



# Mohamed Mouhib

Doctorant en Chimie (3<sup>ème</sup> année)  
Ingénieur en génie des procédés

✉ mohamedmouhib95@gmail.com

☎ +33 7 51 28 48 97

📍 69100 Villeurbanne

📄 Permis B

🌐 mohamed-mouhib-1a4939120

🆔 0000-0002-2833-2635

## DIPLOMES

- **Doctorat (Thèse en cotutelle) - Université Claude Bernard Lyon 1 / Université Hassan 1er Settat**  
*ED Chimie de Lyon (Soutenance prévue en Novembre 2024)*
- **Diplôme ingénieur - Faculté des sciences et Techniques Settat**  
*Génie des procédés - 2020*
- **Licence - Faculté des sciences El Jadida**  
*Science de la Matière Chimie - 2017*

## COMPÉTENCES

- Modélisation thermodynamique des équilibres entre phases (LV, LL, LS, LLS)
- Modélisation & Simulations des procédés (AspenPlus / Python)
- Elaboration et exploitation des schémas PFD & PID
- Bilans de matière/énergie
- Machine Learning
- Analyse DSC/DRX
- MS office : Excel, Word, PPT
- Rédaction des rapports (Anglais/Français)

## LANGUES

- Arabe : Langue maternelle
- Français : Courant
- Anglais : C1
- Espagnol : Débutant

## EXPÉRIENCES PROFESSIONNELLES

### Laboratoire LMI-UMR CNRS 5615 | Recherche doctorale

*Depuis Octobre 2021*

#### Sujet de thèse : Purification de l'acide phosphorique

- Contribution au développement du plan de travail;
- Réalisation des recherches bibliographiques;
- Analyse critique des données expérimentales;
- Modélisation thermodynamique des équilibres entre phases / vapeur-liquide-liquide-solide;
- Contribution à l'élaboration de méthodes de calcul et la programmation en utilisant Python;
- Rédaction de rapports scientifiques/ articles;
- Participation aux congrès nationaux/internationaux

### IBERMA | Ingénieur Qualité

*Février – Juin 2020*

#### Sujet de stage : Data Integrity - La nouvelle exigence dans l'industrie pharmaceutique

Mise en place d'un système pour garantir l'intégrité des données au sein du laboratoire contrôle qualité

### SETTAVEX |Technicien procédés

*Juillet – Aout 2019*

#### Sujet de stage : Automatisation de la maintenance préventive - service Filature

Mise en œuvre d'un système automatisé de maintenance préventive en utilisant Excel/VBA pour la surveillance centralisée des opérations de maintenance des machines au sein de service Filature.

## ENSEIGNEMENT : Travaux pratiques

### Faculté des sciences et Techniques Settat, Maroc

#### Filière ingénieur en Procédés et Ingénierie Chimique | 2020-2021

- Adsorption à l'échelle pilote (24 H)
- Extraction liquide-liquide en discontinue (16 H)
- Extraction liquide-liquide à l'échelle pilote (24 H)
- Distillation (16 H)
- Echangeurs de chaleurs (24 H)
- Hydraulique (24 H)
- Thermodynamique appliquée aux procédés (16 H)

#### Filière ingénieur en Sciences et Ingénierie de l'environnement | 2020-2021

- Extraction liquide-liquide en continue/ discontinue (32 H)

#### Master en Ingénierie Chimique et Sciences des matériaux | 2020-2021

- Thermodynamique appliquée et digrammes de phase (16 H)

# CERTIFICATIONS

**Ethique de la recherche (15 H) - Fun-Mooc**

**2022/2023** - Université de Lyon

**Chemical Engineering Thermodynamics (1 & 2) (58 H) - Coursera**

**2022/2023** - Korea Advanced Institute of Science and Technology

**Intégrité scientifique dans les métiers de la recherche (15 H) - Fun-Mooc**

**2021/2022** - Université de Bordeaux

**Rédiger et publier un article scientifique (20 H) - Fun-Mooc**

**2021/2022** - Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

**Python for Everybody Specialization (54 H) - Coursera**

**2019/2020** - University of Michigan

**Machine Learning specialization (94 H) - Coursera**

**2022/2023** - DeepLearning.AI & Stanford University

**An Introduction to Programming the Internet of Things (IOT) Specialization (34 H) - Coursera**

**2022/2023** - University of California, Irvine

**Certificate for ENGLISH Proficiency (C1) (60 H) - Rosetta Stone**

**2021/2022**

**Six Sigma Yellow Belt specialization (38 H) - Coursera**

**2020/2021** - University of Georgia

**Introduction to Computer Science and Programming Specialization (49 H) - Coursera**

**2019/2020** - University of London

## PRODUCTION SCIENTIFIQUE

### PUBLICATIONS

**Enhancement of orthophosphoric acid extraction by the synergic effect of tributyl phosphate and methyl isobutyl ketone in the quaternary system  $H_2O-H_3PO_4$ -TBP-MIBK at 298.2 K**

M. Mouhib, M. Kaddami, J.-J. Counieux, C. Goutaudier, J. Chem. Eng. Data (2024) acs.jced.4c00084.

**Liquid and crystallized phases stability in the sub-system  $H_3PO_4-H_4P_2O_7$ : Experimental determination and modeling**

M. Mouhib, R. Chiriac, F. Toche, J.J. Counieux, J. Saab, M. Kaddami, C. Goutaudier, Thermochim. Acta (Soumis en Juin 2024).

