIENTIFIC APPEAL

Open to the world, the University of Montpellier contributes to the structuring of the European higher education area, and strengthens its international positioning and attractiveness, in close collaboration with its partners in the I-SITE Program of Excellence, through programs adapted to the major scientific challenges it faces.

More Information: <https://www.umontpellier.fr/en/international/attractivitescientifique>