**Unraveling the role of phase modifiers in phosphoric acid extraction: Experimental study of the quaternary systems water-phosphoric acid-Diisopropyl ether-Methyl isobutyl ketone and water-phosphoric acid-Diisopropyl ether-Tributyl phosphate at 298.2 K**

M. Mouhib, M. Kaddami, J.-J. Counieux, C. Goutaudier, J. Mol. Liq. (Soumis en Juin 2024).

### COMMUNICATIONS ORALES

- **53<sup>èmes</sup> Journées de Calorimétrie et d'Analyse Thermique : 22-24 mai 2023, Palaiseau, France**

**Comportement thermique des équilibres solide-liquide des acides phosphoriques fortement concentrés**

M. Mouhib, R. Chiriac, F. Toche, M. Kaddami, J.J. Counieux, C. Goutaudier.

- **The 13<sup>th</sup> European Symposium on Thermal Analysis and Calorimetry : 19-22 September 2022, Palermo, Italy**

**DSC measurements and modeling of the solid-liquid equilibria of  $H_2O-H_3PO_4$  using Quasi-ideal model**

M. Mouhib, R. Chiriac, F. Toche, Z. Bakher, M. Kaddami, J.J. Counieux, C. Goutaudier.

- **2<sup>nd</sup> Edition of The International Congress of Chemical Engineering : 22-23 juin 2021, Settat, Maroc**

**Thermodynamic Modeling of Vapor-Liquid Equilibria (VLE) of Phosphorus Pentoxide + water Mixture with NRTL Model at 101.3 kPa**

M. Mouhib, M. Kaddami.

### PRÉSENTATIONS PAR AFFICHES

- **54<sup>èmes</sup> Journées de Calorimétrie et d'Analyse Thermique : 3-6 juin 2024, Clermont-Ferrand, France**

**DSC measurement and thermodynamic modeling of the solid-liquid equilibria of the binary system  $H_3PO_4-H_4P_2O_7$**

M. Mouhib, R. Chiriac, F. Toche, M. Kaddami, J.J. Counieux, C. Goutaudier.

- **Journées d'Etude des Equilibres entre Phases : 4-6 octobre 2023, Rouen, France**

**Rational purification of  $H_3PO_4$  by coupling demixing/crystallization in the  $H_2O-H_3PO_4$ -hexane system**

M. Mouhib, R. Chiriac, M. Kaddami, J.J. Counieux, C. Goutaudier.

# ACTIVITES DE RECHERCHE

Je suis actuellement en 3<sup>e</sup> et dernière année de doctorat, dont le sujet est : « Purification de l'acide phosphorique », avec une soutenance prévue en fin de novembre 2024. J'effectue ce travail sein du Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces (LMI) et Laboratoire Physico-Chimie des Procédés et matériaux (PCPM) à Settat. Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un projet du Programme Hubert Curien Toubkal, projet n°22/152 – Campus France 47343RG, en cotutelle entre l'Université Claude Bernard Lyon 1 et l'Université Hassan Premier de Settat au Maroc. Sous la codirection des professeurs Christelle GOUTAUDIER et Mohammed KADDAMI.

## Contexte et objectifs de l'étude

D'une manière générale, pour des raisons industrielles, économiques et écologiques, la tendance est à la valorisation des ressources minières. Dans cette optique les exigences de pureté constituent l'objectif majeur de traitements plus ou moins sophistiqués pour acquérir des labels de qualité : grade analytique, grade électronique, grade alimentaire, grade pharmaceutique, etc..., et nécessite d'investir dans la conception de nouveaux procédés de purification. Notre projet s'impose par la demande pressante d'un acide phosphorique d'une certaine pureté pour des types d'application précis. Dans ce contexte une entreprise phare comme l'OCP prévoit de doubler rapidement sa production d'acide phosphorique purifié (99%). Industriellement, l'acide orthophosphorique est majoritairement produit à partir du minerai de phosphate ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ) soit par voie thermique, soit par voie humide selon la réaction :



La première voie conduit à un acide hautement pur mais elle est très coûteuse en énergie. La deuxième, moins onéreuse, fournit un acide relativement chargé en impuretés dissoutes ou en suspension, dont la source est clairement la roche de phosphate initiale. En effet, environ 10% des impuretés contenues dans la roche phosphatée se retrouvent dans l'acide produit. Ces impuretés sont gênantes car elles influencent les propriétés physicochimiques de l'acide, posent des problèmes lors de sa concentration, son stockage et sa commercialisation.

L'élimination des impuretés métalliques de l'acide phosphorique produit a préoccupé les scientifiques surtout depuis la dernière décennie. Parmi les techniques proposées, citons la flottation, l'extraction liquide-liquide, le procédé d'échange d'ions, la filtration, l'osmose inverse et les techniques électrochimiques de traitement tel que l'électrodialyse, la précipitation chimique, électrochimique ou l'électrodéposition puis l'adsorption. Les méthodes industrielles de traitement présentent divers inconvénients, tels que l'utilisation coûteuse d'équipements sophistiqués, des opérations difficiles sur site, et des limitations dans l'applicabilité des procédés. De plus, des techniques telles que l'osmose inverse et la filtration exigent une consommation élevée d'énergie et peuvent entraîner des problèmes d'encrassement de la membrane, tandis que les procédés d'échange d'ions et la flottation nécessitent des améliorations pour une efficacité optimale dans l'élimination des métaux lourds à grande échelle de production. La cristallisation et l'extraction liquide-liquide restent parmi les méthodes offrant des avantages distincts dans le processus de purification de l'acide phosphorique en raison de leur faible coût, de leur efficacité à éliminer les impuretés métalliques et organiques, ainsi que de leur facilité d'implémentation. En combinant ces deux méthodes, il est possible de développer une approche intégrée offrant une purification efficace tout en minimisant les coûts et en garantissant une haute qualité du produit final.

L'objectif principal de ce projet est de développer une méthode de séparation simple et efficace pour la purification de l'acide phosphorique, en se basant sur les procédés d'évaporation, de cristallisation et d'extraction liquide-liquide. Dans ce contexte, ce travail comprendra une étude expérimentale approfondie ainsi qu'une modélisation thermodynamique des équilibres entre phase liquide-vapeur du système  $\text{H}_2\text{O}-\text{P}_2\text{O}_5$ , des équilibres liquide-liquide des systèmes quaternaires  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_3\text{PO}_4-\text{X}_1-\text{X}_2$ , des équilibres liquide-solide des systèmes  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_3\text{PO}_4$  et  $\text{H}_3\text{PO}_4-\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , ainsi que des équilibres liquide-liquide-solide  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_3\text{PO}_4$ -Hexane. En combinant ces approches expérimentales et théoriques, nous visons à concevoir et à optimiser un processus de séparation qui puisse être mis en œuvre à l'échelle pilote.

## Les axes de l'étude

Les axes de recherche de cette étude ont été conçus de manière systématique pour aborder différents aspects des équilibres entre phases impliquant l'acide phosphorique.

Dans un premier temps, une attention particulière a été accordée à l'étude expérimentale des équilibres liquide-vapeur du système binaire  $\text{H}_2\text{O} - \text{P}_2\text{O}_5$  afin de compléter les données existantes dans la littérature. Ensuite, une modélisation a été entreprise en utilisant différentes approches, dans le but de proposer un modèle thermodynamique capable de prédire les propriétés de ce mélange et de travailler à des pressions réduites, afin d'économiser davantage l'utilisation de l'énergie.

Ensuite, des investigations approfondies ont été menées sur les équilibres solide-liquide du système binaire  $\text{H}_2\text{O} - \text{H}_3\text{PO}_4$  en utilisant des techniques telles que la calorimétrie et la diffraction des rayons X. L'objectif était de caractériser les phases présentes, de définir leurs domaines de solubilité et d'identifier d'éventuelles nouvelles phases stables ou métastables. Parallèlement, une modélisation thermodynamique basée sur le modèle Quasi-idéal a été entreprise pour compléter ces études expérimentales, permettant ainsi de proposer un nouveau diagramme de phase pour le système étudié.

Cette recherche s'est également étendue à l'étude des équilibres liquide-solide du sous-système acide phosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )-acide pyrophosphorique ( $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), en utilisant des méthodes analytiques, la calorimétrie, la diffraction des rayons X, ainsi que la modélisation. L'objectif était de déterminer les conditions de cristallisation et de résoudre les contradictions de la littérature concernant le polymorphisme de l'acide pyrophosphorique. Ces investigations ont tenu compte des difficultés expérimentales associées à la nature hygroscopique et visqueuse des échantillons analysés.

De plus, une exploration des équilibres liquide-liquide-solide du système  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_3\text{PO}_4-\text{C}_6\text{H}_{14}$  a été entreprise, mettant particulièrement l'accent sur les impuretés organiques potentielles. Cette étude a également inclus une analyse des équilibres liquide-liquide pour étudier l'effet synergique des solvants sélectionnés, en se basant sur une analyse critique de la littérature des solvants les plus sélectifs de l'acide phosphorique. Nous avons examiné les systèmes quaternaires  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_3\text{PO}_4-\text{Solvant}_1-\text{Solvant}_2$  pour déterminer les conditions de démixtion et identifier les conditions opératoires appropriés pour une séparation efficace.

En combinant ces différentes approches, notre objectif était de développer une compréhension approfondie des équilibres impliquant l'acide phosphorique et de concevoir des méthodes de séparation innovantes et efficaces.